DOI: 10.17073/2500-0632-2018-3-3-13

Голик В.И. (Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН (ГФИ ВНЦ РАН), Владикавказ, Россия)

Вернигор В.В. (Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия)

Келехсаев В.Б. (Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия)

Майстров Ю. (Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия)

Подземная разработка рудных месторождений с сохранением земной поверхности

В условиях рыночной экономики особое значение приобретают показатели качества добываемого сырья. Уменьшение потерь и разубоживания руд может быть достигнуто путем управления напряжениями и деформациями при использовании остаточной несущей способности разрушенных пород с приоритетным условием сохранения земной поверхности от разрушения. Целью исследования является обоснование рациональных параметров технологий по критерию геодинамической безопасности. Цель достигается решением комплекса горнотехнических задач, обеспечивающих корректность полученных результатов, от оценки геомеханического состояния до разработки мер профилактики воздействия горных работ на окружающую среду. Методы исследования включают систематизацию и анализ теории и практики, результаты экспериментальных исследований и научное прогнозирование. Обосновано значение критерия оптимальности технологий разработки в виде сохранения земной поверхности от разрушения как гарантии от контакта зоны разрушения массива горными работами и зоны обитания живого вещества, флоры, фауны и человека. Детализированы представления о механизме взаимодействия структурных блоков в дискретном гравитационно-тектоническо-структурном поле. Уточнен механизм проявления остаточной несущей способности разрушенных структурных отдельностей пород путем ограничения величины пролетов, оптимизации прочности смесей и размеров целиков при создании геомеханически сбалансированных участков с минимизацией затрат на управление состоянием земной поверхности. Предложена типизация методов расчета пролетов плоской кровли. Дана классификация способов управления массивом, отличающаяся оценкой состояния выработанного пространства на время окончания работ по погашению, а не во время очистной выемки. Приведен пример сохранения земной поверхности при разработке пологопадающего месторождения с сохранением земной поверхности без заполнения пустот. Процессы управления состоянием массивов и земной поверхности над ними адекватны, что позволяет обеспечить мониторинг разработки месторождения на всех этапах существования предприятия. Использование геомеханических факторов при организации добычи минерального сырья является инструментом реализации ресурсосберегающих и природоохранных тенденций в горном производстве и резервом повышения качества добываемых руд при обеспечении конкурентоспособности предприятий.

Ключевые слова: напряжения, порода, земная поверхность, технология, геомеханика, горные работы, окружающая среда

Введение

Важные в условиях рыночной экономики показатели качества технологии разработки: потери и разубоживание, а также безопасность для работающих и окружающей среды во многом определяются прочностью природно-техногенной системы «массивы–крепь–поверхность» [1–4].

Практикой интенсивной разработки месторождений скальных руд доказано, что сохранность системы зависит от эф-

фективности управления процессами развития напряжений и деформаций в ней. Одним из направлений мониторинга напряжений является использование остаточной несущей способности технологически разрушенных пород. На практике оно сводится к обеспечению оптимальных параметров элементов системы технологическими мерами в процессе разработки месторождения.

Обеспечить комплексное совершенствование всех показателей позволяет

появившийся в ряде публикаций конца прошлого века критерий эффективности технологий в виде сохранности рудовмещающих массивов и земной поверхности над ними. Этот критерий является обязательным при разработке месторождений в особо охраняемых районах, например, с развитым земледелием, реками, охраняемыми объектами и т.п. (рис. 1).

Актуальность проблемы охраны земной поверхности увеличивается в настоящее время ввиду предстоящего многим предприятиям перехода с открытого способа разработки на подземный не только по экономическим, но и по экологическим соображениям [5–7].

Рис. 1. Схема выемки запасов с сохранением земной поверхности:

1 – поверхность с р. Уруп; 2 – зона влияния выработки; 3 – рудное тело; 4 – закладочный массив; 5 – зона трещиноватости

Цели и задачи

Целью управления состоянием массива горных пород при подземной разработке месторождений становится сохранение земной поверхности от разрушения, особенно в случае гипотетического выхода зоны обрушения пород до уровня приповерхностных наносов. Земная поверхность препятствует смещению опасной для живого вещества зоны подземной разработки с зоной обитания флоры, фауны, и человека (рис. 2).

