

УДК 504.55.054:622(470.6)

ПОГАШЕНИЕ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ИЗОЛЯЦИЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Голик Владимир Иванович¹,
v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович¹,
yiri1963@mail.ru

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

Актуальность работы обусловлена необходимостью сочетания принципов экономической эффективности управления состоянием массива при погашении образованных горными работами пустот и безопасности окружающей среды в районе добычи минеральных ресурсов в условиях увеличения объемов добычи минерального сырья для нужд населения.

Цель: разработка технологии добычи руды без заполнения пустот материалами, которые сохраняли бы земную поверхность от разрушения в случае выхода зоны обрушения пород до уровня наносов в течение неопределенно длительного времени после погашения выработок.

Методы исследования: критический анализ опыта разработки аналогичных по условиям локализации руд месторождений, физическое и математическое моделирование параметров технологий добычи и прогнозирование путей развития технологии и экспериментальное определение величины предельного по условию устойчивости пролета выработки.

Результаты. Показано, что устойчивость земной поверхности над погашаемым участком месторождения после его отработки обеспечивается предотвращением возможности возникновения деформационных явлений. Доказано, что месторождение с объемом пустот 2 млн м³ может быть погашено без заполнения пустот закладочным материалом. Обоснована необходимость более полного учета геомеханических факторов при оценке эколого-экономической эффективности добычи минерального сырья. Приведена модель оценки эффективности подземной разработки месторождений в зависимости от использования свойств рудовмещающих массивов.

Выводы. Целенаправленное использование свойств рудовмещающих массивов во многом определяет показатели эффективности подземной разработки месторождений. Одним из основных вопросов эксплуатации является выбор параметров разработки, обеспечивающих сохранность земной поверхности.

Ключевые слова:

Массив, порода, руда, технология добычи, погашение, выработка, моделирование, параметры, земная поверхность.

Актуальность и цель исследования

Из земных недр извлекается около 200 видов полезных ископаемых, годовой объем мировой добычи минерального сырья достигает 17–18 млрд т горной массы [1].

Целью развития минерально-сырьевой базы экономик стран мира является удовлетворение возрастающих потребностей своего населения.

Подземным способом добывают две трети руд цветных и редких металлов, более половины минералов для химического производства, около 2/3 угля, почти 100 % калийных солей.

Несмотря на совершенствование техники и технологии подземной разработки месторождений полезных ископаемых, добыча ресурсов недр характеризуется снижением качества добываемых руд, увеличением потерь руды и разубоживания и ухудшением технико-экономических показателей [2].

Это относится к маломощным рудным телам месторождений руд редких, благородных и цветных металлов пологого залегания. Разработка пологих рудных тел мощностью от 0,6–0,8 до 15 м с углом падения до 25° и породными включениями характеризуется ухудшением качества руды при добыче до 25–35 %, а малая мощность является причиной низкой производительности труда из-за сложности использования техники [3].

Для создания устойчивого состояния массива в таких условиях требуется большая площадь обнажения пород кровли с целью развития напряжений при соответствующих им деформациях.

При добыче металлических руд стараются уменьшать потери в охранных целиках за счет поддержания устойчивости пород кровли с помощью крепления, но это не всегда бывает надежно и эффективно, потому что при воздействии взрывной волны и механизмов крепь часто не работает в заданном режиме.

В этой связи совершенствование параметров существующих технологий разработки пологих маломощных рудных тел должно учитываться на основе закономерностей взаимодействия горнотехнических, геологических и геомеханических факторов.

Погашение выработанного пространства после выемки руды в рамках таких месторождений отличается ненадежностью управления напряжениями при усадке пород заполнения, трудностью контроля состояния погашенной выработки и развитием напряжений в окрестностях погашаемой выработки.

Метод изоляции чаще всего применяют при локализации месторождения в не представляющих ценности для хозяйства участках земной поверх-

ности. Опасность этого метода подтверждается практикой массовых обрушений вплоть до катастроф типа горного удара.

Трудности ретроспективной корректировки результатов управления горным давлением повышает важность объективного принятия решения по выбору метода погашения выработанного пространства, с учетом дальнейшей эксплуатации месторождений данного типа.

При подземном способе разработки уменьшаются выбросы в окружающую среду, сокращается отвлечение земли под инфраструктуру предприятий, обеспечиваются лучшие показатели извлекаемого из недр сырья, однако возрастают затраты на поддержание рудовмещающих массивов и земной поверхности над ними при выходе зоны влияния горных работ на земную поверхность. Положительные аспекты управления с сохранением земной поверхности усиливаются при использовании технологий с выщелачиванием, при которых выщелоченные руды остаются в выработке и заменяют собой искусственные массивы.

