

УДК 504.55.054:662 (470.6)

**В.И. Голик, Т.С. Цидаев, Б.С. Цидаев**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ РУД НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ\***

*Освещена проблема использования природных ресурсов при осложнении экологической ситуации вследствие нарастающего воздействия горных работ на природную среду. Даны результаты исследований возможности использования искусственных массивов для предупреждения критических деформаций массива. Разработаны математические модели зависимости прочности смесей от расхода вяжущих для Северо-кавказских месторождений. Предложены основы комбинирования способов управления состоянием массива с закладкой пустот продуктами переработки хвостов обогащения и хвостами подземного извлечения металлов. Предложена номограмма определения прочности искусственных массивов и толщины несущих перекрытий, исходя из способности пород блоков к самозаклиниванию. Отмечено, что способ подземного выщелачивания исключает ряд операции, в том числе, транспортировку и складирование хвостов, которые участвуют в управлении состоянием массива. Комбинирование традиционных и инновационных технологий представляет собой реальное направление охрана недр и природных систем.*

*Ключевые слова: природные ресурсы, разработка месторождений, искусственные массивы, деформации, комбинирование способов, закладка пустот, хвосты обогащения, хвосты переработки, металлы, прочность, управление состоянием массива.*

---

**В** результате изменения конъюнктуры металлов в недрах и на земной поверхности формируются техногенные месторождения, эксплуатация которых традиционными методами невозможна. Использование отходов первичной добычи и переработки формирует глобальную проблему рационального использования природных ресурсов при осложнении экологической ситуации вследствие нарастающего воздействия горных работ на окружающую природную среду. Эта проблема многократно усиливается другой глобальной

проблемой — проблемой обеспечения растущих потребностей Человечества в минеральных ресурсах.

Оставленные в недрах некондиционные минералы генерируют потоки растворенных тяжелых металлов и солей, а извлеченные на поверхность еще более активно участвуют в деградации экосистем окружающей среды.

При сегодняшнем уровне развития науки становится необходимым совместное решение этих двух глобальных проблем с достижением разумного компромисса, исходя одновременно экономических и экологических соображений.

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации: Государственный контракт № 16.515.11.5039 «Разработка безотходных экологически безопасных способов добычи и переработки руд месторождений Северного Кавказа на основе комбинирования традиционных и инновационных технологий».

Таблица 1

**Характеристика геомеханического состояния массивов**

Состояние пустот	Максимальные напряжения, МПа	Коэффициент опасности
Без заполнения пустот	8.9	1.1
С заполнением хвостами подземного выщелачивания	5.4	0.67
С заполнением смесями на основе хвостов обогащения	5.0	0.62
С заполнением смесями из стандартных материалов	3.8	0.47

Инструментом реализации этого нового направления является комбинирование традиционных и инновационных технологий в рамках единого процесса по критерию обеспечения экологической безопасности, которым может быть приоритетное условие сохранности земной поверхности от разрушения в процессе добычи руд [1].

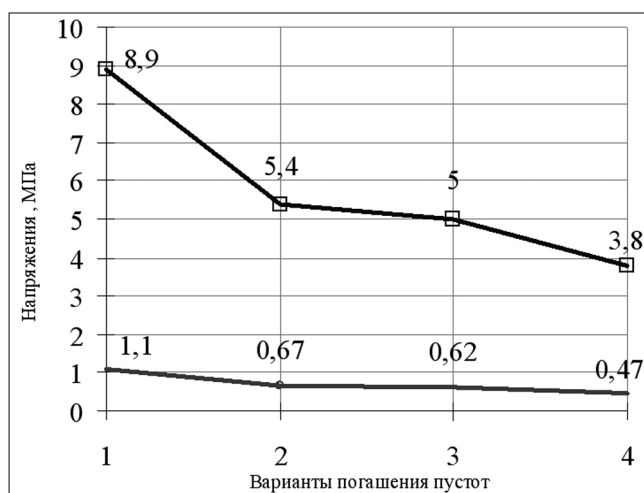
Это условие гарантировано обеспечивается при создании в выработанном пространстве искусственных массивов, предупреждающих возникновение и развитие в литосфе-

ре критических напряжений и соответствующих им деформаций. Посредством регулирования площади обнажения горных выработок создаются разгруженные от критических напряжений участки месторождения, в пределах которых появляется возможность использовать менее затратные способы управления состоянием массива.

Для оценки опасности деформации земной поверхности под влиянием горных работ используется коэффициент геомеханической опасности, представляющий собой отношение максималь-

ных напряжений в породе к пределу ее прочности при растяжении. Стоимость затрат по альтернативным вариантам, удовлетворяющих критерию сохранности земной поверхности является объективным основанием для выбора оптимальной технологии разработки месторождений [2].

