

УДК 622.27

DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-4-13-20

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

UNDERGROUND MINING SYSTEMS: ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE NATURAL ENVIRONMENT

Г. Г. Пирогов, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pirogov.chita@mail.ru

G. Pirogov, Transbaikal State University, Chita



Горнотехническая система рассматривается как комплекс, включающий месторождения полезных ископаемых, основные и сопутствующие; сеть горных выработок различного функционального назначения; системы разработки выемочных участков и подземное пространство. Указано, что в ходе ведения горных работ горнотехническая система оказывает воздействие на породные массивы, земную поверхность, подземное пространство через систему капитальных, подготовительных и очистных выработок, технологические процессы. Ключевой составляющей горнотехнической системы являются системы разработки. Использованием подземного пространства для размещения промышленных и гражданских объектов реализуется идея рационального природопользования и комплексного освоения недр. Отмечено, что подземное пространство включает две составляющие: техногенные и природные полости; породные массивы, пригодные для строительства и эксплуатации сооружений, например, обогатительных комплексов. Показано, что в существующих методиках выбора систем разработки фактор воздействия на природную среду почти не учитывается. Предложенная систематизация систем по техногенному воздействию на природную среду может быть полезной при комплексной экономико-экологической оценке. В экологическую оценку систем разработки введен субъективный численный показатель, что позволяет выполнить более контрастное разделение систем. Наилучшие показатели имеют системы с закладкой. Применение систем с закладкой сдерживается высокими затратами. Указанный недостаток устраняется освоением рудных месторождений подземными горно-обогатительными комплексами

Ключевые слова: горнотехническая система; недра; подземное пространство; подземный обогатительный комплекс; комплексное освоение; системы разработки; техногенные воздействия; экологическая безопасность; эффективность; технологии с закладкой

Mining system is a complex that includes deposits, main and related; network of mine workings for various functional purposes, the system of excavation sites and underground space development. In the course of mining the mining system has an impact on rock mass, the earth's surface, underground space through the system of capital, preparatory and treatment workings, technological processes. A key component of the mining system is the development system. The idea of rational nature management and integrated development of mineral resources is realized by using underground space for the placement of industrial and civil objects. The underground space includes two components: technogenic and natural cavities; rock mass suitable for the construction and operation of underground facilities, for example, underground enrichment complexes. The existing methods of development systems' selection do not take into account the factor of their impact on the environment. The systematization of systems on technogenic impact on the natural environment, which can be useful in a comprehensive economic and environmental assessment, is proposed. A subjective numerical index is introduced into the environmental assessment of the systems, which allows to perform a more contrast division of the development systems. The best performance has a system with a bookmark. The use of tabbed systems is constrained by high costs. The specified deficiency is excluded by development of ore deposits by underground mining and processing complexes

Key word: mining system; mineral resources; underground space; underground enrichment complex; integrated development; system development; technological impact; ecological safety; efficiency; rock filling technology

Введение. В пределах горного отвода формируется горнотехническая система, представляющая сложный природно-техногенный комплекс, включающий основные и сопутствующие месторождения полезных ископаемых; сеть горных выработок различного функционального назначения; системы разработки выемочных участков и пространство недр, в котором осуществляется производственная и социальная деятельность человека, связанная с извлечением полезных ископаемых. В ходе ведения горных работ горнотехническая система претерпевает радикальные изменения, оказывает в достаточно крупных масштабах воздействие на породные массивы, земную поверхность, подземное пространство через капитальные, подготовительные, очистные работы, технологические процессы очистной выемки. Ключевой составляющей рассматриваем системы разработки.

Объем отработанной очистной камеры варьирует от 30 до 90 тыс. м³ и более. Пустоты выработанных пространств, суммарный объем которых измеряется миллионами кубических метров, по истечении определенного периода времени вызывают значительные обрушения пород, достигающие иногда земной поверхности, сопровождающиеся развитием деформаций в породных массивах: трещинообразование, смещения [11]. Массовые взрывы скважинных зарядов, например, при блоковом принудительном обрушении руды на компенсационные камеры, когда общее количество взрываемых одновременно взрывчатых веществ достигает нескольких десятков тонн, сопровождаются выбросами в рудничную атмосферу больших масс пыли и взрывных газов, вызывают сейсмические воздействия на массивы. В других системах разработки отбойка производится небольшими зарядами (шпуровая отбойка). Разработка рудных тел системами с магазинированием руды блоками, с креплением характеризуется значительным расходом лесоматериалов, что сопровождается вырубкой лесов, сокращением лесных массивов. Увеличение глубины

производства горных работ связано с нарушениями подземных водотоков, водоносных горизонтов. Реализация горнотехнических систем сопровождается истощением невозобновляемых минеральных ресурсов, что неизбежно скажется на жизнедеятельности будущих поколений [Там же].