Поэтому оценка геомеханических особенностей пород и массивов и их поведение при техногенном воздействии становится важным аспектом горного производства.

Теоретические основы управления состоянием массива: варианты поведения массивов при разработке и управление геомеханикой массива, в первую очередь погашением пустот, формулируются на геомеханической основе. Технологии управления состоянием пустот и методы их оптимизации совершенствуются из условий обеспечения большей безопасности при меньших затратах [4].

В качестве основного условия обеспечения безопасности выступает обоснование систем разработки и порядка ведения горных работ, способов управления горным давлением и параметров технологических процессов, при которых деформации в массиве и на земной поверхности не будут критическими.

Когда-то обрушение земной поверхности при добыче минерального сырья считалось неизбежным. Развитие природоохранных тенденций во второй половине XX в. породило необходимость использования технологий с закладкой пустот сухой, гидравлической, глиняной и, наконец, твердеющей смесью.

Вместе с тем большая часть пологих месторождений малой и средней мощности по экономическим соображениям не может быть отработана дорогостоящими технологиями и требует совершенствования технологий с погашением изоляцией пустот без опасности для земной поверхности.

Ужесточение экологических стандартов к существующим технологиям превращает требование к сохранности поверхности земли в приоритетное, особенно когда массив расположен под участком с интенсивным земледелием, охраняемыми объектами, рекреационными зонами и т. п.

Основной целью сохранения устойчивого состояния массива горных пород в таких условиях является выбор технологий разработки месторождений, которые обеспечили бы сохранность рудовмещающего массива и земной поверхности от разрушения в случае непредвиденного распространения зоны влияния.

Большинство металлических месторождений залегают в неоднородных скальных массивах сложной структуры, где проблема сохранения окружающей среды от негативного влияния горных разработок решается путем назначения безопасных параметров очистных выработок с сохранением земной поверхности в районе разработок [5].

Вопросам повышения качества полноты извлечения сырья из месторождений посвящены труды М.И. Агошкова, Д.М. Бронникова, В.Р. Именитова, А.А. Борисова и др.

Управлению состоянием массивов с обеспечением сохранности земной поверхности над ними заполнением пустот твердеющими смесями посвящены труды Д.М. Бронникова, Ф.Ф. Рычик, М.И. Цыгалова, Л.А. Крупника, А.П. Требукова.

Условия устойчивости выработок могут быть найдены исходя из гипотез горного давления, учитывающих остаточную несущую способность пород: В. Риттера, П.М. Цимбаревича, М.М. Протодьяконова, В.Д. Слесарева, А.А. Борисова, С.В. Ветрова и др.

Условия устойчивости выработок, как результирующего показателя прочности массива, могут быть найдены исходя из гипотез, представляющих массив, состоящим из породных блоков, путем создания устойчивых систем.

К управлению состоянием массива привлекаются свойства разрушенных и магазинированных в пределах очистных выработок руд, из которых металл извлекается растворением. В урановой отрасли объем добычи выщелачиванием увеличен до 30–40 % по объему с извлечением около 70 %. Пока активно выщелачиваются, кроме урана, медь, золото, цинк. Но динамика развития горного производства позволяет прогнозировать вовлечение в переработку и других металлов.

Методы исследований

Методы исследования затронутой проблемы основаны на изучении прочностных свойств породных конструкций с помощью законов динамического и кинематического подобия протекающих процессов в горном массиве и на бетонных моделях [6].

На моделях и в натуральных условиях измеряли деформации, которые затем по формулам теории упругости переводили в напряжения. Центробежное моделирование с использованием эквивалентных материалов использовали при изучении устойчивости кровли камер и опорных целиков. Структурные и физико-механические свойства горных пород массивов изучают с помощью мощных СВЧ [7].

Напряженное состояние массивов исследовали методами оптико-поляризационного моделирования и на эквивалентных материалах. Для оценки напряженного состояния массива пород моделируют на плоских и объемных моделях. На фотомеханических моделях исследовали как общее поле распределения вблизи торца скважины с керном, так и области наибольших концентраций напряжений, трещинообразования и разрушения керна.

Лабораторные исследования включали оценку напряженного состояния массива по поведению породных кернов на прессе.

Устойчивость кровли очистных выработок определяется величиной их эквивалентных пролетов. Для того чтобы создать заклинивание блоков с сохранением плоской формы кровли без образования свода, необходимо соблюдать условие:

$$L_{\text{факт}} \leq L_{\alpha}^{\circ},$$

где $L_{\text{факт}}$ – фактической эквивалентный пролет кровли выработки, м; L_{α}° – предельно допустимый эквивалентный пролет плоской кровли при заданном угле наклона горной выработки, м.