Указанная цель достигается решением ряда задач, включающих оценку геомеханического состояния рудовмещающих массивов при комбинированном природно-техногенном воздействии, обеспечение технологической возможности и экономической целесообразности добычи руд в данных условиях и разработку мер профилактики опасного воздействия горных работ на окружающую среду.

Рис. 2. Влияние горных работ на зону жизнедеятельности:

1 – зона жизнедеятельности; 2 – зона разделительная; 3 – зона горных работ

Методы

Для решения поставленных задач производится ретроспективный анализ состояния проблемы, теории и практики управления массивом с сохранением земной поверхности от разрушения, привлекаются результаты выполненных экспериментов и осуществляется научное прогнозирование решения проблемы [8–11].

Результаты

Наиболее часто применяемым критерием эффективности технологии добычи руд является величина затрат на 1 м³ погашенных пустот. По этому критерию предпочтительнее выглядит технология с обрушением пород, однако повышенные потери руд и разубоживание вмещающими породами, а также нарушение земной поверхности ограничивают область ее применения при добыче, а высокие затраты при обогащении и металлургическом переделе удорожают стоимость металлов.

В последнее время методы оценки технологий разработки дополнены критерием сохранения земной поверхности от разрушения, благодаря которому все технологии добычи руд ставятся в равные условия в связи с более полным учетом затрат на добычу.

Способность отделенных от массива пород создавать в определенных случаях устойчивые конструкции доказана теорией и практикой недропользования. Расчеты на основе этого феномена применяют при проектировании разработки пологопадающих месторождений.

Вопросы взаимодействия структурных породных блоков в рамках процессов отделения от массива и дробления, а также управления состоянием рудовмещающего массива рассматривались В.Р. Именитовым, Р.В. Каплуновым, Д.М. Казикаевым, С.В. Ветровым, В.И. Борщ-

Компанийцем, В.П. Влохом, Ф.Ф. Рычик и др. [12, 13].

При разработке скальных месторождений с дискретным с гравитационно-тектоническо-структурным полем устойчивость рудовмещающих породных массивов определяется характером взаимодействия структурных породных блоков.

В зависимости от соотношения знаков и векторов напряжений в рудовмещающем массиве обнаженные горными работами породы сохраняют устойчивость или за счет первичных связей, если деформации не превышают предела упругости, или за счет вторичных связей, возникающих при заклинивании структурных породных блоков, или же не сохраняют устойчивости, если эти связи нарушаются.

Управление состоянием массива назначением безопасных по концентрации напряжений пролетов обнажений выработок доказало свою эффективность при обеспечении устойчивости массивов на площадях выработанного пространства до 6000 м² с величиной пролетов обнажений до 50 м при глубине работ до 600 м в породах с коэффициентом крепости по М.М. Протодяконову 10...20. Феномен создания устойчивых конструкций из заклинившихся пород проявляется и как негативный фактор, препятствуя их обрушению, когда это технологически необходимо [14–16].

Несущая способность разрушенных пород проявляется сначала при дифференциации, а затем консолидации структурных отдельностей пород под влиянием напряжений. Условия упрочнения пород в горном производстве создаются практически всегда, но чаще всего не используются, что не позволяет реализовать возможный положительный эффект. Условием образования конструкции из структурных породных блоков является

их заклинивание за счет бокового распора. Жесткость создаваемой конструкции зависит от знака и величины природных и техногенных напряжений.