Решение проблемы. Главным объектом масштабного техногенного воздействия является пространство недр, социальная и государственная значимость которого отмечена в работах ведущих отечественных ученых [5; 7–9]. Использованием подземного пространства для размещения промышленных и гражданских объектов реализуется актуальная идея рационального природопользования и комплексного освоения недр. В результате использования освобождаются площади для строительства и сельского хозяйства; с поверхности удаляются объекты вредных производств; осуществляется изолированное складирование и захоронение промышленных отходов [3; 8; 12].

При решении задачи освоения пространства недр следует учитывать не только капитальные горные выработки, выработанные объемы выемочных участков, природные полости (пещеры), но и породные массивы, которые могут быть использованы для строительства народно-хозяйственных объектов. Таким образом, подземное пространство включает две составляющие:

- 1) техногенные и природные полости;
- 2) породные массивы, пригодные для строительства и эксплуатации сооружений, например, комплексов для переработки руды [10].

Качественное состояние массивов зависит, прежде всего, от применяемых систем разработки, их конструкций и технологических процессов очистной выемки.

По состоянию выработанных пространств выемочных участков системы разработки разделяем на три группы: с открытым выработанным пространством; заполненным закладочными материалами или замагазинированной рудой, подвергнутой подземному выплавлению; обрушенными породами.

В первую группу включаем все системы класса с открытым пространством, а также классов с магазинированием руды и креплением. Последние объединяются по следующим факторам: после полного выпуска руды из очистного блока (системы разработки с магазинированием) или разрушения крепей (стоеч, крепежных рам, костров, кустов и т. д. — системы с креплением — по истечении многих лет это происходит неизбежно) выработанные пространства становятся открытыми.

Масштаб и характер техногенных воздействий систем разработки с открытым выработанным пространством на вмещающие породы определяются способами погашения целиков. Этажно-камерная и система подэтажных штреков с массовым обрушением междуэтажных и междуку-

мерных целиков аналогичны этажному блоковому принудительному обрушению на компенсационные камеры. Иная экологическая ситуация возникает при выемке руды с применением закладки.

Таким образом, в зависимости от формируемых в недрах горнотехнических систем возможны экологические процессы, протекающие в горных массивах: обрушения пород с выходом на поверхность (рис. 1); локальные обрушения (смещения) пород, затухающие в недрах, не достигая поверхности (рис. 2); без существенных деформаций в породных массивах при технологиях с закладкой (рис. 3). Крупномасштабные нарушения массивов могут приводить к исключению части недр из последующего природопользования.

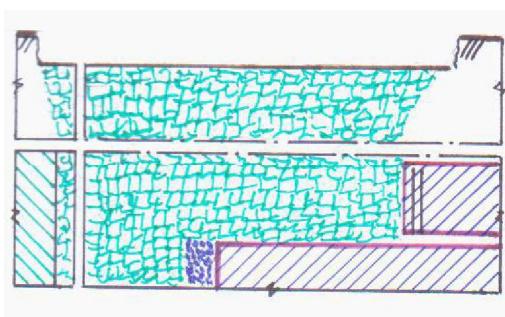


Рис. 1. Обрушения пород с выходом пород /
Fig. 1. Rock slides with an exit to the surface

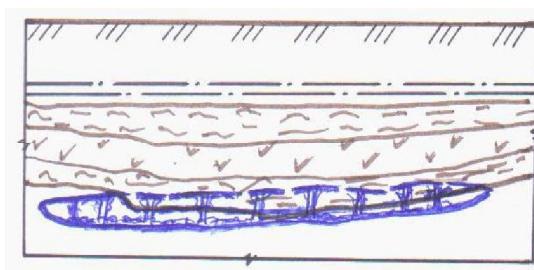


Рис. 2. Локальные обрушения (смещения) на поверхность / Fig. 2. Local rock slides (displacement)

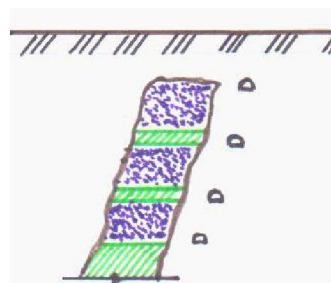


Рис. 3. Закладка выработанных пространств / Fig. 3. Rock fill of developed spaces

В существующих методиках выбора систем разработки фактор техногенного воздействия на природную среду учитывается недостаточно. Для восполнения пробела нами предложена систематизация систем по техногенному воздействию на природную среду, которая может быть полезной при комплексной оценке систем, что отражено в таблице.

