
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОГО ДЕЛА

№2 (4) декабрь 2017 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»);

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»);

Калмыков Вячеслав Николаевич - проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ»);

Чижевский Владимир Брониславович - проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ»).

Контакты

Главный редактор:

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

Заместитель главного редактора:

Романько Елена Александровна - доц., канд. техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ»),
тел (3519) 29-85-40

Адрес редакции:

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова

Подписано к печати

Заказ . Тираж 50 экз. Цена свободная.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Наумова К.С.
Подсчёт запасов известняков (строительного камня) на участке телевышка 3

Романько Е.А., Агуров А.В., Петров Г.А.
Внедрение системы TMS при строительстве горизонта - 1069,7 м
Гремячинского ГОКа 7

Смяткин А.Н.
Производство маркшейдерских работ при наблюдении за устойчивостью бортов
Сибайского карьера с применением роботизированного тахеометра Topcon 9003A. 14

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

Мажитов А.М., Корнеев С.А., Бондарь Е.А., Шаронова А.А. 19
Оценка напряженно-деформированного состояния массива при отработке запасов в
техногенно-осложненных условиях

Пыталев И.А., Гапонова И.В., Якшина В.В., Карпова А.А. 27
Восстановление земель, нарушенных горными работами, при утилизации отходов
горно-металлургического производства на примере карьера «Восточный»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кравчук И.Л., Кравчук Т.С. 35
К вопросу эколого-экономического обоснования комплексного освоения недр

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Шавакулева О.П., Дегодя Е.Ю. 40
Технологические свойства титаномагнетитовой руды

Тарыбаева Г.А., Орехова Н.Н. 44
Селективное извлечение меди и цинка из подотвальных вод горных предприятий в
осадки

ОХРАНА ТРУДА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Горбатов А.Н. 53
Требования безопасности к ведению горных работ. Особенности принятия
и применения

УДК 622

ПОДСЧЁТ ЗАПАСОВ ИЗВЕСТНЯКОВ (СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ) НА УЧАСТКЕ ТЕЛЕВЫШКА

Наумова К.С.

Аннотация. На участке Телевышка месторождения известняков произведен подсчет запасов с целью оценки месторождения, учета движения запасов и планирования добычи, ведения практических расчетов при эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: подсчет запасов, известняки, граница горного отвода, граница блока, метод вертикальных параллельных сечений.

Участок Телевышка находится в юго-западной части Республики Башкортостан и располагается в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, где развит структурно-денудационный с элементами денудационно-литоморфного тип рельефа и на водораздельном склоне по левобережью р. Ря. Абсолютные отметки поверхности участка 210-226 м.

Полезная толща участка Телевышка представлена трещиноватыми известняками.

В соответствии с Классификацией запасов (2007) участок по сложности геологического строения относится к I группе, так как имеет простое геологическое строение с ненарушенным залеганием, характеризуется достаточной для добычи мощностью, довольно однородным внутренним строением, удовлетворительным качеством полезного ископаемого. Площадь участка треугольной формы, проложены две линии разрезов, расстояние между скважинами на линии составляет 270 м, скважиной 2 и расчисткой - 230 м, что обеспечивает необходимую степень геологической изученности для подсчета запасов по категории C_1 .

В связи с тем, что граница горного отвода на участке по глубине определена условиями пользования недр до горизонта +212 м, а известняки развиты до горизонта +203 м, выделяется два блока подсчета запасов C_{1-I} и C_{1-II} (рис. 1, 2). Границы блока C_{1-I} совпадают с границами горного отвода, блок C_{1-II} выделен между горизонтами +212 и +203 м.

Для подсчёта запасов полезной толщи по блоку C_{1-I} используется метод вертикальных параллельных сечений. Для этого через равные расстояния блок подсчета запасов рассекается параллельными вертикальными плоскостями. Объемы каждой части (подблока), заключенной между соседними сечениями S_i и S_{i+1} на расстоянии l_i друг от друга, определяются по геометрическим формулам (табл. 1).

Запасы строительного камня в пределах блока C_{1-I} составляют:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 = 6468,4 + 18988,5 + 23223,5 + 17849,2 + 11245,9 + 10220,9 + 2797,2 = 90680,7 \text{ м}^3.$$

Для подсчёта запасов полезной толщи по блоку C_{1-II} используется метод геологических блоков. Площадь блока подсчета запасов строительного камня – 18977 м².

Мощность полезной толщи по блоку C_{1-II} между горизонтами +203 и +212 м составляет 9 м.

Запасы строительного камня в пределах блока C_{1-II} составляют

$$18977 \times 9 = 170793 \text{ м}^3$$

Итоговые значения подсчета запасов известняков (строительного камня) приведены в табл. 2.

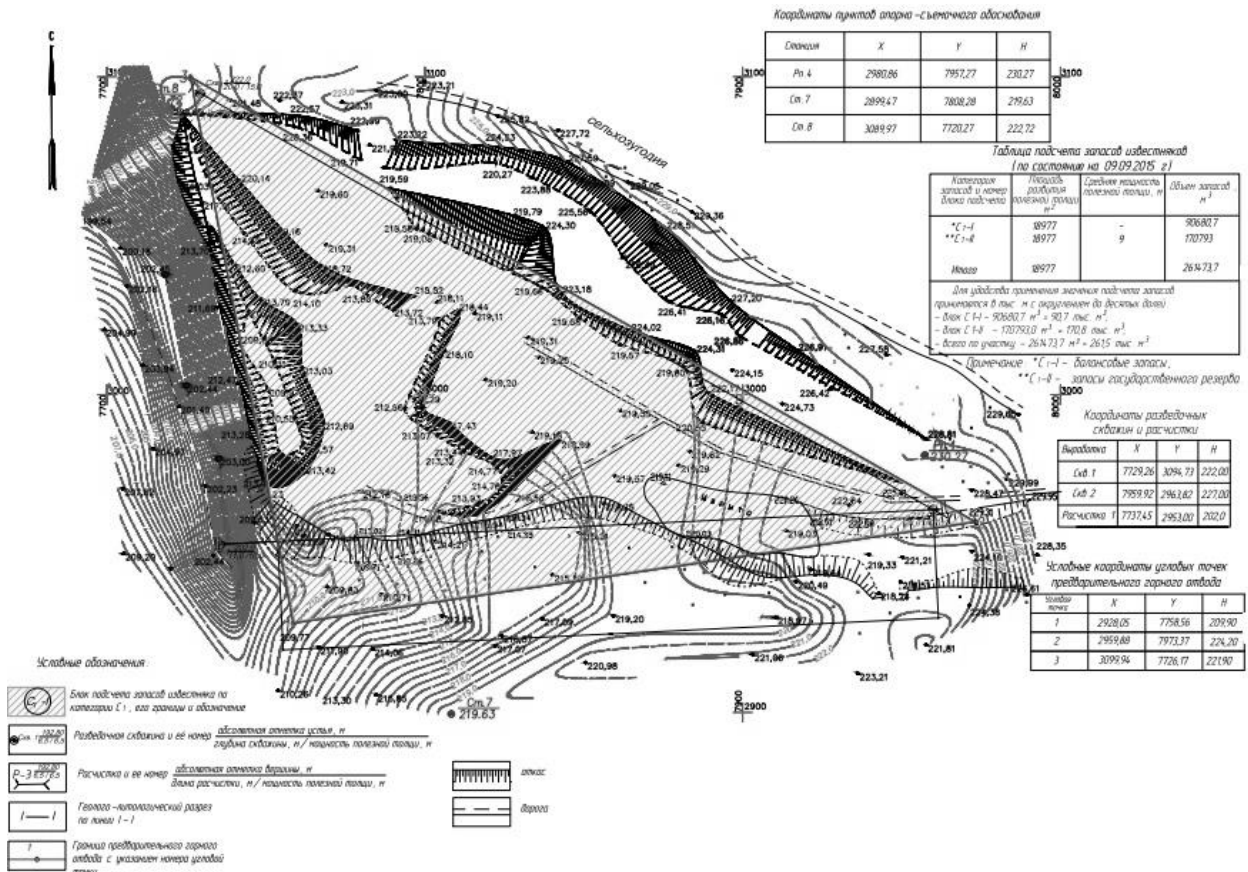


Рис. 1. План подсчета запасов

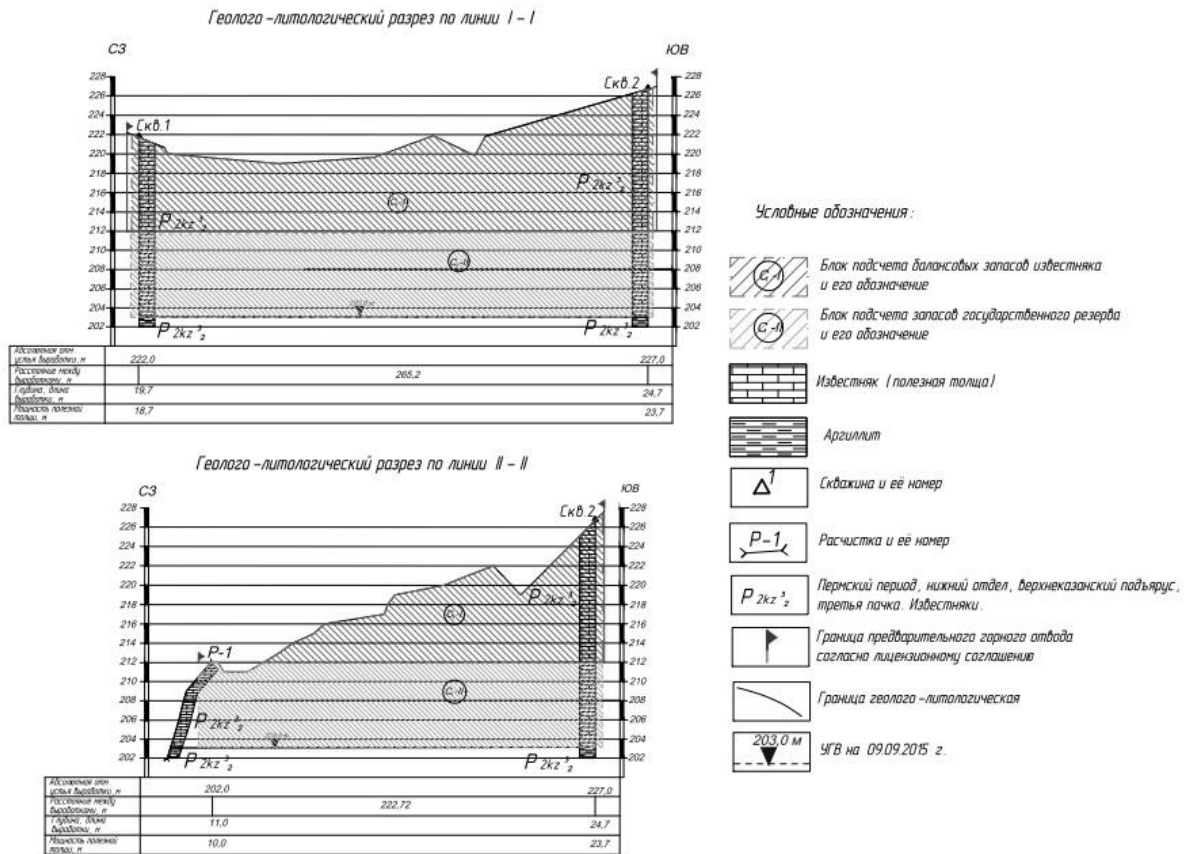


Рис. 2. Геолого-литологические разрезы по линиям I-I и II-II

Таблица 1

Расчет запасов известняков блока С₁-I

Сечение	Площадь подблока по сечению S_i , м ²	Длина подблока l , м	Расчетная формула объема блока	Объем блока V_i , м ³
		50,6	$\frac{S_i \times l}{3}$	6468,4
1-1	383,5			
		40,2	$\frac{(S_i + S_{i-1} + \sqrt{(S_i \times S_{i-1}))} \times l}{3}$	18875,5
2-2	561,2			
		40,2	$\frac{(S_i + S_{i-1}) \times l}{2}$	23223,5
3-3	594,2			
		40,2	$\frac{(S_i + S_{i-1} + \sqrt{(S_i \times S_{i-1}))} \times l}{3}$	17849,2
4-4	309,2			
		40,2	$\frac{(S_i + S_{i-1}) \times l}{2}$	11245,9
5-5	250,3			
		40,2	$\frac{(S_i + S_{i-1}) \times l}{2}$	10220,9
6-6	258,2			
		32,5	$\frac{S_i \times l}{3}$	2797,2
Итого:				90680,7

Таблица 2

Итоговые значения подсчета запасов

Параметр	Подсчётный блок (категория запасов - номер блока)	Площадь блока, м ²	Средняя мощность, м	Объём, м ³
Известняк (строительный камень)	С ₁ -I	18977	-	90680,7
	С ₁ -II	18977	9	170793,0
Итого по участку:		18977		261473,7

Из общего объема подсчитанных запасов 261473,7 м³ запасы блока С₁-I в объеме 90680,7 м³ поставлены на учет ОАО «Башкиравтодор», запасы блока С₁-II в объеме 170793,0 м³ - на учет государственного резерва.

Для удобства применения значения подсчета запасов принимаются в тыс. м³ с округлением до десятых долей:

- блок С₁-I – 90680,7 м³ = 90,7 тыс. м³;
- блок С₁-II - 170793,0 м³ = 170,8 тыс. м³;

- всего по участку – $261473,7 \text{ м}^3 = 261,5 \text{ тыс. м}^3$.

Заключение

Выбранный метод вертикальных разрезов обеспечивает простоту и необходимую точность подсчета запасов. Согласно методическим рекомендациям ГКЗ РФ одной из основных задач по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых является сравнение полноты и достоверности геологической информации о месторождении, полученной в процессе его разведки и разработки, а также определение причин выявленных расхождений таких данных. Вследствие того, что полезное ископаемое участка Телевышка используется «как есть», к тому же строительный камень в предыдущие годы специально не исследовался, проведение сопоставления данных разведки и разработки представляется нецелесообразным.

Список литературы

1. Ермолаев В.А. Геология. Ч.II. Разведка и геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых. М.:МГГУ, 2005.
2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий. М., 2007, 40 с.
3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
4. ГОСТ 25607-2009. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродрома. Технические условия.
5. ГОСТ 8636-2014. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия.
6. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утв. Постановлением Правительства РФ от 29.05.2008 г. № 404.
7. Требования к составу и правилам оформления предоставляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых. Москва, 2011.
8. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. Т.2 / ГКЗ СССР. М., 1986 г.
9. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиции для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. ФГУ ГКЗ (Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р).
10. Синицын И.М., Толстунова Н.Н. Геологическое строение и гидрогеологические условия территории листа N-39-XVIII: Отчет Ермекеевского отряда Камской гидрогеологической съёмочной партии. Геологическая карта масштаба 1:200000. Уфа, 1974, Башгеолфонд, № 9115.
11. Нагуманов Д.Г., Нигаматуллина Р.Ф., Семесынов А.В. Отчет о разведке с подсчетом запасов известняков (строительного камня) на участке Телевышка в муниципальном районе Ермекеевский район Республики Башкортостан, Уфа, 2005 г.

Сведения об авторах

Наумова Кристина Сергеевна – ассистент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, институт горного дела и транспорта ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: ma_ri92@inbox.ru;

УДК 622.1

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ TMS ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРИЗОНТА -1069,7 М ГРЕМЯЧИНСКОГО ГОКа

Романько Е.А., Агуров А.В., Петров Г.А.

Аннотация. Важной вехой в геодезии в целом и в маркшейдерии в частности стало появление электронных роботизированных тахеометров и специализированного программного обеспечения, которые вместе составляют мощные высокопроизводительные средства для геодезического обеспечения различных подземных работ. Среди них - TMS. В статье показаны этапы внедрения TMS при строительстве горизонта - 1069,7 м I очереди Гремячинского ГОКа.

Ключевые слова: TMS, TMS Office, роботизированный тахеометр, TMS ProScan Plus, TMS SetOut Plus, подземные горные выработки, сопряжения, пикетаж, программное обеспечение, Surpac.

TMS (Tunnel Measurement System – дословно с английского «Система измерения тоннеля») – система, разработанная компанией AMBERG Technologies (Швейцария) и предназначенная для маркшейдерского обеспечения подземного строительства. Она находит применение при строительстве и реконструкции гидроэлектростанций, метро, тоннелей, бункеров и других подземных объектов, а также при выполнении различных работ в горной промышленности. Данная технология использует высокотехнологичное измерительное оборудование Leica Geosystems и мощный пакет программного обеспечения TMS швейцарской компании Amberg Technologies. Использование данной системы благодаря автоматизации позволяет уменьшить погрешность проведения горных работ, значительно увеличить скорость и производительность, а также оптимизировать процесс в целом, что гарантированно снизит себестоимость и увеличит качество строительства.

Примерами применения системы могут служить Готардский базисный тоннель - самый протяженный тоннель в мире (57 км), соединяющий Швейцарию и Италию, и крупнейший железорудный рудник Кируна в Швеции.

При внедрении системы TMS при строительстве горизонта -1069,7 м I очереди Гремячинского ГОКа перед Объединённой службой главного маркшейдера ФГУП «Управление строительства-30» стояла непростая задача адаптировать систему, которую до этого использовали на предприятии только при строительстве тоннелей (например, Юкспорский тоннель, заказчик - «ФосАгро-Апатит», город Кировск), под строительство подземного рудника.

TMS использует модульную концепцию построения программного обеспечения (ПО), что дает возможность пользователю приобретать необходимые для решения его задач модули и оборудование с возможностью в дальнейшем приобрести дополнительные.

В ОСГМ ФГУП «УС-30» на Гремячинском ГОК'е система TMS состоит из следующих компонентов:

- электронный роботизированный тахеометр TCRA 1202+ (рис. 1, см. таблицу);
- программное обеспечение TMS для тахеометра: полные пакеты TMS ProScan plus, TMS SetOut plus, установленные на тахеометре (см. рис. 1);
- программное обеспечение TMS OFFICE для компьютера (рис. 2) - это общая платформа для всех приложений TMS, предназначена для определения и управления всеми проектными данными, вывода отчетов на принтер в числовом и графическом виде, импорта и экспорта (GSI, DXF, ASCII и др.), определения набора настроек и т.д. Это мощный и производительный портал для всех приложений TMS, а также автоматизированный поток данных между офисом и маркшейдерскими работами под землёй.



Рис. 1. Электронный роботизированный тахеометр Leica TCRA1202+ с установленными на нём программным обеспечением TMS Applications: TMS ProScan plus, TMS SetOut plus

Основные характеристики тахеометра Leica TCRA1202+

Характеристика тахеометра	Значения параметров
Точность угловых измерений	2"
Компенсатор	Двухосевой, $\pm 4'$
Дальность измерения на отражатель	3500 м (на отражатель GPR1), 2000 м (на отражатель GRZ4, GRZ122)
Точность линейных измерений на отражатель	Отражатель 1 мм + 1.5 ppm
Дальность измерений без отражателя	400 м
Точность линейных измерений без отражателя	2 мм + 2 ppm
Увеличение зрительной трубы	30x
Специальные устройства	Целеуказатель, лазерный центрир
Стандартные прикладные программы	Установка, Съёмка, Вынос в натуру, Координатная геометрия (COGO), Работа с координатными системами, GNSS съёмка
Дополнительные прикладные программы	Создание, измерение и вынос сечения тоннелей (TMS Applications: TMS ProScan, TMS SetOut) и множество других
Точность позиционирования SmartStation	10 мм+10 ppm (в плане), 20 мм+10ppm (по высоте)

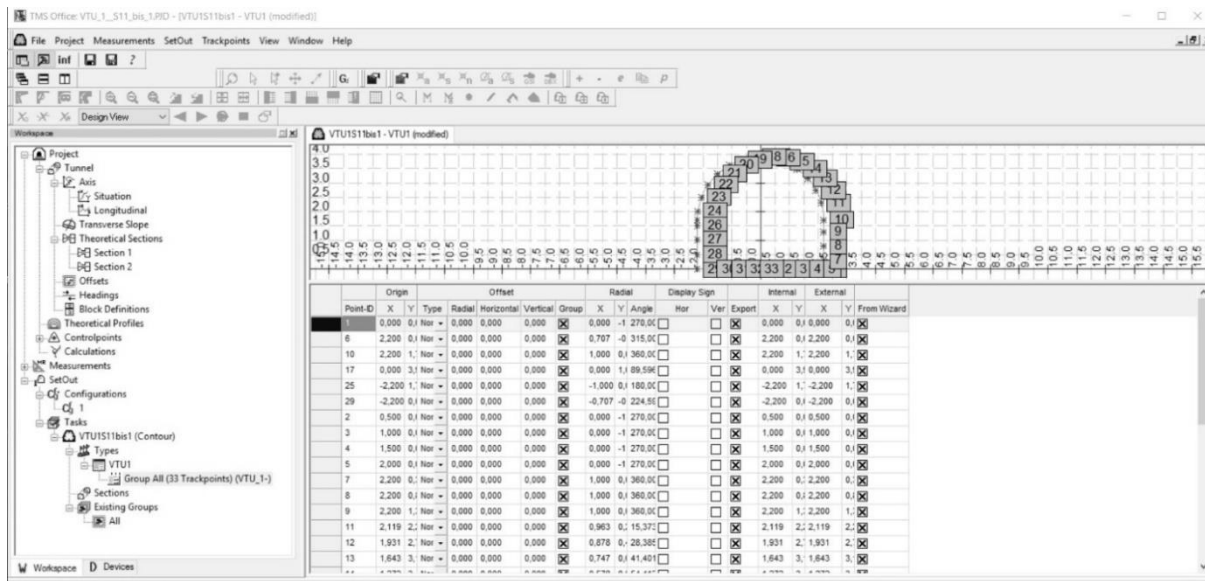


Рис. 2. Программное обеспечение TMS OFFICE для компьютера

При внедрении системы TMS для строительства горизонта -1069,7 м Гремячинского ГОКа возникали самые различные сложности, нюансы выявлялись практическим путём по ходу работы. Срок внедрения системы составил около недели.