Управление прочностью конструкций возможно при таких технологиче-

ских параметрах, при которых жесткость обеспечивается за счет остаточных прочности пород и напряжений бокового распора, создаваемых путем оптимизации величины пролетов и прочности твердеющих смесей:

$$\sigma_{\text{ст}}^0 = \begin{cases} \sigma_{\text{ст}}^{\text{ост}} + \sigma_r = \int_{L_{0\min}}^{L_{0\max}} f(x)(dx_1, dx_2, \dots, dx_n) \rightarrow \sigma_{\text{кр}} = \int_0^{L_{0\max}} f(x)(dh_u); \\ \sigma_{\text{ст}}^{\text{ост}} + m\sigma_r = \int_{L_{0\min}}^{L_{0\max}} f(x)(dx_1, dx_2, \dots, dx_n) \rightarrow \sigma_{\text{кр}} = \int_0^{L_{0\max}} dx(dh_u). \end{cases}$$

Управление сбалансированностью массива с сохранением земной поверхности обеспечивается разделением рудного поля на участки, для которых удовлетворяется условие соответствия пролетов

обнажения и возникающих от этого напряжений в породах кровли, а внутри участков – обеспечение плоской кровли выработок (рис. 3).

Рис. 3. Схема к разделению массива на участки: $L_{\text{пред}}$, $L_{\text{ф}}$, L_0 – соответственно пролеты свода естественного равновесия, фактический и плоской кровли; H – глубина работ; h_c – высота предельного пролета свода естественного равновесия; h_1 – высота нового свода

Разделение месторождения на безопасные участки позволяет при его разработке применить технологии с меньшими затратами, например, с изоляцией или закладкой твердеющими смесями пониженной прочности [17].

Лучшие условия создаются в том случае, когда размеры рудных целиков превышают размер структурного блока

пород не менее чем в 5 раз, а ширина превышает высоту не менее чем в 4 раза. Если целики в пределах погашаемого участка имеют различную жесткость, то слабые целики перераспределяют давление на более жесткие целики, что способствует выравниванию напряжений в пределах участков.

Условие предельного равновесия целика, пригруженного конструкцией из структурных породных блоков, по С.В. Ветрову:

$$S_{\text{ц}} k_{\text{ф}} \sigma_{\text{сж}} = S k_3 h_{\text{св}} \cos \alpha,$$

где $S_{\text{ц}}$ – площадь целика; $k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности руд на сжатие; S – площадь пригружающих целик пород; k_3 – коэффициент запаса; $h_{\text{св}}$ – высота свода естественного равновесия; α – угол наклона выработки.

Для однородных трещиноватых пород устойчивость кровли определяется

возможностью возникновения свода естественного равновесия. Если структурные породные блоки смещаются в выработанное пространство, а кровля принимает форму свода, происходит повышенное разубоживание руды, что может служить причиной дискредитации технологии [18, 19].

Методы расчета устойчивых пролетов обнажений кровли различаются в зависимости от вида полей напряжений и используемых гипотез (табл. 1).

Таблица 1

Методы расчета устойчивых пролетов обнажений кровли

Характеристика массива, поля напряжения	Методы		
	Геомеханические (классическая механика)	Инженерные (прикладная механика)	
		Несущий элемент	Гипотеза
Квазисплошной, гравитационное	Механика сплошной среды; вероятностно-статистические методы	Сплошная порода	Своды Слесарева, Протодьяконова, Цимбаревича, Покровского, Орлова, Квапила и др.
Квазисплошной, гравитационно-тектоническо-структурное		Плита или балка	
		Несплошная порода	
		Несплошная плита или балка	
		Несплошная система столбов	
Дискретный с гравитационно-тектоническо-структурным полем напряжений	Механика дискретной среды; вероятностно-статистические методы	Плита или балка	Зоны обрушений Борисова, консоли Кузнецова
		Система столбов	
			Шарнирная арка

Плоская форма кровли образуется при условии заклинивания пород в нижнем слое:

$$L_{\text{пред}} = 2d_2 \sqrt{\frac{10R_{\text{сж}}}{k_2 \gamma d_1}},$$

где $L_{\text{пред}}$ – предельный по условию образования свода пролет, м; $R_{\text{сж}}$ – сопротивление сжатию, т/м², d_1 и d_2 – соответственно горизонтальный и вертикальный размеры структурных блоков, м; k_2 – коэффициент запаса.

Устойчивость кровли зависит от того, какая часть рудопроводящего шва вскрыта выработкой: породы основной или отслаивающейся непосредственной кровли. Допустимый пролет плоской формы определяется из условия равенст-

ва моментов силы пород под сводом и сил распора дифференцированно для типов кровли.

