

факторов, как правило, связанных с подземными водами, могут протекать процессы разуплотнения грунтового основания (суффозия и т.п.). Результаты мониторинга используются для контроля соответствия реальных параметров грунтового основания здания параметрам, заложенным в проектные основы. В рамках мониторинга применяются геофизические методы сейсмического торпедирования и сейсмоакустического «просвечивания» грунтового массива, служащего основанием для здания.

Задача исследований — выявление и контроль отклонений в поведении грунтов основания зданий от проектных характеристик на основе геофизических методов. Для решения данной задачи используется комплекс скважинных геофизических методов:

— межскважинное сейсмическое просвечивание с пневмоисточником между тремя парами скважин возле каждого здания;

— сейсмическое просвечивание массива пород при расположении линий приема на поверхности и источника колебаний в скважине на различных глубинах — «сейсмическое торпедирование».

Сочетание разночастотных методов с использованием упругих волн характеризуется термином «сейсмоакустические исследования» и включает измерение скоростей продольных и поперечных волн на сейсморазведочных частотах 40–150 Гц и частотах 100–250 Гц при сейсмическом просвечивании с пневмоисточником. При сейсмическом просвечивании прижимный 24-канальный сейсмический зонд фиксируется в стволе одной из скважин, а пневмоисточник «Малыш» перемещается по другой (рис. 3). Пневмоисточник (воздушная пушка) представляет собой камеру, в которую накачивается из баллона сжатый воздух. При достижении давления в камере около 140 атмосфер происходит гидравлический удар в водной среде, от которого распространяются упругие волны, в том числе и в направлении наблюдательной скважины. Шаг перемещения пневмоисточника по стволу скважины составляет 2 м, при этом в условиях сильных шумов для накопления полезного сигнала проводится серия возбуждений в одном пункте.

Сейсмическое торпедирование (СТ) массива пород выполняется посредством расположения линий приема на поверхности и источника колебаний в скважине на различных глубинах (рис. 4). Шаг перемещения пневмоисточника по стволу скважины составляет 2 м.

Результатом работ в рамках геотехнического мониторинга является получение детальных скоростных характеристик геологических разрезов, что составляет обобщенный вертикальный сейсмический профиль грунтов (модель) на поверхности площадки и под фундаментом зданий.

#### **Заключение**

Таким образом, на территории ближней зоны и промплощадки предприятия в соответствии с требованиями нормативных документов Ростехнадзора организован и осуществляется контроль природных геологических и инженерно-геологических процессов (яв-

лений, факторов), способных оказать отрицательное воздействие на ОИАЭ, тем самым предотвращается возможный вред окружающей среде.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Антонович, К.М. Спутниковый мониторинг земной поверхности / К.М. Антонович, А.П. Карлик, А.Н. Клепиков // Геодезия и картография. — 2004. — № 1. — С. 4–11.
2. Бугаев, Е.Г. Оценка эффективных деформационных и прочностных характеристик среды в очагах землетрясений / Е.Г. Бугаев, А.А. Спивак / Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли (геофизика сильных возмущений): Сб. научных трудов. — М., 2002. — С. 77–85.
3. Герман, В.И. Центральные и южные районы Красноярского края / В.И. Герман, В.Г. Осеев // Геофизическая служба. Землетрясения России в 2010 г. РАН. — Обнинск, 2012. — С. 82–84.

© Коллектив авторов, 2019

Святовец Сергей Владимирович // ssv@msnr.ru  
Меркулов Игорь Александрович // atomlink@mcc.krasnoyarsk.su  
Сеелев Игорь Николаевич // atomlink@mcc.krasnoyarsk.su  
Сабаев Юрий Иванович // atomlink@mcc.krasnoyarsk.su  
Шевченко Ирина Васильевна // shiv@mcc.krasnoyarsk.su

УДК: 662.341.012: 662.85

**Голык В.И.<sup>1</sup>, Комащенко В.И.<sup>2</sup>, Ляшенко В.И.<sup>3</sup>**  
**(1 — Геофизический институт ВНЦ РАН,**  
**Владикавказского научного центра РСО–Алания,**  
**2 — Белгородский государственный национальный**  
**исследовательский университет (НИУ БелГУ),**  
**3 — ГП «УкрНИПИПромтехнологии», г. Желтые Воды,**  
**Украина)**

#### **РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Приведены основные научные и практические результаты рационального использования и охраны недр при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом геомеханических напряжений. Описаны результаты производства открытых и подземных работ с учетом полноты использования недр под влиянием природных и техногенных напряжений. Определены основные факторы риска комбинирования технологий и обозначены меры снижения риска путем оценки геомеханического состояния, прогнозирования его изменения в ходе разработки месторождения, а также контроля развития деформационных процессов и управления ими. **Ключевые слова:** рудные месторождения, технологии разработки, охрана недр, эффективность.*