Всё программное обеспечение TMS представлено на английском языке. Однако наличие маркшейдера с опытом работы с TMS позволяет без проблем овладеть навыками работы системой даже с минимальным знанием языка.

Интерфейс программы TMS Office (рис. 2) разделён на 2 части: левую и правую. В левой части выбирается двойным щелчком мыши необходимый пункт, в правой открывается то, что находится в данном пункте.

В левой части основными пунктами являются: Project, Measurements, SetOut.

1. Project (Проект) – сюда заносятся данные по выработке или выработкам, которые переходят из одной в другую. Невозможно занести всю сеть выработок в один проект, т.к. TMS создавалась для строительства тоннелей, которые являются зачастую одной протяжённой выработкой без разветвлений. Зачастую для ведения проходки разных выработок создаётся отдельный проект для каждой выработки.

Создание проекта выработки в TMS Office начинается с задания осей (Axis), в которых фигурирует параметр Stationing (Пикет). Немаловажным нюансом TMS является то, что система не работает с наклонным пикетажем, т.е. пикетаж TMS горизонтален. Поэтому для наклонных выработок на Гремячинском ГОКе на плане горизонта в КОМПАС'е или AutoCAD'е создаётся пикетаж выработок в отдельном слое, в котором не учитывается уклон. То есть длина между пикетами TMS просто замеряется на плане, уклон во внимание не берётся.

Situation (Ситуация) – номер пикета, его координаты X, Y, геометрия отрезка между пикетами – Line (линия) или Circle (окружность) с необходимым радиусом.

Longitudinal (Продольное сечение) - сюда заносятся номера пикетов и их высотные отметки.

Theoretical Profiles (Проектные Сечения) – сюда заносятся все сечения выработок, которые будут в проекте.

Горизонт -1069,7 м представляет собой густую сеть выработок различного назначения, которые пересекаются друг с другом, образуя большое количество сопряжений. Согласно проектной документации все радиусы выработок на предприятии с радиусом R=16,0 м, кроме оговоренных. В итоге мы имеем сопряжения сложной геометрической формы, с различными уклонами, высотой и шириной. Создание проекта на проходку таких

сопряжений в системе TMS был бы невозможен, если бы не использование сторонней программы Surpac, которая также применяется в ОСГМ на Гремячинском ГОК'е для ведения проходки. На основе проектной документации строится 3D-модель сопряжения, и с помощью команды «Каркасные модели - Функции работы с KM - Создать разрезы - Дигитировать» по характерным точкам сопряжения получаем сечения на определённом пикете (рис.3, 4).

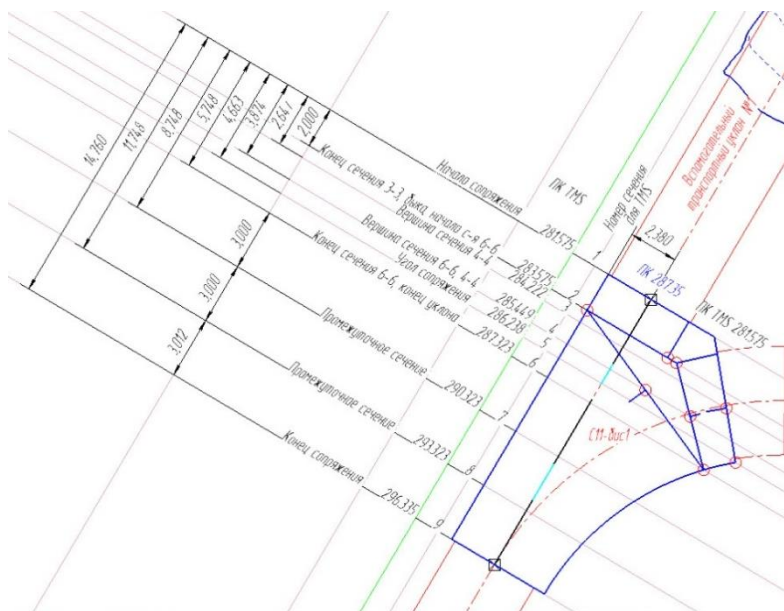


Рис. 3. Характерные точки, пикетаж TMS, расстояния между сечениями для TMS

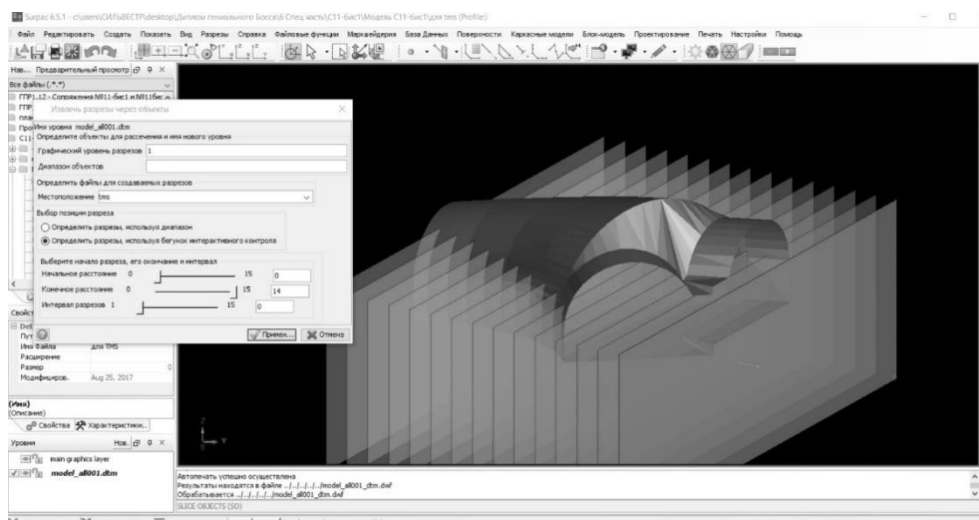


Рис. 4. Создание сечения на необходимом пикете сопряжения в программе Surpac

Полученные сечения после обработки заносятся Theoretical Profiles.

Theoretical Sections (Проектные секции), Section 1 – здесь указывается пикет, на котором будет действовать то или иное сечение, созданное в Theoretical Profiles, также в местах перехода от сечения к сечению необходимо включить интерполяцию между сечениями (Interpolated).

Controlpoints (пункты плано-высотного обоснования) - при необходимости в проект можно импортировать пункты ПВО, на которые производится обратная засечка и координирование тахеометра в пространстве шахты.

После завершения создания проекта производится экспорт файла проекта с расширением XML на тахеометр.

После ориентирования тахеометра в шахте запускаем TMS ProScan Plus. В ручном режиме программы (Measure Mode-String) по параметру Deviation (Отклонение, ближайшее расстояние от текущего положения лазера до проектного сечения выработки в метрах) мы можем определять переборы/недоборы прямо в шахте, без обработки съёмки на поверхности (рис.5). Положительное значение показывает перебор, отрицательное – недобор.



Рис. 5. Определение отклонения выработки от проекта при нахождении непосредственно в забое

Перемещая лазер тахеометра по забою и ловя параметр Deviation в значение 0.000 m, мы можем производить разметку недоборов (рис.6).



Рис. 6. Пример разметки недоборов по параметру Deviation в Сопряжении С-11

TMS ProScan Plus также позволяет в автоматическом режиме снимать вертикальные сечения с необходимым интервалом по пикетам (Measure Mode-Vertical Profile). По окончании съёмки можно выбрать отснятый пикет и увидеть максимальный перебор и недобор на этом пикете по получившемуся графику (рис.7).

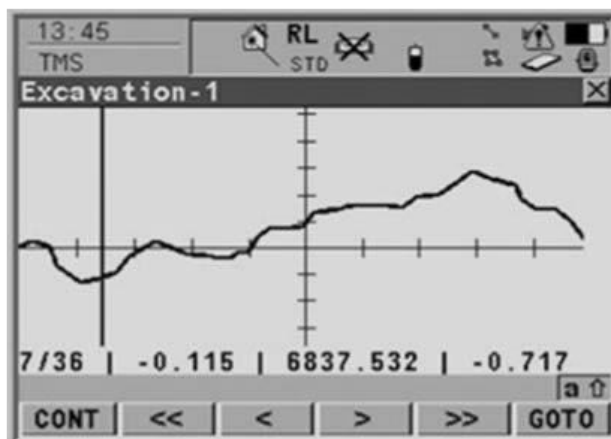


Рис. 7. Кривая отклонений

2. Measurements (Измерения) – здесь находится только пункт ProFit Measurement Browser (браузер результатов измерений). Браузер позволяет импортировать результаты измерения сечений выработок, выполненных с помощью программы TMS ProScan Plus тахеометра, а также редактировать их, выводить на печать или же экспортировать в различные форматы, например в формат AutoCAD'a DXF (рис.8).

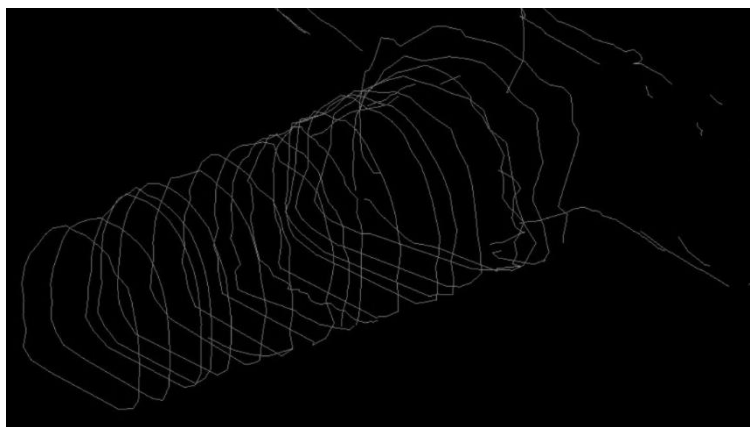
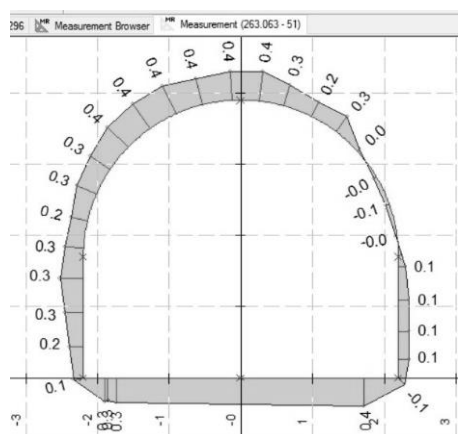


Рис. 8. ProFit Measurement Browser и полученная совокупная съёмка сечений через 1 м в Surpac'e

3. SetOut (Вынос) - создание проекта для выноса контура выработок. Работает вместе с программой тахеометра TMS SetOut Plus. Позволяет в автоматическом режиме выносить точки контура выработок, ускоряя процесс выноса в разы.

Использование системы TMS позволяет автоматизировать работу маркшейдерской службы, значительно повысить производительность и точность работ, исключив при этом ошибки, связанные с человеческим фактором. В системе TMS реализованы передовые технологические решения:

- одна многоцелевая базовая станция;
- простая обработка и использование;
- ориентированные на практическое применение, полностью автоматизированные 2- и 3- мерные измерения;
- мощная автоматическая разметка сложных форм;
- встроенная обработка на месте в графической / цифровой форме;
- мощная, автоматизированная последующая обработка;
- специализированные графические и цифровые функции вывода.

Список литературы

1. Бурцев А.В. Инновационные технологии для автоматизации маркшейдерских работ при строительстве подземных сооружений // Геопрофи. 2011. №5. С. 26-29.
2. <http://w3.leica-geosystems.com/>
3. <http://www.ambergtechnologies.ch>

Сведения об авторах

Романько Елена Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: Romanko_H@mail.ru

Агуров Антон Владимирович, участковый маркшейдер ОСГМ ФГУП «Управление строительства-30», Межгорье, Россия.

Петров Георгий Абрамович, студент группы ГМ-12, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: petroff.georgij@yandex.ru

УДК 622.1

ПРОИЗВОДСТВО МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА УСТОЙЧИВОСТЬЮ БОРТОВ СИБАЙСКОГО КАРЬЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ТАХЕОМЕТРА TORCON 9003A

Смяткин А.Н.

Аннотация. В данной статье рассмотрен опыт применения в наблюдательной станции роботизированного тахеометра Торсон 9003А для осуществления наблюдений за состоянием устойчивости бортов Сибайского карьера, СФ ОАО «Учалинский ГОК» в связи с необходимостью обеспечения безопасного ведения горных работ, своевременного обнаружения деформаций бортов карьера. Сделан вывод о достаточной точности измерений и целесообразности применения роботизированного тахеометра при наблюдениях за устойчивостью бортов карьеров.

Ключевые слова: наблюдения, устойчивость, тахеометр, станция, отражатель, точность

Сибайское медно-колчеданное месторождение приурочено к восточному крылу брахиантиклинальной складки, ограниченной с востока и запада двумя крупными разломами.

Открытые горные работы на карьере месторождения «Новый Сибай» проводились с 1941 по 2003 год. Добыча руды остановлена на горизонте -125м, в связи нарушением устойчивости откосов западного борта карьера, повлекшим деформирование транспортного съезда на нижних горизонтах, при этом параметры карьера составили 1400x1200 м, глубина превысила 500 м.

За пределами контура карьера осталось 19314 тыс. т руды [1]. С 2007 года производится выемка законтурных запасов подземным способом системами разработки с обрушением.

При этом из-за загруженности стволов, отсутствия альтернативных путей доставки техники, горюче-смазочных материалов, взрывчатых веществ, строительных материалов, спуска и подъема людей, вывоза руды остро стоит необходимость сохранности транспортного карьерного съезда.

С 2009 года на Сибайском карьере наблюдаются деформации в виде оползней, вывалов, произошло обрушение транспортного съезда по западному борту карьера. Причинами данных проявлений являются:

- наличие неблагоприятно ориентированных контактов пород и руд;
- неблагоприятно ориентированные тектонические нарушения, по которым происходят локальные вывалы и обрушения;
- интенсивная нарушенность и низкие прочностные характеристики метосамотитов, слагающих околорудную зону;
- отработка открытыми камерами рудных целиков, являющихся контрфорсом для ослабленных пород околорудной зоны, в которых происходит развитие деформаций;
- сейсмическое влияние взрывных работ;

В связи с этим возникла необходимость закладки наблюдательной станции для контроля за устойчивостью бортов карьера.

Целями наблюдения являются:

- обеспечение безопасного ведения горных работ;
- своевременное обнаружение, предупреждение возможного формирования деформаций бортов карьера и обрушения горных пород;

Рабочие репера установлены на 6 продольных профильных линиях вдоль простираения борта, вблизи бровок и у подошвы вышележащего уступа. Охватывают борта карьера и транспортный съезд в отметках +125 - +11м. Для контроля за неохваченными призмами участками карьера, образующимися или сформированными деформациями применяется лазерное сканирование.

Для повышения точности измерений и исключения влияния неточности центрирования прибора над центром станции основание (опорный репер) сварено из уголковой стали. Крепление тахеометра к основанию выполняется посредством закрепительного винта с конусообразной калиброванной шайбой, основание забетонировано на краю бермы в недоступном для карьерной техники месте.

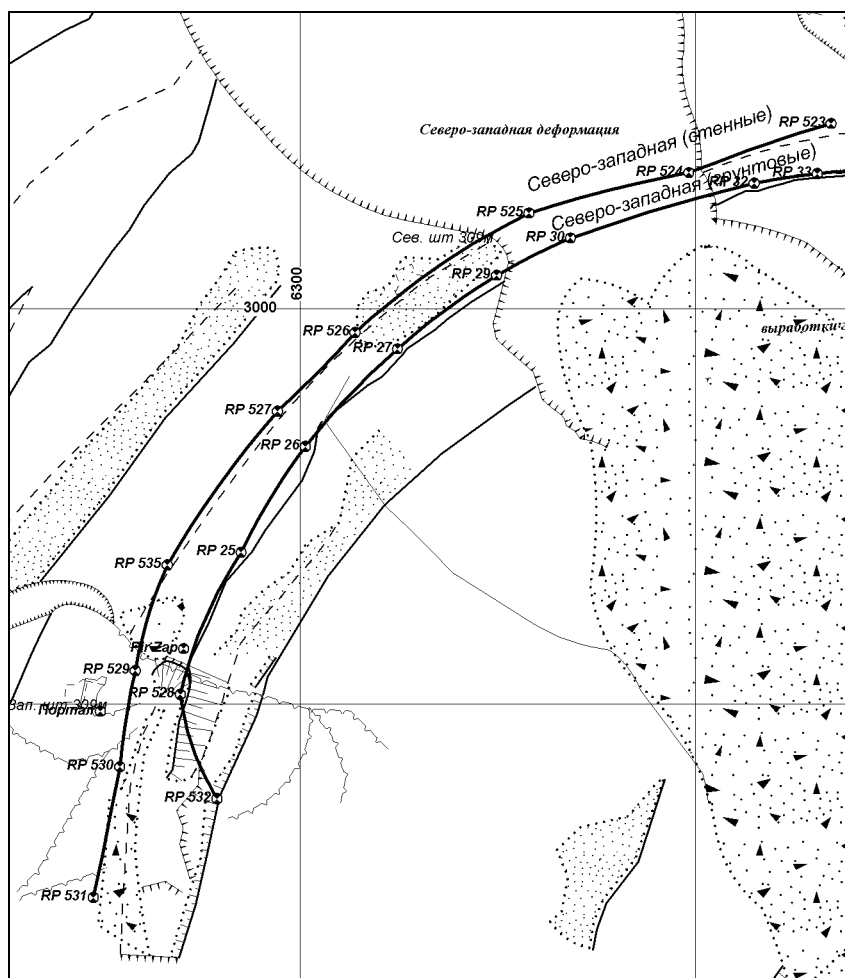


Рис. 2. Северо-западный борт Сибайского карьера с расположением профильных линий и рабочих реперов

Крепление призм к скальному массиву выполнено посредством листовой стали и дюбель - гвоздей, к краю берм посредством арматурных стержней, забитых до скального массива и укрепленных бетоном.

При работе в функции «мониторинга» тахеометр поочередно выполняет поиск, точное наведение и измерение в автоматическом режиме на установленные призмы, что позволяет отслеживать изменения в их положениях. Результаты этих измерений записываются в файл необработанных данных.

Автоматическое наведение визирной оси тахеометра на призму происходит по максимальному уровню отраженного сигнала, при этом СКО измерения углов составляет 3'' с дискретностью взятия отсчета 1''.