Для основной кровли (рис. 4):

$$q = \frac{2}{3} \cdot \frac{L_0}{2} h_0; \quad h_0 = \frac{L_0}{2V_0}; \quad q = \frac{L_0}{2V_0};$$

$$M_q = \frac{L_0 \gamma}{18V_0}; \quad T = \frac{10R_{\text{сж}}}{R_c} \frac{1}{2} d_{\text{ос}};$$

$$M_T = T \frac{5}{2} d_{\text{ос}} = \frac{10R_{\text{сж}}^0 \cdot 5d_{\text{ос}}}{18K_2};$$

$$R_{\text{сж}} = R'_{\text{сж}} = R_{\text{сж}}^{\text{п}} \text{ при } V_0 = 1;$$

$$L_0 = 1,713 \sqrt{\frac{10R_{\text{сж}} d_{\text{ос}}^2}{K_2 \gamma}}.$$

Для непосредственной кровли:

$$q_n = \frac{L}{2} d\gamma; \quad M_{q_n} = \frac{L}{2} d\gamma \frac{L}{4} = \frac{L^2 d\gamma}{8};$$

$$T = \frac{10R_{сж}}{K_2} \frac{1}{3} d_{H_2};$$

$$M_T = T \frac{3}{6} d_{H_2} = \frac{10R_{сж} \cdot 5d_H^2}{18K_2};$$

$$L_0 = 1,48d_{H_2} \sqrt[3]{\frac{10R_{сж}}{K_2\gamma d}}.$$

Для сохранения плоского пролета в породах непосредственной кровли высоту конструкции увеличивают сшиванием пород анкерами, что позволяет увеличить момент силы распора и предупредить обрушение в пределах свода:

$$q_H = \frac{L_3}{2} d\gamma; \quad M_{q_H} = \frac{L_3}{2} d\gamma \frac{L_3}{4} = \frac{L_3^2 d\gamma}{8};$$

$$T = \frac{10R_{сж}}{K_2} \frac{2}{3} d_{H_2};$$

$$M_T = T \frac{2}{3} d_{H_2} = \frac{10R_{сж} \cdot 10d_H^2}{18K_2};$$

$$L_3 = 298d_{H_2} \sqrt[3]{\frac{10R_{сж}}{K_2\gamma d}}.$$

Условие сохранения земной поверхности от разрушения горными работами:

$$H' > h_a = h_c,$$

где H' – расстояние от верхней границы выработки до выветренных пород и рыхлых отложений, м.

Безопасность земной поверхности адекватно повышается при подпоре несущего слоя пород твердеющей смесью (рис. 5).

Рис. 5. Условие гарантированной безопасности земной поверхности:

a – открытое выработанное пространство; *б* – заложённое твердеющей смесью выработанное пространство;
1 – свод заклинивания пород; 2 – несущий слой; 3 – твердеющая смесь

Наличие зон дробления и расщепления провоцирует обрушение рудовмещающего массива с выходом на земную поверхность. Условие, при котором выход зоны на поверхность исключается:

$$H' > \frac{5S_p \sin \alpha_H}{m_H},$$

где H' – расстояние от выработанного пространства до выветренных пород и рыхлых отложений поверхности, м; S_p – площадь выработанного пространства на разрезе вкост простирания, м²; α_H –

угол падения разрывного нарушения, градус; m_H – мощность разрывного нарушения с зоной дробления и расщепления, м.

Стадия погашения выработанного пространства отличается тем, что последствия горных работ для земной поверхности скорректировать нельзя, как это можно сделать при очистной выемке [20, 21]. Классификация способов погашения с сохранением земной поверхности представлена в табл. 2.

