

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА

УДК 504.55.054:622 (470.6)

DOI: [10.46698/VNC.2020.93.21.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.93.21.011)

Оригинальная статья

Управление геодинамикой массива путем регулирования величины напряжений

В. И. Голик , О. Г. Бурдзиева , Б. В. Дзеранов , Х. О. Чотчаев 

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: v. i. golik@mail. ru

Статья поступила: 01.04.2020, доработана: 08.06.2020, одобрена в печать: 11.06.2020

Резюме: Актуальность проблемы комплексного освоения и сохранения недр в настоящее время повышается необходимостью совершенствования основанных на новых принципах технологических процессов, что объясняет необходимость разработки новых и модернизации известных методов управления геодинамическими явлениями в массиве. **Объектом исследования** являются скальные сложно-структурные месторождения Садонской группы Центрального Кавказа, разработка которых увеличивает напряжения в рудовмещающих массивах с ухудшением качественных показателей использования недр и делает необходимым учет технологических воздействий на массив и меры геомеханического мониторинга его состояния. **Целью исследования** является обоснование возможности и целесообразности использования продуктов горного и обогатительного передела руд и изготовленных на их основе после извлечения из них полезных компонентов закладочных смесей. **Методы** достижения поставленной цели исследования включают в себя систематизацию и ранжирование связанных с управлением массивом геологических, технологических и экономических данных, разработку критериев оптимальности и формирование концепции ресурсосберегающей технологии разработки месторождений. **Результаты.** Детализирована концепция управления геомеханикой рудовмещающих массивов. Дано условие прочности массива на различных стадиях разработки месторождения. Предложена математическая модель взаимодействия переменных факторов. Сформулирован механизм сочетания традиционной технологии с открытым выработанным пространством и новой технологии с выщелачиванием металлов, как в блоках, так и в дезинтеграторах. Даны результаты оценки возможности использования хвостов обогащения в качестве сырья для изготовления твердеющих смесей, полученные в ходе полнофакторных исследований по программам государственных грантов. Даны сведения о гидрохимических способах получения металлов на рудниках. Вмещающим породам Садонских месторождений характерно перераспределение напряжений, в том числе, в геодинамическом режиме. Управление геодинамикой рудовмещающих пород путем регулирования величины напряжений в рудовмещающих массивах требует использования искусственных массивов из хвостов технологических процессов. Показано, что отработка вовлекаемых в производство некондиционных руд и хвостов обогащения запасов и доработка имеющихся запасов по комбинированной схеме может быть рентабельной.

Ключевые слова: концепция, управление, массив, земная поверхность, геомеханика, напряжения.

Для цитирования: Голик В. И., Бурдзиева О. Г., Дзеранов Б. В. Управление геодинамикой массива путем регулирования величины напряжений. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (2): 147-160. DOI: 10.46698/VNC.2020.93.21.011.

DOI: [10.46698/VNC.2020.93.21.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.93.21.011)

Original paper

Ground geodynamics control by regulating stress level

V. I. Golik , O. G. Burdzieva , B. V. Dzeranov , Kh. O. Chotchaev 

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: v. i. golik@mail. ru

Received: 01.04.2020, revised: 08.06.2020, accepted: 11.06.2020

Annotation: Relevance. of the problem of integrated development and conservation of mineral resources is currently increasing by the need to improve technological processes based on new principles, which explains the need to develop new and modernize well-known methods for managing geodynamic phenomena in the massif. **Aim.** The object of the study is the rock complex structural deposits of the Sadon group of the Central Caucasus, the development of which increases stresses in ore-bearing massifs with a deterioration in the quality of subsoil use and makes it necessary to take into account technological impacts on the massif and measures of geomechanical monitoring of its condition. The aim of the study is to substantiate the feasibility and advisability of using the products of mining and concentration processing of ores and made on their basis after extracting from them the useful components of filling mixtures. **Methods** to achieve the research goal include systematization and ranking of geological, technological and economic data related to managing an array of data, development of optimality criteria and the formation of a concept for resource-saving technology for field development. **Results.** The concept of managing the geomechanics of ore-bearing arrays is detailed. The condition of the array strength at various stages of field development is given. A mathematical model of the interaction of variable factors is proposed. The mechanism of combining traditional technology with open mined space and a new technology with leaching of metals, both in blocks and in disintegrators, is formulated. The results of evaluating the possibility of using enrichment tailings as raw materials for the manufacture of hardening mixtures, obtained in the course of full-factor studies on state grant programs. Information is given on hydrochemical methods for producing metals in mines. The host rocks of the Sadon deposits are characterized by a redistribution of stresses, including in the geodynamic regime. Management of the geodynamics of ore-bearing rocks by regulating the magnitude of stresses in ore-bearing massifs requires the use of artificial arrays from the tailings of technological processes. It is shown that the mining of substandard ores and tailings from the enrichment of reserves involved in the production and the refinement of existing reserves using a combined scheme can be cost-effective.