Golik V.I.<sup>1</sup>, Komazhchenko V.I.<sup>2</sup>, Lyashenko V.I.<sup>3</sup> (1 — Geophysical Institute of VSC RAS, Vladikavkaz Scientific Center of RNO-Alania, 2 — Belgorod State National Research University, 3 — UkrNIPPromtehnologii, Zheltye Vody, Ukraine)

#### **RATIONAL USE AND PROTECTION OF SURFACES IN COMBINED DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS**

*The main scientific and practical results of the rational use and protection of subsoil resources in the combined development of ore deposits, taking into account geomechanical*

stresses, are presented. The results of open and underground works are described taking into account the completeness of subsoil use under the influence of natural and man-made stresses. The main risk factors for combining technologies are identified and mitigation measures are identified by assessing the geomechanical condition, predicting its change during field development, and monitoring the development and management of deformation processes. **Keywords:** ore deposits, development technologies, subsoil protection, efficiency.

### Введение

Скальные массивы рудных месторождений характеризуются неоднородностью горно-геологических условий, что в значительной мере определяет устойчивость пройденных в них выработок [12]. Зоны разломов различной мощности, сложенные интенсивно раздробленными вмещающими породами, могут пересекать очистные камеры. В совокупности с интенсивной трещиноватостью и геологическими разрывами зоны являются главной причиной обрушения пород. В массиве выделяют зону активного сдвижения с перемещением блоков пород размерами более 200 мм и зону пассивного сдвижения с перемещением блоков пород менее 200 мм. Нагрузка распределяется неравномерно и составляет: в зоне активного сдвижения около 80 % и в зоне пассивного — 60 % от массы пород, слагающих зону сдвижения. Высота развития зон сдвижения, как правило, не превышает 30 м. Углы падения трещин и тектонических разрывов, по которым наблюдаются подвижки блоков пород изменяются от 70 до 80°. При комбинированной отработке месторождений одновременно открытым и подземным способом эта опасность проявляется в зоне контакта открытых и подземных работ. Поэтому рациональное использование и охрана недр при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом геомеханических напряжений геомассива,

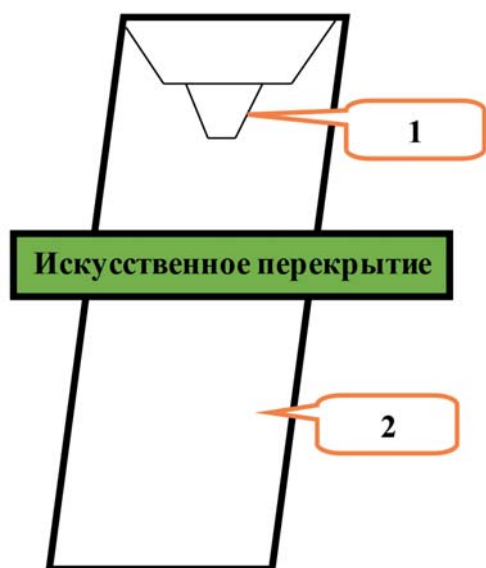


Рис. 1. Схема размещения искусственного перекрытия для разделения открытых (1) и подземных (2) горных работ

обеспечивающих повышение безопасности их разработки, — важная научно-практическая задача, требующая решения [1, 2, 13].

### Методика исследований

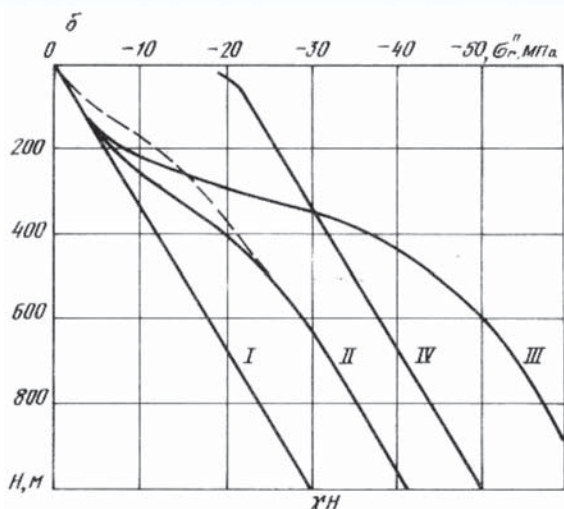
Авторами выполнен анализ работ в области рационального использования и охраны недр при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом геомеханических напряжений геомассива, обеспечивающих повышение безопасности их разработки, проведение геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение полученных результатов по стандартным и новым методикам [5, 11, 14].