Рис. 3. Рабочий репер настенного типа

При «Точном режиме измерения» точность измерения расстояний составляет $\pm(2\text{мм} + 2 \times 10^{-6} \times D)$ с дискретностью отсчета 0,2 мм, времени взятия отсчета 3 с [2].

Для повышения точности измерения производятся в «циклическом режиме», 5-6 циклов измерений, т.е. 25-30 мин на все измерения с последующим усреднением полученных результатов.

Проанализировав данные измерений в разных циклах одного измерения, можно сделать вывод о «постоянстве» измерений, выразившемся в высокой точности измерений расстояний и точности наведения на призму.

Данные измерений

Показатели	Расстояние до рабочего репера, м			
	20-50	50-100	100-200	200-400
$\pm(2\text{мм} + 2 \times 10^{-6} \times D)$	2,04 – 2,1	2,1 – 2,2	2,2-2,4	2,4-2,8
Фактический разброс расстояний в разных циклах измерений, мм	0 - 0,2	0 – 0,4	0 – 0,4	0 – 0,6
Фактически разброс измеренных горизонтальных и вертикальных углов в разных циклах измерений	0 - 2''	0 - 2''	0 - 2''	0 - 2''
Разброс значений планового положения репера в разных циклах измерений, мм	0-1	0-1	0-2	0-4

Обработка полевых измерений заключается в следующем:

- вычисление координат и высотных отметок рабочих реперов (вычислении среднего по данным 5-6 циклов измерений);

- составление ведомости (величины вертикальных, горизонтальных смещений, скорости смещений);
- составление графиков вертикальных и горизонтальных смещений реперов;
- составление траектории движения рабочих реперов;
- создание модели поверхности борта карьера по результатам лазерного сканирования;
- составление разрезов борта карьера по результатам сканирования.

Внедрение роботизированного тахеометра Topcon 9003A в станции слежения за состоянием устойчивости бортов Сибайского карьера позволило: повысить точность получаемых данных и оперативность получения и предоставления данных, а также сократить количество людей задействованных в измерениях до одного человека.

Список литературы

1. Горная технология. Горная и горно-механическая часть. Кн.1. Пояснительная записка. / ЗАО «Горный проектно-строительный центр». Екатеринбург 2009.
2. Руководство по эксплуатации электронного тахеометра с функцией автоматического сопровождения серии GTS-900A / GPT-9000A.
3. Картунова С.О. Определение деформаций на карьерах с применением современных технологий // Актуальные проблемы горного дела. 2016. №2. С 9-13.
3. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. / ВНИМИ. М., 1998.

Сведения об авторах

Смяткин Алексей Николаевич - главный маркшейдер СФ АО «Учалинский ГОК»,
san_1978@inbox.ru

УДК 622.271.333:622.023

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ В ТЕХНОГЕННО-ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Мажитов А.М., Корнеев С.А., Бондарь Е.А., Шаронова А.А.

Аннотация. Научно-исследовательская работа проводилась с целью оценки напряженно-деформированного состояния массива и конструктивных элементов системы разработки при отработке прибортовых запасов залежи «Новый Сибай» Сибайского месторождения.

Математическое моделирование показало, что зона значимого влияния Сибайского карьера ниже дна карьера не превышает 20 м. Область влияния карьерной выемки ниже подэтажа 509 м перестает проявляться в полной мере или отсутствует вовсе. Поэтому зона сдвижения от отработки нижележащего подэтажа 529 м рекомендуется рассчитывать согласно известным методикам и не учитывать наличие карьерной выемки. Угол сдвижения горных пород β ниже глубины подэтажа 509 м следует принимать 65° .

Ключевые слова: комбинированная геотехнология, напряженно-деформированное состояние массива, математическое моделирование, зона влияния карьерной выемки.

Отработка залежи «Новый Сибай» осуществляется вариантом системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды при высоте подэтажа, равной 20 м, и ширине заходок – $10 \div 16$ м и более. Для повышения интенсивности очистных работ отработка запасов в подэтаже производится секциями, состоящими из трех заходок (вариант подэтажного обрушения с линейно-торцевым выпуском). Отставание очистных работ нижнего подэтажа от верхнего определяется углом сдвижения, равным 50° , и составляет 16,7 м.

В зону сдвижения от отработки камер 529-2, 529-3 и 529-4 попадают неотработанные заходки и подготовительные выработки гор. 509 м. В связи с развитием очистных работ на гор. 529 м возникает вопрос обеспечения устойчивости и сохранности выработок гор. 509 м и уточнения угла сдвижения при отработке придонных запасов, не попадающих в зону влияния карьерной выемки.

Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке залежи «Новый Сибай» Сибайского месторождения проводилась с помощью математического моделирования методом конечных элементов в программном комплексе «FEM» (ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург).

Моделирование проводилось для массива горных пород восточного борта карьера. Оценка напряженно-деформированного состояния массива осуществлялась по главным нормальным напряжениям. В математической модели использовались физико-механические характеристики руды, породы и обрушенной горной массы. Граничные условия задавались по горно-геологическим данным с таким расчетом, чтобы обеспечивалось получение напряжений, сходимых с натурными.

На начальном этапе исследовались параметры гравитационного поля, затем на него накладывалось поле тектонических сил. Тектоническая составляющая горного давления принималась в 1,5 раза больше вертикального давления горных пород, как наиболее вероятных в условиях отработки медноколчеданных месторождений [1,2], действующих по направлению выемки и перпендикулярно.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива восточного борта карьера осуществлялось по характерному разрезу, построенному нормально к уступам борта через планируемые к отработке камеры 529-2, 529-3 и 529-4, расположенные на гор. 529 м.

Моделирование проводилось в три этапа (рис. 1).

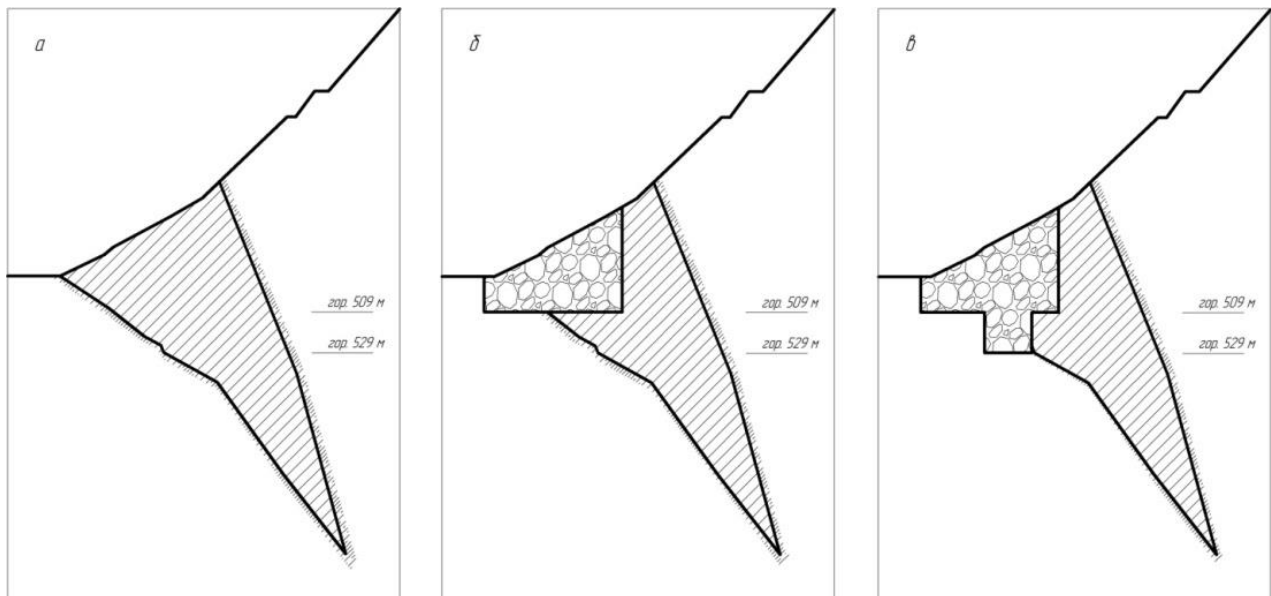


Рис. 1. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива

Первая модель оценивала природное напряженно-деформированное состояние массива, техногенно-измененное только карьерной выемкой (рис. 1,а). Вторая и третья модели имитировали собой последовательную отработку рудного тела системой разработки подэтажного обрушения на подэтажах 509 и 529 м (рис. 1, б и в).

Природное напряженно-деформированное состояние массива на конец отработки карьера, не затронутое подземными горными работами, отмечается весьма спокойной обстановкой (рис. 2). Распределение главных напряжений σ_1 и σ_2 характерно для откоса массива, приведенного в предельное состояние, и характеризуется отсутствием растягивающих напряжений по компоненте σ_2 (рис. 2,б). Численные значения напряжений значительно ниже предела прочности пород, максимальные сжимающие напряжения концентрируются в районе дна карьера и составляют максимально 15 МПа (рис. 2,а), растягивающие напряжения отсутствуют. Данное обстоятельство свидетельствует об относительной устойчивости борта карьера до проведения подземных очистных работ.

Область влияния карьера ограничена глубиной 20-22 м и определяется размером дна карьера.

При разработке приконтурных запасов руды в борту карьера горный массив находится в сложном напряженном состоянии, обусловленном наложением полей напряжений, вызванных карьерной выемкой и подземными выработками [3, 4]. Карьерная выемка изменяет характер распределения напряжений в приконтурном массиве. Неотработанный массив (целик) работает в условиях сжатия со сдвигом. На рис. 3 показаны изолинии распределения главных напряжений при отработке подэтажа 509 м.

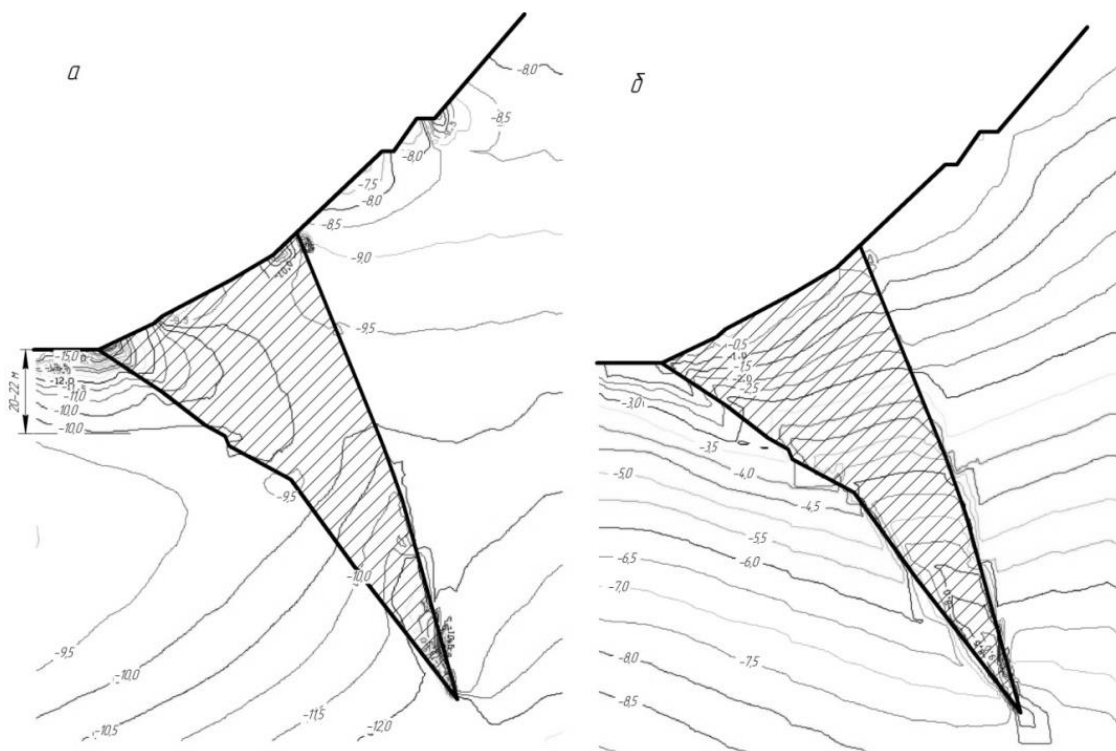


Рис. 2. Изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) в массиве пород, не тронутым подземными горными работами

Так, отработка прибортовых запасов системой разработки подэтажного обрушения вызывает рост сжимающих напряжений и их перераспределение в массиве очистных заходов (рис. 3,а). Численное значение сжимающих напряжений также не превышает предела прочности пород и составляет по максимальной компоненте до 25 МПа, по минимальной - до 2 МПа. Главная компонента напряжений σ_1 в направлении развития очистных работ растягивающая, что свидетельствует о благоприятных условиях самообрушения руды без образования консольного зависания пород, но велика вероятность возникновения сложности с бурением растрескавшейся руды.

Область влияния карьерной выемки ниже подэтажа 509 м перестает проявляться в полной мере или отсутствует вовсе. Поэтому зона сдвижения от отработки нижележащего подэтажа 529 м следует рассчитывать согласно «Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород» [5] и не учитывать наличие карьерной выемки. Угол сдвижения горных пород β ниже глубины подэтажа 509 м следует принимать 65° .

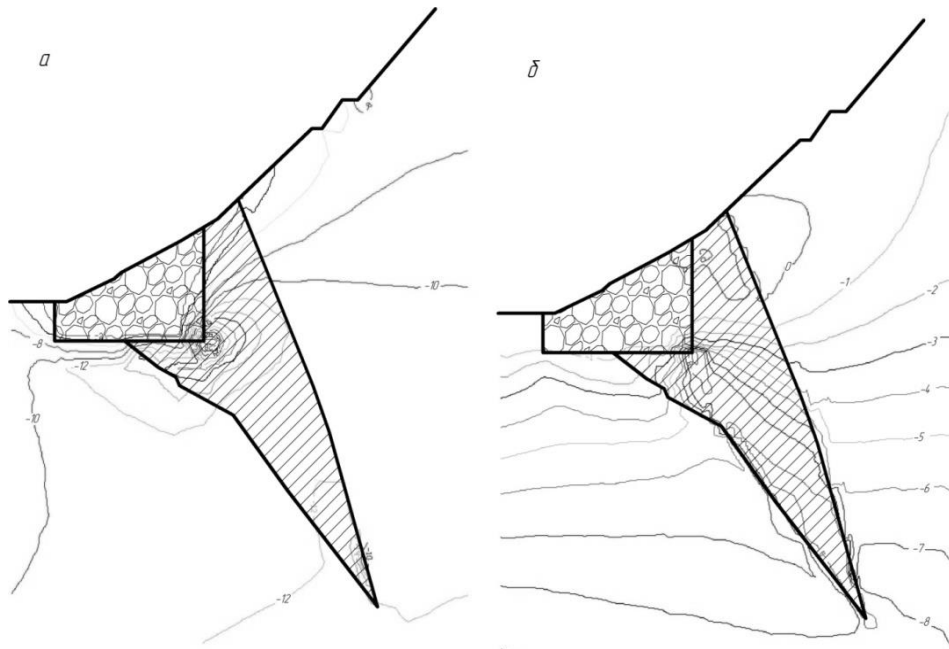


Рис. 3. Изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) при отработке камер гор. 509 м

Вблизи откосов происходит ослабление прочностных свойств пород и, как следствие, возникновение оползневых явлений. Положение максимального и минимального ослабления свойств пород приоткосного массива зависит от формы и размеров отдельных уступов, слагающих борт карьера.

Дальнейшее развитие фронта горных работ на подэтаже 529 м значительно изменяет напряженное состояние массива вышележащего подэтажа. Углубление горных работ приводит к росту напряжений до 50 МПа в области развития фронта вплоть до предела прочности пород (рис. 4,а), при этом характерно расширение зоны растягивающих напряжений на подэтаже 509 м (рис. 4,б). Однако напряженно-деформированное состояние массива не критично и характерно для массива, обрабатываемого системой разработки с обрушением (рис. 5) [6, 7].

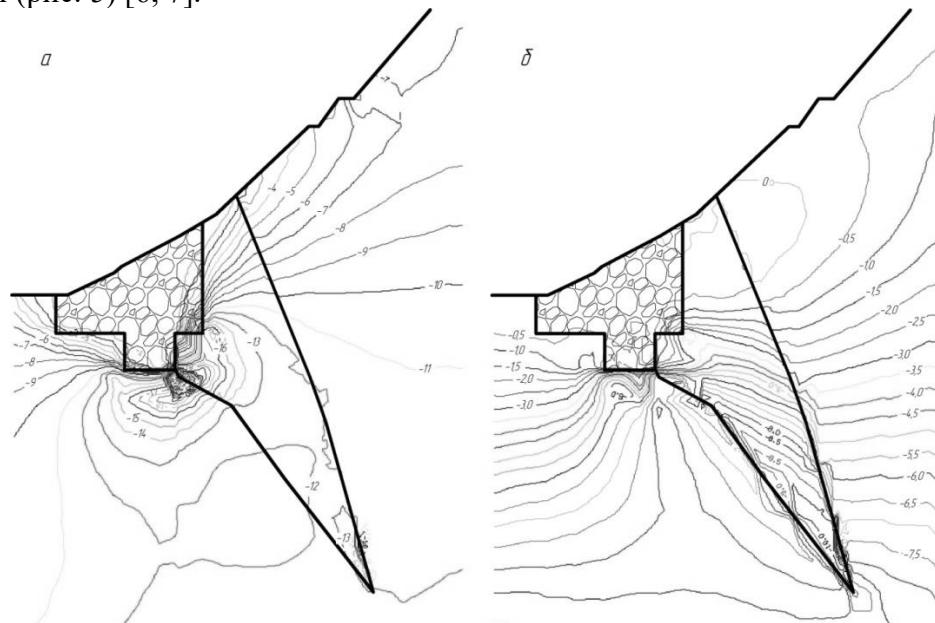


Рис. 4. Изолинии главных нормальных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) при отработке камер гор. 529 м

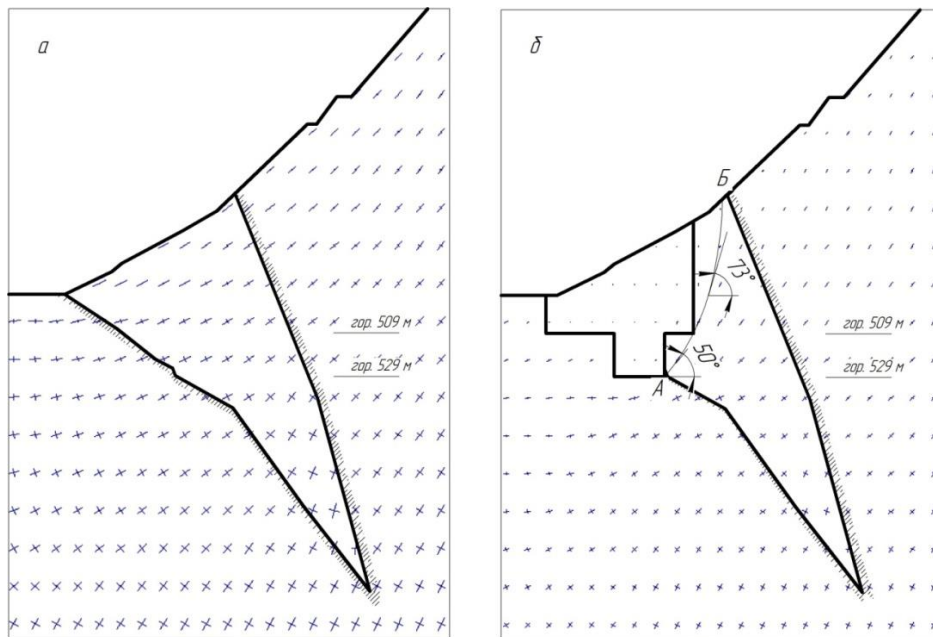
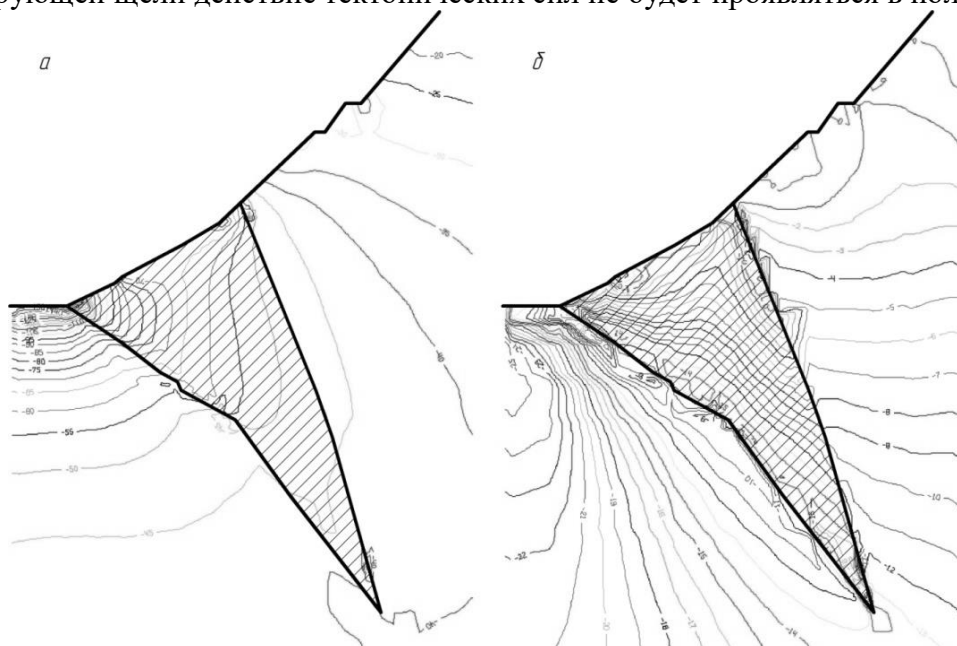


Рис. 5. Распределение главных напряжений в массиве

Область влияния открытых горных работ не превышает 40 м, в то время как взаимовлияние открытых и подземных работ достигает 80 м. Область влияния очистных работ на подэтаже 529 м можно ограничить линией А-В (рис. 5,а), при среднем наклоне - параболической кривой 65° .