Keywords: concept, management, array, Earth surface, geomechanics, voltage.

For citation: Golik V. I., Burdzieva O. G., Dzeranov B. V. Ground geodynamics control by regulating stress level. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (2): 147-160. DOI: 10.46698/VNC.2020.93.21.011.

Введение

Проблема комплексного освоения и сохранения недр Земли решается совершенствованием процессов разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья [Borshchovskiy et al., 2017; Golik et al., 2015a, c], что обеспечивается использованием возможности инструментального контроля напряженно-деформированного состояния массива.

Технологии разработки рудных месторождений Садонской группы характеризуются потерями металлов в некондиционных рудах и в хвостах обогащения руд.

Полноту использования недр и сокращение объемов химически агрессивных отходов на земной поверхности могут обеспечить прорывные технологии, основанные на принципиально новых принципах.

Такие технологии рождаются, в том числе, в результате анализа опыта малоотходных технологий разработки природных и техногенных месторождений и нетрадиционных технологий добычи металлов из некондиционного сырья в условиях месторождений Садонской группы.

Такой опыт накоплен авторами посредством исследований в рамках 4 грантов с получением количественных показателей извлечения металлов из руд выщелачиванием.

Доказано, что механохимическое воздействие на минералы адекватно позволяет изменять их свойства и изменять фазовое состояние рудных минералов с переводом металлов в мобильное положение.

Выщелачивание металлов в подземных блоках и дезинтеграторах – активаторах осуществлено экспериментально на рудах Садонского рудного узла [Golik et al., 2015d; Golik, Lukyanov, 2013].

Сведения о перспективах выщелачивания могут быть востребованы для возрождения горной отрасли, создания новой практически неограниченной сырьевой базы предприятий и реальной минимизации химического загрязнения не только в РСО-Алания, но и других регионов.

Оптимизация технологических процессов горного производства по фактору управления геомеханикой рудовмещающих массивов включает в себя важный раздел обоснования целесообразности использования хвостов подземного выщелачивания металлов из руд и использование закладочных смесей из утилизируемых отходов горного производства на земной поверхности после извлечения из них полезных компонентов.

Цель

Целью таких исследований являются:

- создание сырьевой базы для изготовления твердеющих закладочных смесей на основе техногенных запасов некондиционного сырья;
- глубокое извлечение металлов из хвостов добычи и переработки минерального сырья путем комбинированного химического обогащения и их механической активации с приложением высокой энергии.

Разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается реакцией слагающих их массивов, по силе сравнимой с экстремальными природными явлениями. Чувствительность стабильно неустойчивых участков земной коры проявляется в виде сейсмического отклика на техногенное изменение естественного поля напряжений.

Управление состоянием природно-технической геомеханической системы сводится к оптимизации энергетических потоков по критериям эффективности, безопасности и полноты использования недр.

Разработка скальных месторождений увеличивает напряжения до уровня критических с ухудшением качественных показателей использования недр, что повышает актуальность проблемы управления геодинамическими процессами при техногенном вмешательстве для сохранения массива от разрушения.

Состояние скальных массивов при добыче руд определяется совокупностью природных и техногенных факторов: объемом пустот, технологией и временем существования.

Максимальные напряжения развиваются при стадийной отработке залежей камерно- целиковыми системами в местах оборудования временных и постоянных целиков и на участках изменения мощности рудных тел, где уровень критических напряжений повышается в 2-3 раза.

Методика

Оптимальное соотношение параметров отбойки руд и уровня напряжений обеспечивается при использовании методики оптимизации технологий на основе учета сейсмозрывных воздействий на массив и поверхностные объекты, в том числе, за счет разделения взрывных волн во времени.