Таблица 2

Способы погашения пустот с сохранением земной поверхности

Классы	Группы	Варианты	Условия применения
С изоляцией	Без разделения на пролеты		Малой и средней мощности рудные тела с образованием сводов
	С разделением на пролеты	Естественными массивами Искусственными массивами	
С закладкой	Твердеющими смесями	Очень прочная	Без ограничений
		Прочная	
		Малопрочная	Образование сводов
	Сыпучими продуктами	Сухая гидравлическая	Соответствие массы пригрузки и компрессионных свойств смесей
Комбинированные	Изоляция и твердеющая закладка	Очень прочная Прочная Малопрочная	В зависимости от условий образования систем
	Изоляция и сыпучая закладка	Подаваемая извне Полученная обрушением	
	Хвосты выщелачивания и твердеющие смеси	Прочная Малопрочная	

Примером сохранения земной поверхности является практика разработки Ишимского месторождения (Северный Казахстан) с объемом пустот 2 млн м³ без закладки.

Использование геомеханических факторов при добыче металлических руд является пока еще недостаточно используемым фактором повышения качества добываемых руд для обеспечения конкурентоспособности горных предприятий [22–24].

Заключение

1. Развитие ресурсосберегающих и природоохранных тенденций в горном производстве способствует более полному использованию геомеханических факторов при оценке эколого-экономической эффективности добычи минерального сырья.

2. Показатели эффективности подземной разработки месторождений адекватно зависят от целенаправленного использования свойств рудовмещающих массивов.

3. Сохранность земной поверхности от разрушения является резервом повышения качества добываемых руд при дос-

тижении экономического благополучия в условиях рынка.

Библиографический список

1. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 52-59.
2. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологией подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101-114.
3. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // ФГУП «ГИПРОЦВЕТМЕТ» / Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 1 – С. 10-15.
4. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Страданченко С.Г., Хашева З.М. Принципы и экономическая эффективность комбинирования технологий добычи руд // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 7. – С. 6-14.
5. Грязев М.В., Качурин Н.М., Захаров Е.И. Тульский государственный университет: 85 лет на службе отечеству // Горный журнал. – 2016. – № 2. – С. 25-29.
6. 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.
7. 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. vol. 34, no. 8, pp. 1048-1051.

8. Рыльникова М.В. Энергоэффективные технологии добычи и переработки золотосодержащих руд Светлинского месторождения / М.В. Рыльникова, В.А. Ежов, И.Л. Никифорова, С.Н. Плотников // Горный журнал. – 2017. – № 9. – С. 35-40.

9. Логачев А.В. Производство золота при поэтапной разработке месторождений // Цветная металлургия. – 2011. – № 12. – С. 31-34.

10. Дмитрак Ю.В. Эффективность вибро-транспортирования материалов // Научный вестник ЮИМ. – 2017. – № 4. – С. 24-29.

11. Zoback M. L., Zoback M. D., Adams J. Global patterns of tectonic stress nature // Nature. 1989. – Vol. 341. – No. 6240. – Pp. 291–298.

12. He Man-Chao, Xie He-Ping, Peng Su-Ping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2005. – No. 16. – Pp. 2804–2813.

13. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975.

14. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии – Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 6-12.

15. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry, 2015, no. 4. pp. 321-324.

16. Vladimir Golik, Vitaly Komashchenko, Vladimir Morkun, Tatiana Gvozdkova. The theory

and practice of rock massifs control in the ore mining // Metallurgical and Mining Industry, 2016, no. 1, pp. 209-212.

17. Zoback M.L., Zoback M.D., Adams J. Global patterns of tectonic stress nature // Nature. 1989. Vol. 341. No. 6240. Pp. 291–298.

18. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. / Modelling of rock massifs tension at underground ore mining // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 8. – Pp. 540-543.

19. Еременко А.А., Еременко В.А., Гахова Л.Н., и др. Оценка геодинамического состояния массива горных пород при отработке участков в охранных целиках // ГИАБ. – 2013. – № 7. – С. 123-128.

20. He Man-Chao, Xie He-Ping, Peng Su-Ping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2005. – No. 16. – Pp. 2804–2813.

21. Зубков А.В., Бирючев И.В., Криницын Р.В. Исследования изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 67-72.

22. 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.