Далее представлены изолинии главных нормальных напряжений с учетом тектонической составляющей напряжений (рис. 6-8).

Наложение тектонических сил на поле гравитационных значительно изменяет геомеханическую обстановку в прикарьерном массиве. В результате действия дополнительных горизонтальных сил возрастает численное значение главных напряжений и увеличение области влияния карьера. Однако ввиду наличия Восточно-Сибайского разлома как экранирующей щели действие тектонических сил не будет проявляться в полной мере.


 Рис. 6. Изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) в массиве пород, не тронутым подземными горными работами

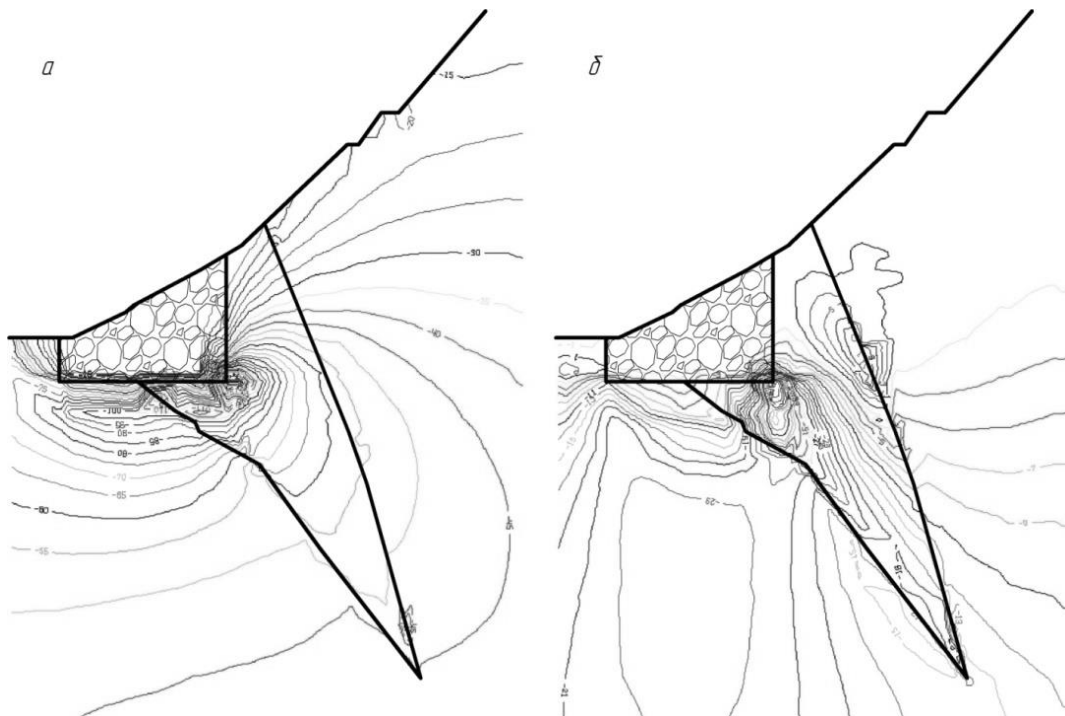


Рис. 7. Изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) в массиве пород при отработке камер гор. 509 м

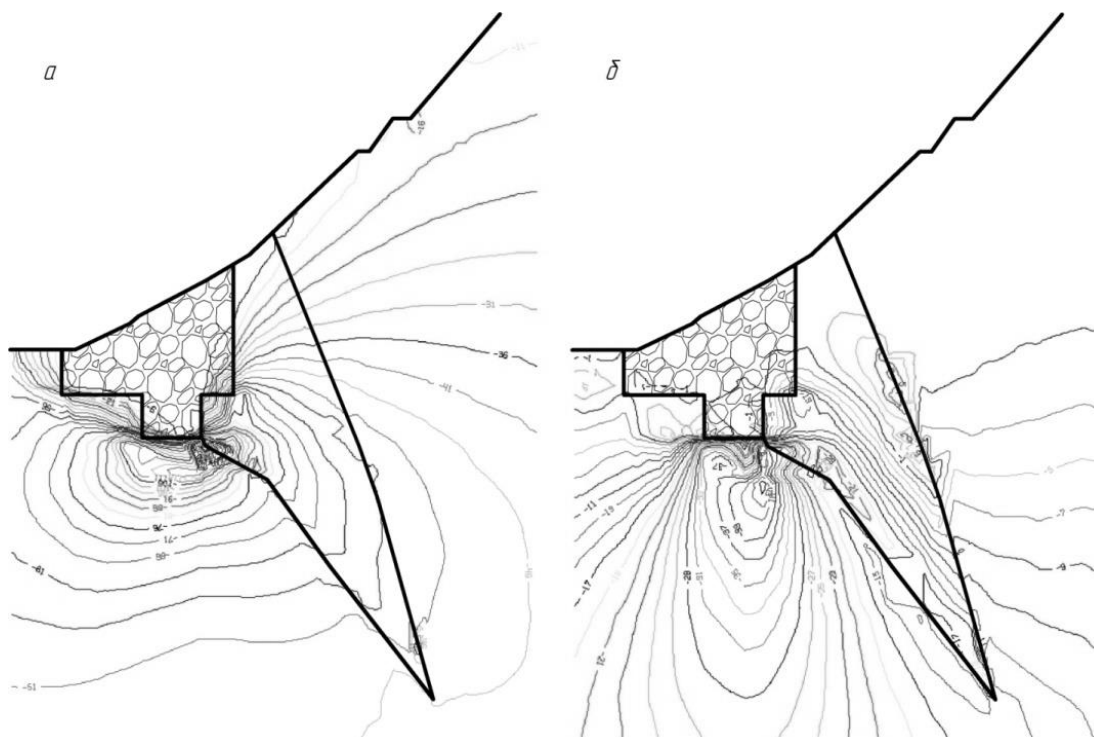


Рис. 8. Изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) в массиве пород при отработке камер гор. 529 м

Таким образом, исходным для подземной доработки залежи «Новый Сибай» является поле напряжений, сформировавшееся в прикарьерном массиве на момент завершения открытых горных работ. Получение сведений об уровне напряженности массива пород, поведении его при подработке в зоне влияния карьерной выемки осуществлялось с помощью математического моделирования методом конечных элементов.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива при отработке прибортовых запасов системой разработки подэтажного обрушения показала относительно благоприятные условия для развития процесса самообрушения руды вслед за очистными работами.

Область влияния карьерной выемки ниже подэтажа 509 м перестает проявляться в полной мере или отсутствует вовсе, поэтому зона сдвижения от отработки нижележащего подэтажа 529 м следует ограничивать углом сдвижения β , равным 65° .

Список литературы

1. Зубков А. В. Напряженное состояние земной коры Урала // Литосфера. 2002. № 3. С. 3-18.
2. Геомеханическая оценка влияния горных работ на устойчивое состояние поверхности и бортов карьера при комбинированной разработке Камаганского месторождения / Мажитов А.М., Корнеев С.А., Кравчук Т.С., Смяткин А.Н. // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб. науч. тр. по мат. II междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Е.А. Горбатовой. Магнитогоск: МДП, 2015. С. 148-155.
3. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: учебник для вузов. М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005.
4. Черный Г.И. Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. М.: Недра, 1980. 216 с.
5. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород. Ленинград: ВНИМИ, 1986.
6. Мажитов А.М., Голяк С.А. Перспективы применения системы разработки подэтажного обрушения в качестве альтернативы системам разработки с закладкой // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 48-53.
7. Мажитов А.М., Мещеряков Э.Ю. Оценка геомеханического состояния горного массива при отработке пологой залежи медноколчеданных руд с обрушением налегающих пород и площадно-торцевым выпуском руды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S27. С. 107-112.
8. Калмыков В.Н., Григорьев В.В., Волков П.В. Изыскание вариантов систем разработки для выемки прибортовых запасов при комбинированной геотехнологии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2010. № 1. С.17-22.
9. Калмыков В.Н., Мещеряков Э.Ю., Волков П.В. Обоснование параметров геотехнологического модуля «Очистные работы» при освоении запасов в приконтурных зонах карьеров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2011. № 4. С.5-8.
10. Калмыков В.Н., Волков П.В., Мещеряков Э.Ю. Разработка интегрированных технологических схем интенсивного освоения запасов приграничных зон карьеров // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр Земли: труды международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2009. Магнитогорск: МГТУ, 2011. С.31-33.
11. Калмыков В.Н., Волков П.В. О классификации открыто – подземных систем разработки // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр Земли: труды международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2009. Магнитогорск: МГТУ, 2011. С.58-66.

Сведения об авторах

Мажитов Артур Маратович, канд.техн.наук., доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: artur.mazhitov@yandex.ru.

Корнеев Сергей Александрович, канд.техн.наук., доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: korneev-1977@bk.ru.

Бондарь Егор Андреевич, [студент](#) кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: egor.bondar97@yandex.ru.

Шаронова Анастасия Александровна, [магистрант](#) кафедры логистики и управления транспортными системами, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: sharonova-nas@mal.ru.

УДК 622.882

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ, ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА «ВОСТОЧНЫЙ»

Пыталев И.А., Гапонова И.В., Якшина В.В., Карпова А.А.

Аннотация. В работе рассмотрена возможность обеспечения технического этапа рекультивации выработанного пространства карьера «Восточный» с использованием в качестве рекультиванта шлакового щебня. Обоснованы стадии рекультивации выработанного пространства карьера с учетом имеющегося транспортного доступа к горизонтам, обеспечивающих фронт работ при рекультивации. Проработаны способы повышения технологической и экономической эффективности технического этапа рекультивации за счет формирования на соответствующей стадии приемных емкостей для размещения промышленных отходов высокого класса опасности.

Ключевые слова: шлаковый щебень, рекультивация, полигон, отвалообразование, приемная емкость.

Введение

В результате интенсивного развития горнодобывающей промышленности в ряде регионов России сформировано значительное количество техногенных образований, таких, как отработанные карьеры, склады некондиционных руд, отвалы минерализованных пород, шлаков и отходов перерабатывающих производств. Накопление отходов горно-металлургического производства осуществляется непрерывно, при этом ежегодно утилизируется не более 20% образующихся отходов.

Сформированные карьеры и отвалы в процессе разработки месторождения представляют значительный интерес для промышленных предприятий в качестве емкостей для размещения их отходов. Горнодобывающее производство способно поставлять на рынок не только полезные ископаемые, но и сформированные в процессе ведения горных работ техногенные георесурсы.

На сегодняшний день карьеры и отвалы используются только для складирования отходов горно-перерабатывающего комплекса в соответствии с традиционной технологией внутреннего отвалообразования. Отсутствуют технологические схемы, позволяющие формировать горнотехнические сооружения и размещать в них промышленные отходы различного агрегатного состояния II-IV классов опасности [1]. Задача комплексного освоения и сохранения недр Земли может быть решена за счет формирования и использования карьеров и отвалов в качестве приемных емкостей для размещения различных промышленных отходов. Увеличение приемной способности горнотехнических сооружений и расширение номенклатуры размещаемых промышленных отходов может быть достигнуто в результате обоснования технологических схем их размещения, в которых учтены средства механизации работ, объемы и свойства как отходов, так и вскрышных пород. Реализация предлагаемого подхода позволит обеспечить выполнение работ в рамках технического этапа рекультивации.

Поэтому выбор и обоснование параметров технологических схем использования промышленных отходов при восстановлении земель, нарушенных горными работами, является актуальной научно-практической задачей.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Основные положения предлагаемого подхода базируются на имеющемся положительном опыте использования техногенных пространств для размещения в них отходов производства и материалов их переработки (табл. 1).

Таблица 1

Примеры использования выработанных пространств карьеров для размещения отходов собственного и стороннего производства

Название месторождения, месторасположение	Технические решения по использованию техногенных емкостей
Внутреннее отвалообразование	
Карьер «Объединенный», Верхнеуральский район, Челябинская область, Уральский ФО	Размещение вскрышных пород с использованием железнодорожного транспорта. Параметры карьера по добыче медно-цинковых руд: глубина до 180 м, размеры в плане 1500 × 800 м
Карьер «Центральный» Гайский район, Оренбургская область, Приволжский ФО	Восстановление ранее существовавшего рельефа заполнением выработанного пространства карьера шлаками металлургического производства
Карьер «Западный», г. Магнитогорск, Челябинская область, Уральский ФО	Завершен технический этап рекультивации первой очереди, включавший в себя заполнение отработанного пространства шлаковым щебнем, завоз потенциально плодородного слоя почвы толщиной 1,2 м и 20-сантиметровый слой растительного грунта
Карьер «Алексеевский», г. Орджоникидзе, Днепропетровская обл., Украина	Полигон для складирования и обезвреживания твердых бытовых отходов состоит из двух территориальных частей: участок складирования ТБО и участок размещения хозбытовых объектов. Производится послойная засыпка отходов грунтом, поступающим с карьерных разработок
Внешнее отвалообразование	
Центральное хранилище г. Ганновер, Германия	Отвал имеет высоту 60-120 м над естественной поверхностью и образует искусственный холмистый ландшафт с четырьмя вершинами площадью около 140 га
Размещение текущих хвостов обогатительных фабрик в выработанных карьерах	
Гайский ГОК, карьер №2, Оренбургская область, Приволжский ФО	Доставка флотохвостов с обогатительной фабрики до карьера осуществляется через закладочный комплекс, где обеспечивается консистенция Т:Ж=1:6,8 – 1:8. Отличительной особенностью данного карьера является наличие дренажного штрека, соединяющего карьер с подземным рудником и значительный столб избыточной воды над намываемой толщей хвостов при практически полном отсутствии рассеянной фильтрации через борта карьера

На основе положительного опыта ПАО «ММК» по восстановлению земель, нарушенных при разработке запасов месторождения «Западное», принято решение по выполнению технического этапа рекультивации на других отработанных карьерах, числящихся на балансе Рудника горно-обогатительного производства. Помимо карьера «Западный», к территориям, нарушенным горными работами и подлежащим рекультивации,

относятся: «Восточный», «Валунчатых руд», «Подотвальное». Следует отметить, что осуществляемый в настоящее время технический этап рекультивации выработанного пространства карьера «Западный» позволил выявить перспективность использования для данной цели металлургических шлаков.

В результате переплавки железорудного сырья в ПАО «ММК» ежегодно образуется до 5 млн т металлургических шлаков, которые складываются на земной поверхности в районе ККЦ. Кроме того, во 2 и 3 очереди шлаковых отвалов сегодня накоплено около 45 млн т шлаков. Складирование металлургических шлаков на поверхности земли по законодательству сопровождается значительными экологическими платежами. При этом содержание железа в шлаках составляет от 3 до 24% [2]. В результате их переработки комбинат частично обеспечивает свою потребность в металлургическом сырье, а также предоставляет на рынок дополнительную продукцию в виде шлакового щебня, песка, сырья для производства минеральной ваты и др. Однако процент реализации этой продукции не превышает 15%, в связи с чем, с одной стороны, возникает необходимость поиска мест для складирования продуктов переработки металлургических шлаков, с другой – имеется потребность в рекультивации отработанных карьеров и отвалов. Переработка как лежалых, так и текущих шлаков перед их использованием для рекультивации карьера позволит получить ПАО «ММК» дополнительное сырье, кроме того, снизить объемы отвалов шлаков на дневной поверхности и вернуть государству восстановленные земли, ранее нарушенные горными работами.

Выполнение технического этапа рекультивации карьера «Восточный» предусматривает доставку шлаков с использованием железнодорожного транспорта, с последующим их перемещение в карьере – автомобильным транспортом.

Восточная часть Магнитогорского месторождения отрабатывалась карьером «Восточный» с 1946 по 2006 год. Абсолютная отметка дна карьера, на момент окончания горных работ – 330,0 м. Глубина карьера от условной отметки 460 м, разделяющей глубинную и нагорную часть, составляет 130 м. На конец отработки длина карьера составила 2000 м; ширина – 950 м; глубина – 110 м. Общая площадь выработанного пространства – 172 га. Отметка зеркала воды в карьере на 07.06.2013г. - 362,71 м. Исходя из имеющихся условий, возможны два варианта реализации технического этапа рекультивации выработанного пространства карьера «Восточный» с использованием в качестве рекультивационного (закладочного) материала, продукта переработки металлургических шлаков – шлакового щебня

Вариант 1. Доставка шлакового щебня автомобильным транспортом из тупика №19 карьера «Западный» на южный борт карьера «Восточный», и разгрузка под откос с отметки 490 м или с юго-западного борта с отметки 440 м. При этом расстояние транспортирования шлакового щебня составит 3,5 км и 5,8 км соответственно.

Вариант 2. Доставка шлакового щебня до карьера «Восточный», рассмотрено применение железнодорожного транспорта. Причем предусматривается разгрузка думпкаров непосредственно в выработанное пространство карьера.

В результате проработки двух вариантов наиболее целесообразным с экономической точки зрения является второй вариант, так как стоимость перевозок шлакового щебня железнодорожным транспортом с учетом переукладки путей в два раза дешевле, нежели автомобильным транспортом. После завершения вспомогательных работ по формированию и планировке трасс железнодорожного полотна предусматривается начало рекультивации.

Технический этап рекультивации условно разделен на 4 стадии. В качестве условия их деления были приняты изменения направления фронта отвальных работ при рекультивации. Это необходимо для точного определения моментов укладки стрелочных переводов и направлений подачи железнодорожного состава. Первые две стадии обеспечивают засыпку шлаковым щебнем до технологического горизонта ранее выработанного карьера:

- первая стадия – засыпка выработанного пространства. Формирование горизонтальной площадки.