### Обсуждение и оценка результатов исследований

Реальным мероприятием, обеспечивающим безопасность горных работ, является создание комбинированной искусственной кровли над участком работ по одному из вариантов: инъецированные цементным раствором породы; сплошная несущая потолочина; облегченная потолочина (рис. 1). Сплошная несущая потолочина создается системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой для предотвращения сдвижения и обрушения пород по зоне наклонного разлома. Перед началом проходки заходок для возведения искусственной потолочкины существующие выработки погашают закладкой твердеющими смесями. В дальнейшем образованный искусственный массив используют в качестве элемента потолочкины, который увеличивает ее несущую способность и повышает устойчивость пород в зонах активного и пассивного сдвижения пород по наклонному разлому. Нагрузка на искусственную потолочину определяется массой пород в пределах свода естественного равновесия над выработкой [8, 10].

Полнота разработки выходящих на земную поверхность скальных рудных месторождений в горной практике обеспечивается комбинированием открытого и подземного способов добычи. В зависимости от очередности открытых и подземных работ технологии разделяют на следующие группы: вначале открытым способом, затем подземным; вначале подземным способом, затем открытым; открытым и подземным способами одновременно; комбинирование способов в рамках карьера.

Комбинирование разработки мощных месторождений полезных ископаемых по первому варианту характеризуется увеличением напряжений в бортах карьера с понижением работ. Этот феномен на карьере Маныбайский (Северный Казахстан) носит общий характер, искажаясь под влиянием геологических и горнотехнических факторов (рис. 2). Деформация бортов карьера нередко становится причиной перехода на подземные работы. Комбинированная разработка месторождений позволяет рационально использовать недр путем добычи бедных руд открытым способом и богатых руд — подземным способом. Группу факторов риска комбинирования составляют: изменение свойств массива пород; деформации массивов



**Рис. 2.** Изменение горизонтальных напряжений в бортах карьера с понижением работ:  $g$  — плотность пород,  $\text{т/м}^3$ ;  $H$  — глубина горных работ, м; I, II, III, IV — соответственно северный, восточный, южный и западный борта карьера (другие обозначения в тексте)

с разрушением земной поверхности; проявление горных ударов; нарушенность массива незаполненными пустотами; сейсмическое воздействие на уровень напряжений в геомассиве.

Основным фактором риска комбинирования является деформация подработанного массива горных пород. Меры снижения риска включают в себя оценку геомеханического состояния массива, прогнозирование его изменения, контроль развития деформационных процессов и управления ими (геомеханический мониторинг). В качестве объективных критериев полноты использования недр приняты: потери и разубоживание руд, а в качестве результирующего — величина извлечения полезного ископаемого из недр. Определение величины потерь по разности между балансовыми и извлеченными запасами допускает отклонение результатов расчета от фактической величины в 1,5–2 раза. Определение величины потерь непосредственным замером потерь по каждому источнику характеризуется меньшими ошибками. Величина разубоживания оценивается по количеству руды или по содержанию металлов в запасах и в добытой руде.

Рациональное использование недр кроме общеизвестных факторов определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений геомассива. На практике это учитывается введением корректирующих коэффициентов влияния природных и техногенных факторов в рамках геолого-технологической модели [9]:

$$k_{\sigma} = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(dx_1, dx_2, \dots, dx_n) = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(d\sigma_{\text{п}} + d\sigma_{\text{м}} + d\sigma_{\text{хпв}})k_k, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — напряжения в зоне влияния выработок, МПа;  $k_{\sigma}$  — коэффициент корректировки напряжений с уче-

том геолого-структурных факторов;  $l_{\max}$ ,  $l_{\min}$  — соответственно максимальные и минимальные пролеты обнажения очистных выработок, м;  $x_1 \dots x_n$  — технологические, физико-механические и иные характеристики процессов добычи;  $\sigma_{\text{п}}$ ,  $\sigma_{\text{м}}$ ,  $\sigma_{\text{хпв}}$  — соответственно прочности искусственного массива, из стандартных компонентов твердеющей смеси на основе утилизируемых хвостов обогащения, из хвостов подземного выщелачивания, МПа;  $k_k$  — коэффициент корректировки взаимодействия открытого и подземного способа добычи руд во времени и пространстве.

#### Математическое моделирование и его результаты

Разработка модели напряженно-деформированного состояния массива осуществляется на основе комплексных исследований. Дифференциация карьерного массива по величине напряжений и интенсивности разгрузки позволяет выделить характерные зоны: зона 1 с повышенными значениями напряжений; зона 2 с равномерным распределением значений по ширине и неоднородным — по глубине; зона 3 с повышенной концентрацией напряжений в подошве уступа. При совмещении способов добычи руд по геомеханическим условиям: если подземные работы начинаются после завершения открытых работ, геомассивы работают в условиях разгрузки от напряжений; если подземные работы опережают открытые, требования к прочности несущих массивов повышаются; при одновременной отработке к природным напряжениям добавляются наведенные от взрывных воздействий и требования повышаются еще более [3].