Эффективное управление геомеханическим состоянием рудовмещающего массива в сложных горно-геологических условиях обеспечивается геомеханическим мониторингом его напряженно-деформированного состояния. Основу такого мониторинга составляют геофизические методы, совершенствование которых и адаптация к конкретным условиям месторождения весьма актуальны. Особой трудностью для геофизического сопровождения процессов разработки отличаются месторождения, возраст которых достигает 200 лет, например, Садонского.

Результаты

В основе управления геомеханикой массивов лежит теория М. М. Протодяконова (1933), в соответствии с которой на выработку действует вес пород, заключенный в пределах свода. А. А. Борисов (1964) увязал ее с устойчивостью слоя пород в кровле выработки, а В. Д. Слесарев (1948) – с сопротивлением разрыву образующих балку пород. С. В. Ветров (1975) сформулировал корреляцию между прочностью заклинивающихся пород, образующих шарнирную арку в кровле выработки и весом пород в пределах свода естественного равновесия.

Принципиальные условия геомеханической сбалансированности массива сводятся к тому, чтобы фактические размеры горных выработок не превышали предельных для данных условий размеров, а влияние горных работ не распространялось до земной поверхности.

Способом регулирования напряжений в скальных месторождениях в отличие от месторождений других типов является регулирование величины и направления напряжений или целенаправленная корректировка несущей способности пород во времени и пространстве технологическими методами на всех стадиях добычных работ.

Концепция природоохранной и ресурсосберегающей технологии разработки месторождений Садонского рудного пояса предусматривает управление состоянием массива путем регулирования уровня, формируемых совокупностью сейсмотектонических воздействий и техногенной сейсмичности.

Извлечение руды из недр происходит в условиях суммарного воздействия природных и техногенных напряжений [Чотчаев и др., 2018; Golik et al., 2016].

При разработке месторождений разубоживание руд породами достигало 60%, а потери руд были не менее 20%. При добыче в целиках теряли до 40% запасов руды, а при обогащении ее – до 30% металлов. Воронки обрушения достигали земной

поверхности.

Для разработки месторождений Садонской группы характерны деконцентрация добычных работ, высокие потери и разубоживание руд при нарушении геомеханической стабильности участков месторождений; активизация разрушения массива с увеличением глубины разработок выборочной выемки разносортных руд.

Инструментальными исследованиями состояния массивов в период разработки установлено:

- показатели эффективности добычи руд коррелируют с величиной возникающих напряжений;
- эффективное управление напряжениями осуществляется технологиями с заполнением пустот монолитными твердеющими смесями.

Это условие обеспечивается разделением месторождений рудными или искусственными целиками, а также массивами хвостов подземного выщелачивания.

Условие прочности массива на различных стадиях разработки описывается моделью В. Голика:

$$\sigma_1 \pm k\sigma_{2,3} \leq \sigma_{сж} = \begin{cases} \sigma_{сж}^0 = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x_1, dx_1, dx_2 \dots dx_n) \rightarrow \begin{cases} \sigma_{закл} = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x) (dH_s) \\ \sigma_{закл} = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x) (dH_s + dH_c) \end{cases} \\ \sigma_{сж}^{\text{ост}} \text{ при } H_c = H \rightarrow \sigma_{закл} = \int_0^B f(x) (dH) \end{cases}$$

где σ_1 – вертикальная составляющая главных напряжений, МПа; $\sigma_{2,3}$ – горизонтальная результирующая составляющая, МПа; k – коэффициент искажения напряжения структурно-тектоническими условиями; $\sigma_{сж}$ – напряжения в верхнем слое разупроченных отдельностей массива, МПа; σ_{\pm} – напряжения в зоне влияния работ, МПа; $\sigma_{сж}^{\text{ост}}$ – остаточная прочность пород, МПа; Z_0 – пролет плоской формы выработки, м; x_1, \dots, x_n – свойства пород; $\sigma_{закл}$ – прочность закладочного массива при сжатии, МПа; B – ширина зоны обрушения, м; H – высота зоны обрушения, м; H_c – высота зоны влияния работ, м; H_s – высота закладочного массива, м.

Сохранность рудовмещающих массивов и земной поверхности над ними определяется высотой свода С. В. Ветрова:

$$h_c = a' / v,$$

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 – вертикальный и горизонтальный размер структурных блоков; $R''_{сж}, R'_{сж}$ – отношение сопротивления пород сжатию в направлении распора свода и в направлении действия массы пород.