- вторая стадия – перенос путей в южном направлении ранее некультивируемого участка. На следующих двух стадиях предусматривается создание горизонтальной площадки с отм. 430 м в южной части карьера с целью формирования полигона для приема промышленных отходов;

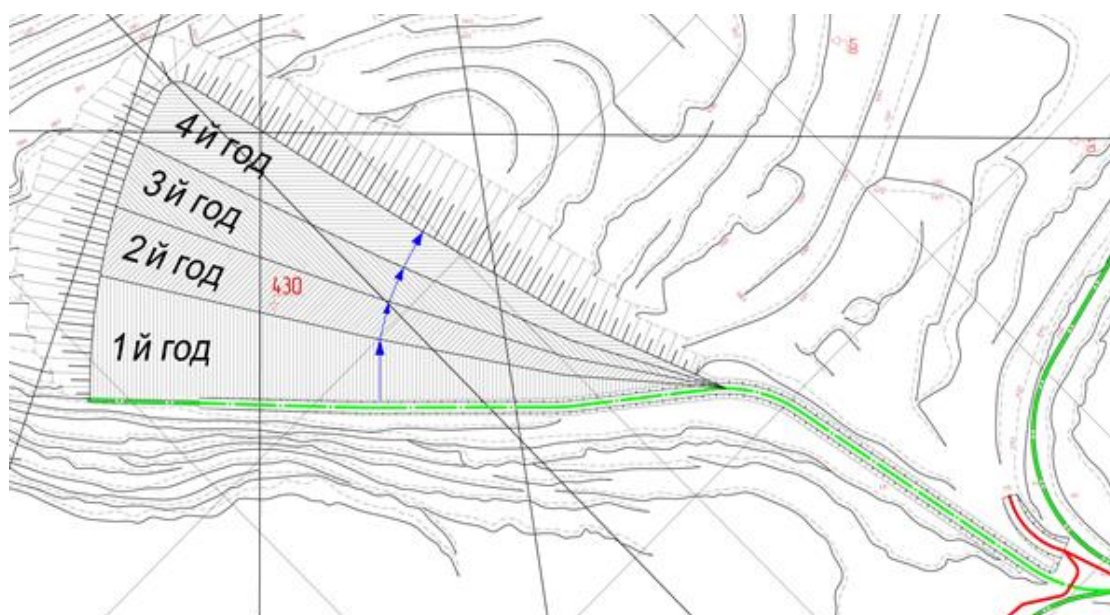
- третья стадия – засыпка рекультивируемого участка до отм. 430м. Перемещение фронта работ в северном направлении. При этом предусматривается формирование пяти карт, четыре из которых предназначены для размещения отходов III класса опасности, а одна – для отходов II класса опасности;

- четвертая стадия - увеличение приемной емкости выработанного пространства карьера «Восточный» и продления сроков приема шлаков в карьер. Предусматривается осуществление мероприятий по увеличению абсолютной отметки рекультивационного горизонта с 430 м до 445 м. Для этого на четвертом этапе будут производить разгрузку вагонов со шлаком с постоянного тупика при перемещении фронта работ в южном направлении.

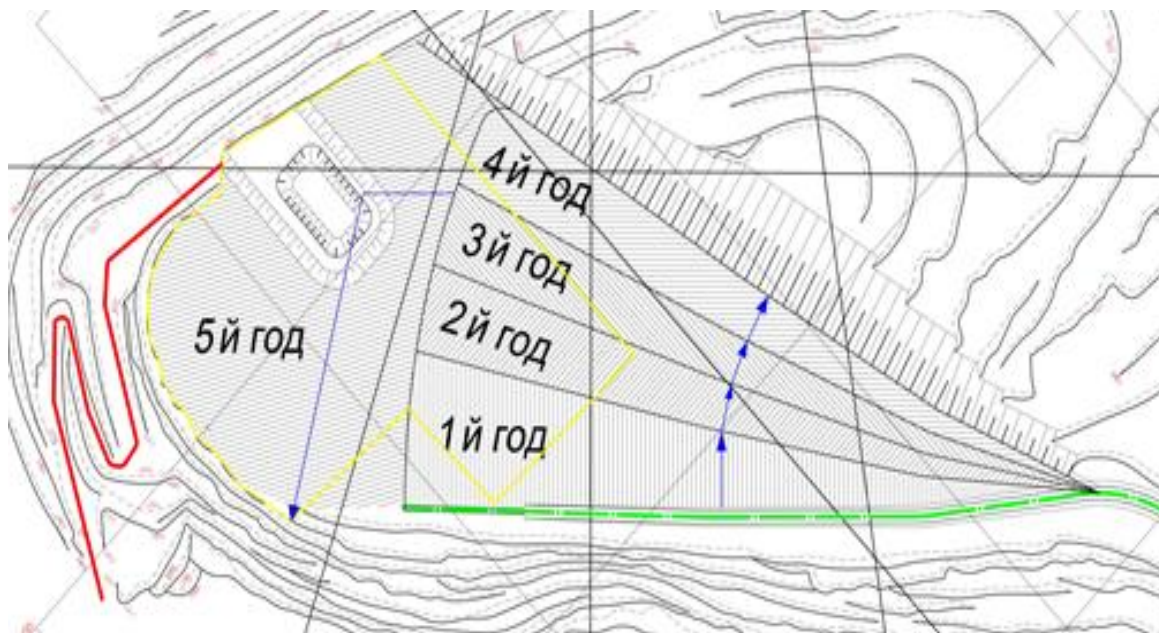
Таким образом, на первой стадии предусматривается засыпка выработанного пространства карьера с горизонта 430 м с продвижением фронта работ на запад. Продолжительность данного этапа оценивается в 4 года, с ежегодным продвижением фронта работ в северо-западном направлении. Таким образом, выгрузка шлакового щебня из вагонов предусматривается практически вдоль прямолинейного участка (рис. 1, а).

По завершению первой стадии рекультивации предусматривается перенос железнодорожного пути в южную часть ранее некультивируемого участка с целью организации там фронта работа и его передвижению в южном направлении.

На момент начала второй стадии работ, с целью повышения экономической эффективности технического этапа рекультивации выработанного пространства карьера «Восточный», предусмотрено строительство карт на рекультивированной площади полигона для размещения промышленных отходов II-IV класса опасности. Для реализации этой цели предусмотрено формирование в кратчайшие сроки горизонтальной поверхности с наличием транспортного доступа. Оптимальным местом для расположения полигона является южная часть карьера. Именно здесь предусматривается строительство карт для приема промышленных отходов. Поэтому по завершению второго этапа возможна эксплуатация карты с доступом через южный съезд или через северо-восточный съезд по рекультивированному горизонту 430 м (рис. 1, б).



а

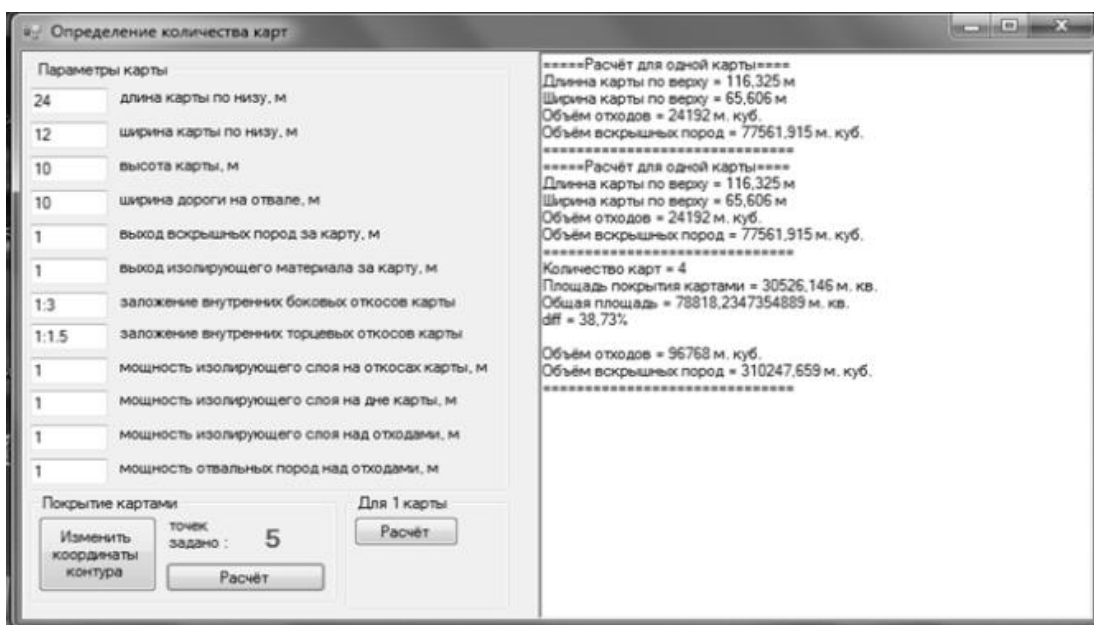


б

Рис 1. План карьера на конец первой (а) и второй (б) стадий рекультивации карьера

В соответствии со статистическими данными по металлургическим комбинатам с годовым объемом готовой продукции до 12 млн т в тот же период образуют отходы II-IV классов опасности в количестве до 26 тыс. м³. Данный объем был принят в качестве единичной емкости одной карты. Расчет параметров карт для размещения промышленных отходов производился в соответствии с методикой, в основе которой карта рассматривается как геометрическая фигура - усеченная пирамида, в связи с чем не учитывались объемы вскрышных пород вследствие скругления углов отвала [3].

С целью определения оптимального количества карт на ограниченной площади была разработана программа для ЭВМ «Расчет емкости полигона для размещения промышленных отходов II-IV класса опасности в выработанном пространстве карьера» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2013618403). Интерфейс программы и результаты моделирования представлен на рис. 2.



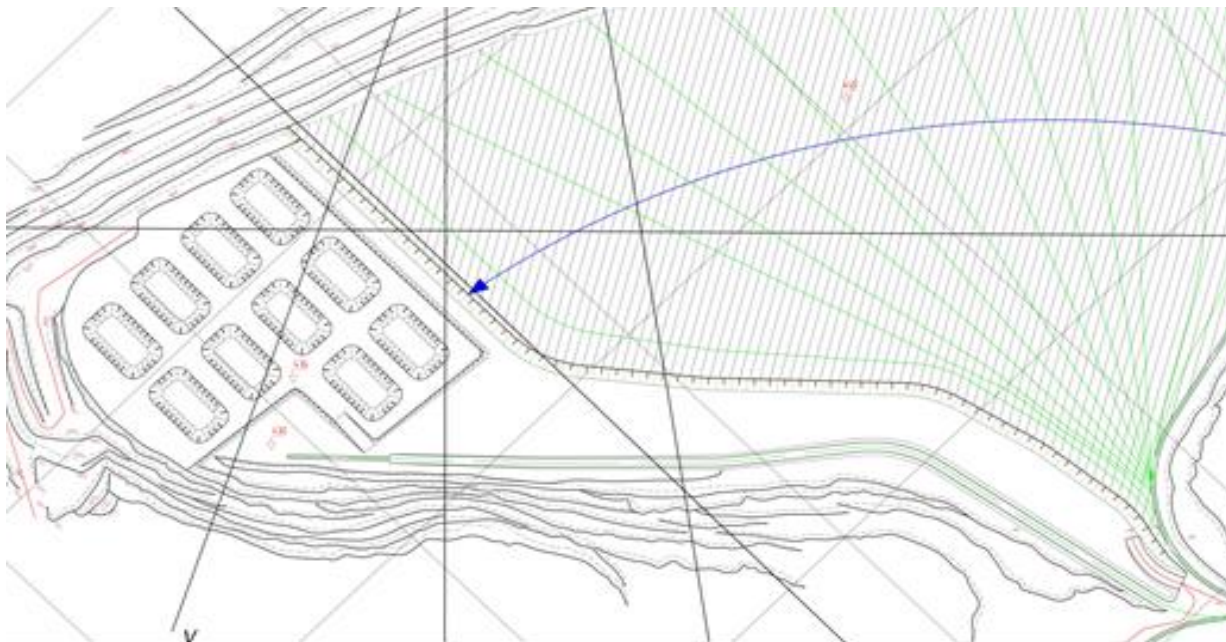


Рис. 2. Интерфейс программы расчета параметров карт для размещения промышленных отходов II-IV класса опасности

С целью уменьшения сроков ввода в эксплуатацию отдельных карт предусматривается первоначально обеспечивать выполнение площадного отвалообразования, а завершать формирование дамб периферийным отвалообразованием.

Данная технология позволяет отказаться от использования дополнительных дорогостоящих противofильтрационных материалов, однако при этом предъявляются определенные требования к инертным породам, в частности к коэффициенту фильтрации и технологии их укладки. В качестве инертных пород предусматривается использовать глину из отвалов месторождения «Подотвальное».

Таким образом, строительство полигона позволит уже на 5 год рекультивации карьера «Восточный» обеспечивать прием промышленных отходов II-IV класса опасности.

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 технологически свойствами.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе проведенных исследований по целенаправленному формированию и освоению техногенных емкостей для условий ряда карьеров Уральского федерального округа сделан вывод о том, что опережающее извлечение рыхлых вскрышных пород и селективное складирование на этапе строительства карьера позволяет использовать их при рекультивации для создания емкостей с целью размещения промышленных отходов II-IV классов опасности.

Для условий месторождения «Восточное» определена технико-технологическая целесообразность применения разработанных технологических схем размещения промышленных отходов II-IV классов опасности различного агрегатного состояния. Разработка рекомендаций по использованию соответствующей технологической схемы осуществлялась с учетом потребности ПАО «ММК» в размещении собственных промышленных отходов (табл. 2).

Таблица 2

Расчетный экономический эффект от внедрения рекомендаций на месторождении «Подотвальное» (в ценах 2016г.)

Тип технологической схемы	Параметры карт, м			Количество карт, шт.	Класс опасности промышленных отходов	Объем отходов, т	Экономический эффект, тыс. руб.
	A	B	h				
Емкостный	80	40	10	8	III	95200	73304
	80	40	10	8	IV	95200	69496
Периферийный	210	110	10	1	III	117500	85775
	210	110	10	1	IV	117500	65688

Таким образом, сочетание технологических схем размещения промышленных отходов, с учетом количественных и качественных характеристик выработанного пространства карьера, подлежащего рекультивации, обеспечивает повышение экономической эффективности горно-металлургического производства, сокращение экологической нагрузки в регионе и комплексное освоение участка недр Земли.

Заключение

В настоящее время в ПАО «ММК» имеется положительный опыт рекультивации карьера «Западный» с использованием нереализованного на рынке переработанного металлургического шлака в виде шлакового щебня, который размещается в выработанном пространстве, однако его емкость при проектном объеме утилизации шлаков, работы по рекультивации будут закончены через 2-3 года. В связи с этим обоснована возможность и целесообразность размещения шлакового щебня в выработанном пространстве карьера «Восточный» в рамках проведения технического этапа рекультивации земель, нарушенных горными работами.

Для повышения экономической эффективности проведения рекультивации рассмотрена возможность строительства приемных емкостей (карт) для размещения промышленных отходов II-IV классов опасности.

Таким образом, использование переработанных отходов металлургического производства при восстановлении земель, нарушенных горными работами, позволяет в кратчайшие сроки и с наиболее высокими количественно-качественными показателями обеспечить возврат государству территорий, подвергшихся воздействию открытых горных работ. При этом одновременно решаются задачи снижения объемов образования отходов как добывающего, так и перерабатывающего производств, чем обеспечивается снижение экологической нагрузки в регионе и повышение комплексного освоения участка недр Земли.

Список литературы

1. Козловский А.А., Хоменко Н.Н. Использование выработанного пространства карьера в качестве полигона для складирования промышленных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9. – С. 285-288.
2. Козловский А.А., Хоменко Н.Н. Использование выработанного пространства карьера в качестве полигона для складирования промышленных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9. – С. 285-288.
3. Пыталев И.А. Обоснование параметров карьеров и отвалов, формируемых в виде емкостей для размещения промышленных отходов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск: МГТУ им. Носова, 2008. – 167 с.

4. Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfirat M.K. Mine Reclamation and Restoration of Nature. // Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering. – Vol. 9(2), - 2007. P. 39-49.
5. Определение ценности техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Павлова Е.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2010. – № 2. – С. 5-8.
6. Бартоломей А.А., Брандл Х., Пономарев А.Б. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов: учеб. пособие. – М.: АВС, 2004. – 144 с.
7. Lange E., Legwaila I.A. Visual landscape research: overview and outlook. Chinese Landscape Architecture Journal 28. 2012. P. 11–14.
8. Israel A., Lange E., Cripps J. Quarry reclamation in England: a review of techniques. JASMR, 2015. Vol. 4, Issue 2.
9. Классификация карьерных выемок по возможности их использования для размещения промышленных отходов / Гавришев С.Е. и др. // Черные металлы. – 2011. – № 6. - С. 29–33.
10. Саматова Л.А., Шепета Е.Д. Инновационная технология переработки забалансовых руд и горной массы карьерных отвалов // Горный журнал. - 2013. - № 10. С. 53-56.
11. Опыт эксплуатации хвостового хозяйства горно-обогатительного производства ПАО «ММК» / Мельников И.Т., Суров А.И., Кутлубаев И.М., Мельников И.И., Манушин А.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2011. - № 2. - С. 10-15.

Сведения об авторах

Пыталев Иван Алексеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: vehicle@list.ru

Гапонова Илона Владимировна – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: gaponova.ilona@yandex.ru

Якшина Виктория Владимировна, - студент ГО-12 ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Карпова Анастасия Андреевна, студент ГД-14-3 ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

УДК 553.4:622.2

К ВОПРОСУ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

Кравчук И.Л., Кравчук Т.С.

Аннотация. Предложен подход к обоснованию экономической целесообразности проектирования разработки месторождений с разделением потоков природного и техногенного минерального сырья в зависимости от его физико-технических характеристик. В статье представлены основные принципы эколого-экономического обоснования комплексного освоения недр.

Ключевые слова: комплексное освоение недр, труднообогатимые медно-колчеданные руды, техногенное и природное минеральное сырье, экологические платежи, суммарный доход.

В результате более чем 100 - летней эксплуатации природных эколого-геологических систем - медно-колчеданных месторождений Урала сформировано большое число горнотехнических техногенных систем (ГТС) [1,2], уже не просто тесно связанных с сопутствующими природными биосистемами водного, лесного и сельскохозяйственного назначения, но оказывающих решающее влияние на их развитие или угнетение. Экстенсивное развитие и высокая концентрация горнотехнических систем на Южном Урале привели к тому, что все крупные промышленные города входят в список экологически неблагоприятных, а среда обитания характеризуется как опасная для жизни человека.

Оценкой комплексности освоения недр, проведением экологического мониторинга ГТС и разработкой геотехнологий, позволяющих снижать антропогенную нагрузку на среду обитания человека, содействовать достижению устойчивого развития общества призвана заниматься лаборатория экологически сбалансированного освоения и сохранения недр, созданная в ИПКОН РАН при поддержке гранта Российского научного фонда [3,4]. Основным направлением при создании экологически сбалансированного цикла освоения недр является выявление «узких мест» в технологиях добычи и переработки минерального сырья, следствием которых являются опасные и вредные производственные факторы. Их устранение позволит сбалансировать экосистему в районе действия горных предприятий.

В настоящее время только комбинированная разработка, предусматривающая расширение организационно-производственной структуры на основе рационального сочетания физико-технических и физико-химических геотехнологий и утилизации конечных отходов в выработанном пространстве недр способна обеспечить экологически сбалансированный цикл освоения недр, основанный на «биогенных принципах» [6-8].

В основу выбора принципов эколого-экономического обоснования экологически сбалансированного комплексного освоения медно-колчеданных месторождений положена дифференциация минерально-сырьевых потоков, формирующихся при добыче и переработке руд и сопутствующего техногенного сырья [8].

Первичные минерально-сырьевые потоки - это потоки, которые определяют производственную мощность горно-обогатительного предприятия по товарной продукции. Формируются потоки из минеральных веществ разного структурного и агрегатного состояния - этими веществами являются руда и продуктивные растворы. Качественный состав первичных минерально-сырьевых потоков (объем, содержание ценных и вредных компонентов, минеральный и гранулярный состав руд и минералов) формируется из технических условий их последующей переработки. Перемешивание разных типов руд нецелесообразно в связи с потерями металла при недостаточном раскрытии сростков в массивных рудах.

При разработке месторождений, характеризующихся неравномерной геологической изменчивостью качества руд, целесообразно выделять потоки минерального сырья с разной степенью обогатимости и различным содержанием вредных примесей. При этом раздельная выемка и переработка руд с различным содержанием ценных компонентов позволяет существенно повысить качество поступающего на переработку сырья и соответственно показатели извлечения.

Вторичные минерально-сырьевые потоки - это результат добычи и переработки первичных минерально-сырьевых потоков. К ним отнесены карьерные, шахтные и подотвальные воды, рудничные воды и стоки хвостохранилищ; вскрышные и отвальные породы; некондиционная рудная масса и бедные руды, складированные в отвалы; пиритный концентрат; отходы сепарации; хвосты обогащения; закладочная смесь. Качественный состав вторичных потоков минерального сырья определяется эффективностью применяемых технологий добычи и обогащения [7].