Генеральным критерием экономической эффективности комбинирования технологий является опережение снижения себестоимости добычи руды над снижением содержания металлов в товарной руде для каждого из комбинированных способов. Изменяя затраты на добычу и переработку 1 т руды ( $C_d + C_o$ ), при постоянных коэффициентах извлечения руды и изменения ее качества ( $K_{\text{и}}$  и  $K_{\text{к}}$ ), определяют минимальное содержание металлов в добываемой руде, обеспечивающее целесообразность комбинирования. Зависимость себестоимости добычи и переработки от минимального содержания металлов в добываемых рудах при постоянных потерях и разубоживании может быть определена графически. Так, на Садонских рудниках (РСО—Алания) увеличение содержания металлов на 2 % повышает себестоимость товарной руды более, чем в 2 раза (рис. 3).

Выход концентрата из 1 т руды и его себестоимость для условий Садонского СЦК в зависимости от содержания металла в руде может определиться графически (рис. 4). В комплексе проблем рационального использования недр важно определять эффективность разработки не отдельных участков месторождения, а комбинированно открытым и подземным способами на всех стадиях технологического процесса. При базовом способе исключение из добычи некондиционных запасов уменьшает производственную мощность горного предприятия, но эти запасы являются базой для сохранения производственной мощности при исчер-



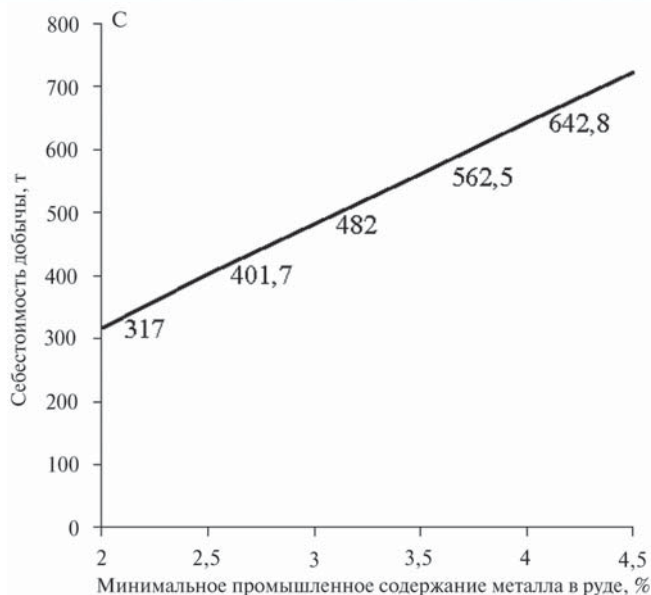


Рис. 3. Зависимость себестоимости товарной руды от содержания металлов (другие обозначения в тексте)

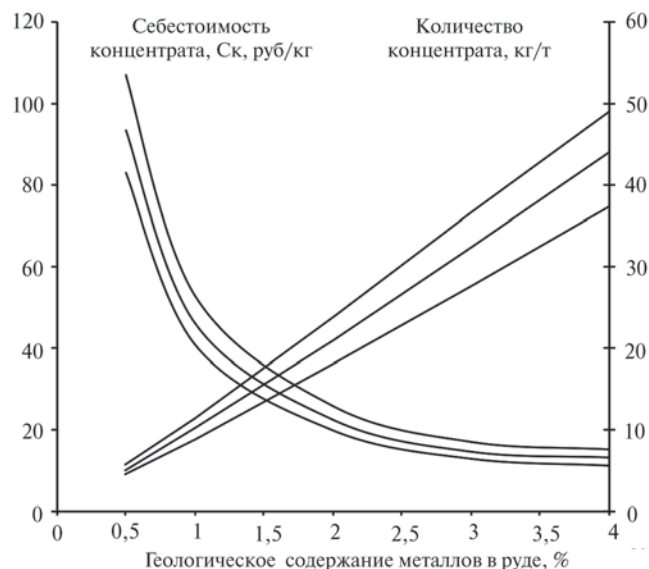


Рис. 4. Выход концентрата  $g_p$  из одной тонны руды и его себестоимость  $C_c$  в зависимости от содержания металлов в руде

пани доступных для рентабельной разработки запасов верхней части месторождения.

Максимальная глубина открытой добычи руд определяется расчетом по общепринятой методике с учетом дисконтирования затрат и риска изменения конъюнктуры сырья. Вскрытие, подготовка и нарезка нижней части месторождения, предназначенной для подземного способа, на геомеханически безопасные участки осуществляется с учетом состояния обрабаты-

ваемой открытыми работами части месторождения. Бортовое содержание полезного компонента в руде  $\alpha_b$ , при котором производится оконтуривание запасов и минимального промышленного содержания полезного компонента  $\alpha_{min}$ , определяется по открытому и подземному участкам месторождения.