Исследованиями на моделях из оптически-активных материалов установлено, что заполнение пустот даже малопрочными смесями существенно снижает напряжения в рудовмещающем массиве. Сравнивались варианты заполнения пустот с использованием прочных твердеющих смесей на основе стандартных материалов и на



**Рис. 2. График изменения напряжений при различном погашении пустот:** 1 - не заполнены; 2 - заполнены хвостами подземного выщелачивания; 3 - заполнены смесями на основе хвостов обогащения; 4 - заполнены смесями из стандартных материалов. Верхняя кривая - максимальные напряжения, нижняя кривая — коэффициент геомеханической опасности

Таблица 2

**Прочность кубов с мелким заполнителем, МПа**

Расход портландцемента, кг/м <sup>3</sup>	30	60	80	100	120	180
Садонские кубы	0,50	0,75	0,81	0,92	1,00	1,30
Тырныаузские кубы	0,41	0,53	0,66	0,74	0,87	1,15
Урупские кубы	0,48	0,69	0,78	0,87	0,92	1,24

Таблица 3

**Прочность кубов с комбинированным по крупности заполнителем, МПа**

Расход портландцемента, кг/м <sup>3</sup>	30	60	80	100	120	180
Садонские кубы	0,65	0,82	0,93	0,99	1,27	1,65
Тырныаузские кубы	0,51	0,63	0,74	0,89	0,99	1,50
Урупские кубы	0,62	0,73	0,88	0,91	1,08	1,55

Таблица 4

**Прочность кубов с крупным заполнителем, МПа**

Расход портландцемента, кг/м <sup>3</sup>	30	60	80	100	120	180
Садонские кубы	1,15	2,42	2,93	3,4	3,7	4,9
Тырныаузские кубы	1,01	2,22	2,75	3,26	3,52	4,6
Урупские кубы	1,11	2,31	2,80	3,31	3,60	4,75

основе хвостов обогащения и затвердевших хвостов подземного выщелачивания (табл. 1).

Оставление пустот не заполненными закладочным материалом увеличивает коэффициент опасности до критической величины 1.1, а заполнение смесями из стандартных материалов или из утилизированных хвостов увеличивает опасность, но не на много (0.67 и 0.62 против 0.47).

Этот вывод является основанием для применения дешевой твердеющей закладки на основе низкоактивных отходов горного производства для целей управления массивом.

Максимальные напряжения и коэффициент опасности изменяются в зависимости от состояния массива закономерно (рис. 2).

Коэффициент геомеханической опасности изменяется более плавно, чем величина действующих напряжений, что говорит о наличии запаса прочности смесей и возможности оп-

тимизации их состава за счет улучшения качества смесей на основе хвостов переработки.

Исследованиями в промышленных масштабах в урановой отрасли установлено, что до 70 % потерянных в недрах металлов выщелачиваются из некондиционных для традиционной технологии руд в подземных выработках при воздействии на них реагентами, оставляя в хвостах выщелачивания количество металлов, сравнимое с нормами ПДК, а кольматированные минеральными примесями хвосты выщелачивания обладают прочностью от 0.2 до 1,0 МПа [3].

Прочность твердеющих смесей на основе утилизируемых хвостов существенно зависит от крупности инертных заполнителей и может быть повышена классификацией хвостов.

Для месторождений Северного Кавказа: Садонского, Тырныаузского и Урупского исследованы составы

Таблица 5

**Результаты выщелачивания металлов раствором серной кислоты**

Раст- вор, дм <sup>3</sup>	Содержание, мг/дм <sup>3</sup> , в колоннах									
	№1		№2		№3		№4		№5	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
10	3,2	2,5	4,5	2,7	4,0	2,3	3,6	2,4	3,8	2,2
20	5,2	17,8	5,6	18,4	5,4	17,9	5,7	18,8	5,5	18,3
30	6,2	28,6	6,6	27,5	7,2	28,9	7,0	29,1	6,8	29,7
40	7,7	35,4	7,5	33,0	8,0	35,8	7,9	34,9	8,4	34,7
50	8,5	65,3	9,0	68,9	8,6	68,2	8,9	69,9	9,4	71,8

твердеющих смесей на основе классифицированных хвостов с добавлением портландцемента (табл. 2–4).

Корректность полученных результатов подтверждается математическими моделями, полученными методами регрессионного анализа.

Для Тырнаузского месторождения модель имеет вид:

$$Pr_{Тырн} = 2,828 - 0,0011x -$$

$$-3,5z + 0,933z^2 + 0,009xz,$$

где  $x$  – расход портландцемента, кг/м<sup>3</sup>.

Для Урупского месторождения модель имеет вид:

$$Pr_{Тырн} = 3,052 - 0,0023x -$$

$$-3,573z + 0,943z^2 + 0,0092xz,$$

Управление массивом с использованием хвостов выщелачивания применяли при разработке урановых руд месторождения *Быкогорского* на Северном Кавказе в течение 30 лет после того, как были извлечены запасы кондиционных по содержанию урана руд. Полнота извлечения металлов в раствор характеризуется результатами перколяторного выщелачивания раствором серной кислоты (табл. 5).

Зависимость выщелачивания свинца от объема раствора серной кислоты адекватно характеризуется уравнениями полиномиальной регрессии вида (корреляционное отношение

$$R_{Pb} = 0,9787):$$

$$y_{Pb} = 2,056 + 0,1897x - 0,00107x^2$$

Зависимость выщелачивания цинка от объема раствора серной кислоты имеет вид (корреляционное отношение ( $R_{Zn} = 0,9567$ ):

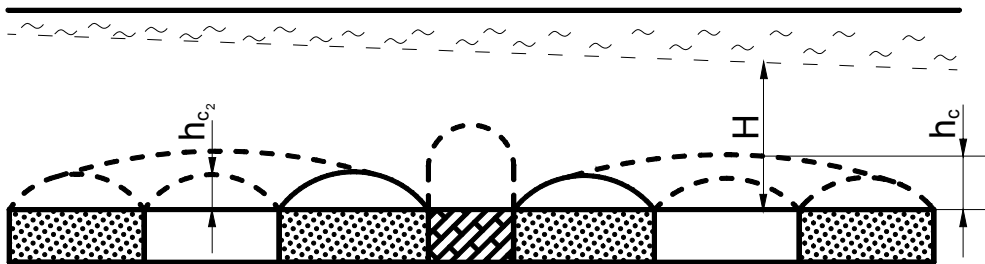
$$y_{Zn} = 1,868 + 0,1143x + 0,023x^2.$$

Технология добычи металлов на основе комбинирования способов управления состоянием массива с использованием массивов из твердеющих смесей на основе хвостов обогащения и хвостов подземного выщелачивания металлов включает в себя этапы:

- разделение месторождения на геомеханически безопасные участки;
- выемка балансовых руд для заводской переработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями;
- выщелачивание остальных руд с использованием хвостов подземного выщелачивания.

Разделение рудовмещающего массива на безопасные участки преследует цели (рис.2):

- оптимизация прочности искусственных массивов из твердеющих смесей по величине пролетов опирающихся на них очистных выработок;
- увязка расположения выработок по геомеханическим условиям с эко-



**Рис. 2. Схема разделения массива на безопасные пролеты:**  $H$  — расстояние от верхней границы оруденения до наносов;  $h_c$  — высота сводов естественного равновесия в пределах безопасного участка; блоками выделена прочная закладка; точками выделена малопрочная закладка

номическими факторами добычи руд по критерию минимальной стоимости работ и максимальной полноты использования недр.

Прочность искусственных массивов в любом случае должна обеспечивать устойчивость рудовмещающего массива с запасом на экстремальные условия, например, природная и естественная сейсмика. Ускоренное введение массива в условия объемного сжатия, в том числе, анкерное укрепление массивов, создание отрезных щелей для разгрузки участков месторождений, формирование искусственных массивов с заданной прочностью и т.п. увеличивает прочность массива на 15—20 %.

Перераспределение горного давления на более жесткие целики может вывести их из строя, поэтому их несущая способность увеличивается подпором закладочным материалом на величину, оцениваемую коэффициентом 1,1 — 1,5.

Искусственные массивы на основе отходов переработки руд работают в условиях разгрузки от критических напряжений, поэтому их прочность может быть снижена до 0,2-1,5 МПа. Такую прочность имеют и хвосты выщелачивания бедных и забалансовых руд, затвердевшие в результате при-

родной и технологической кольматации. В условиях разделения месторождения на геомеханически сбалансированные участки такая прочность достаточна для сохранения земной поверхности от разрушения.

Комбинированная технология управления состоянием массива в целом уменьшает расход компонентов твердеющих смесей за счет снижения нормативной прочности прочных смесей на основе стандартных материалов. Например, если рудное тело шириной 100 м не обеспечивает устойчивости массива без закладки выработанного пространства твердеющими смесями прочностью 4-5 МПа, то при разделении его на два полупролета шириной 50 м в кровле образуется свод с меньшей высотой, позволяющий уменьшить прочность закладки до 2,0-2,5 МПа. Если этот пролет разделить еще на два полупролета шириной по 25 м каждый, то структурные блоки заклиниваются в нижнем слое пород, образуя плоскую кровлю выработок, позволяющую изолировать пустоты или заполнить их закладочным составом прочностью не более 0,5-1,0 МПа.

Реализация принципов комбинирования технологий управления массивом осуществляется на основе единого про-

екта освоения запасов альтернативными способами добычи, технологически взаимосвязанными между собой.

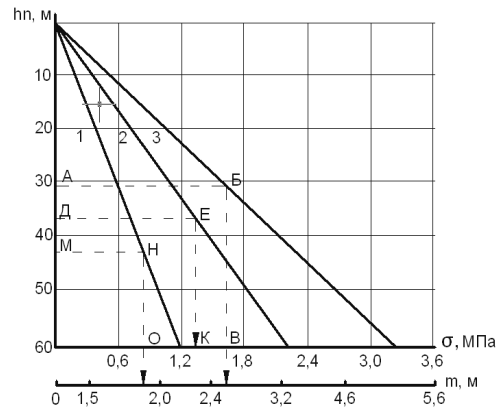
Исходя из принципов гуманизации отношения к недрам, целью разработки месторождения полезных ископаемых становится не эффективное выборочное извлечение богатых запасов и списание бедных запасов, а получение максимального дохода от освоения недр при минимальных потерях ресурсов в течение всей истории отработки месторождения.

Нормативная прочность твердеющих смесей зависит от выполняемой функции в системе активного управления массивом пород с переводом массивов в режим объемного сжатия и подразделяются по функциональному признаку на типы: малопрочные — до 1,2; прочные — до 2,5; очень прочные — более 2,5 МПа.

При комбинированном управлении массивом большая часть твердеющих смесей может быть приготовлена из утилизируемых хвостов обогащения и стандартного цемента, например: вяжущие — 30 кг/м<sup>3</sup> цемента и 220-300 кг/м<sup>3</sup> активных хвостов обогащения; заполнитель — 1500 кг/м<sup>3</sup> классифицированных хвостов; вода — 380 кг/м<sup>3</sup>. Особенностью современности является возможность применения хвостов обогащения не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих. в любом случае использование хвостов обогащения допускается только при извлечении из них металлов до норм ПДК [4].

Для определения прочности искусственных массивов и толщины несущих перекрытий предложена номограмма (рис. 3) [5].

Поскольку величина пролетов определяет прочность искусственных массивов, нужно, чтобы кровля выработок сохраняла плоскую форму, т.е.



**Рис. 3. Номограмма определения прочности искусственных массивов ( $s$ ) и толщины несущих перекрытий ( $m$ ):**

1, 2, 3 — соответственно, графики напряжений, создаваемых массой закладки, пригрузкой пород и результирующих: Ключ: А→Б→В и В→Г для обрушения пород; М→Н→О и О→П для плоских пролетов

напряжения в их окрестностях не были критическими.

Для этого величину пролета обнажения кровли плоской кровли определяют, исходя из способности структурных блоков к самозаклиниванию в нижнем слое [6]:

$$L_{пред.} = 2d_2 \sqrt{\frac{K_2 \gamma d_1}{\sigma}},$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — соответственно, горизонтальный и вертикальный размеры структурных блоков, м;  $K_2$  — коэффициент запаса;  $\sigma$  — прочность, МПа;  $\gamma$  — объемная масса.

Сохранность земной поверхности при образовании свода над выработкой обеспечивается при условии:

$$H > h,$$

где  $H$  — глубина расположения верхней границы пустот от выветренных пород и рыхлых отложений, м;  $h$  — высота влияния выработки на вмещающий массив, м.

Параметры свода нарушенных горными работами пород зависят от взаимодействия технологических и природных факторов:

$$h_c = a' / V,$$

где  $a'$  — полупролет свода;  $v$  — коэффициент устойчивости трещиноватых пород.

$$V = 2 \frac{d_r R''_{сж}}{d_1 R'_{сж}},$$

где  $d_r, d_1$  — размеры вертикального и горизонтального размеров структурных блоков;  $R''_{сж}, R'_{сж}$  — временное сопротивление пород сжатию, соответственно, в направлении распора свода и в направлении действия массы пород.

В рамках комбинирования традиционных технологий с технологиями выщелачивания появляется перспектива вовлечения в эксплуатацию в пределах разгруженных от высоких напряжений участков месторождения некондиционных и забалансовых руд.

Большинство пригодных для выщелачивания месторождений приурочено к массивам, состоящим из серии рудных тел преимущественно крутого падения. Суммарная мощность балансовых руд изменяется в пределах первых метров, но промышленные руды сопровождаются ореолом забалансовых руд, которые по составу, характеру минерализации и технологическим свойствам аналогичны балансовым. Для выщелачивания наиболее приемлемы условия: коэффициент разрыхления 1,3-1,6, минимальное содержание глины и карбонатов.

По сравнению с традиционной отработкой способ подземного выщелачивания исключает выдачу большей части руды на поверхность, доставка ее на завод, дробление и измельчение, процесс извлечения металла, транспор-

тировку и складирование хвостов, которые, оставаясь в выработанном пространстве, после естественного твердения участвуют в управлении состоянием массива. Экономия от сокращения этих расходов позволяет предприятиям окупить затраты на модернизацию своей инфраструктуры при освоении новых технологий.

Магазинирование забалансовых запасов для выщелачивания осуществляется вариантами традиционных систем. Очистные блоки имеют размеры: площадь — 600 — 1000 м<sup>2</sup>, высота — 30 — 90 м, ширина — 20 — 25 м. Руду в блоках выщелачивания отбивают, преимущественно, в зажатой среде, добываясь величины коэффициента разрыхления рудной массы — 1,15 — 1,20. Блоки подземного выщелачивания располагают так, чтобы использовать в качестве компенсационного пространства пустоты, образованные выемкой богатых руд месторождения. Для отбойки, чаще всего, применяют гранулиты с плотностью зарядания скважины 9 кг/м и расходом 1,3 кг/м<sup>3</sup> отбитой горной массы.

Металлы из руд выщелачивают сернокислыми растворами. В большинстве случаев в качестве растворителя применяют 5 %-ный раствор серной кислоты. Продолжительность подачи раствора от 2 до 4 суток. Затем концентрацию раствора снижают до 3 %. Раствор подают до тех пор, пока в продуктивных растворах не снижается резко концентрация металла. После этого орошение прекращают, а блок «выстаивается» в течение 20 — 25 суток. После этого блок вновь орошают раствором с концентрацией от 3 до 2 %. Продолжительность выщелачивания 6 — 7 суток. Продуктивные растворы перерабатывают в сорбционных комплексах,

представляющих собой ионнообменные фильтры. Содержание металла в маточных растворах на выходе из процесса приближается к допустимому по нормам ПДК.

Разработка способов экологически корректной эксплуатации месторож-

дений на основе комбинирования традиционных и инновационных технологий представляет собой реальное направление охраны недр и природных экосистем при нарастающем воздействии горных работ на окружающую природную среду.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В.И., Шелкунова Т.В., Логачев А.В. Добыча полезных ископаемых комбинированными технологиями выщелачивания. Межд. конф.- Магнитогорск: МГТУ, 2007.

2. Голик В.И., Исмаилов Т.Т. Управление состоянием массива. – М., 2006.

3. Бубнов В.К., Спирин Э.К., Воробьев А.Е. и др. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. Целинград: Жана-Арка, 1992.

4. Голик В.И., Комашенко В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе. М.:КДУ.2010.

5. Ляшенко В.И., Голик В.И., Штеле В.И. Создание и внедрение мало затратных ресурсосберегающих методов, средств и технологий на горных предприятиях. М.: ЦНИИ экономики и информации. 1995. Обзор информ.

6. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. М., Наука, 1975. **VIAS**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Голик В.И. — доктор технических наук, профессор, e-mail: v.i.golik@mail.ru,

Цидаев Т.С. — кандидат технических наук, генеральный директор ГУП «Садонский свинцово-цинковый комбинат».

Цидаев Б.С. — кандидат технических наук, директор Владикавказского ордена «Дружбы народов» политехнического техникума, e-mail: vladgmt@rambler.ru.



---

#### СЕРИЯ КНИГ «ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»



Это одна из самых популярных серий издательства «Горная книга». Над ней работают опытные авторы: А.А. Абрамов, В.М. Авдохин, А.В. Бадеников, В.Я. Бадеников, Т.Г. Гладун, В.И. Кармазин, В.В. Кармазин, С.Б. Татауров. А.А. Абрамов недавно попал в «Книгу рекордов Гиннса». Он стал единственным ученым-горняком, у которого вышло Собрание сочинений. Имена других авторов также хорошо известны специалистам.

Большинство их книг, учебников и монографий, многократно переиздаются, но тиражи всё равно быстро расходятся. Их покупают студенты и аспиранты, изучающие обогащение полезных ископаемых, библиотеки горных предприятий, инженеры компаний.

Продолжение — с. 117.