Экологический мониторинг и последующий факторный анализ подсистемы формирования вторичных минеральных потоков показал, что наибольшее влияние на гидрогеологическое состояние среды в ареале влияния ГТС транспортирования, складирования и хранения хвостов обогащения руд в виде пульпы, а также подсистемы отделения и осветления отстоявших в хвостохранилищах вод для оборота внутри горнотехнических систем, а также очистки и сброса на природный ландшафт излишка технологических вод из хвостохранилищ.

Применение принципа экологизации технологий добычи и переработки минерального сырья при проектировании и создании экологически сбалансированных горнотехнических систем позволит организовать горное производство в виде геохимически замкнутой природно-производственной системы [7].

В сложившейся в настоящее время экологической обстановке Уральского региона актуальным становится не просто проектирование, а геоэкологическое проектирование горнотехнических систем.

Геоэкологическое проектирование – это особый вид (но широко распространенный) экологического проектирования. Проектирование различных геотехнических систем – объектов физико-географической размерности в рамках ландшафтной сферы Земли – составляет сущность геоэкологического проектирования. В настоящее время целесообразнее говорить о геоэкологических принципах проектирования [8]. Геоэкологические принципы проектирования – это указания, ориентирующие проектные институты, фирмы, проектировщика на действия, призванные обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов, сохранение среды обитания человека.

Сохранять надо ландшафт как функционально целостное образование, а не только его отдельные компоненты (воды, воздух, почвы, растения и т.д.). Ландшафт, благодаря системной природе, обладает многими свойствами, способными удовлетворять различные потребности общества.

Авторами [8] выделены следующие общие принципы охраны природы, взаимосвязанные между собой:

1. Охрана природы – общественно необходимая деятельность. Следует понимать, что затраты государства на охрану природы не менее важны, чем другие экономические и социальные общественно необходимые затраты (на культуру, спорт, образование, здравоохранение и т.д.). Деятельность по охране природы преследует как социальные цели, так и хозяйственные (сохранение механизмов воспроизводства природных ресурсов), что создает надежные предпосылки устойчивого развития государства.

2. Приоритет экологической безопасности населения. Вытекает из первого принципа. Качество окружающей природной среды, сохранение (преумножение) ее ресурсного потенциала определяют долголетие, физическое и психическое здоровье населения и возможности передачи этих качеств потомству, а следовательно, создают предпосылки к устойчивому развитию.

3. Принцип историчности. Организация природоохранной деятельности и реализация природоохранной политики требуют знания естественной истории природных объектов.

4. Принцип системности. Системность природных объектов требует рассмотрения каждой природоохранной проблемы как части более общей.

5. Охрана природы должна производиться в процессе ее использования. Природу можно и должно сохранять не только путем консервации – исключения из активного хозяйственного использования, а постоянно, при любых видах деятельности человека.

6. Принцип ограничения. Функционирование природных ландшафтов не может выходить за пределы термодинамических, геохимических, тектонических и других условий, которые характеризуются естественной пространственной и временной изменчивостью.

7. Принцип оптимизации. Охрана окружающей среды человека и рациональное использование природных ресурсов – задача оптимизационная. Цель принципа: относительно полное удовлетворение потребностей общества при минимальных негативных последствиях воздействия человека на природу.

8. Принцип превентивности природоохранных мероприятий – «лучше предупредить, чем лечить». Его сущность заключается в том, что меры по предупреждению негативных последствий обычно обходятся дешевле, чем ликвидация прямых и косвенных последствий экологических аварий и катастроф, которые обусловлены непринятием профилактических мер.

9. Принцип комплексности. Геоэкологическое проектирование – это проектирование пространственно-временной природно-технической системы, включение объекта, технологии или инженерного сооружения, технической системы в природу.

10. Принципы управления. В проект должен быть введен блок управления, включающий подсистему контролирования (мониторинга) и регулирования.

В основе эколого-экономического обоснования комплексного освоения труднообогатимых медно-колчеданных руд и сопутствующего техногенного сырья лежат принципы оптимизации и превентивности природоохранных мероприятий.

Заложение разделения потоков минерального сырья в зависимости от его качества и физико-технических характеристик при проектировании горнотехнических систем позволит предупредить негативные последствия эксплуатации недр Земли.

В настоящее время горные предприятия идут неохотно на затраты, связанные с заблаговременным разделением первичных и вторичных потоков минерального сырья в зависимости от их физико-технических характеристик, а также затрат, связанных с раздельным складированием будущего сырья на поверхности и его утилизации.

Поэтому основной задачей является доказательство экономической выгоды разделения потоков первичного и вторичного минерального сырья на всех стадиях освоения месторождения и его переработки и необходимости заложения принципа экологизации технологий добычи и переработки минерального сырья еще при проектировании горных объектов.

Предлагается новый подход к эколого-экономическому обоснованию комплексного освоения месторождений труднообогатимых медно-колчеданных руд и сопутствующего техногенного сырья, основанный на сравнении затрат и экологических платежей при разработке месторождений традиционными способами разработки с затратами и экологическими платежами при разделении потоков минерального сырья и использовании комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий, а также утилизации отходов горнопромышленного производства в выработанном пространстве недр (рис. 1).

В первом случае совокупные затраты на разработку месторождения будут иметь меньшее значение, чем при комплексном освоении того же месторождения, однако экологические платежи во втором случае будут значительно снижены, за счет уменьшения количества отходов на поверхности и объемов сбросов сточных вод, а также сокращения земель, занятых под склады некондиционного сырья.

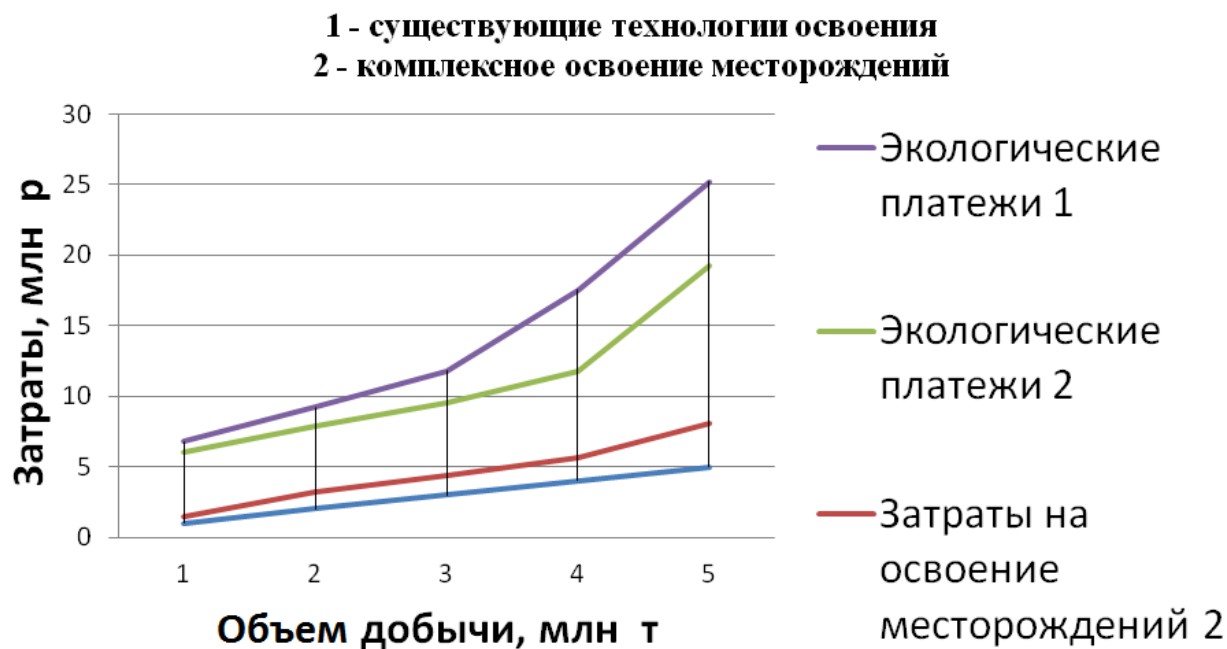


Рис. 1. Зависимости затрат на разработку месторождений и экологических платежей от объемов добытой руды

На следующей стадии эколого-экономического обоснования предлагается определить совокупных доход от освоения месторождения традиционными способами добычи и при комплексном освоении недр.

Совокупный доход во втором случае для предприятия будет больше не только за счет снижения экологических платежей, но и дополнительных объемов добытых ценных компонентов физико-техническими и физико-химическими геотехнологиями, применения попутного сырья для строительной промышленности и сокращения выплат за землю для складирования отходов, которые можно разместить в выработанном пространстве недр (рис. 2).

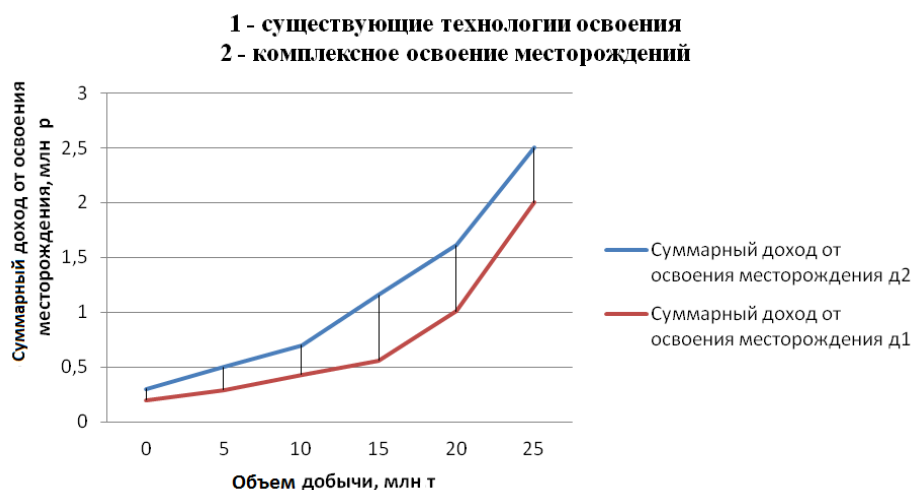


Рис. 2. Зависимости суммарного дохода освоения месторождения от объемов добытого сырья

С целью эколого-экономического обоснования комплексного освоения месторождений медно-колчеданных месторождений, содержащих комплексные руды, необходимым является изучение зависимости размеров экологических платежей от следующих параметров горнотехнической системы: объем добычи руды (млн т), содержание полезных компонентов в руде (%), объем пустых пород и поверхности (млн м³), объем твердых отходов (млн м³), объем жидких отходов (млн м³), объем некондиционных руд на поверхности (млн м³), объем притоков воды в горные выработки (м³) и объем сбрасываемых сточных вод с земельного отвода (м³).

Для снижения негативного воздействия разработки месторождений полиметаллических руд на окружающую среду предполагается на стадии проектирования выполнять эколого-экономическое обоснование комплексного освоения месторождений, что позволит сбалансировать экосистему в районе действия горных предприятий и повысить суммарный доход от освоения месторождений.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Комплексный подход к проектированию разработки и эксплуатации месторождений – основа экологически сбалансированного освоения и сохранения недр // II Горнопромышленный форум стран СНГ по устойчивому развитию: тез. докл. и выступлений (под ред. чл. — корр. НАН РК С.Ж, Галиева). Астана, 2014. С. 4-7.
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Условия устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России // Условия устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 10. С. 3-11.
3. Трубецкой К. Е. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // ГИАБ. 2014. № 12. С. 3–10.
4. Рыльникова М.В., Емельяненко Е.А. Предпосылки перехода к экологически сбалансированному освоению медноколчеданных месторождений // Горный журнал. 2015. № 11. С. 36-41.
5. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003. 216 с.
6. Емлин Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. 256 с.
7. Горбатова Е.А., Емельяненко Е.А., Зарецкий М.В. Система поддержки принятия решений для проектирования технологии комплексного освоения колчеданных месторождений // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС — 2016) : науч. электрон. изд. (1 файл 8,9 Мб) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 224-226. 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
8. Дьяконов К.П., Дончева Л.В. Экологическое проектирование и экспертиза: учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2005. 384 с.

Сведения об авторах

И.Л. Кравчук, д-р. техн. наук, директор Челябинского филиала Института горного дела Уральского отделения РАН, Российская Федерация, Россия. E-mail: kravchuk65@mail.ru.

Т.С. Кравчук, канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Россия. E-mail: kravchukts@susu.ac.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ

Шавакулева О.П., Дегодя Е.Ю.

Аннотация. В статье представлены материалы по созданию единой классификации технологических свойств руд, позволяющей сделать прогноз обогатимости минерального комплекса определенного типа руд. В работе приведен пример работы с классификатором технологических свойств на титаномагнетитовой руде Копанского месторождения.

Ключевые слова: химический состав, минеральный состав, технологические свойства, титаномагнетитовая руда, обогащение.

Необходимой информацией для принятия решений, связанных с технологией обогащения, являются сведения о технологических свойствах руд. На их основе выбираются схемы и аппараты для подготовки руды к переработке, схемы и аппараты для обогащения, а также устройство складов, бункеров и хвостохранилищ.

Перечень возможных технологических свойств достаточно велик. Для каждой руды определяются только те свойства, которые необходимы для дальнейших оценок. В работе предлагается классификация технологических свойств руды (рис. 1), которая может быть применима для различных типов руд.

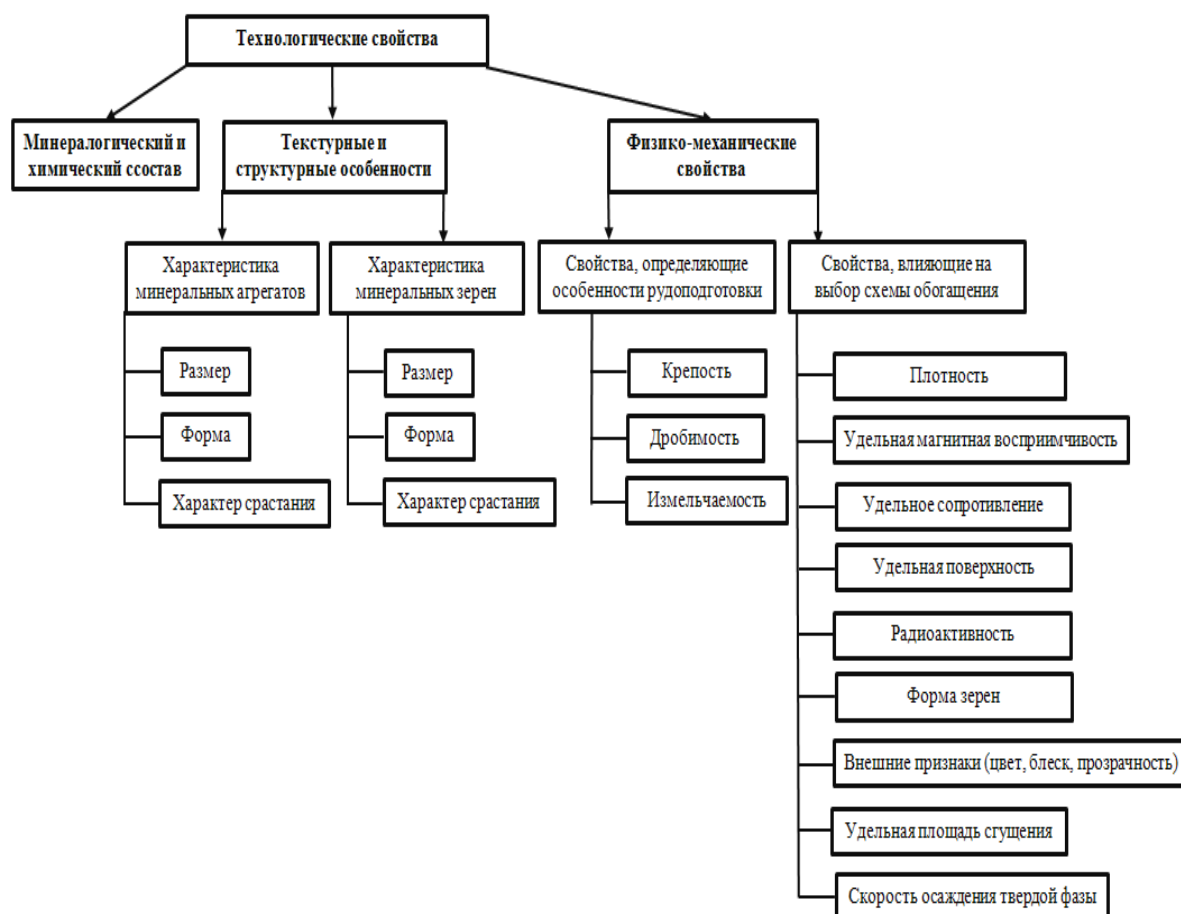


Рис. 1. Классификация технологических свойств

Пользуясь предлагаемой классификацией, были определены технологические свойства руд Копанского месторождения.

Руды Копанского месторождения в зависимости от количества рудообразующих минералов делятся на сплошные и вкрапленные титаномагнетитовые руды.

Сплошные титаномагнетитовые руды представляют собой массивную плотную породу от темно-серого до черного цвета, мелкозернистого или среднезернистого строения, почти полностью сложенную магнетитом и ильменитом. Включения нерудных минералов составляют до 25% и представлены, в основном, зернами плагиоклаза, в меньшем количестве роговой обманки и хлорита. Характерной отличительной чертой для сплошных титаномагнетитовых руд являются резкие, четкие контакты с вмещающими породами.

Сплошные руды на Копанском месторождении составляют 32,8% от общих учтенных балансовых запасов.

Вкрапленные руды представляют собой амфиболиты и габбро с переменным количеством рудных минералов, заполняющих промежутки между зернами ранее выкристаллизовавшихся силикатов, цементируя их. Иногда рудные минералы образуют скопления в виде неправильной формы гнезд и прожилков.

Количество рудных минералов в пробах колеблется от 15-20 до 60-70%.

Вкрапленные руды в зависимости от массовой доли в них железа и диоксида титана условно делятся на богатые и бедные. К богатым вкрапленным рудам отнесены руды с массовой долей железа выше 30%, а к бедным – вкрапленные руды с массовой долей железа от 20 до 30%.

Рудные минералы сплошных руд представлены магнетитом, гематитом, ильменитом, рутилом и незначительным количеством гидроксидов железа. Встречаются пирит, халькопирит и пирротин.

Из нерудных минералов в составе рудных залежей имеются плагиоклазы, роговая обманка, пироксен, хлорит, биотит, эпидот, цоизит, соссюрит и апатит.

Магнетит является наиболее распространенным минералом в составе как сплошных, так и вкрапленных руд. Массовая доля его обычно бывает от 15-20 до 70-90%. Размеры зерен магнетита колеблются в широких пределах от 0,05-0,08 до 1,5-2,0 мм. Преобладающее количество выделений магнетита наблюдается в виде сросшихся неправильных зерен с зазубренными краями.

Химический анализ (табл. 1) показал значительное содержание двуоксида титана в пределах 10-11%.

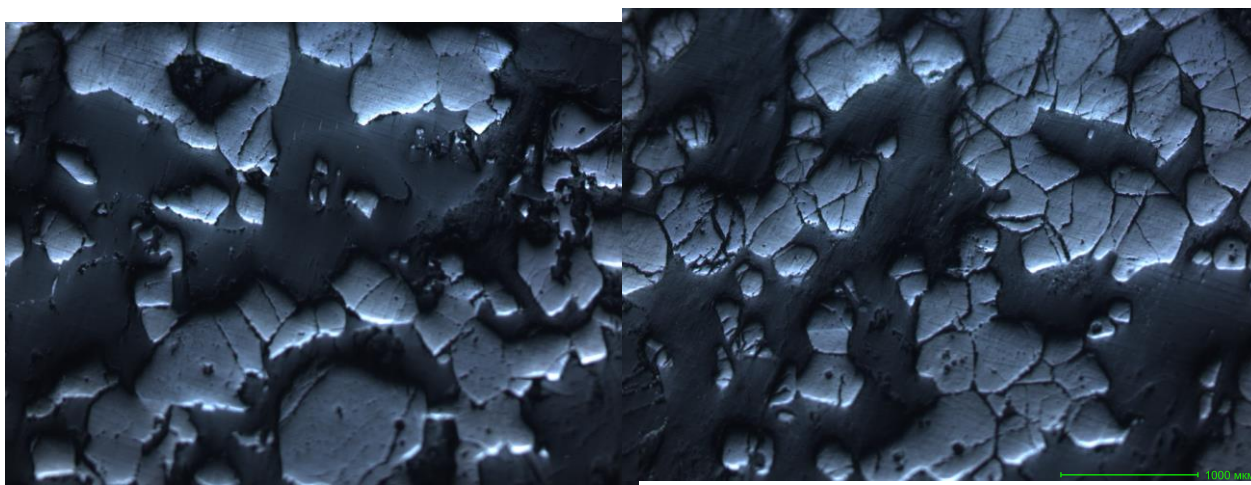
Таблица 1

Химический анализ исходной титаномагнетитовой руды Копанского месторождения

Элемент или соединение	Fe	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	V ₂ O ₅	S
Массовая доля, %	23,3	10,4	32,0	13,7	6,6	4,4	0,03	0,46	0,43

Изучения текстурных и структурных особенностей руд (рис. 2) проводились на анализаторе Siams Photolab, который включает технологии цифровой микроскопии и анализ изображений.