Зависимость между  $\alpha_{min}$  и показателем полноты извлечения запасов месторождений определяется из уравнения баланса ценностей:

$$B\Pi_{\sigma} - \Pi\Pi_n + B\Pi_{np,n} = D\Pi_{p,m}, \quad (2)$$

где  $B$  — балансовые запасы месторождения;  $\Pi$  — потери руды;  $B$  — количество разубоживающих пород;  $D$  — масса добытой рудной массы;  $\Pi_{\sigma}$ ,  $\Pi$ ,  $\Pi_{np,n}$ ,  $\Pi_{p,m}$  — ценность, заключенная в балансовых запасах, потерях, в примешиваемых породах, добытой рудной массе, руб./т.

Минимальное промышленное содержание условного металла:

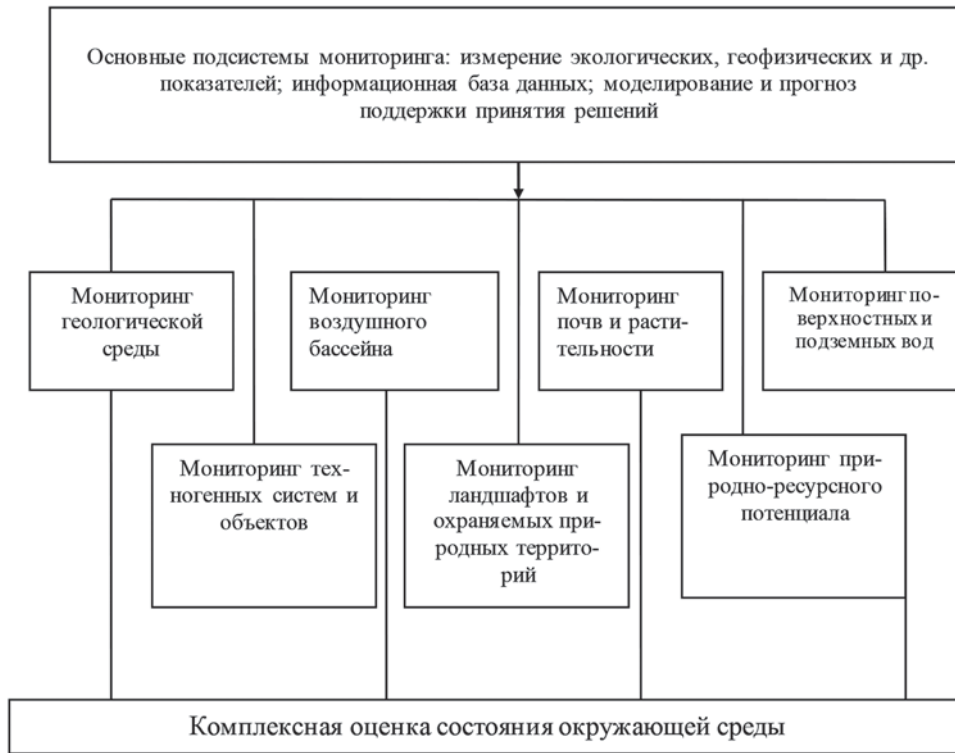
$$\alpha_{min} = \frac{100C}{\Pi K_k \varepsilon K_u} - \frac{100K_n C}{\Pi \varepsilon K_u} - \frac{\alpha_n R}{K_k}, \quad (3)$$

где  $C$  — затраты на добычу, транспортировку и переработку 1 т руды, руб.;  $\Pi$  — цена металла в концентрате;  $\varepsilon$  — извлечение металла в концентрате;  $K_n$  — коэффициент потерь при добыче, доли ед.;  $R$  — коэффициент разубоживания, доли ед.;  $K_u = (1 - K_n)$  — коэффициент извлечения полезного ископаемого, доли ед.;  $K_k = (1 - R)$  — коэффициент изменения качества, доли ед.;  $\alpha_n$  — содержание условного металла в породах.

Изменение бортового содержания в боковых породах соответствует уравнению регрессии  $\alpha_x = be^{-kx}$ . Принимать решение о вовлечении в эксплуатацию дополнительных запасов дает основание сравнение минимального бортового содержания с содержанием в коренных рудах  $\alpha_{min} < \alpha$ . Целью геомеханического мониторинга геомассива является инструментальное выявление закономерностей его деформирования и разрушения, обоснование определения параметров элементов технологии разработки, выбор вида и способа добычи [15]. Наиболее освоенные направления решения этой проблемы включают в себя операции: оценка напряженно-деформированного состояния массива методом сейсмоакустического прозвучивания; определение зон максимального опорного давления методом сейсмоакустического профилирования; анализ