Плоская кровля устойчивая до того времени, пока прочность заклинивания кусков породы несущего слоя достаточно высока и способна поддерживать давящиеся на нее горные породы в своде естественного обрушения.

При выборе безопасных параметров погашения выработанного пространства исходят из того, что заклинившийся слой не потеряет прочность, а кровля при этом превратится из плоской в сводчатую. Важным критерием безопасного погашения выработанного пространства является область его опасного влияния – часть массива пород, где над выработками возможно развитие опасных напряжений и деформаций [8].

Полученные результаты являются основанием для принятия решений по управлению состоянием массива.

Результаты

Несущая способность рудовмещающих массивов корректируется технологией разработки на стадиях подготовки и выемки очистных блоков и погашения пустот и назначением размеров очистных выработок при различных вариантах развития добычных работ во времени и в пространстве не только в процессе выемки, но и при погашении, когда последствия технологии скорректировать практически невозможно [9].

В практике распространена схема управления массивом с разделением его на участки, прочность в которых определяется напряжениями только в нижнем слое структурных блоков.

Погашение пустот изоляцией применяется сравнительно редко, причем известные случаи относятся к разработке небольших рудных тел, залегающих в породах крепких и средней крепости. Таким способом погашали пустоты на Миргалимсайском, Джебказганском, Гюмушлутском, Сум-

сарском и Хайдарканском месторождениях СНГ, а также в США, Канаде, ЮАР и т. д.

При разработке месторождений с относительно малыми запасами пока еще предпочтительнее схемы с выемкой руд без заполнения пустот, но с составлением в качестве средства управления напряжениями рудных целиков. Частным случаем технологии является создание в погашаемых пустотах искусственных сооружений для разделения отработанного рудного поля на безопасные пролеты.

Выбор технологии для отработки пологопадающих месторождений малой и средней мощности осложняется противодействием факторов управления. Так, погашение пустот с закладкой твердеющими смесями удорожает стоимость товарной продукции вплоть до дискредитации технологии, а использование малозатратных технологий ухудшает качественные показатели из-за разрушения массива вплоть до разрушения земной поверхности.

Для выбора рациональных способов погашения выработанного пространства способом изоляции при разработке месторождений рассматриваемого типа может быть интересен опыт Ишимского месторождения (Северный Казахстан) (рис. 1).



Рис. 1. Месторождение Ишимское, план и разрез: 1 – тектонические нарушения; 2 – послойные залежи; 3 – рудные тела

Fig. 1. The Ishim deposit, plan and section: 1 is the tectonic faults; 2 are the stratified deposits; 3 is the ore body

Урановое месторождение сложено рудными телами в виде плоских лент неправильной формы шириной от 2 до 15, редко 25 м, мощностью от сантиметров до 10 м, в среднем 2 м, расположенных в трещиноватых породах блочной структуры.

Угол падения залежей от горизонтального до 15–25°, глубина залегания от 60 до 600 м. Коэффициент крепости руд, по М.М. Протодяконову, в пределах 8–14 и вмещающих пород – 8–10.

На объемных моделях из эквивалентных материалов исследовали влияние порядка выемки руд на состояние массива: сплошной, в отступающем порядке и двухстадийный (рис. 2).

Масштаб моделирования 1:200. Породы и руды в модели представлены песчано-цементной смесью с соотношением 15:1 при водоцементном отноше-