Результаты расчета должны удовлетворять условию сохранности земной поверхности по ВНИМИ:

$$H' > H_p = \kappa l \ell_{\text{экв}},$$

где H' – глубина верхней границы выработанного пространства от выветренных пород и рыхлых отложений, м;

H_p – расчетная глубина выработанного пространства от выветренных пород, м;
 k_1 – коэффициент, учитывающий свойства горных пород в зависимости от свойств покрывающих пород.

В недрах Садонских месторождений за 200 лет их истории образовано до 5 млн м³ незаполненных пустот, которые оказывают влияние на геодинамику массивов региона. Основным фактором технологического воздействия на рудовмещающие массивы является взрывание зарядов взрывчатых веществ для отделения от массива и дробления руд.

Горные выработки существуют в полях сейсмических и гравитационных напряжений, образованных естественными и техногенными динамическими явлениями, и реагируют на изменение параметров полей.

В результате природно-техногенных сейсмических воздействий возникают дополнительные к гидростатическим напряжения. При увеличении сейсмичности с 7 до 9 баллов динамические напряжения увеличиваются от 0,5 до 1,5 МПа.

Взаимодействие влияющих на породный массив факторов описывается схемой (рис. 1):

Управляемость массивом достигается сочетанием традиционной технологии с открытым выработанным пространством и новой технологии с выщелачиванием. В качестве закладочного материала служит горная масса, с помощью химико-физических процессов переведенная из одного агрегатного состояния в другое, набирающая прочность до 0,5-1,0 МПа и представляющая собой стабильную породную конструкцию.

Прочные хвосты выщелачивания, составляют объект комбинации вместе с искусственными массивами, созданными на участках извлеченных богатых руд. В зависимости от того, что находится в кровле: породный массив или искусственный массив из твердеющей закладки возможны варианты породных конструкций. При выемке запасов первой очереди в кровле над ними возникает зона разгрузки. Опорное давление перераспределяется на камеры второй очереди.

Использование хвостов обогащения в качестве сырья для получения металлов и изготовления твердеющих смесей может быть возможным при изменении их активности путем извлечения металлов реагентами в момент образования свежих поверхностей минералов в активаторе-дезинтеграторе (рис. 2).



Рис. 1. Модель взаимодействия геомеханических факторов. /
 Fig. 1. Geomechanical interaction model of the geomechanical factors.

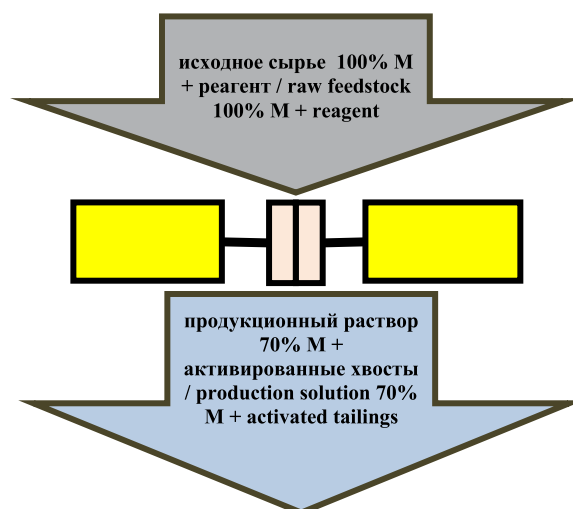


Рис. 2. Выщелачивание металлов в дезинтеграторе с механохимической активацией. /
Fig. 2. Leaching of metals in a disintegrator with mechanochemical activation.

Возможность использования хвостов обогащения в качестве сырья для изготовления твердеющих смесей определена авторами в ходе полнофакторных исследований по программам государственных грантов.

Прочность твердеющих смесей для каждого варианта активации исследовали по стандартной методике.

Содержание металлов во вторичных хвостах после однократного выщелачивания уменьшается в 3-4 раза.

Изменение прочности выщелоченных хвостов в бетонной смеси при постоянном количестве ингредиентов, кг/м³: хвосты 1445, цемент 10, вода 380 дано в таблице 1.

Таблица 1. / Table 1.

Изменение прочности смеси с цементом в зависимости от варианта активации хвостов, МПа. / Change in the strength of the mixture with cement, depending on the version of tailings activation, MPa.