Таблица 1  
Результаты исследования геомеханического состояния массива

Наименование параметров	Номер веера			
	Первый	Второй	Третий	Четвертый
Скорость продольной волны, м/с	4420	4410	4390	4365
Скорость поперечной волны, м/с	2590	2575	2500	2415
Плотность пород, т/м <sup>3</sup>	2,70	2,68	2,71	2,70
Коэффициент Пуассона, доли ед.	0,24	0,22	0,23	0,21
Модуль упругости, МПа	4,910 <sup>5</sup>	4,710 <sup>5</sup>	4,910 <sup>5</sup>	4,610 <sup>5</sup>
Прочность пород, МПа	44	45	43	44



**Рис. 5. Схема мониторинга природно-технических систем с учетом оценки состояния окружающей природной среды в зоне влияния горных работ**

сейсмического действия взрыва на состояние массива. Геомеханический мониторинг производится в рамках единой схемы мониторинга окружающей природной среды (рис. 5).

Инструментом мониторинга напряженно-деформированного состояния массива является предотвращение развития максимальных напряжений в массивах по единой схеме. Аналитическая связь между деформациями и напряжениями устанавливается методами теории упругости, реже — при помощи теории пластичности. Данные о массиве получают экспериментально в производственных или лабораторных условиях, используя для этого средства измерений, основанные на физико-механических и иных представлениях.

Для исследований авторы применяли следующие методы: измерения деформаций и расчета по ним напряжений с помощью формул теории упругости (разгрузки, измерения деформаций

скважин, компенсационной нагрузки), измерения давлений приборами (разности, упругих включений), определения характеристик графическими методами и расчета по ним напряжений с помощью корреляционных зависимостей (акустический, ультразвуковой, электрометрический). Оценка динамики свойств массива производится сравнением физико-механических свойств пород до и после заполнения технологических пустот твердеющими смесями, в том числе: прочность на одноосное сжатие, скорость распространения в образце продольных и поперечных волн и коэффициент структурного ослабления (табл. 1) [4, 6].

Результаты исследования влияния технологии на коэффициент упрочнения закладочного массива обрабатывают с использованием четырехфакторного плана Бокса. Уровни независимых переменных, интервалы их варьирования и матрица планирования результатов экспериментов приведены в табл. 2, 3. Математической обработкой экспериментальных данных с отсевом

**Таблица 2**  
**Уровни и интервалы изменения факторов эксперимента**

Масштаб изменения		Факторы	Уровни			Интервал	Размерность
Натуральный	Кодовый		-1	0	+1		
$T$	$X_1$	Сроки твердения	28	90	152	62	Сутки
$C$	$X_2$	Расход вяжущего	4	9	14	5	%
$H_s$	$X_3$	Высота массива	3	34	65	31	м
$L$	$X_4$	Длина массива	8	19	45	11	м

**Таблица 3**  
**Влияние твердеющей закладки на свойства породного массива**

Кодовый масштаб				Натуральный масштаб				$k_{упр}$
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$T$ , сутки	$C$ , %	$H_s$ , м	$L$ , м	
-1	-1	-1	-1	28	4	3	8	1,42
+1	-1	-1	-1	152	4	3	8	2,44
-1	+1	-1	-1	28	14	3	8	1,46
+1	+1	-1	-1	152	14	3	8	2,52
-1	-1	+1	-1	28	4	65	8	1,92
+1	-1	+1	-1	152	4	65	8	2,85
-1	+1	+1	-1	28	14	65	8	2,01
+1	+1	+1	-1	152	14	65	8	3,00
-1	-1	-1	+1	28	4	3	30	1,39
+1	-1	-1	+1	152	4	3	30	2,40

статистически незначимых коэффициентов регрессии получают модель физического явления в виде полинома второй степени типа:

$$k_{\text{уп}} = 2,5316 + 0,4641X_1 + 0,0393X_2 + 0,2221X_3 - 0,0111X_4 - 0,1998X_1^2 - 0,0398X_2^2 - 0,0432X_3^2 - 0,0199X_4^2 + 0,0111X_1X_2 - 0,0158X_1X_3 + 0,0119X_2X_3, \quad (4)$$

где  $k_{\text{уп}}$  — коэффициент упрочнения массива;  $X_1, X_2, X_3, X_4$  — сроки твердения, расход вяжущего, высота и длина закладочного массива в безразмерном (кодовом) масштабе:

$$X_1 = \frac{T-90}{62}; X_2 = \frac{C-9}{5}; X_3 = \frac{H_s-34}{31}; X_4 = \frac{L-19}{11}. \quad (5)$$

$R^2 = 0,8991$  — коэффициент детерминации;  $F = 421$  — расчетное значение  $F$  — критерия Фишера;  $F_{0,05; 23; 12} = 2,49$  — табличное значение  $F$  — критерия.

Если  $F > F_{0,05; 23; 12}$ , уравнение признается адекватным экспериментальным данным. Это относится к уравнению (4) при исследовании влияния технологии на коэффициент упрочнения закладочного массива с использованием четырехфакторного плана Бокса.