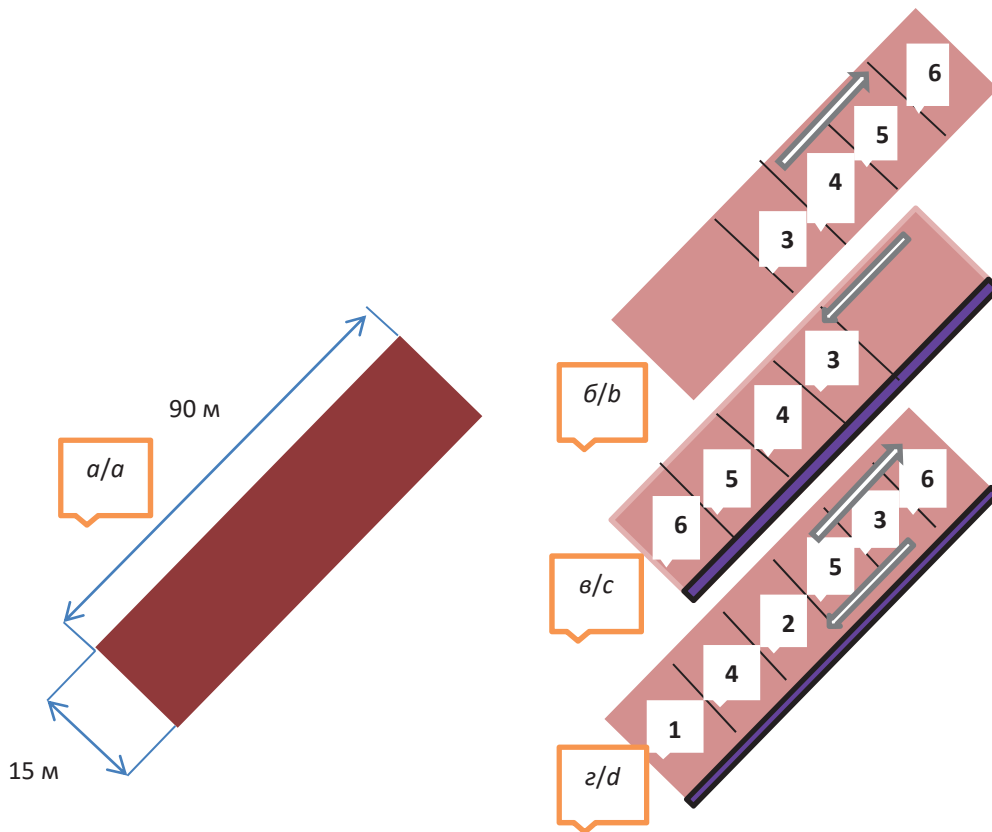


Рис. 2. Схемы отработки в объемных моделях из эквивалентных материалов: а) размеры модели; б) сплошная выемка; в) сплошная выемка в отступающем порядке; г) двухстадийная выемка

Fig. 2. Scheme of testing in volumetric models of equivalent materials: а) dimensions; б) long walling; в) long walling on retreat; д) two-stage mining

нии 1,7. Расход компонентов: песок – 170 кг, цемент М400 – 12 кг, вода – 20 л на одну порцию, имитирующую 1 м³.

В основании стенда установлены деформометры, регистрирующие величину и порядок перераспределения горного давления в процессе выемки руд. Темпы сдвижения оценивали по смещению реперов, устанавливаемых в процессе изготовления модели над камерами с помощью индикаторов.

Исходные данные для моделирования:

- глубина работ 390 м;
- объемный вес пород 2,8 т/м³;
- прочность пород на сжатие 960 кг/см²;
- угол падения залежи 20°;
- высота выработки 3 м.

Порядок отработки оценивали по напряженности пород в забое (рис. 3).

Ненарушенность массива выработками в модели «а» способствует более равномерному распределению опорного давления. В модели «б» работы производятся в условиях повышенного давления, инициированного проходкой нарезных выработок. Концентрация напряжений, по сравнению с моделью «а», увеличивается на 20–30%. Наименее благоприятна ситуация в модели «в», где концентрация напряжений увеличивается под влиянием системы

целиков до максимальных размеров. Уменьшение размеров целиков в последней стадии работ до 2 м способствует развитию опасных напряжений.

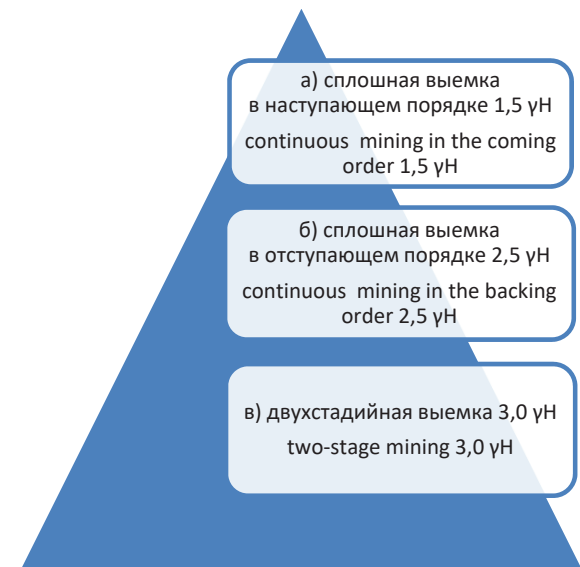


Рис. 3. Концентрация напряжений в массиве при вариантах выемки

Fig. 3. Stress concentration in the array at excavation

Особенности проявления геомеханических явлений в таких массивах обусловлены интенсивностью разрывных структур, характеризующихся акустической жесткостью от 0,11 до 0,18 МПа/с, коэффициентом удароопасности 0,98 и изменением коэффициента ослабления пород с 0,25–0,35 до 0,04–0,15. В этих условиях сохранность земной поверхности зависит от соотношения напряжений в элементах геомеханической системы, которые регулируются технологически величиной пролетов обнажений. При равенстве напряжений в приконтурной зоне и прочности несущего слоя пород выработанное пространство может погашаться с меньшими затратами.