23. Harris J.M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. M. E. Sharpe, Inc., Armonk, New York, 2013, 189 p.

24. Capilla A.V., Delgado A.V. The Destiny of the Earth's Mineral Resources. London : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015, 256 p.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 3, pp. 3-13

Title:	Underground mining of ore deposits while keeping the earth's surface
Author 1:	Vladimir I. Golik, Dr. Sci. (Tech.) Geophysical Institute – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences 93a, Markov Str., Vladikavkaz, Russia, 362002 v.i.golik@mail.ru
Author 2:	V.V. Vernigor North-Caucasian mining and metallurgical Institute 44, Str. of Cosmonaut Nikolayev, Vladikavkaz, Russia, 362021
Author 3:	V.B. Kelekhsaev North-Caucasian mining and metallurgical Institute 44, Str. of Cosmonaut Nikolayev, Vladikavkaz, Russia, 362021

Author 4:	Yu. Mystrov North-Caucasian mining and metallurgical Institute 44, Str. of Cosmonaut Nikolayev, Vladikavkaz, Russia, 362021
Abstract:	<p>In market economy, quality indicators of the extracted minerals are of particular importance. Decreasing ore losses and dilution can be achieved by controlling stress and strain using the residual bearing capacity of the broken rocks with the priority condition of preserving the earth's surface from collapse. The study aim is to substantiate rational parameters of mining methods based on the criterion of geodynamic safety. The aim is achieved by solving a set of mining tasks that ensures correctness of the obtained results, from assessing geotechnical condition to developing measures to prevent environmental impact of mining operations. The research methods include systematization and review of theory and practice, results of experimental studies and scientific forecasting. Importance of the mining system optimality criterion reflecting preserving the earth's surface from collapse to prevent contacting mining zone with habitat of beings (flora, fauna, and humans) has been substantiated. The mechanism of structural blocks interaction in discrete gravitational-tectonic-structural field has been detailed. The mechanism of broken rock blocks residual bearing capacity manifestation was clarified. The ways to increase the residual bearing capacity are: limiting the span size, optimizing strength of backfilling mixtures and pillar size to create geotechnically stable areas with minimizing the cost of managing the earth's surface condition. Typification of methods for calculating spans of flat roof is proposed. Classification of rock mass management methods is given, the feature of which is assessing the worked out space condition as of pillar extraction completion, but not at the time of stoping. An example of the earth's surface preservation during mining of flat-dipping deposit with preservation of the earth's surface without backfilling the voids is given. Managing the condition of rock masses and the earth's surface above them allows monitoring of mining at all LoM stages. The use of geotechnical factors in organizing mineral extraction is a tool for implementing resource-saving and environmental-friendly trends in mining and a way to improve quality of ore mined while ensuring the enterprise competitiveness.</p>
Keywords:	stress, rock, earth's surface, technology, geotechnics, mining, environment
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kaplunov D.R., Radchenko D.N. Principy proektirovaniya i vybor tekhnologij osvoeniya nedr, obespechivayushchih ustojchivoe razvitie podzemnyh rudnikov [<i>The principles of design and selection of technologies for the exploitation of mineral resources to ensure sustainable development of underground mines</i>] Mining journal. 2017. No. 11. Pp. 52-59. In Russ. 2. Tomashenko V.I., Vasilyev P.V., Maslennikov S.A. Tekhnologiyam podzemnoj razrabotki mestorozhdenij KMA - nadezhnyuyu syr'evuyu osnovu [<i>Technology of underground mining KMA - reliable raw material basis. Proc. of the Tula state University. earth science</i>]. 2016. No. 2. Pp. 101-114. In Russ. 3. Lyashenko, V. I., Prirodoohrannye tekhnologii osvoeniya slozhnostrukturnykh mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh [<i>Nature protection technologies of development of complex fields of minerals</i>]. FSUE "GIPROTSVETMET". Surveyor's Bulletin. 2015. No. 1. Pp. 10-15. In Russ. 4. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Stradanchenko S.G., Hascheva Z.M.. Principy i ehkonomicheskaya ehffektivnost' kombinirovaniya tekhnologij dobychi rud. [<i>Principles and economic efficiency of combined technologies of ore extraction. Proc. of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of geo-resources</i>]. 2015. Vol. 326. No. 7. Pp. 6-14. In Russ. 5. Gryazev M.V., Kachurin N.M. Zakharov E.I. Tul'skij gosudarstvennyj