Прочность искусственных массивов исследуется аналитически с помощью уравнений множественной регрессии. Коэффициенты при изменяемых величинах определяются значениями целевых функций для минимальных и максимальных значений в соответствии с матрицами планирования эксперимента. Для вычисления уравнения регрессии при значениях параметров внутри границ, отличных от их крайних значений, определяют: основной уровень, уровень варьирования параметра и параметры размерной системы координат согласно выражений:

$$x_i^0 = \frac{x_{i \min} + x_{i \max}}{2}, \Delta x_i = \frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{2}, y_i = \frac{x_i - x_{i \min}^0}{\Delta x_i}, \quad (6)$$

где  $x_i$  — значения параметров уравнений.

В уравнение регрессии вместо обозначения параметра подставляется интересующее его значение  $y_i$  и вычисляется величина исследуемой функции. В планах экспериментов приводят значения функций при значениях параметров на двух крайних уровнях: « — » — минимальном и « + » — максимальном. Основными факторами, вызывающими развитие напряжений в бортах карьера, являются наличие глинистого заполнителя в породах тектонических нарушений; обводненность пород; влияние сейсмичности взрывов и транспорта.

### Эффективность комбинированной горной технологии разработки

Она определяется при сравнении вариантов разработки рудных и техногенных месторождений с учетом затрат на всех переделах и защиты населения, проживающего в зоне влияния горных объектов ( $Z_n$ ). Описывается аналитической моделью Голика—Ляшенко [7].

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \left[ (I_{\text{оп}} - C_{\text{оп}} \pm (Y + Z_n)) \right] \frac{1}{1 + E^{t-1}} \cong \max \quad (7)$$

где  $I_{\text{оп}}$  — суммарная извлекаемая ценность конечной продукции из металлосодержащих руд, ден. ед.;  $C_{\text{оп}}$  — суммарные затраты на добычу и получение конечной продукции, ден. ед.;  $Y$  — суммарный ущерб, наносимый (–) окружающей среде или предотвращаемый (+) с учетом затрат на защиту населения, проживающего в зоне влияния горных предприятий ( $Z_n$ ), ден. ед.;  $E$  — коэффициент дисконтирования затрат и прибыли во времени  $t$  применения оцениваемой технологии, доли ед.

Таким образом, рациональное использование и охрана недр при комбинированной разработке рудных месторождений достигается с учетом геомеханических напряжений геомассива. При одновременном производстве открытых и подземных работ в вертикальной плоскости полнота использования недр определяется поведением рудовмещающих геомассивов под влиянием природных и техногенных напряжений. Перспективы использования рекомендованной технологии связаны с изменением подхода к оценке эффективности разработки не только по извлеченным ресурсам, а с учетом потерянных ресурсов, что заставляет предпринимателей принципиально изменить практику несанкционированного использования недр.

### Выводы

1. **Определено**, что основным фактором риска комбинирования технологий является деформация подработанного массива горных пород и обозначены меры снижения риска путем оценки геомеханического состояния, прогнозирования его изменения в ходе разработки месторождения, а также контроля развития деформационных процессов и управления ими. В качестве объективных критериев рационального использования и охраны недр рекомендованы: потери и разубоживание руд, а в качестве результирующего — величина извлечения полезных компонентов из недр.

2. **Предложен** метод оценки динамики массива путем сравнения физико-механических свойств пород до и после заполнения технологических пустот твердеющими смесями различной прочности и состава. Рекомендовано вводить в модель управления массивом корректирующие коэффициенты, позволяющие выделить характерные зоны месторождения для оптимизации показателей рационального использования и охраны недр при их разработке. Обоснован генеральный критерий эффективности комбинированных технологий с учетом опережения снижения себестоимости добычи руды и полезного компонента в ней и снижения содержания металлов в товарной руде.

3. **Обоснованы** геомеханически безопасные участки разработки части месторождения подземным способом с учетом состояния массива, обрабатываемого открытыми работами. Рекомендовано бортовое содержание полезного компонента в руде, при котором производится оконтуривание запасов и минимального промышленного содержания полезного компонента в них, с учетом рационального использования и охраны недр при комбинированной разработке рудных месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. — М.: Недра, 1980. — 359 с.
2. Ветров, С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд / С.В. Ветров. — М.: Наука, 1975. — 223 с.
3. Голик, В.И. Минеральные ресурсы юга России и их освоение / В.И. Голик, В.И. Ляшенко // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 9. — С. 19–23.
4. Голик, В.И. Повышение безопасности комбинированной разработки сложноструктурных скальных месторождений / В.И. Голик, В.И. Ляшенко // Metallургическая и горнорудная промышленность. — 2016. — № 6 (303). — С. 50–56.
5. Добыча и переработка урановых руд. Монография / Под общей ред. А.П. Чернова. — Киев: Адеф-Украина, 2001. — 238 с.
6. Кубарев, М.С. Методический подход к оценке эколого-экономической эффективности использования отходов / М.С. Кубарев, В.Е. Стровский, И.В. Перегон // Изв. вузов. Горный журнал. — 2017. — № 1. — С. 31–38.
7. Ляшенко, В.И., Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи / В.И. Ляшенко, В.И. Голик // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 7. — С. 137–152.
8. Ляшенко, В.И. Комбинированные технологии добычи полезных ископаемых с подземным выщелачиванием / В.И. Ляшенко, В.И. Го-