Микроскопический анализ показал, что зерна магнетита чередуются с зернами ильменита, имеющего те же формы и размеры. Это свидетельствует об одновременной кристаллизации магнетита и ильменита в момент остывания рудного расплава. В большей мере зерна магнетита пронизаны точечными и пластинчатыми включениями ильменита, которые устанавливаются при больших увеличениях. В большинстве своих выделений магнетит пронизан нерудными вкраплениями, размеры которых колеблются от долей микрона до 0,1 мм, изредка достигая 0,4-0,6 мм.



100 мкм

Рис. 2. Структура руды Копанского месторождения

К нерудным выделениям в магнетите и нерудным участкам приурочены выделения пирротина, халькопирита и пирита.

Ильменит по степени распространения является вторым рудообразующим минералом. Массовая доля его в рудах колеблется от 10 до 30%, в среднем составляет 15-20% от рудной массы, иногда снижается до 7-8%. Ильменит относится к группе гематитов со структурой корундового типа в ромбоэдрической ячейке. Пространственное распределение атомов кислорода соответствует гексагональной плотнейшей упаковке, слою которой параллельны. Катионы различных типов могут быть представлены парами Fe-Ti, Mg-Ti или Mn-Ti. Катионы данных типов находятся в октаэдрической координации по отношению к кислороду [105]. Кристаллы толстотаблитчатые с гексагональными призмами и одним или несколькими ромбоэдрами.

Минералогический анализ показал, что форма выделений ильменита, как и их размеры, довольно разнообразна. Среди них можно выделить:

- крупные участки и их скопления до нескольких миллиметров среди магнетита;
- зерна и отдельные агрегаты различной величины размером от 0,08-0,3 до 0,3-0,6 мм, расположенные преимущественно по межзерновым промежуткам в магнетите и образующие с ним взаимные прорастания;
- точечные зерна, пластинчатые включения и каплевидные выделения в магнетите, а иногда в крупных зернах. Такой ильменит довольно густо и часто прорастает в магнетит, зачастую по различным направлениям по спайности последнего, создавая при этом решетчатые структуры. Выделения такого рода ильменита настолько тонки, что улавливаются с большим трудом даже при больших увеличениях.

Средняя массовая доля свободного ильменита в Копанских рудах составляет 5,1%, при колебаниях от 0 до 11%, то есть на долю свободного ильменита, способного извлекаться при обогащении, приходится не более 20-25% от общей массовой доли титана в руде.

Таким образом, тесная парагенетическая связь железа, титана и ванадия, являющихся полезными элементами в руде, скажется на физических, физикохимических и физикомеханических свойствах титаномагнетитовой руды Копанского месторождения.

В работе изучены необходимые физико-механические свойства титаномагнетитовых руд. Все исследованные физико-механические свойства руды сведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства руды Копанского месторождения

Наименование показателей	Значение показателя
Крепость по М.М.Протодяконову	10±1,5
Плотность	3950 кг/м ³
Удельная поверхность	1,98 м ² /кг
Индекс чистой работы дробления	8,63 $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}} \cdot \text{МКМ}^{0,5}$
Индекс Бонда	23±1,5 кВт·ч/т
Коэффициент измельчаемости (по сравнению с кварцем)	1,224
Скорость осаждения твердой фазы	3,24 м/ч
Удельная площадь сгущения	0,59 м ² ·ч/т

Примечание. Коэффициент измельчаемости при содержании в измельченном продукте класса -0,071 мм, определялся в сравнении с кварцем.

Изученные технологические свойства руды Копанского месторождения положат основу в выборе процессов обогащения, в том числе рудоподготовки, и позволят определить особенности процессов измельчения и магнитной сепарации.

Настоящая работа позволяет сделать вывод о важности определения технологических свойств руды для технологического прогноза обогатимости минерального комплекса определенного типа.

Список литературы

1. Барский Л.А., Данильченко Л.М. Обогащаемость минеральных комплексов. М.: Недра, 1977. 240 с.
2. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 5-7.
3. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Обогащаемость различных типов титаномагнетитовых руд // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011): материалы междунар. совещ. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2011. С. 529-531.
4. Шавакулева О.П., Чернов Д.В. Изучение физико-механических свойств титаномагнетитовых руд // Актуальные проблемы современной наук, техники и образования: материалы 70-й медрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. Т.1 С. 48-51.
5. Шавакулева О.П. Обогащение титаномагнетитовых руд // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2012. С. 39-41.
6. Ясковский П.П. Технологические свойства руд при оценке месторождений. М.: МГГА, 2001. 54 с.

Сведения об авторах

Дегодя Елена Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Шавакулева Ольга Петровна - канд. техн. наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ И ЦИНКА ИЗ ПОДОТВАЛЬНЫХ ВОД ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ОСАДКИ

Тарыбаева Г.А., Орехова Н.Н.

Аннотация. Кислые подотвальные воды горных предприятий, добывающих медные и медно-цинковые колчеданные руды, имеют высокие концентрации металлов и рассматриваются нами как сырье для селективного извлечения металлов в осадки, сопоставимые по качеству с концентратами обогащения руд и пригодные для дальнейшей металлургической переработки. В эксперименте реализовали три двухстадиальные схемы для последовательного извлечения меди и цинка: цементация - сульфидное осаждение, гальванокоагуляция - сульфидное осаждение и осаждение – осаждение. Описаны параметры процессов, качество полученных осадков. Достигнутое извлечение меди при использовании цементации и гальванокоагуляции составило соответственно 89 и 94%, в сульфидный осадок превысило 75%, а из обезмеженной воды в осадки составило более 65%. Цинксодержащие осадки из-за соосаждения железа, магния и кальция содержат от 14 до 28% цинка, что в два - три раза меньше, чем качество кондиционных цинковых концентратов. Состав осадков позволяет использовать их для подшихтовки к концентратам обогащения или для получения металлов в металлургическом переделе. В результате изучения влияния на массовую долю цинка в осадке (β) снижения общего солесодержания (S) при постоянной концентрации цинка (C_{Zn}), изменения концентрации цинка при постоянном солесодержании и снижения общего солесодержания (S) при постоянном соотношении S/C_{Zn} получены следующие зависимости: $(\partial\beta/\partial C_{Zn})_S > 0$, $(\partial\beta/\partial S)_{C_{Zn}} < 0$, в диапазоне солесодержания S от 4,5 до 90,0 г / л $(\partial\beta/\partial S)_{C_{ZnS}} < 0$, где $(\partial x/\partial y)_z$ представляет собой частную производную x по y , в то время как значение z фиксировано.

Ключевые слова: извлечение из растворов, медь, цинк, осадки, массовая доля, цементация, гальванокоагуляция, осаждение.

Введение

На горных предприятиях, добывающих и перерабатывающих медные и медно-цинковые колчеданные руды, со временем происходит закисление шахтных и подотвальных вод с повышением концентрации металлов. Главный фактор формирования ионного состава вод – это скорость окисления сульфидов, наиболее подвижными из которых являются минералы меди цинка и железа [1]. В подотвальных водах Шемурского медного и Тарньерского медноцинкового колчеданных месторождений концентрации халькофильных элементов достигают нескольких граммов в литре (табл. 1), что характерно для нестационарного периода окисления сульфидов.

Эти воды вместе с карьерным водоотливом направляются на очистные сооружения. Очистку проводят реагентным осаждением с использованием извести и сульфида натрия. Получаемые осадки имеют низкое содержание меди (до 2%) и цинка (до 7%) и не могут быть использованы в пирометаллургическом переделе.

Актуальным является вовлечения таких вод в ресурсосберегающую переработку с извлечением меди и цинка в селективные продукты.

Для осаждения меди из многокомпонентных растворов чаще всего применяют электрохимические методы, такие как электролиз [2,3] с использованием углерода в качестве катода, цементацию [4-6] и их производное - гальванокоагуляцию [7]. Извлечение меди этими способами достигает 92 - 99 %. Для селективного выделения меди и цинка из кислых дренажных вод предлагается использовать гидролитическое [8] и сульфидное [9] осаждение при контролируемом рН. В большинстве работ [2-4,7-9] основным контролируемым

выходным параметром является остаточная концентрация загрязняющего компонента в воде, и недостаточно внимания уделяется массовой доле металла в осадках и их фазовому составу.

Таблица 1.

Характеристика подотвальных вод за 2012-13 годы

Месторождение	Средний расход, м ³ /ч	Содержание, мг/дм ³				pH
		Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	
Тарньерское	6,0	402,5-2082,0	2156,3-8680,0	4075,0-9334,0	1652,1 - 2952,1	2,2-2,9
Шемурское	0,5	626,4-2940,0	43,1-300,0	3126,0-16512,0	358,6-958,6	1,9-2,4

В последнее время разработаны схемы извлечения меди и цинка из вод с использованием методов гидролитического осаждения [10], сульфидного осаждения [11], цементации [6,12] и ионной флотации [13].

В соответствии с имеющейся практикой очистки кислых подотвальных вод [14] и теоретическими исследованиями в области извлечения меди и цинка из кислых сульфатных вод горных предприятий [2-13] для извлечения меди из потоков выбраны известные методы гальванокоагуляции, цементации и сульфидного осаждения. Для извлечения цинка выбрано сульфидное осаждение.

Основными интересовавшими нас при выполнении данной работы вопросами были определение возможности последовательного получения медь- и цинксодержащих осадков с достаточно высоким содержанием металла при реализации трех двухстадиальных схем: цементация-осаждение, гальванокоагуляция-осаждение, осаждение-осаждение. Также проводился поиск простых решений для повышения содержания цинка в осадке.

Методы исследования

Изучение проводили по двустадийным схемам организации процесса. Первая стадия - осаждение меди в виде сульфида, цементного или ферритного осадка. Вторая стадия - осаждение цинка в виде сульфида.

Цементацию проводили в проточном режиме в лабораторной барабанной цементационной установке с диаметром вращающегося барабана 0,08 м и объёмом 1200 см³. Коэффициент заполнения барабана подотвальной водой 0,32; масса металла-цементатора 210 г, объем воды, единомоментно находящейся в барабане, 280 см³, плотность загрузки скрапа 0,5. Оптимальная скорость вращения рассчитана из формул [6]:

$$A_{\min} = 10,1/\sqrt{D} \quad A_{\max} = 19,7 \cdot \sqrt{D},$$

где D - диаметр барабана, м. и составляет - 35,7 - 69,0 об/мин.

Фактическая скорость вращения барабана под нагрузкой - 36 и 64 об./мин, в зависимости от положения передаточных шестерен в редукторе.

Гальванокоагуляцию проводили в лабораторном гальванокоагуляторе с барабаном 110 на 350 мм, масса загрузки железо:углерод = 3:1, крупностью +5-10 мм составляет 1200 г. Параметры гальванокоагуляции приняты по опыту наших работ на подотвальных водах предприятий Южного Урала [15-18].

Опыты проводились в динамических условиях. Анализировались жидкая фаза и осадки на выходе из гальванокоагулятора, загрузка до и после контакта с раствором.

Для исключения случайных ошибок и определения потерь железа, перед каждой серией опытов цементатор и гальванокоагулятор загружались новой порцией обезжиренной загрузки известной массы.

Осаждение металлов сульфогидратом натрия (гидросульфидом) проводили в соответствии с результатами исследования [18]. Расход сульфидного реагента принимали

относительно стехиометрического на восстановление Fe (III) до Fe (II) по реакции $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHS} = 2\text{FeSO}_4 + \text{NaHSO}_4 + \text{S}$ и полного осаждения металла по реакции $\text{MeSO}_4 + \text{NaHS} = \text{MeS} + \text{NaHSO}_4$, где Me - это Cu^{2+} или Zn^{2+} . Кондиционирование с реагентом проводили в пластиковых емкостях рабочим объемом 4 дм³ в течение 5-15 мин. В качестве реагента-осадителя применяли технический гидросульфид натрия с концентрацией 31%. Рабочий раствор с концентрацией 5 % NaHS получают путем разбавления 31 % -ного раствора.

Основными методами исследования продуктов были выбраны: для растворов — химический анализ, для дисперсных осадков — рентгенофазовый и химический анализы. Пробы осадков проанализированы на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор. Результаты пробы рассчитаны методом Петера-Кальмана [19] с использованием коэффициентов, взятых из табличных данных с максимальным дифракционным соответствием. Для определения количества рентгеноаморфной составляющей выбран метод добавок. Съёмка проводилась в диапазоне 24 - 30 град. 3 раза, после чего вычислялось среднее соотношение интенсивности аналитического отражения кремния (3,136 Å) и интенсивности максимального дифракционного отражения на рентгенограмме пробы. После этого в пробу было добавлено вторично незначительное количество кремния и проведена та же самая процедура съёмки.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты показали, что удельный расход железа при цементации воды месторождения «Тарньерское» является более высоким, чем средний расход железа по данным практики применения цементации меди (1,32-3 г железа на 1 г меди [7]), что, вероятно, вызвано высоким содержанием железа (III) в подотвальной воде [4,11].

При подкислении сточной воды до pH 2 для уменьшения процессов осаждения гидроксидов и основных сульфатов железа расход железа снижается. При повышении содержания меди в исходной воде с 920 до 1250 мг/дм³ наблюдается (при прочих равных условиях) постепенное увеличение степени извлечения меди от 88,6 до 93,1 %. Что связано со смещением соотношения концентраций меди и цинка в исходной воде в сторону роста доли меди. Массовая доля меди в осадке варьировала от 17 до 23%.

Удельный расход железа при цементации меди из подотвальной воды месторождения «Шемурское» в основном соответствует известному диапазону расхода железа по данным практики применения цементации меди. При повышении содержания меди в исходной воде с 876,24 до 2940,00 мг/дм³ при относительном равенстве соотношения концентраций Cu^{2+} , Zn^{2+} и Fe^{3+} наблюдается снижение извлечения с 94,5 до 85,77%. Результаты цементации меди представлены в табл. 2. При изменении скорости вращения барабана расход железа и извлечение меди меняются незначительно.

По схеме гальванокоагуляция-осаждение из подотвальных вод месторождения «Тарньерское» и «Шемурское» ферритный осадок, удовлетворяющий балансу пяти составляющих: массовая доля, извлечение, селективность, низкий расход железа и низкая остаточная концентрация железа в сливе, получены при скорости вращения барабана гальванокоагулятора 12 об/мин и продолжительности гальванокоагуляции 6 мин. Цинксодержащий осадок получен при расходе NaHS - 125% по стехиометрии на осаждение цинка. Показатели гальванокоагуляционного извлечения представлены в табл. 3. Удельный расход железа в 4-5 раз меньше, чем при цементации (см. табл. 3) и составляет 0,73-0,67 Г_{Fe}/Г_{Cu}.

В табл. 2-4 представлены наилучшие достигнутые показатели для подотвальных вод с концентрацией (мг/дм³): «Тарньерское» Cu^{2+} - 950,13, Zn^{2+} - 6960,50 и Fe^{3+} - 8899,67 и «Шемурское» Cu^{2+} - 2091,0, Zn^{2+} - 300,0 и Fe^{3+} - 9800,83.

Осаждение меди сульфидом проводили с подкислением вод до pH селективного выделения 1,7 – 2,0. Расход концентрированной серной кислоты для вод с начальным pH 2,7 составил 0,5-0,6 мл/дм³.

Результаты извлечения меди из подотвальной воды медно-цинкового месторождения с расходом NaHSO₄ в диапазоне 95 - 135% стехиометрического показали (рис. 1), что

полностью отделить медь от цинка не удастся. При извлечении меди более 65% в осадок переходит более 5,49 % цинка. Преобладание цинка над медью в подотвальной воде в несколько раз обуславливает массовую долю цинка в осадке на уровне массовой доли меди. Увеличение расхода более 115 % приводят к переходу в осадок железа (II) и цинка в осадок в количествах, превышающих массу меди. Оптимальным расходом принят расход 115% стехиометрического. Для подотвальной воды медного месторождения с преобладанием меди над цинком по серии предварительных опытов расход принят также 115%.

Параметры извлечения меди из подотвальных вод представлены в табл. 2-4.

Результаты извлечения цинка из обезмеженной подотвальной воды с расходом NaHSO_4 в диапазоне 115 - 200% стехиометрического показали, что увеличение расхода более 135 % приводят к скачкообразному переходу в осадок железа и снижению массовой доли цинка в осадке. Оптимальным расходом принят расход 125% стехиометрического. Достигнутые показатели селективного сульфидного осаждения представлены в табл. 4.

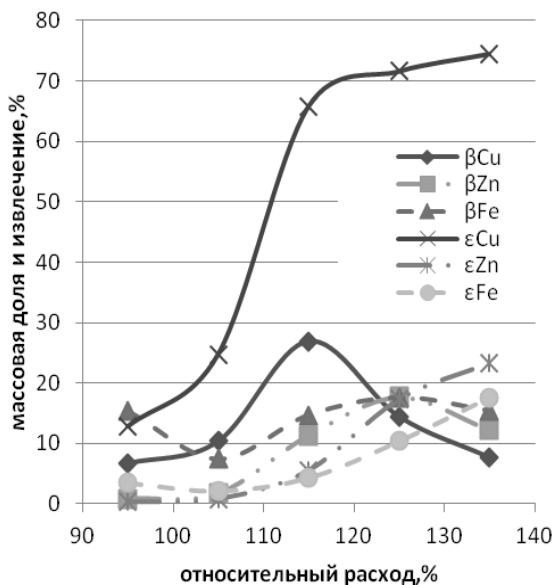


Рис. 1. Влияние расхода NaHSO_4 показатели извлечения Cu^{2+} , Zn^{2+} и $\text{Fe}_{\text{общ}}$ из подотвальной воды

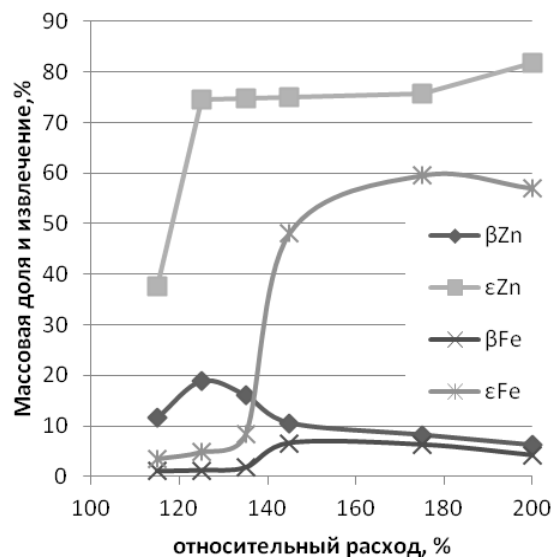


Рис. 2. Влияние расхода NaHSO_4 на показатели извлечения Zn^{2+} и $\text{Fe}_{\text{общ}}$ из обезмеженной подотвальной воды

Осадки, полученные осаждением содержат от 14 до 28% цинка, что в два - три раз меньше, чем качество кондиционных обогатительных концентратов. Поэтому мы изучили влияние на массовую долю цинка в осадке (β) следующих факторов: снижение общего солесодержания (S) при постоянной концентрации цинка (C_{Zn}), изменение концентрации цинка при постоянном солесодержании и снижение общего солесодержания (S) при постоянном соотношении S/C_{Zn} .