- universitet: 85 let na sluzhbe otechestvu [*Tula state University: 85 years of service to the Fatherland*]. Mining journal. 2016. No. 2. Pp. 25-29. In Russ.
6. 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. In Russ.
7. 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. Vol. 34. No.8. Pp. 1048-1051. In Russ.
8. Ryl'nikova M.V. *Ehnergoehffektivnye tekhnologii dobychi i pererabotki zolotonosnyh rud Svetlinskogo mestorozhdeniya [Energy-Efficient technologies for extraction and processing of auriferous ores Svetlinsky Deposit]*. Ryl'nikova M.V., Ezhov V.A., Nikiforova I.L., Carpenters S.N. Mining journal. 2017. No. 9. Pp. 35-40. In Russ.
9. Logachev V.A. *Proizvodstvo zolota pri poehtapnoj razrabotke mestorozhdenij. Cvetnaya metallurgiya [Gold Production in a phased field development. Non-ferrous metallurgy]*. 2011. No. 12. Pp. 31-34. In Russ.
10. Dmitrik Yu. V. *Ehffektivnost' vibro-transportirovaniya materialov [Efficiency of vibro-transportation of materials]* Scientific Herald of WIM. 2017. No. 4. Pp. 24-29. In Russ.
11. Zoback M.L., Zoback M.D., Adams J. *Global patterns of tectonic stress nature*. Nature. 1989. Vol. 341. No. 6240. Pp. 291-298.
12. He Man-Chao, Xie He-Ping, Peng Su-Ping, et al. *Study on rock mechanics in deep mining engineering*. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2005. No. 16. Pp. 2804-2813.
13. Vetrov S.V. *Dopustimye razмеры obnazhenij gornyh porod pri podzemnoj razrabotke rud [Permissible sizes of rock outcrops in underground mining of ores]*. Moscow, Nauka, 1975. In Russ.
14. Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. AO «Vedushchij proektno-izyskatel'skij i nauchno-issledovatel'skij institut promyshlennoj tekhnologii» - Put' dlinoj v 65 let [*JSC "Leading design and survey and research Institute of industrial technology" - the Path of 65 years*]. Mining journal. 2016. No. 3. Pp. 6-12. In Russ.
15. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. *Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation*. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 4. Pp. 321-324. In Russ.
16. Vladimir Golik, Vitaly Komashchenko, Vladimir Morkun, Tatiana Gvozdkova. *The theory and practice of rock massifs control in the ore mining*. Metallurgical and Mining Industry. 2016. No. 1. Pp.209-212.
17. Zoback M.L., Zoback M. D., Adams J. *Global patterns of tectonic stress nature*. Nature. 1989. Vol. 341. No. 6240. Pp. 291-298.
18. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. *Modelling of rock massifs tension at underground ore mining*. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 8. Pp. 540-543.
19. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gakhov L. N., Eruslanov A.P., Smelyk A.S., Prokhvatilov S A. *Ocenka geodinamicheskogo sostoyaniya massiva gornyh porod pri otrabotke uchastkov v ohrannyh celikah [Evaluation of the geodynamic state of rock massif when mining sites in the security pillars, GORN]*. 2013. No. 7. Pp. 123-128. In Russ.
20. He Man-Chao, Xie He-Ping, Peng Su-Ping, et al. *Study on rock mechanics in deep mining engineering*. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2005. No. 16. Pp. 2804-2813.

21. Zubkov A.V., Biryuchev I.V., Krinitsyn R.V. Issledovaniya izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornyh porod [*Studies of changes in the stress-strain state of rock mass*]. Moscow, Mining magazine. 2012. No. 1. Pp. 67-72. In Russ.
22. 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.
23. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. M.E. Sharpe, Inc., Armonk, New York, 2013. 189 p.
24. Capilla A.V., Delgado A.V. *The Destiny of the Earth's Mineral Resources*. London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. 256 p.