Оценку устойчивости горного массива осуществляли обследованием выработок, при этом проводили регистрацию состояния массива вмещающих пород с последующим картированием местности. При принятии проектных и эксплуатационных решений месторождение дифференцируют по устойчивости руд и пород.

Практика свидетельствует, что массивы скальных месторождений способны сохранить устойчивость в пределах консолидированных по величине напряжений породных конструкций [10].

Оперативный контроль развития напряжений в массиве осуществляется геофизическими методами. На разных стадиях развития горных работ измеряют частоту звукометрических импульсов. Так, с увеличением длины нарезного штрека с 3 до 10 м импульсы увеличиваются до 2–5 в минуту и уменьшаются до 1–3 в минуту после крепления штрека.

Предельный по устойчивости пролет выработки определен путем увеличения ее ширины прирезками в бок вплоть до обрушения кровли (рис. 4).

Устойчивость земной поверхности над погашаемым участком месторождения после его отработки характеризуется предотвращением возможности возникновения провалов или зон плавных сдвижений:

$$H > H_p = 55 \ell_{\text{экр}} f^{-1,3} = K \ell_{\text{экр}},$$

$$\ell_{\text{экр}} = \frac{L \cdot \ell'}{\sqrt{L^2 + (\ell')^2}},$$

где H – глубина верхней границы выработанного пространства, м; H_p – расчетная глубина, где деформация поверхности не опасна, м; $\ell_{\text{экр}}$ – эквивалентный пролет, м; f – коэффициент крепости пород по М.М. Протодяконову; L – размер выработанного пространства по простиранию; ℓ' – горизонтальная проекция выработанного пространства вкрест простирания; K – коэффициент запаса надежности.

Условие, при котором земная поверхность претерпевает сдвижения и деформации без воронок и провалов:

$$\frac{H \cdot S}{V} > 6,$$

где S – площадь выработанного пространства, м²; V – объем выработанного пространства, м³.

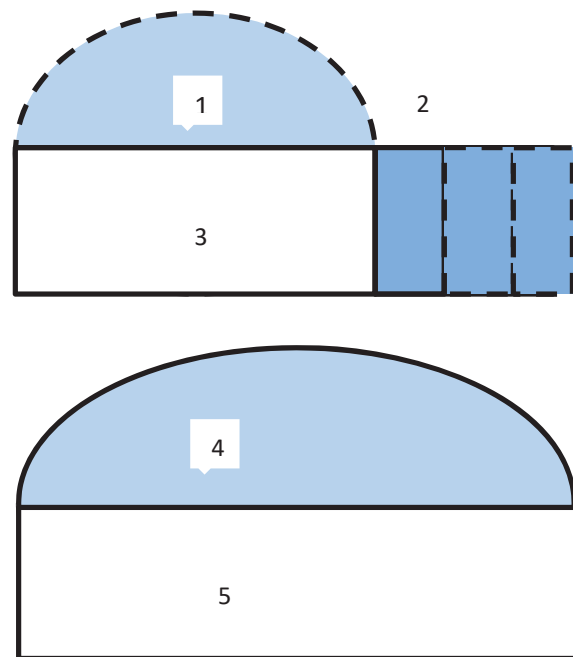


Рис. 4. Определение величины предельного пролета выработки: 1 – исходный свод естественного равновесия; 2 – отбиваемые породные прирезки; 3 – исходный пролет выработки; 4 – свод обрушения пород при достижении предельного пролета выработки; 5 – свод предельного пролета выработки

Fig. 4. Determination of the working limit span value: 1 is the initial set of ecological balance; 2 are the broken-up rock cutbacks; 3 is the original span of the production; 4 is the arch of rock collapse, when the maximum span development; 5 is the arch of the mining limited span

Для скальных месторождений характерно развитие деформаций в форме обрушения пород с высотой свода:

$$h = \frac{1,5m}{K_p - 1},$$

где m – мощность рудного тела, м; K_p – коэффициент разрыхления пород с учетом их прочности на одноосное сжатие ($\sigma=100$ МПа, $K_p=1,26$).

Рассматриваемое месторождение с объемом пустот 2 млн м³ было погашено без заполнения пустот закладочным материалом. Расчетами параметров устойчивости установлено, что породы над пустотами в подавляющем большинстве находятся в исключительном разрушенном состоянии, отношение $\frac{H' \cdot S_{\text{пл}}}{V}$ больше 6, т. е. деформирование земной поверхности происходит без образования воронок и провалов.

Эффективность погашения пустот изоляцией определяется сравнением приведенных затрат при этой технологии и при альтернативных технологиях.