В систематизацию систем разработки по техногенным воздействиям на природную среду введен *субъективный* численный показатель – степень воздействия: сильные воздействия предлагаем оценивать в 10 баллов, умеренные – 5 баллов, слабые – 1 балл. Это позволяет выполнять более контрастное разделение систем по классификационным признакам и в целом по совокупному воздействию на природную среду.

Систематизация систем разработки рудных месторождений по техногенным воздействиям на природную среду / Systematization of systems for the development of ore deposits due to man-made impacts on the natural environment

Виды техногенных нарушений при применении систем разработки / Types of man-made damages in the application of working out systems	Степень техногенных воздействий / Power man-made influences	Субъективный численный показатель / Subjective Numerical Indicator	Класс систем по ПТЭ (1980) / Class system on PTE (1980)	Системы разработки / Development systems
Техногенные нарушения в породном массиве / Technogenic disturbances in the rock mass	Полное нарушение породного массива / Complete violation of the rock mass	10	1, 5	С обрушением; с открытым очистным пространством и выемкой целиков при незаложенных камерах / With the rock slides; with an open working excavation space and high-capacity pillars in ungobed up chambers
	Частичное нарушение породного массива (локальные обрушения, смещения пород) / Partial damage of rock mass (local collapse, rock displacement)	5	1, 2, 4	С открытым очистным пространством и выемкой целиков при заложенных камерах; с магазинированием; с креплением / With open working excavation space and pillars extraction in gobed up chambers; with proposed succession of ore bodies, with lining
	Восстановление породного массива / Restoration of rock mass	1	3	С закладкой / With rock filling
Полнота выемки руд / Fullness of ore excavation	Высокие потери руды (свыше 10 %) / High ore losses (over 10 %)	10	1, 5	С открытым очистным пространством и выемкой целиков при незаложенных камерах; системы с обрушением / With open working excavation and pillar extraction in ungobed chambers, rock slide systems
	Средние потери руды (5...10 %) / Average ore loss (5 ... 10 %)	5	1, 2, 4	С открытым очистным пространством и выемкой целиков при заложенных камерах; с магазинированием; с креплением / With open working excavation space and pillar extraction in gobed up chambers; with proposed succession of ore bodies, with lining
	Низкие потери руды (2...5 %) / Low ore loss (2 ... 5 %)	1	3	С закладкой / With rock filling

Окончание таблицы

Качество добываемых руд / Quality of mined ores	Баловая выемка / bulk mining extraction	10	1, 5	С открытым очистным пространством; с обрушением / With an open working excavation space; with rock slide
	Частично-раздельная выемка / partially separate extraction	5	3	С закладкой и слоевой выемкой; подэтажно-камерные системы с закладкой / With rock filling and layer extraction; sub-chamber systems with a rock filling
	Селективная выемка / Selective extraction	1	3	С закладкой и слоевой выемкой / With rock filling and layer extraction
Нарушения гидрологической среды / Damage of hydro-logical environment	Нарушения подземных водотоков, водоносных горизонтов / Damage of groundwater streams, aquifers	10	1, 5	С открытым очистным пространством с камерной и подэтажной выемкой; с обрушением / With open working excavation space, with chamber and sublevel extraction; with rock slide
Изменение рельефа / Relief change	Обрушения земной поверхности, оседания, провалы / Earth surface slides, settings, sinkholes	10	5	С обрушением / With rock slide
	Деформации земной поверхности без видимых нарушений / Earth surface deformation without visible damage	10	1	С открытым очистным пространством и выемкой целиков при незаложенных камерах / With open working excavation space and pillar extraction in ungobed chambers
	Сохранение земной поверхности / Earth surface preservation	1	3	С закладкой / With rock filling
Высокая степень техногенных воздействий на природную среду / High degree of anthropogenic impact on natural environment	50	5	С обрушением / With rock slide	
Средняя степень техногенных воздействий на природную среду / Average degree of man-made impact on natural environment	20	1	С открытым очистным пространством и выемкой целиков при незаложенных камерах / With open working excavation space and pillar extraction in ungobed chambers	
Низкая степень техногенных воздействий на природную среду / Low degree of man-made impact on natural environment	4	3	С закладкой / With rock filling	

Условия формирования экономически эффективной, с высоким уровнем промышленной и экологической безопасности горнотехнической системы должны включать:

— рациональное извлечение минеральных ресурсов из недр [2]. Полностью исключить потери полезных ископаемых при добыче невозможно в силу сложных, ино-

гда весьма сложных горно-геологических условий, однако необходимо изыскивать технические решения, снижающие уровень потерь (искусственные целики, технологии с закладкой и др.);

— минимальный ущерб природной среде буровзрывными работами. Если в пределах горного отвода предполагается строительство подземных сооружений после окончания эксплуатации месторождения, целесообразно осуществлять щадящие взрывы (скважины малого диаметра, контурное взрывание и т. д.);

— создание в выработанных пространствах закладочных массивов, исключающих негативные процессы во вмещающих породах (трещинообразование, сдвижение пород, обрушения);

— сохранение водоносных горизонтов и водотоков;

— комплексное освоение недр: извлечение основных и сопутствующих полезных ископаемых, освоение пространств для размещения промышленных и социальных объектов [1; 4; 15]. В последние десятилетия в недрах стали осуществлять складирование и захоронение промышленных отходов, что оправдано и целесообразно, однако необходимо предусмотреть меры, прежде всего, мониторинг, исключающие негативные последствия, главные из которых:

— загрязнения подземных вод;

— высокая производительность труда горнорабочих на базе комплексной механизации и автоматизации основных и вспомогательных технологических процессов.

Эффективность горнотехнической системы находится в прямой зависимости от полноты и детальности геологических

изысканий в районе залегания рудного месторождения [4]; на стадии проектирования — решения комплексных горнотехнических задач на основе принципов технологий и тенденций [6], существующих в современной горнорудной практике; на стадии реализации спроектированной горнотехнической системы — постоянного совершенствования проектных решений.

Полное и детальное геологическое изучение недр обуславливает дополнительные затраты, которые должно взять на себя государство, думая о будущих поколениях [14], разработать законодательно механизм заинтересованности недропользователей в комплексном освоении недр на стадиях проектирования и эксплуатации месторождений.

Заключение. Данные таблицы показывают, что наименьший ущерб природной среде достигается в случае применения технологий на базе систем разработки с закладкой: восстанавливается целостность массивов; сохраняется земная поверхность; обеспечиваются минимальные потери руды при добыче; создаются благоприятные условия для ведения горных работ. Однако широкое применение систем с закладкой сдерживается высокими затратами. Недостаток может быть исключен (уменьшен) освоением месторождений подземными горно-обогатительными комплексами [3; 10], при которых появляются условия для ресурсосберегающей технологии очистной выемки с закладкой выработанных пространств гранулированными хвостами обогатительного комплекса, размещенного в недрах почти в непосредственной близости.

Список литературы

1. Валиев Н. Г., Славиковский О. В. Комплексное освоение недр сбалансированной горнотехнической системой при подземной разработке рудных месторождений // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 3–5.
2. Васильчук М. Н., Трубецкой К. Н., Ильин А. М., Зимин В. С., Чантурия В. А., Чаплыгин Н. Н., Каплунов Д. Р. Недра и основные положения экологической безопасности их освоения // Горный журнал. 1995. № 7. С. 17–21.
3. Волков Ю. В., Соколов И. В. О недропользовании и охране окружающей среды при разработке рудных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 5. С. 244–247.

4. Горные науки, освоение и сохранение недр Земли / под ред. К. Н. Трубецкого. М.: АГН, 1997. 478 с.
5. Дядькин Ю. Д. Проблемы комплексного освоения ресурсов недр и использования подземного пространства // Горный журнал. 1990. № 7. С. 54–57.
6. Каплунов Д. Р., Болотов, Б. В. Формирование нормативно-методических основ проектирования подземных рудников при комплексном освоении недр // Методические принципы проектирования горных предприятий при комплексном освоении месторождений: сборник статей. М.: ИПКОН РАН, 1992. С. 4–16.
7. Картозия Б. Я. О разработке научно-исследовательской программы по освоению подземного пространства России // Горный журнал. 1995. № 10. С. 30–33.
8. Лебедев Ю. В., Кокарев К. В., Шихлаев Д. А., Болетникова Е. Н., Желясков А. Л. Научно-технологические принципы комплексного решения эколого-экономических и социальных проблем при недропользовании // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 91–97.
9. Мельников Н. Н. Подземное пространство – важнейший государственный ресурс // Горный журнал. 1998. № 4. С. 11–15.
10. Патент РФ № 2338879. Способ разработки рудных месторождений / Г. Г. Пирогов; опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32.
11. Цыганков Д. А. Оценка воздействия подземных рудников Горной Шории и Хакасии на экосреду // Горный журнал. 2000. № 1. С. 62–65.
12. Швецов П. Ф., Зильберборт А. Ф. Под землю, чтобы сберечь Землю // Природа. 1981. № 10. С. 27–32.
13. Шемякин Е. И. Использование подземного пространства как среды обитания человека // Горный журнал. 1995. № 8. С. 35–39.
14. Шмидхейни С. Смена курса: перспективы развития и проблемы окружающей среды: подход предпринимателя. М.: Геликон, 1994. 384 с.
15. Carmody J., Sterling R. *Underground space design*. New York, 1993.

References

1. Valiev N. G., Slavikovsky O. V. *Innovatsionnye geotehnologii pri razrabotke rudnyh i nerudnyh mestorozhdeniy: sbornik dokladov* (Innovative geotechnologies for developing ore and non-metallic deposits: collected reports). Yekaterinburg: UGGU, 2015, pp. 3–5.
2. Vasilchuk M. P., Trubetskoy K. N., Ilyin A. M. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 7, pp. 17–21.
3. Volkov Yu. V., Sokolov I. V. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining Analytical Bulletin), 2008, no. 5, pp. 244–247.
4. *Gornye nauki, osvoenie i sohranenie nedr Zemli* (Mining sciences, development and preservation of the Earth's interior) / under ed. K. N. Trubetskoy. Moscow: AGN, 1997. 478 p.
5. Dyadkin Yu. D. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1990, no. 7, pp. 54–57.
6. Kaplunov D. R., Bolotov, B. V. *Metodicheskie printsipy proektirovaniya gornyh predpriyatiy pri kompleksnom osvoenii mestorozhdeniy: sbornik statey* (Methodological principles for the design of mining enterprises in the integrated development of deposits: collected articles). Moscow: IPKON RAS, 1992, pp. 4–16.
7. Kartoziya B. Ya. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 10, pp. 30–33.
8. Lebedev Yu. V., Kokarev K. V., Shikhlaev D. A., Boletnikova E. N., Zhelyaskov A. L. *Innovatsionnye geotehnologii pri razrabotke rudnyh i nerudnyh mestorozhdeniy: sbornik dokladov* (Innovative Geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits: collected reports). Yekaterinburg: UGGU, 2015, pp. 91–97.
9. Melnikov N. N. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1998, no. 4, pp. 11–15.
10. Patent RF № 2338879. *Sposob razrabotki rudnyh mestorozhdeniy* (RF patent number 2338879. The method of developing ore deposits) / G.G. Pirogov; publ. 20.11.2008, bul. no. 32.
11. Tsygankov D. A. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2000, no. 1, pp. 62–65.
12. Shvetsov P. F., Zilberbord A. F. *Priroda* (Nature), 1981, no. 10, pp. 27–32.
13. Shemyakin E. I. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 8, pp. 35–39.
14. Shmidheiny S. *Smena kursa: perspektivy razvitiya i problemy okruzhayushchey sredy: podhod predprinimatelya* (Change of course: development prospects and environmental problems: the entrepreneur's approach). Moscow: Gelikon, 1994. 384 p.
15. Carmody J., Sterling R. *Underground space design* (Underground space design). New York, 1993.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Пирогов Геннадий Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: научное обоснование и создание новых технологий разработки рудных месторождений
pirogov.chita@mail.ru

Gennady Pirogov, doctor of technical sciences, professor, Underground Mining of Mineral Deposits department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: scientific rationale and creation of new technologies for ore deposits' development

Образец цитирования

Пирогов Г. Г. Подземные горнотехнические системы: техногенные воздействия на природную среду // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 13–20.
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-4-13-20.

Pirogov G. Underground mining systems: anthropogenic impact on the natural environment // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 4, pp. 13–20. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-4-13-20.

Статья поступила в редакцию: 19.10.2018 г.

Статья принята к публикации: 01.04.2019 г.