Таблица 2

Результаты извлечения меди цементацией и цинка сульфидным осаждением

Осадок	Массовая доля металла в осадке, %			Удельная масса осадка, г/дм ³	Остаточная концентрация металлов в сливе, мг/дм ³			Извлечение, %		Удельный расход железа	
	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}		Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Cu ²⁺	Zn ²⁺	г/дм ³	г _{Fe} /г _{Cu}
подотвальная вода «Гарньерское»											
Цементация	18,64	1,05	7,89	4,53	106,05	6913,05	12482,85	88,84	0,68	3,9	4,7
Осаждение цинка	0,34	14,32	15	30,8	0,57	2508,65	7862,85	10,62	63,03		
итого								99,46	63,71		
подотвальная вода «Шемурское»											
Цементация	24,12	0,49	13,53	8,26	98,42	259,34	13058,21	95,63	13,55	4,30	2,10

Таблица 3

Результаты извлечения меди гальванокоагуляцией и цинка сульфидным осаждением

Осадок	Массовая доля металла в осадке			Удельная масса осадка, г/дм ³	Остаточная концентрация металлов в сливе, мг/дм ³			Извлечение, %			Удельный расход железа	
	Cu	Zn	Fe		Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	г/дм ³	г _{Fe} /г _{Cu}
подотвальная вода «Гарньерское»												
Гальванокоагуляция	16,73	0,83	14,42	6,69	65,50	5931,5	9010,5	94,4	0,9	9,7	0,75	0,67
Осаждение цинка	0,37	21,75	12,98	17,22	0,40	2186,7	6776,2	4,9	63,1	24,8		
итого								99,3	64,1	34,5		
подотвальная вода «Шемурское»												
Гальванокоагуляция	17,67	0,56	18,42	15,84	141,12	212,00	7491,50	95,20	29,33	29,78	0,61	0,73

Результаты извлечения меди и цинка сульфидным осаждением

Осадок	Остаточная концентрация в растворе, мг/дм ³			Массовая доля металла в осадке, %			Удельная масса осадка, г/дм ³	Извлечение в осадок, %		
	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe общ	Cu	Zn	Fe		Cu	Zn	Fe
подотвальная вода «Гарньерское»										
Медный осадок	713,99	362,00	376,00	14,25	7,23	7,50	5,01	75,15	5,82	4,43
Цинковый осадок	231,95	4102,40	2421,50	1,60	28,29	16,70	14,50	24,41	65,95	28,51
подотвальная вода «Шемурское»										
Медный осадок	284,67	270,74	9512,00	28,67	0,46	4,57	6,20	86,39	9,75	2,94

Опыты проводились на модельной обезмеженной кислой подотвальной воде – аналоге подотвальной воды медно-цинкового месторождения со следующими концентрациями компонентов г/л: Ca^{2+} - 4.26, Mg^{2+} - 7.00, Na^+ - 0.0081, K^+ - 0.00096, Al^{3+} - 1.754, Mn^{2+} - 0.348, Fe^{2+} - 7.86, Cu^{2+} - 0,0152, Zn^{2+} - 6.7, NH_4^+ - 0.0105, Cl^- - 0.425, SO_4^{2-} - 102.48, NO_2^- - 0.00122, NO_3^- - 0.00295, pH - 2.4.

В модельной воде не удалось достичь только концентрации кальция, аналогичной концентрации в подотвальной воде. Концентрация кальция в воде ограничивалась произведением растворимости сульфата кальция Ca^{2+} - 0,466 г/дм³.

Массовая доля в осадке базового опыта при расходе осадителя NaHS 100% составила 32,4%, извлечение 68,27%.

При снижении общего солесодержания извлечение цинка из раствора и массовая доля цинка в осадке возрастают. При снижении показателя S в 10 раз β возрастает в полтора раза и составляет 49%. Извлечение возрастает на 11,2%.

При фиксированном S и уменьшении C_{Zn} , массовая доля цинка в осадке снижается. При уменьшении C_{Zn} в 4 раз наблюдается снижение β в осадке с 34,2 до 17,6%.

При осаждении цинка из разбавленных многокомпонентных модельных растворов с увеличением разбавления раствора массовая доля цинка в осадке возрастает до разбавления в 20 раз. Дальнейшее разбавление приводит к снижению β в осадке. Так, при разбавлении в 20 раз ($S = 4,5$ г/л) β в осадке составляет 42,2 %, а при разбавлении в 30 раз ($S = 3,0$ г/л) - 30,1 %. Полученные зависимости могут быть представлены следующим образом: $(\partial\beta/\partial C_{\text{Zn}})_S > 0$, $(\partial\beta/\partial S)_{C_{\text{Zn}}} < 0$, в диапазоне солесодержания S от от 4,5 до 90,0 г/л $(\partial\beta/\partial S)_{C_{\text{Zn}}} < 0$, где $(\partial x/\partial y)_z$ представляет собой частную производную x по y, в то время как значение z фиксировано.

Вышеизложенные результаты исследований доказали, что показатели цинксодержащего продукта в процессе извлечения металла из подотвальных вод сульфидным осаждением можно повышать разбавлением исходного раствора.

Как показал рентгенофазовый анализ, образующиеся в процессе осаждения сульфидом осадки содержат в себе сульфидные и сульфатные фазы меди и цинка, элементную серу, сульфаты кальция и магния (табл. 5).

Таблица 5

Полуколичественный фазовый состав осадков

Фаза с массовой долей более 1%		Медный осадок	Цинковый осадок
Название	Формула	Содержание, %	
		Cu=14,25; Zn=7,23; Fe=7,50; S=35,4	Cu=1,6; Zn=28,2; Fe=16,7; S=20,45
Сера	S^0	17	5,5
Пуатвенит	$(\text{Cu,Fe})\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Cu:Fe≈1:1	4	-
Ковеллин	CuS	11	
Гуннингит	$\text{Zn}_{0.75} \text{Mn}_{0.25}^{2+} (\text{SO}_4) \cdot (\text{H}_2\text{O})$	26	15
Роценит	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	14	14
Грейгит	Fe_3S_4	4	8
Кизерит	$\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$	11	-
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5	7
Сфалерит	ZnS	-	14
Бианкит	$\text{FeZn}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	-	3
Бойлеит	$(\text{Zn,Mg})\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	2
Нераскристаллизованная фаза		5	20

Переход сульфатов кальция и магния в осадок в области параметров селективного извлечения меди и цинка обусловлен высокой концентрацией магния и кальция в воде и насыщением воды при введении сульфида производными серы.

Заключение

Стадиальная переработка кислых подотвальных вод для селективного извлечения из них меди и цинка в осадки возможна при реализации любой из трех двухстадиальных схем: цементация-осаждение, гальванокоагуляция-осаждение, осаждение–осаждение.

Получение медьсодержащих осадков с высоким содержанием меди не является сложной задачей. Селективность выделения её из раствора обеспечивается расположением меди в электрохимическом ряду напряжений и меньшим произведением растворимости сульфида меди, чем у сульфида цинка и железа. Наиболее сложным является получение в процессе сульфидного осаждения цинксодержащего осадка с высоким содержанием цинка. Более высокое содержание цинка в осадке 28.29% получено в результате сульфидного осаждения с расходом реагента 125% стехиометрического после предварительного осаждения меди из воды гидросульфидом с расходом 115% стехиометрического.

Фазовый состав осадка свидетельствует о соосаждении кальция, магния и алюминия с получением веществ, которые способны кристаллизоваться, образуя совместную кристаллическую решетку, причем получают, так называемые, смешанные кристаллы.

Уменьшению соосаждения и повышению содержания цинка в осадке способствует снижение общего солесодержания разбавлением обезмеженной подотвальной воды. Для подотвальных вод медно-цинкового месторождения полученная зависимость содержания цинка в осадке от разбавления имеет экспоненциальный характер. Наибольшее содержание цинка получено при снижении общего солесодержания до 4,5 г/л.

Список литературы

1. Blowes D. W. et al. The geochemistry of acid mine drainage /Ptacek C J, Jambor J L, Weisner C G //Treatise on geochemistry. – 2003. – Т. 9. – 612 с.
2. Hatfield T. L., Kleven T. L., Pierce D. T. Electrochemical remediation of metal-bearing wastewaters Part I: Copper removal from simulated mine drainage waters //Journal of Applied Electrochemistry. – 1996. – Т. 26. – №. 6. – С. 567-574.
3. Gorgievski M. et al. Copper electrowinning from acid mine drainage: A case study from the closed mine «Cerovo» //Journal of hazardous materials. – 2009. – Т. 170. – №. 2. – С. 716-721.
4. Технология электрофлотационного извлечения марганца из техногенного гидроминерального сырья медноколчеданных месторождений Южного Урала. / Чантурия В. А. и др. //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. №. 3. С.89-96.
5. Алкацев М. И., Процессы цементации в цветной металлургии. - М.: Металлургия, 1981. 116 с
6. Халезов Б. Д. и др. Исследование извлечения меди в барабанном цементаторе //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. № 5.
7. Соложенкин П. М., Небера В. П., Соложенкин И. П. Эффект макрогальванопары в очистке сточных вод: теоретические проблемы и конструирование аппаратуры // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2001. №. 9.
8. Balintova M., Petrilakova A. Study of pH influence on selective precipitation of heavy metals from acid mine drainage //Chem Eng Trans. – 2011. – Т. 25. – С. 345-350.
9. Sampaio R. M. M. et al. Selective precipitation of Cu from Zn in a pS controlled

continuously stirred tank reactor //Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Т. 165. – №. 1. – С. 256-265.

10. Шидловская И. П., Мальцев Г. И., Набойченко С. С. Определение оптимальных условий осаждения гидроксидов металлов-примесей при очистке сточных вод //Иzv. вузов. Цветная металлургия. – 2005. – №. 6. – С. 14-16.

11. Халезов Б. Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медно-цинковых руд: автореф. дис.... д-ра техн. наук; Институт металлургии УрО РАН. Екатеринбург, 2008.

12. Медяник Н. Л., Чантурия В. А., Шадрунова И. В. Квантово-химический метод выбора реагента-собирателя и его использование в процессе флотационного извлечения катионов цинка и меди (II) из техногенных вод горных предприятий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. №. 1. С. 155-165.

13. Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide) INAP: The International Network for Acid Prevention. Accessed 28 September 2013. Режим доступа: http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page.

14. Технология извлечения цинка из рудничных и подотвальных вод / Чантурия В. А., Шадрунова И. В., Орехова Н. Н., Чалкова Н. Л. // Обогащение руд. 2011. №. 1. С. 32-36.

15. Орехова Н. Н. Исследование метода гальванокоагуляции для селективного извлечения меди и цинка из растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. Т. 14. №. 12.

16. Shadrunkova I. V., Orekhova N. N. A process for advanced recycling of water originating from mining operations, with metal recovery //Mine Water and the Environment. – 2015. – Т. 34. – №. 4. – С. 478-484.

17. Orekhova N N, Shadrunkova I V, Volkova N A 2012 Comprehensive waste treatment technologies for copper industry Proceeding of the XXVI International Mineral Processing Congr (IMPC) pp 3998-4010.

18. Халезов Б. Д., Неживых В. А., Овчинникова Л. А. Полупромышленные испытания гидросульфидного способа извлечения цинка из растворов кучного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. №. 4.

19. Peter E., Kalman A. Quantitative X-ray analysis of crystalline multicomponent systems// Acta Chimica Academiae Scientarium Hungaricae. – 1964. – Т. 41. – №. 4. – С. 413.

Сведения об авторах

Тарыбаева Гульнара Амантаевна – начальник испытательной лаборатории ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: gulnarabikbaeva@yandex.ru

Орехова Наталья Николаевна – д-р техн. наук, доц., проф.каф. ГМД и ОПИ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: n.orehova@magtu.ru .

УДК 622.8

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ К ВЕДЕНИЮ ГОРНЫХ РАБОТ. ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

Горбатов А.Н.

Аннотация В статье приведена ретроспектива нормативных актов, регламентирующих требования безопасности к ведению горных работ. Отражены основные особенности их принятия и применения.

Ключевые слова: федеральный закон, правила безопасности, шахты, карьеры, безопасность ведения горных работ.

Обеспечение безопасности горных работ является одним из основных и старейших разделов горного права, регламентирующего отношения между государством и предприятиями (недропользователями и другими юридическими лицами, ведущими горные работы, работы по обогащению и переработке полезных ископаемых).

Начало истории горного права приурочивают к петровским реформам XVIII века. Для централизации и более строгого ведомственного деления государственного управленческого аппарата Петр I заменил приказы коллегиями по примеру других государств. Примерный реестр всех коллегий объявлен 11 декабря 1717 года, а 15 декабря назначены их президенты. Среди прочих была поименована Берг-коллегия (горная коллегия, от нем. Bergkollegium) в соединении с Мануфактур-коллегией для ведения рудокопными заводами и прочими ремеслами. Её возглавил один из ближайших сподвижников Петра I — генерал-фельдцейхмейстер Яков Вилимович Брюс [1].

Через два года 10 декабря 1719 года (23.12.1719 по нов. стилю) вступила в действие первая в России Привилегия о рудах и минералах. Именно эта дата считается основанием горного надзора России.

Несмотря на свой солидный возраст, требования безопасности в горнорудной промышленности постоянно претерпевают изменения. Особенно интенсивно это происходит в последние 25 лет. В первую очередь, это связано с распадом СССР и становлением государственности Российской Федерации. Во-вторых, с ратификацией Россией ряда международных актов, например Конвенции ООН о трансграничном воздействии аварии прообразов Федеральное закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2]. В-третьих, — с интенсификацией производства и выпуском нового высокотехнологичного горного оборудования.

Рассмотрим произошедшие изменения требований безопасности для наиболее сложных и ответственных подземных способов разработки полезных ископаемых.

Так, в 1995 году действовавшее с 1971 года 2-е издание «Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом» было пересмотрено, и постановлением Госгортехнадзора России от 23.01.95 № 4 утверждены ПБ 06-111-95.

В правилах ПБ 06-111-95 были учтены изменения требований по безопасности, опыт применения новых машин, оборудования и технологий при строительстве и эксплуатации шахт, а также предложения органов Госгортехнадзора, министерств и ведомств, головных отраслевых научно-исследовательских и проектных институтов, предприятий, ведущих разработку месторождений подземным способом. В связи с этим существенно переработаны

и дополнены требования к проветриванию подземных выработок, закладочным работам, эксплуатации рудничного транспорта и подъема, электроустановок, противопожарной защите шахт и составлению планов ликвидации аварий.

Впервые в правила ПБ 06-111-95 были включены требования безопасности при отработке месторождений, склонных к горным ударам, механическом дроблении горной массы и эксплуатации самоходного (нерельсового) оборудования в подземных выработках, ведении очистной выемки способом подземного выщелачивания, требования по радиационной безопасности для шахт, отнесенных к радиационно опасным производствам, организации и работе маркшейдерских служб на шахтах [3].

Правила согласовали с Минстроем России, Роскомметаллургией, другими заинтересованными министерствами и ведомствами, а также с Советом Федерации независимых профсоюзов России, Центральным Советом горно-металлургического профсоюза России.

Правила ПБ 06-111-95 просуществовали до 02.07.2003, когда вступили в действие ПБ 03-553-03 с тем же наименованием «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом». В ПБ 03-553-03 были учтены требования принятого в 1997 году Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Главной отличительной особенностью ПБ 03-553-03 от предыдущих документов являлось то, что они 28 мая 2003 года были зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации. Таким образом, впервые правила безопасности при разработке подземных месторождений приобрели статус нормативного правового акта — документа, содержащего общие обязательные правила поведения (правовые нормы), рассчитанные на неоднократное применение и действующие на индивидуально-неопределенный круг лиц. Регистрация правил в Минюсте позволила упорядочить отношения между недропользователем и государством, определить обязанности эксплуатирующих организаций и должностных лиц, а также ответственность виновных в нарушении установленных требований и порядок их наказания.

На смену ПБ 03-553-03 с 03.10.2014 вступили в силу Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», утвержденные приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599 и зарегистрированные в Минюсте России 02.07.2014 N 32935 (ФНП). Новыми правилами учтены изменения, произошедшие в законодательстве о промышленной безопасности: разделение опасных производственных объектов на классы; порядок правового регулирования и принятия федеральных норм и правил; возможность юридическим лицам самостоятельно устанавливать требования промышленной безопасности; уточнены требования о подтверждении соответствия новых технических устройств в порядке, установленном законодательством о техническом регулировании.

На современном этапе обеспечения безопасности горных работ законодатель значительно снизил барьеры допуска к применению нового горного оборудования и предоставил эксплуатирующим организациям возможность самостоятельно устанавливать требования промышленной безопасности в целях интенсификации производства и внедрения новых технологий. При этом требования в ФНП представлены максимально конкретно, не допуская исключений или двоякого толкования. Многие требования ужесточены без учета способа или условий ведения горных работ.

Например, п. 379 ПБ 03-553-03 установлено: «Общее переходное сопротивление заземлению устройства, измеренное как у наиболее удаленных от зумпфа заземлителей, так и

у любых других заземлителей, не должно превышать 2 Ом», а в п.165 ПБ 03-553-03 установлено дополнительное требование при отработке месторождений калийно-магниевой и каменной солей: «Общее переходное сопротивление сети заземления, измеренное как у наиболее удаленных от главных заземлителей, так и у любых электроустановок, не должно превышать 10 Ом» [4]. В ФНП таких разграничений нет и установлено, что общее переходное сопротивление сети заземления не должно превышать 2 Ом (п. 1009) [5].

Также п. 499 ФНП установлено новое по сравнению с ПБ 03-553-03 требование о наличии в шахте сети пожарно-оросительного трубопровода, постоянно заполненной водой, подходящее не для всех подземных выработок. Фактически, данное требование противоречит п. 10 Приложения 10 других Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы», утвержденных приказом Ростехнадзора от 31.10.2016 N 449 и зарегистрированных в Министерстве юстиции Российской Федерации 29.11.2016 N 44480: «Запрещается тушение пожара водой в подземных горных выработках соляных и калийных рудников» [6].

Очевидно, что законодатель, приняв наиболее общие и строгие требования безопасности, оставил возможность эксплуатирующим организациям самим устанавливать требования промышленной безопасности: «В случае, если при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, консервации или ликвидации опасного производственного объекта требуется отступление от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, таких требований недостаточно и (или) они не установлены, лицом, осуществляющим подготовку проектной документации на строительство, реконструкцию опасного производственного объекта, могут быть установлены требования промышленной безопасности к его эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации в обосновании безопасности опасного производственного объекта» (п. 4 ст. 3 № 116-ФЗ) [2].

Таким образом, введенные в 2014 году ФНП [5], устанавливающие требования к безопасному ведению горных работ и переработке полезных ископаемых, разработаны с учетом современного российского законодательства и международных правовых актов в области промышленной безопасности и позволяют эксплуатирующим организациям в правовом поле внедрять новейшие научные и технические разработки в области горного дела для эффективного и рационального использования недр. Гибкость современных требований безопасности ведения горных работ должно обеспечить долговременную неизменяемую практику применения ФНП [5], что, в свою очередь, положительно отразится на функционировании систем управления промышленной безопасностью горнорудных предприятий.

Список литературы

1. Федеральная служба по экологическому и технологическому надзору: К 290-летию горного надзора России / под ред. Н.Г. Кутыгина. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2009, 232 с.
2. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон: [принят Гос. Думой 20 июня. 1997 г.: по состоянию на 07 мар. 2017 г.].
3. Постановление Госгортехнадзора России от 23.01.1995 N 4 Об утверждении ПБ 06-111-95 «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных

месторождений полезных ископаемых подземным способом». К. 1 (не действует) / Госгортехнадзор России. М.: НПО ОБТ, 1996 .

4.Постановление Госгортехнадзора России от 13.05.2003 N 30 Об утверждении Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом, ПБ 03-553-03 (утратило силу с 03.10.2014 на основании приказа Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599) (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 28.05.2003 N 460) // Российская газета, N 120/1, 21.06.2003 (спец. выпуск).

5.Приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 02.07.2014 N 32935) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, N 38, 22.09.2014.

6.Приказ Ростехнадзора от 31.10.2016 N 449 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы» (Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 29.11.2016 N 44480). Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 30.11.2016, N 0001201611300017.

Сведения об авторах

Горбатов Алексей Николаевич – директор по экспертизе ЗАО МНТЦ «Диагностика», pto@diagmag.ru