Экономический эффект технологии погашения пустот изоляцией:

$$\Delta_n = (S_n C_n + L_o C_{o2} + Q_a C_a) / Q_n,$$

где S_n – площадь изымаемых из пользования земель, м²; C_n – стоимость изымаемых из пользова-

ния земель, p/m^2 ; L_0 – периметр ограждения изымаемой площади, м; C_{o2} – стоимость ограждения изымаемой площади, p/m ; Q_3 – объем заполнения пустот, m^3 ; C_3 – стоимость заполнения пустот, p/m^3 ; Q_n – объем погашаемых выработанных пространств изоляцией перемычками, m^3 .

В условиях Ишимского месторождения площадь изымаемых из пользования земель $5200 m^2$; стоимость изымаемых из пользования земель $1,1 p/m^2$; периметр ограждения изымаемой площади $896 m$; стоимость изымаемой площади $0,75 p/m$; объем пустот, погашаемых с разделяющей закладкой, $19900 m^3$; стоимость заполнения пустот $10 p/m^3$; объем погашения пустот изоляцией $1290000 m^3$. Стоимость погашения $1 m^3$ пустот изоляцией (в ценах 1990 г.):

$$\vartheta_n = (S_n C_n + L_0 C_{o2} + Q_3 C_3) / Q_n = \\ = (5200 \cdot 1,1 + 896 \cdot 0,75 + 19900 \cdot 10) / 1290000 = 0,18 p/m^3.$$

Затраты при погашении обрушением пород даже без полного учета его влияния на окружающую среду составили $0,92 p/m^3$. При погашении с закладкой пустот твердеющей смесью ее стоимость экспертно оценивается в пределах $6–15 p/m^3$.

Можно прогнозировать, что развитие ресурсосберегающих тенденций в мировом горном производстве способствует более полному учету геомеханических факторов при оценке эколого-экономической эффективности добычи минерального сырья [11].

Перспективы развития методов управления массивом на основе рационального использования механизма взаимодействия слагающих массивы пород используются при анализе устойчивости предприятий горнодобывающей промышленности [12].

Прогноз поведения рудовмещающих массивов при понижении горных работ на глубину основывается на теоретических концепциях механики горных пород [13] и горной практики [14].

Показатели эффективности подземной разработки месторождений во многом зависят от целенаправленного использования свойств рудовмещающих массивов, поэтому выбор неразрушающих сохранность земной поверхности параметров является одним из основных вопросов эксплуатации недр [15]. В последние годы это направление усиливается требованием охраны земной поверхности от разрушения в течение неопределенно дли-

тельного времени после погашения выработок [16–18].

Результаты исследования проблемы охраны земной поверхности от разрушения в природных и лабораторных условиях, выполненные в России и за рубежом, согласуются и утверждаются с учетом устойчивости земной поверхности, расположенной над погашаемым участком после отработки месторождения [19–21]. Подтверждается также необходимость учета геомеханических факторов при оценке эколого-экономической эффективности добычи руд на основе использования свойств рудовмещающих массивов [22, 23].

Результаты настоящего исследования корреспондируют с концепцией взаимосвязи численности населения Земли, объемами добычи полезных ископаемых и совершенствованием технологий их добычи [24].

Рассматриваемая проблема эффективности технологий добычи руд со сложными условиями локализации соседствует с глобальными проблемами природо- и ресурсосбережения [25].

Выводы

1. По мере увеличения населения Земли объемы добычи полезных ископаемых увеличиваются, технологии добычи совершенствуются, а проблема обеспечения промышленности минеральным сырьем обостряется.
2. Главным критерием эффективности технологий добычи минерального сырья становится соответствие их принципам природо- и ресурсосбережения.
3. Со временем горно-геологические и экономико-географические условия разработки месторождений усложнятся, а международное соперничество за обладание минеральными ресурсами усилится.
4. В этих условиях возрастает актуальность экономических технологий с управлением массивом способом изоляции на основе рационального использования механизма взаимодействия слагающих массивы пород.
5. Экономическая эффективность разработки подземным способом маломощных месторождений зависит от возможности сохранения плоской формы кровли очистных выработок путем обеспечения геомеханической сбалансированности участков рудовмещающих породных массивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Myga-Piątek U. Landscape management on post-exploitation land using the example of the Silesian region, Poland // *Environmental & Socio-economic Studies*. – 2014. – V. 2 (1). – P. 1–8.
2. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. – New York, Armonk: M.E. Sharpe, Inc., 2013. – 189 p.
3. Zoback M.L., Zoback M.D., Adams J. Global patterns of tectonic stress nature // *Nature*. – 1989. – V. 341. – № 6240. – P. 291–298.
4. Голик В.И., Комащенко В.И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей // *Горный журнал*. – 2017. – № 3. – С. 43–47.
5. Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata // *Journal of China Coal Society*. – 2009. – V. 34. – № 8. – P. 1048–1051.
6. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, V. Zaalishvili // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – № 4. – P. 325–329.