Вариант активации / Activation version	Прочность, МПа, время, сутки / Strength, MPa, 24 hours		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание / Agitation leaching	1,04	1,11	1,20
Агитационное выщелачивание после механической активации / Agitation leaching after mechanical activation	1,16	1,25	1,32
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе / Single leaching in the disintegrator	0,68	0,73	0,88
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе / Agitation leaching after leaching in the disintegrator	0,73	0,77	0,94
Трехкратное выщелачивание в дезинтеграторе / Triple leaching in the disintegrator	1,12	1,20	1,32

Таблица 2. / Table 2.

Изменение прочности выщелоченных хвостов без цемента в зависимости от варианта и времени активации, МПа. / The change in the strength of leached tailings without cement, depending on the version and time of activation, МПа.

Вариант активации / Activation version	Прочность, МПа, сутки / Strength, МПа, 24 hours		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание / Agitation leaching	0,64	0,81	1,01
Агитационное выщелачивание после механической активации / Agitation leaching after mechanical activation	0,86	0,95	1,12
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе / Single leaching in the disintegrator	0,60	0,69	0,78
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе / Agitation leaching after leaching in the disintegrator	0,63	0,71	0,84
Трехкратная механохимическая активация / Triple leaching in the disintegrator	0,82	1,00	1,12

Таблица 3. / Table 3.

Влияние активации хвостов на прочность смеси. / The effect of tailings activation on the strength of the mixture.

Вариант активации / Activation version	Прочность, МПа, 28 суток / Strength, МПа, 28 days		
	цемент 100 кг/м ³ / cement 100 kg/m ³		активация без цемента / activation without cement
	без активации / without activation	с активацией / with activation	
Агитационное выщелачивание / Agitation leaching	1,20	-	1,01
Агитационное выщелачивание после механической активации / Agitation leaching after mechanical activation	-	1,32	1,12
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе / Agitation leaching after leaching in the disintegrator	-	0,88	0,78
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе / Single leaching in the disintegrator	-	0,94	0,84
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе / Agitation leaching after leaching in the disintegrator	-	1,10	0,99
Трехкратное выщелачивание в дезинтеграторе / Triple leaching in the disintegrator	-	1,32	1,12

Та же закономерность прослеживается и при изготовлении бесцементных смесей на основе вторичных хвостов, как в качестве заполнителя, так и в качестве вяжущего (табл. 2)

Активация хвостов обогащения повышает прочность смесей на их основе при одинаковом расходе цемента на 10%, а бесцементная смесь после дезинтегратора сравнима со смесью при среднем расходе цемента по традиционной технологии (табл. 3).

Полученные результаты исследований по выщелачиванию металлов из хвостов обогащения полиметаллических руд Садонских месторождений сведены в таблице 4.

Таблица 4. / Table 4.

**Извлечение металлов в раствор альтернативными вариантами. /
Extraction of metals into solution by alternative ways.**

Агитационное выщелачивание / Agitation leaching				Выщелачивание в дезинтеграторе / Leaching in the disintegrator			
Содержание в хвостах, % / Content in tailings, %				Содержание в хвостах, % / Content in tailings, %			
Цинк – 0,95 / Zinc – 0.95		Свинец – 0,84 / Lead – 0.84		Цинк – 0,95 / Zinc – 0.95		Свинец – 0,84 / Lead – 0.84	
Извлечение за 0,2-1,0 ч., % / Recovery for 0.2-1.0 hours, %		Извлечение за 0,2-1,0 ч., % / Recovery for 0.2-1.0 hours, %		Извлечение за 10 с., % / Recovery for 10 seconds, %		Извлечение за 10 с., % / Recovery for 10 seconds, %	
Извлечено / Extracted	Остаток / Residue	Извлечено / Extracted	Остаток / Residue	Извлечено / Extracted	Остаток / Residue	Извлече- но / Ex- tracted	Остаток / Resi- due
24	72	16	71	28	69	24	62

На пути реализации хвостов в промышленном производстве встают проблемы извлечения металлов из раствора выщелачивания, нейтрализации маточных растворов, повышения механической и химической стойкости рабочего органа активатора и др.

Гидрохимические способы получения металлов предпринимались уже во второй половине прошлого века. На Фиагдонском руднике из рудничных стоков за 48 суток получено 32 т цинка в геле с влажностью 65-78%. На Архонском руднике за 51 рабочий день получено 40 т цинка в геле влажностью 65-78%.

Эффективное освоение месторождений должно осуществляться по единому проекту добычи запасов взаимоувязанными и оптимизированными по эколого-экономическим критериям способами добычи (рис. 3).

Реализация проекта предупреждает увеличение напряжений до уровня критических с ухудшением качественных показателей использования недр, что позволяет управлять геодинамическими процессами при техногенном вмешательстве.

Природные катастрофы в регионах связаны с региональной геотектоникой, поэтому состояние скальных массивов при добыче руд определяется совокупностью природных и техногенных факторов: объемом пустот, технологией и временем существования.

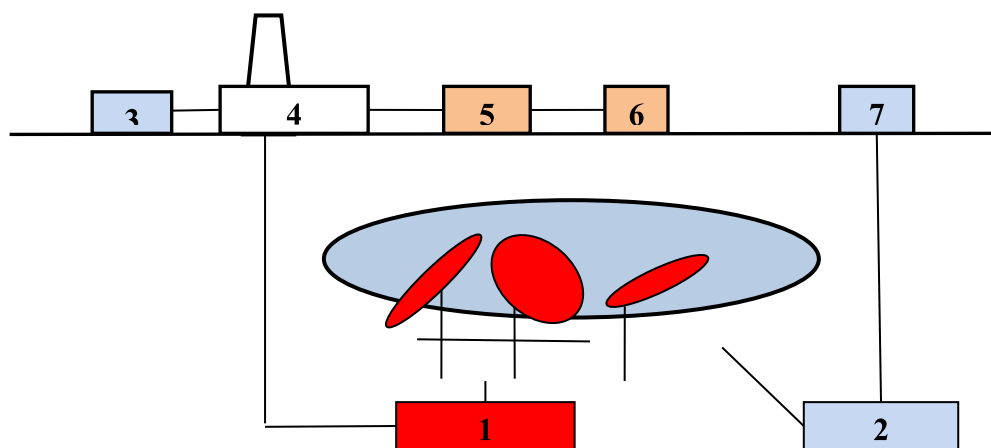


Рис. 3. Комбинированная разработка месторождения: 1 – богатые руды; 2 – бедные руды; 3 – куча выщелачивания; 4 – рудо-контрольная станция; 5 – обогатительная станция; 6 – складочный комплекс; 7 – цех приготовления растворов реагентов. /

Fig. 3. Combined development of the deposit: 1 – rich ores; 2 – poor ores; 3 – heap leaching; 4 – ore-control station; 5 – enrichment station; 6 – stowing complex; 7 – workshop for the preparation of reagent solutions.

Снижение уровня напряжений до безопасной величины обеспечивается инженерными мероприятиями, которые обеспечивают состояние налегающих пород без разрушения сплошности.

Оптимальное соотношение параметров технологий и уровня напряжений обеспечивается при использовании методики оптимизации технологий на основе учета сейсмозрывных воздействий на массив и поверхностные объекты, в том числе, за счет разделения взрывных волн во времени.

Проект разработки месторождений включает в себя комплекс мер управления взаимодействием слагающих природные и искусственные массивы путем регулирования величины напряжений. От традиционных проектов новая технология отличается использованием хвостов подземного блокового выщелачивания и хвостов обогащения руд после извлечения из них металлов для управления геомеханикой массива.

В выработанном пространстве только Садонского месторождения в виде эксплуатационных потерь находится до 600 тыс. т руды, в которой содержится около 28 тыс. т свинца и 53 тыс. т цинка.

Технологии с выщелачиванием металлов исследованы в промышленных масштабах при отработке Фиагдонских месторождений. В границах Какадурского месторождения было определено около 335 тыс. т руды, содержащей 2,07% цинка и 1,26% свинца. После добычи 60 тыс. т руды добыча была прекращена из-за неготовности цеха для гидрометаллургической переработки концентратов. При подземном выщелачивании рудное тело разделяют на секции, в которых балансовая руда одним из вариантов традиционной системы извлекается и выдается на земную поверхность в объеме около 40% от запасов из условия создания компенсационного пространства для дробления оставшейся части балансовой и забалансовой руды.

Важной составной частью проекта является поиск и обоснование новых технологий подготовки складочных смесей [Дмитрак, 2000; Дмитрак, Вержанский, 2000; Дмитрак и др., 2007].

В хвостах обогащения руд доля неизвлеченных компонентов от их количества в исходной руде составляет, %: цинка 26-47; свинца 23-39; молибдена 19-53; меди

13-36. Показатель извлечения основных полезных ископаемых составляет 65-78%, а попутных элементов – от 10 до 30%. Практически не извлекаются редкоземельные металлы In, Ga, Tl, Bi, Hg.

Хвосты обогащения комплексных руд содержат перспективные для рентабельной переработки концентрации ценных и редких металлов.

В число крупных техногенных месторождений рудного минерального сырья входят хвосты обогащения Садона и шлаки металлургического завода Электроцинк. Суммарная ценность металлов в них сопоставима с ценностью потенциальных ресурсов минерального сырья в недрах.

Целью проекта становится не эффективное извлечение запасов месторождения с точки зрения сегодняшней конъюнктуры традиционными способами, а получение максимального дохода от освоения месторождения в течение всего срока эксплуатации.

Оптимизация геомеханического воздействия процессов разработки на окружающую среду сопряжена с исследованиями состояния сырьевой базы приготовления закладочных смесей [Дмитрак и др., 2006; Емельяненко, 2011].

Эффективность использования некондиционных руд и хвостов обогащения для управления массивом складывается из экономии труда и материалов при подземных работах. Оптимизация влияния напряжений в зоне взаимодействия очистных и подготовительных выработок уменьшает разубоживание руд породами и снижает опасность травмирования работающих отслаивающимися породами. При одинаковых затратах на разведку и вскрытие месторождений увеличивается объем добычи и прибыль предприятия [Burdzieva et al., 2015; Golik et al., 2015b].

Результаты исследования коррелируют с выводами специалистов обозначенного профиля в аналогичных условиях [Ben-Awuah et al., 2016; Goodarzi, Oraee-Mirzamani, 2011; Chen G. et al., 2015; Snelling et al., 2013; Wang et al., 2015; Zhou et al., 2015].

ВЫВОДЫ

Для вмещающих пород Садонских месторождений характерно перераспределение напряжений, в том числе, в геодинамическом режиме. Управление геодинамикой рудовмещающих пород путем регулирования величины напряжений в рудовмещающих массивах требует использования искусственных массивов из хвостов технологических процессов.

Традиционные технологии разработки месторождений Садонской группы не обеспечивают действенного управления геомеханикой массива, поэтому убыточны и опасны для окружающей среды. Технологиями, позволяющими извлекать металлы на основе рационального управления геомеханикой массива, являются варианты с закладкой технологических пустот твердеющими смесями и хвостами подземного выщелачивания руд.

Отработка вовлекаемых в производство некондиционных руд и хвостов обогащения запасов и доработка имеющихся запасов должна осуществляться по комбинированной схеме. Ценные руды извлекаются в первую очередь с закладкой пустот твердеющими смесями. Руды с меньшим содержанием металлов выщелачиваются на месте залегания с использованием хвостов подземного выщелачивания для управления напряжениями, путем перераспределения техногенных напряжений, а также изменяющихся под влиянием работ природных напряжений.

Литература

1. Дмитрак Ю.В. Теория движения мелющей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород. // Автореферат дис. доктора технических наук / Московский гос. горный ун-т. – М. – 2000.
2. Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №6. – С. 184-188.
3. Дмитрак Ю.В., Логачева В.М., Подколзин А.А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №11. – С. 35-36.
4. Дмитрак Ю.В., Зиновьева Т.А., Сычёв Н.Н. Использование системы msc. Nastran для оптимизации силовой конструкции вибрационной мельницы. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №4. – С. 295-299.
5. Емельяненко, Е.А. Исследование технологических свойств техногенных объектов медно-колчеданных месторождений [Текст] / М.В. Рыльникова, Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №6. – С. 148-156.
6. Чотчаев Х.О., Колесникова А.М., Майсурадзе М.В., Шепелев В.Д. Физические поля как производные деформации горного массива и технология их мониторинга. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №4. – С. 179-190.
7. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Vol. 26. Iss. 6. – Pp. 1065-1071.
8. Borshevsky S.V., Kachurin N.M., Burdzieva O.G., Golik V.I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2017. – Т. 9. No. 1. – Pp. 81-91.
9. Burdzieva O., Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Т. 7. No. 8. – Pp. 540-543.
10. Chen G., Chen J., Peng J. Effect of mechanical activation on structural and microwave absorbing characteristics of high titanium slag. // Powder Technology. – 2015. – Vol. 286. – Pp. 218-222.
11. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015a. – Т. 7. No. 4. – Pp. 321-324.
12. Golik V.I., Komashchenko V.I., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015b. – Т. 7. No. 5. – Pp. 401-405.
13. Golik V.I., Komashchenko V.I., Morkun V., Burdzieva O.G. Metal extraction in the case of non-waste disposal of enrichment tailings. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015c. – Т. 7. No. 10. – Pp. 213-217.
14. Golik V.I., Komashchenko V.I., Morkun V., Zaalishvili V.B. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015d. – Т. 7. No. 4. – Pp. 325-329.
15. Golik V.I., Komashchenko V.I., Morkun V., Burdzieva O.G. Simulation of rock massif tension at ore underground mining. // Metallurgical and mining industry. – 2016. – Vol. 7. – Pp. 76-79.
16. Golik V.I., Lukyanov V.G. Optimization of filling mixture strength considering rock intensity. // In: Environmental geotechnologies in mining. – Belgorod. – 2013. – 195 p.
17. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. // 30th International Conference on Ground Control in Mining. – 2011. – Pp. 74-79.

18. Snelling P.E., Godin L., McKinnon S.D. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada. // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. – 2013. – Vol. 58. – Pp. 166-179.

19. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. // *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014)*. – London: Taylor & Francis Group, 2015. – Pp. 53-58.

20. Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H.A. Cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China. // *Waste Management*. – 2015. – Vol. 35. – Pp. 191-198.

References

1. Dmitrak Yu. V. The theory of the movement of grinding feed and increasing the efficiency of equipment for fine grinding of rocks. Abstract of doctoral thesis (technical sciences). Moscow State Mountain University. Moscow. 2000. (In Russ.)

2. Dmitrak Yu. V., Verzhanskii A. P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2000. No. 6. pp. 184-188. (In Russ.)

3. Dmitrak Yu. V., Logacheva V. M., Podkolzin A. A. Geophysical prediction of disturbance and watering of the rock massif. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2006. No. 11. pp. 35-36. (In Russ.)

4. Dmitrak Yu. V., Zinov'eva T. A., Sychev N. N. Using the msc. Nastran system to optimize the power structure of the vibratory mill. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2007. No. 4. pp. 295-299. (In Russ.)

5. Emelianenko E. A. Research of technological properties of technogenic objects of copper-pyrite deposits. Rynnikova M. V., Gorbatoeva E. A., Emelianenko E. A. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2011. No. 6. pp. 148-156. (In Russ.)

6. Chotchaev Kh. O., Kolesnikova A. M., Maisuradze M. V., Shepelev V. D. Physical fields as derivatives of rock mass deformation and technology for their monitoring. *Geology and geophysics of Russian South*. 2018. No. 4. pp. 179-190. (In Russ.)

7. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Issue 6. pp. 1065-1071.

8. Borshevsky S. V., Kachurin N. M., Burdzieva O. G., Golik V. I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. T. 9. No. 1. pp. 81-91.

9. Burdzieva O., Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 8. pp. 540-543.

10. Chen G., Chen J., Peng J. Effect of mechanical activation on structural and microwave absorbing characteristics of high titanium slag. *Powder Technology*. 2015. Vol. 286. pp. 218-222.

11. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015a. Vol. 7. No. 4. pp. 321-324.

12. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015b. T. 7. No. 5. pp. 401-405.

13. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Burdzieva O. G. Metal extraction in the case of non-waste disposal of enrichment tailings. *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015c. T. 7. No. 10. pp. 213-217.

14. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Zaalishvili V. B. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015c. T. 7. No. 4. pp. 325-329.

15. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Burdzieva O. G. Simulation of rock massifs tension at ore underground mining. *Metallurgical and mining industry*. 2016. Vol. 7. pp. 76-79.

16. Golik V.I., Lukyanov V.G. Optimization of filling mixture strength considering rock intensity: In: Environmental geotechnologies in mining. Belgorod. 2013. 195 p.

17. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. 30th International Conference on Ground Control in Mining. 2011. pp. 74-79.

18. Snelling P.E., Godin L., McKinnon S.D. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013. Vol. 58. pp. 166-179.

19. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014)*. London: Taylor & Francis Group. 2015. pp. 53-58.

20. Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H.A. Cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China. *Waste Management*. 2015. Vol. 35. pp. 191-198.