- лик, Е.Н. Козырев // Горный журнал. — 2008. — № 12. — С. 25–29.
9. Ляшенко, В.И. Управление запасами руд урановых месторождений на основе инженерного и геоинформационного обеспечения / В.И. Ляшенко // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 4. — С. 59–65.
10. Прокопов, А.Ю. К методике комбинирования традиционных и инновационных технологий добычи металлов / А.Ю. Прокопов, Ю.И. Разоренов // Цветная металлургия. — 2011. — № 4. — С. 41–44.
11. Слепцов, М.Н. Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов / М.Н. Слепцов, Р.Ш. Азимов, В.Н. Мосинец. — М.: Недра, 1986. — 206 с.
12. Слесарев, В.Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения / В.Д. Слесарев. — М.: Углетехиздат, 1948. — 57 с.
13. Фисенко, Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. — М.: Недра, 1976. — 272 с.
14. Хомяков, В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках / В.И. Хомяков. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
15. Golik, V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun // Metallurgical and Mining Industry. — 2015. — № 3. — P. 38–41.

© Голик В.И., Комащенко В.И., Ляшенко В.И., 2019

Голик Владимир Иванович // v.i.golik@mail.ru  
Комащенко Виталий Иванович // komashchenko@inbox.ru  
Ляшенко Василий Иванович // vilyashenko2017@gmail.com

## ХРОНИКА

### 14-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ

23–27 сентября 2019 г. впервые в России прошел 14-й Международный конгресс по прикладной минералогии (14<sup>th</sup> International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) ([www.geo.komisc.ru/icam2019](http://www.geo.komisc.ru/icam2019)), инициатором которого выступила Комиссия по прикладной минералогии при Международной минералогической ассоциации (ИМА-САМ).

Организаторами конгресса были: Международная минералогическая ассоциация (ИМА); Российское минералогическое общество (РМО); Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Российская академия наук (РАН); Правительство Белгородской области; Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН); Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова); Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина Коми ФИЦ НЦ УрО РАН (ИГ Коми ФИЦ НЦ УрО РАН); Научно-производственная корпорация «Механобр-техника».

Национальный организационный комитет представляли: Е.С. Савченко — губернатор Белгородской области, чл.-корр. РАН; С.Н. Глаголев — ректор БГТУ им. В.Г. Шухова, профессор; В.В. Строкова — профессор РАН, член Ученого совета РМО; академики РАН — Д.В. Рундквист, Д.Ю. Пушаровский, А.О. Глико; член-корреспондент РАН В.В. Масленников; Н.А. Зайцева (отделение наук о Земле); И.Н. Бурцев, врио директора ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (комис-

сия по технологической минералогии РМО), Н.Н. Тимонина (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

В Национальном программном комитете работали академики РАН: А.М. Асхабов, Н.С. Бортников, Л.А. Вайсберг, Н.В. Соболев, В.А. Чантурия; члены-корреспонденты РАН: С.В. Кривовичев, Ю.Б. Марин; доктора наук: О.Б. Котова, Т.Н. Матвеева, Е.Г. Ожогина, О.В. Франк-Каменецкая, В.В. Щипцов.

В состав Международного комитета вошли — от Совета ICAM: Саверио Фиоре (Saverio Fiore), президент, Италия; Ольга Котова, вице-президент, Россия; Дитер Раммлайр (Dieter Rammlair), генеральный секретарь, Германия; от ИМА-САМ Мартин Брукманс (Maarten A.T.M. Broekmans), Норвегия, председатель; Ян Элсен (Jan Elsen), секретарь, Бельгия.

Генеральным спонсором конгресса выступило ООО «Управляющая компания Металлоинвест».

Информационную поддержку в организации Конгресса оказали журналы: «Обогащение руд», «Разведка и охрана недр», «Строительные материалы», «Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова», «Руды и металлы», «Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН», «Вестник Отделения наук о Земле РАН».

Церемония открытия Конгресса состоялась 23 сентября в Шуховском конгресс-зале БГТУ. С приветственными словами выступили представители Белгородской области, БГТУ, Международной минералогической ассоциации, Российской академии наук и Российского минералогического общества.

В работе Конгресса приняли участие специалисты из Европы, Азии, Америки, Австралии и Африки, ко-