7. Голик В.И. Оптимизация технологии разработки маломощных пологих рудных тел на геомеханической основе // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 4. – С. 139–152.
8. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля / В.И. Голик, В.И. Комащенко, С.Г. Страданченко, С.А. Масленников // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 91–95.
9. Плешко М.С., Насонов А.А. Внедрение эффективных геотехнологий на основе комплексного мониторинга всех стадий жизненного цикла горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 11. – С. 69–76.
10. Freeman A.M., Herriges J.A., Kling C.L. The measurement of environmental and resource values. Theory and methods. – New York, USA: RFF Press, 2014. – 235 p.
11. Shabanimashcool M., Li C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2015. – № 79. – P. 99–108.
12. Onica I. Introduction in the Numerical Methods Used in the Mining Excavations Stability Analysis (in Romanian). – Petrosani: Universitat Publishing House, 2001. – 156 p.
13. Study on rock mechanics in deep mining engineering / He Manchao, Xie He-ping, Peng Su-ping et al. // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2005. – № 16. – P. 2804–2813.
14. Capilla A.V., Delgado A.V. The Destiny of the Earth's Mineral Resources. – London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. – 256 p.
15. Оценка геодинамического состояния массива горных пород при отработке участков в охранных целиках / А.А. Еременко, В.А. Еременко, Л.Н. Гахова, А.П. Ерусланов, А.С. Смелик, С.А. Прохвятилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 7. – С. 123–128.
16. Батугина И.М., Юй Лицзян, Батугин А.С. Воздействие горных работ на геологическую ситуацию и комплексное управление им на примере шахты Хуафэн в Китае // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 7. – С. 123–129.
17. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2015. – V. 115. – № 11. – P. 1044–1056.
18. Ястребинский М.А. Экономическое обоснование рыночного критерия приведенных затрат и результатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 178–184.
19. Комащенко В.И. Разработка взрывной технологии, снижающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 34–43.
20. Протосеня А.Г., Куранов А.Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Кошвинского месторождения // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 67–71.
21. Пучков Л.А. Прогноз минерально-энергетического потребления при бескризисном развитии экономики // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 45–48.
22. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА / В.И. Голик, О.Н. Полухин, А.Н. Петин, В.И. Комащенко // Горный журнал. – 2013. – № 4. – С. 91–98.
23. Язиков В.Г. Перспективы развития урановой промышленности Республики Казахстан // Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. – М.: Руда и Металлы, 2005. – Т. 1: Уран. – С. 67–76.
24. Стратегия снижения риска опасного загрязнения окружающей среды на открытых разработках / Б.Р. Ракишев, Д.М. Сиваракша, С.К. Молдабаев, Н.А. Шулаева // Горный журнал Казахстана. – 2010. – № 6. – С. 36–39.
25. Каплунов Д.Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 49–51.

Поступила 31.08.2017 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Разоренов Ю.И., доктор технических наук, профессор, ректор Северо-Кавказского государственного технологического университета.

UDC 504.55.054:622(470.6)

GOAF FILLING WITH ISOLATION PRESERVING EARTH SURFACE

Vladimir I. Golik¹,
v.i.golik@mail.ru

Yuri I. Razorenov¹,
yiri1963@mail.ru

¹ North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy,
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

The relevance of the work is caused by the need to combine the principles of economic efficiency of array state control while filling the cavities formed when mining and safety of the environment in the area of mineral resource extraction with the increase in volumes of extraction of mineral raw materials for the needs of the growing population.

The aim of the research is to develop the parameters of ore extraction technique without filling the cavities with the material. These materials would preserve the earth surface from destruction in the case of rock caving zone yield to the level of pumps for indefinitely long period of time after filling the workings.

Research methods: critical analysis of the experience in development of deposits similar in ore localization conditions, physical and mathematical modelling of the production technologies and forecasting the ways of development of technology, experimental determination of the value of a span limited in stability condition.

Results. It is shown that the earth surface stability over the filled deposit area after its performance is provided with preventing the possibility of deformation phenomena occurrence. It is proved that the field with the void volume of 2 million m³ can be repaid without filling voids with backfill material. The authors have substantiated the necessity of a more complete accounting of geomechanical factors in assessment of environmental and economic efficiency of extraction of mineral raw materials. The paper introduces the model of estimation of underground mining efficiency depending on the use of properties of ore-bearing massifs.

Conclusions. Purposeful use of the properties of ore-bearing massifs largely determines the performance indicators of underground mining. One of the main operational issues is the choice of development options to ensure the safety of the earth surface.

Key words:

Solid, rock, ore, mining technology, filling, working, modeling, parameters, earth surface.

REFERENCES

1. Myga-Piątek U. Landscape management on post-exploitation land using the example of the Silesian region, Poland. *Environmental & Socio-economic Studies*, 2014, vol. 2 (1), pp. 1–8.
2. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. New York, Armonk, M.E. Sharpe, Inc., 2013. 189 p.
3. Zoback M.L., Zoback M.D., Adams J. Global patterns of tectonic stress nature. *Nature*, 1989, vol. 341, no. 6240, pp. 291–298.
4. Golik V.I., Komashchenko V.I. Waste enrichment of ferruginous quartzite as raw material for recovering metals and use as a filling mixtures. *Mining journal*, 2017, no. 3, pp. 43–47. In Rus.
5. Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under superthick overlying strata. *Journal of China Coal Society*, 2009, vol. 3, no. 8, pp. 1048–1051.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 4, pp. 325–329.
7. Golik V.I. Optimization of technology of development of low-power flat ore bodies on a geomechanical basis. *News of the Tula state university. Sciences about Earth*, 2016, no. 4, pp. 139–152. In Rus.
8. Golik V.I., Komashchenko V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Increasing the efficiency of the subsoil by deep disposal of waste coal. *Mining journal*, 2012, no. 9, pp. 91–95. In Rus.
9. Pleshko M.S., Nasonov A.A. Introduction of effective geotechnologies on the basis of complex monitoring of all stages of life cycle of the mining enterprise. *The Mountain information and analytical bulletin*, 2013, no. 11, pp. 69–76. In Rus.
10. Freeman A.M., Herriges J.A., Kling C.L. *The measurement of environmental and resource values. Theory and methods*. New York, USA, RFF Press, 2014. 235 p.
11. Shabanimashcool M., Li C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2015, no. 79, pp. 99–108.
12. Onica I. *Introduction in the Numerical Methods Used in the Mining Excavations Stability Analysis* (in Romanian). Petroșani, Universitas Publishing House, 2001. 156 p.
13. He Man-chao, Xie He-ping, Peng Su-ping. Study on rock mechanics in deep mining engineering. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, no. 16, pp. 2804–2813.
14. Capilla A.V., Delgado A.V. *The Destiny of the Earth's Mineral Resources*. London, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. 256 p.
15. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gakhova L.N., Eruslanov A.P., Smelik A.S., Prokhvatilov S.A. Evaluation of the geodynamic state of rock massif when mining sites in the security pillars. *The Mountain information and analytical bulletin*, 2013, no. 7, pp. 123–128. In Rus.
16. Batugina I.M., Yu Lijiang, Batugin A.S. The impact of mining operations on the geocological situation and integrated management on the example of mine Huafeng in China. *Mining information-analytical Bulletin*, 2013, no. 7, pp. 123–129. In Rus.
17. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2015, vol. 115, no. 11, pp. 1044–1056.
18. Yastrebinskij M.A. The economic rationale of market criteria given inputs and outputs. *GLAB*, 2014, no. 6, pp. 178–184. In Rus.
19. Komashchenko V.I. Development of explosive technology that reduces harmful influence on the environment Wednesday. *Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*, 2016, no. 1, pp. 34–43. In Rus.
20. Protosenya A.G., Kuranov A.D. Methods of predicting the stress-strain state of rock mass in the combined development of the Koshvinsky field. *Mining journal*, 2015, no. 1, pp. 67–71. In Rus.

21. Puchkov L.A. The forecast of mineral and power consumption at acritical development of economy. *Mining journal*, 2014, no. 7, pp. 45–48. In Rus.
22. Golik V.I., Polukhin O.N., Petin A.N., Komashchenko V.I. Environmental problems of development of ore fields of KMA. *Mining journal*, 2013, no. 4, pp. 91–98. In Rus.
23. Yazikov V.G. Perspektivy razvitiya uranovoy promyshlennosti Respubliki Kazakhstan [Prospects of development of the uranium industry of the Republic of Kazakhstan]. *Podzemnoe i kuchnoe vyshchelachivanie urana, zolota i drugikh metallov* [Underground and compact leaching of uranium, gold and other metals]. Moscow, Ruda i matally Publ., 2005. Vol. 1, pp. 67–76.
24. Rakishev B.R., Sivaraksha D.M., Moldabayev S.K., Shulayeva N.A. Strategy of decrease in risk of dangerous environmental pollution on open-cast mining. *The Mountain magazine of Kazakhstan*, 2010, no. 6, pp. 36–39. In Rus.
25. Kaplunov D.R. Theoretical bases of design of development of a subsoil: formation and development. *Mining journal*, 2014, no. 7, pp. 49–51. In Rus.

Received: 31 August 2017.

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy.

Yuri I. Razorenov, Dr. Sc., professor, rector, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy.