

УДК 504.55.054:622(470.6)

К ПРОБЛЕМАМ КОНВЕРСИИ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Голик Владимир Иванович^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович¹,
yiri1963@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич³,
lukyanov@tpu.ru

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

² Геофизический институт Владикавказского научного центра,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность проблемы обеспечения промышленности металлами для удовлетворения нужд населения повышается в условиях радикальных изменений в системе хозяйствования и продолжающегося ухудшения условий разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом.

Цель работы: обоснование целесообразности организационно-экономических и производственно-технологических мероприятий по переходу горной отрасли на инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом.

Методы исследования включают в себя анализ мирового опыта и литературных публикаций, получение и обработку данных на основе множественного регрессионного и корреляционного анализа, полупромышленные испытания вариантов альтернативных технологий.

Результаты. Определено, что направления конверсии горного производства включают в себя применение твердеющих смесей для закладки выработанного пространства и выщелачивание металлов из руд. Показано, что природоохранный концепт технологического перевооружения состоит в перенесении процессов переработки основного объема руд в подземные условия; эффективность утилизации хвостов обогащения складывается из снижения величины ущерба от хранения хвостов, стоимости полученных при переработке металлов и неметаллов, сырья для строительной индустрии и попутной товарной продукции. Целесообразность освоения конверсионных технологий определяется соотношением компенсационных затрат и ущерба от хранения отходов, производственной мощности утилизирующего предприятия и его технологического уровня. Отмечено, что диверсификация горного производства на подземную разработку месторождений в близкой перспективе требует корректировки инженерного обеспечения горных работ по горным специальностям. Производственная деятельность горных инженеров связана с эффективностью использования природных ресурсов, поэтому горному инженеру надо быть технологом-переработчиком, гидрогеологом, экологом и т. д. Конверсия технологий реализуется при условии: эффективность добычи руд определяется с учетом ценности извлекаемых и не извлекаемых металлов, а также с учетом величины действительного ущерба окружающей среде.

Выводы: восстановление потенциала горной отрасли зависит от реализации инновационных технологий при условии надлежащего обеспечения специалистами нового поколения.

Ключевые слова:

Конверсия, технология разработки, руда, твердеющая смесь, выщелачивание, металл, горный инженер, эффективность.

Введение

В результате реформы системы хозяйствования 90-х гг. многие горнодобывающие и перерабатывающие предприятия России оказались в состоянии кризиса, причинами которого считают истощение запасов кондиционного сырья, старение технологий и оборудования, изменение структуры связей регионов с центром и т. п.

Главной же причиной кризиса является прекращение государственного дотирования ранее убыточных предприятий, которое привело к сокращению или полному прекращению добычи руды на большинстве из них [1].

Технологической причиной неблагополучия минерально-ресурсного комплекса является преобладание методов экстенсивного недропользова-

ния. Это видно из того, что разработка месторождений сопровождается увеличением объемов не отвечающих конъюнктуре запасов руд и хвостов переработки руд на поверхности. В обоих случаях это: потерянные металлы и омертвленные на подготовку к добыче запасы средства. На сегодняшний день в недрах месторождений теряется абсолютное большинство потенциально извлекаемых металлов.

Стало очевидным, что дальнейшее существование предприятий невозможно без применения нетрадиционных технологий [2]. Для некоторых предприятий – это освоение технологий, повышающих качество сырья до уровня конкурентоспособности, с закладкой выработанного пространства. Для большинства предприятий – это расши-

рение сырьевой базы за счет вовлечения в производство запасов, считающихся некондиционными для традиционной технологии.

Подавляющее большинство предприятий России располагает достаточными запасами руд и развитой инфраструктурой, чтобы осуществить конверсию производства и освоить менее затратные технологии производства металлов. Увеличив объем добычи руды и выпуска металлов за счет привлеченного некондиционного сырья, они могут уменьшить себестоимость конечной продукции не на проценты, а в разы.

Целью работ, посвященных предстоящему переводу большей части горного производства на подземную разработку месторождений, является обоснование нового подхода к обеспечению производства специалистами.

Результаты и обсуждение

Обоснование конверсии технологий добычи руд формирует проблему федерального и глобального значения. Разработка экономических аспектов освоения инновационных технологий включает в себя обоснование организационно-экономических и производственно-технологических мер (рис. 1).

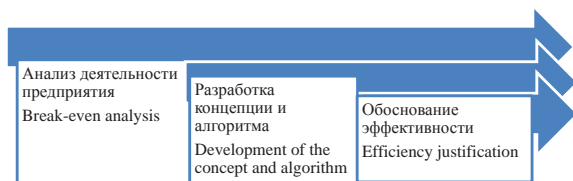


Рис. 1. Аспекты конверсии горного производства на инновационные технологии

Fig. 1. Aspects of mining industry conversion to innovative technologies

Поставленная цель достигается в ходе комплексных исследований, включающих анализ мирового опыта, литературных публикаций, лабораторные исследования с обработкой данных на основе множественного регрессионного и корреляционного анализа, полупромышленные испытания вариантов альтернативных технологий.

Осуществляемое по стратегическим и иным причинам государственное дотирование планово-убыточных предприятий не стимулировало их к освоению прогрессивных технологий второй половины прошлого века: закладка пустот твердеющими смесями и выщелачивание металлов из руд, а также гидрометаллургические методы переработки руд [3].

Технологии с выщелачиванием из руд цветных, благородных и редких металлов имеют широкие перспективы применения в горном производстве (рис. 2) [3–7].

Горное производство обладает значительной капиталоемкостью, использует дорогостоящее оборудование и характеризуется высокой трудоемкостью и повышенным уровнем риска при изменении условий разработки месторождений.



Рис. 2. Варианты технологий с выщелачиванием металлов из руд

Fig. 2. Options of technologies with metals leaching from ores

Природоохранный концепт конверсионных технологий состоит в перенесении процессов первичной переработки основного объема руд в подземные условия. Богатые руды выдаются на поверхность и перерабатываются на металлургическом заводе, а средние и бедные, соответственно, – в подземных блоках рудников и штабелях на территории рудников (рис. 3) [8].

Анализ состояния проблемы обеспечения сырьем показывает, что в настоящее время приоритетное значение приобретает комплексное освоение полезных ископаемых и повторная разработка техногенных месторождений [9–11].

Результаты использования хвостов переработки металлических руд сводятся к следующему: при переработке хвостов образуется до 80 % кварцосодержащего материала, пригодного для использования в различных отраслях; остальная часть представляет собой продукт, из которого возможно извлечение металлов.

Хвосты обогащения слагают массивы, отличающиеся специфическими признаками строения и подверженные изменениям в процессе переработки и хранения. Применительно к горной промышленности утилизация хвостов заключается в получении вяжущих и инертных заполнителей для изготовления, прежде всего, твердеющих смесей.

Особенность хвостов обогащения состоит в том, что их использование без извлечения металлов недопустимо из соображений экономики и охраны труда [12].

Условие экономической эффективности извлечения металлов из хвостов:

$$P_y > Y_c + Z_n,$$

где P_y – прибыль при утилизации хвостов; Y_c – ущерб окружающей среде в денежном выражении; Z_n – затраты на переработку хвостов.

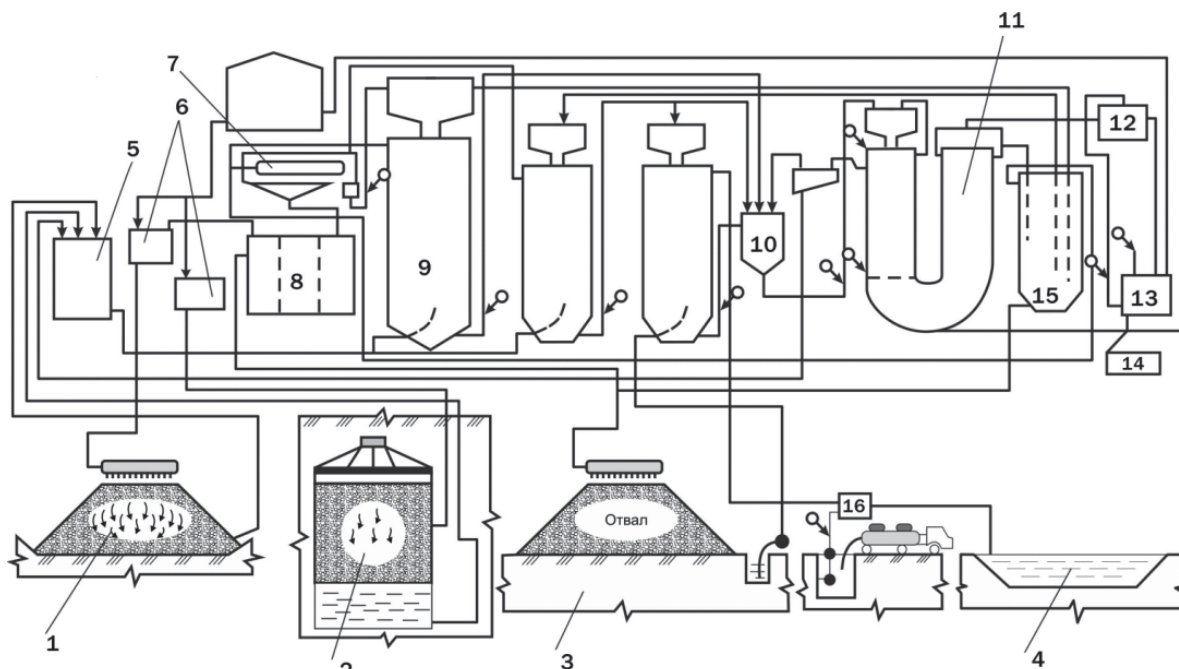


Рис. 3. Комплекс выщелачивания металлов: 1– штабель кучного выщелачивания; 2 – блок подземного выщелачивания; 3 – отвал; 4 – пруд; 5–8 – емкости; 9, 10 – технологические аппараты; 11– сорбционно-десорбционная колонна; 12–16 – вспомогательное оборудование

Fig. 3. Complex of metal leaching: 1 is the heap leaching stack; 2 is the underground leaching block; 3 is the dump; 4 is the pond; 5–8 are the capacities; 9, 10 are the devices; 11 is the sorption and stripping column; 12–16 is the service equipment

Природо- и ресурсосберегающая концепция обращения с отходами переработки заключается в том, что для предотвращения нанесения ущерба человеку, флоре и фауне следует не консервировать, а утилизировать хвосты. Основное препятствие для этого – наличие металлов в хвостах – преодолевается с помощью инновационной технологии выщелачивания в дезинтеграторе: без активации в дезинтеграторе, с предварительной активацией в дезинтеграторе и с последующим выщелачиванием и с одновременной активацией и выщелачиванием в дезинтеграторе [13] (рис. 4).

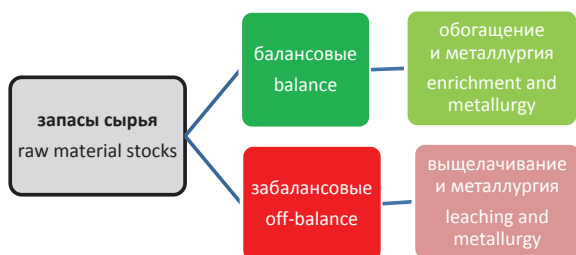


Рис. 4. Технологическая схема извлечения металлов из хвостов обогащения

Fig. 4. Technological scheme of metals extraction from enrichment tails

Эффективность утилизации хвостов обогащения складывается из снижения величины ущерба от хранения хвостов, стоимости полученных при переработке металлов и неметаллов, сырья для строительной индустрии и попутной товарной продукции [14–17].

При утилизации хвостов в составе бетонных смесей экономический эффект создается за счет экономии и цемента, и инертных материалов. Прочность активированных смесей корректируется добавкой цемента (рис. 5).

Хвосты обогащения включают мелкую фракцию – вяжущие (0, 076 мм), и более крупную фракцию – инертный наполнитель. Примерный состав смеси с хвостовым и товарным цементным вяжущим представлен в таблице.

Таблица. Соотношение компонентов твердеющих смесей
Table. Ratio of hardening mixtures components

Расход компонентов, кг/м ³ Consumption of components, kg/m ³				Прочность закладки, МПа Filling strength, MPa	
цемент cement	вяжущие хвосты binding tails	вода water	инертные хвосты inert tails	Время твердения, дни Curing time of, days	
				28	90
–	270		1370	0,13	0,17
	–		1620	0,16	0,28
30	130		1490	0,36	0,60
	270		1370	0,56	0,78
	300		1340	0,60	0,82
	130	380	1460	0,46	0,68
60	190		1410	0,54	0,84
	220		1380	0,58	0,88
	250		1350	0,66	0,93
	300		1300	0,76	0,96
80	–		1455	0,42	0,66

Эквивалент активности при подготовке хвостов в дезинтеграторе или соотношение хвостов и це-



Рис. 5. Технологическая схема изготовления бетонных изделий

Fig. 5. Technological scheme of production of concrete products

мента в составе комплексного вяжущего варьируется в интервале 8–20. При одинаковой прочности расход цемента на 1 м³ твердеющей смеси снижается с 140 до 80 кг. Из 220 кг хвостов, расходуемых на приготовление 1 м³ твердеющей смеси, при активации в дезинтеграторе в качестве активного вяжущего используется 90 кг (40 %), а остальные 130 кг хвостов – как инертный заполнитель.

Массовая концентрация вяжущего компонента:

$$A = \Pi_m + \Pi_n / K_a,$$

где A – массовая концентрация сложного вяжущего, кг/м³; Π_m – расход цемента для активации процесса, кг/м³; Π_n – массовая концентрация исходных хвостов, кг/м³; K_a – коэффициент активации хвостов в установках, доли ед.

Эколого-экономическая эффективность определяется соотношением компенсационных затрат и ущерба от хранения отходов, производственной мощности утилизирующего предприятия и его технологического уровня [18, 19]:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N \{ (M_{ey} \Pi_{my} + Q_y \Pi_{qy}) \} - \\ - \sum_{a=1}^3 [K(1 + E_{ny}) + E_q + E_x] - \\ - [(M_e \Pi_m + Q \Pi_q) + \\ + Q_r \Pi_r] K_c K_y K_t K_o K_p K_{sp} K_{ch} \rightarrow \max,$$

где P – продукты утилизации хвостов; O – виды хвостов; Π – процессы переработки хвостов; T – время переработки; F – фазы существования хранилищ; N – стадия использования хвостов; M_{ey} – количество металлов из отходов; Π_{my} – цена металлов; Q_y – количество восстановленных эффектов; Π_{qy} – цена утилизированных веществ; E_q – коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации; E_x – коэффициент процентной ставки на кредит для производства металлов; E_{ny} – коэффициент процентной ставки на экологию; M_e – количество потерянных металлов; Π_m – цена потерянных металлов; Q – количество потерянных эффектов; Π_q – цена потерянных полезных веществ; Q_r – количество эффектов поражения среды; Π_r – затраты на

компенсацию глобальных факторов поражения; Z – затраты на управление; K – затраты на управление хранилищами; K_c – коэффициент самоорганизации хвостов; K_y – коэффициент утечки продуктов выщелачивания; K_t – коэффициент дальности утечки растворов; K_o – коэффициент влияния на биосферу; K_p – коэффициент влияния загрязнения на соседние регионы; K_{sp} – коэффициент реализации опасности со временем; K_r – коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Сегодняшнее горное предприятие представляет собой систему с большим количеством проходческих и очистных забоев, пунктов выпуска и погрузки, транспортных средств, средств подъема, вентиляции, водоотлива, рудного склада, сортировочной установки, обогатительной фабрики и т. п., усложненную изменчивостью параметров рудных месторождений и качества сырья. Для освоения инновационных технологий получаемых по старым программам знаний недостаточно.

Диверсификация горного производства на подземную разработку месторождений требует корректировки инженерного обеспечения горных работ по направлениям: «Прикладная геология», «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», «Геоэкология» в рамках направления подготовки горняков, геологов, обогатителей, маркшейдеров, геофизиков и т. п. [20].

Курс горного образования обогатился новыми разделами фундаментальных наук: информатика, электроника и т. п. В систему образования вошли средства с математическим обеспечением, банком программ, языками программирования и доступом в мировую сеть. Использование информационных технологий развивается по направлениям:

- применение машинных методов контроля знаний;
- версификация вариантов учебных заданий;
- разработка расчётов и программ на машинных языках;
- разработка имитационных обучающих комплексов.

Необходимость корректировки горного образования подтверждается тем, что условия разработки месторождений полезных ископаемых ухудшаются, спрос на продукцию горного производства удовлетворять будет все труднее, несмотря на вовлечение в эксплуатацию новых месторождений. Запасов месторождений с комфортными условиями эксплуатации уже недостаточно, поэтому будут осваиваться ранее непривлекательные участки действующих рудников, месторождения со сложными горно-геологическими условиями, некондиционные руды, что сопряжено с ухудшением качества сырья, удорожанием продукции, повышением опасности работ и усилением нагрузки на окружающую среду.

Горному инженеру без специальных знаний решать проблемы конверсии трудно. Ему надо быть не только горным технологом, но и технологом-переработчиком, гидрогеологом, экологом и т. д.

Производственная деятельность горных инженеров связана с эффективностью использования природных ресурсов, а результаты деятельности влияют на состояние окружающей человека среды. Образование по вопросам охраны окружающей среды от негативного влияния горных работ должно занимать приоритетное место в учебных программах подготовки специалистов горного профиля.

Принципиальное отличие специализированных на новые технологии горных инженеров буду-

щего от выпускаемых сейчас заключается в максимальном учете последних достижений науки и производства в области природо- и ресурсосбережения, в том числе: сохранность земной поверхности и глубокая утилизация хвостов переработки руд.

Заключение

Восстановление потенциала горных отраслей депрессивных регионов в условиях увеличивающейся конкуренции на рынке металлов зависит от успеха конверсии инновационных природо- и ресурсосберегающих технологий.

Конверсия технологий может быть успешной при обязательном условии: эффективность добычи руд определяется с учетом ценности извлекаемых и не извлекаемых металлов, а также с учетом действительного ущерба окружающей среде. Основным критерием эффективности технологий должна быть стоимость реализации продукта за вычетом стоимости извлеченного из недр сырья и стоимости рекреации окружающей среды и добытчиков полезных ископаемых.

При прогрессирующей тенденции ухудшения условий разработки месторождений и необходимости увеличения объема производства металлов конверсия технологий требует корректировки подготовки горных инженеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров И.В., Савон Д.Ю., Стоянова И.А. Эколого-экономические последствия реструктуризации угольной промышленности Восточного Донбасса и пути их решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 5. – С. 67–74.
2. Белова А.Г., Корнилов С.В. О технологической платформе «Твердые полезные ископаемые» // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 45–52.
3. Гендлер С.Г. Обеспечение комплексной безопасности и при освоении минерально-сырьевых и пространственных ресурсов недр // Горный журнал. – 2014. – № 5. – С. 105–110.
4. Лизункин В.М., Лизункин М.В., Бейдин А.В. Подземные геотехнологии подземной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 78–85.
5. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. – 2015. – V. 157. – P. 306–324.
6. Авдеев П.Б., Овешников Ю.М. Опыт применения кучного выщелачивания на рудных карьерах Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 123–128.
7. Святецкий В.С., Литвиненко В.Г., Морозов А.А. О возможности и условиях применения блочного подземного выщелачивания урановых руд Стрельцовского месторождения // Горный журнал. – 2012. – № 10. – С. 77–82.
8. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental Study of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite // Research India Publications. – 2015. – № 15. – P. 35410–35416.

9. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes / Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue // Science. – 2012. – V. 337. – № 6095. – P. 702–703.
10. Davies M.P., Rice S. An alternative to conventional tailing management – «dry stack» filtered tailings // Proc. of the Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste. – Fort Collins, Colorado, 16–19 January 2001. – US: Balkema, 2001. – P. 411–422.
11. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes / D.M. Franks, D.V. Boger, C.M. Côte, D.R. Mulligan // Resources Policy. – 2011. – V. 36. – № 2. – P. 114–122.
12. Golik V.I., Komashchenko V.I., Razorenov Yu. I. Activation of technogenic resources in disintegrator // Mine Planning and Equipment Selection: Proc. of the 22nd MPES Conference / Eds. C. Drebenstedt, R. Singhal. – Freiberg, 2013. – P. 1101–1106.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – V. 7. – № 3. – P. 38–41.
14. Packey D.J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // Resour. Policy. – 2012. – V. 37. – № 1. – P. 104–108.
15. Reck B.K., Graedel T.E. Challenges in metal recycling // Science. – 2012. – V. 337. – № 6095. – P. 690–695.
16. Маслеников С.А. Обоснование рациональных параметров комбинированной чугуно-бетонной крепи вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – P. 210–214.
17. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Флотация техногенного вольфрамолибденового сырья при утилизации песков хвостохранилища Тырнаузской обогатительной фабрики // Горный журнал. – 2015. – № 8. – P. 92–97.

18. Golik V.I., Hasheva Z.M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste // The Social Sciences. – 2015. – № 10 (5). – P. 682–686.
19. Техничко-экономическая оценка эффективности блочного подземного выщелачивания урана из бедных руд Стрельцовского рудного поля / А.А. Морозов, А.П. Смагин, Г.Ф. Безносков, А.Н. Юртаев // Горный журнал. – 2013. – № 8–2. – P. 123–128.
20. Полухин О.Н., Волков Ю.И. Подготовка горных инженеров в Белгородском государственном национальном исследовательском университете // Горный журнал. – 2012. – № 9. – P. 29–37.

Поступила 21.11.2016 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета; главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра.

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

Лукьянов В.Г., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и хранения нефти Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 504.55.054:622(470.6)

ON THE ISSUE OF CONVERSION OF METAL DEPOSIT DEVELOPMENT TECHNIQUES

Vladimir I. Golik^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Yury I. Razorenov¹,
yiri1963@mail.ru

Victor G. Lukyanov³,
lukyanov@tpu.ru

¹ North Caucasian State Technological University,
44, Astronaut Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

² Geophysical Institute of the Vladikavkaz Russian Academy of Sciences Scientific Center,
93a, Markov street, Vladikavkaz, 362002, RSO-Alania, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of providing industry with metals for supplying the needs of population increases in radical changes in the economic system and continuous deterioration of conditions for exploring mineral deposits using the underground method.

The aim of the research is to substantiate the appropriateness of organizational-economic and production-technological measures to convert mining industry to innovative techniques in mineral deposits exploration by the underground method.

Research methods include the analysis of international experience and literature, obtaining and processing data based on multiple regression and correlation analysis, pilot plant testing of alternative technologies.

Results. It was ascertained that the directions of mining industry conversion include application of solid mixtures for laying-out space and leaching of metals from ores. It is shown that the environmental concept of technological upgrading consists in transferring the processing of the main volume of ores into underground conditions; the efficiency of utilization of tailings consists in reducing the level of damage from tailings, the value of metals and non-metals obtained in processing, raw materials for construction industry and associated commercial products. The feasibility of development of conversion technologies is determined by the ratio of the compensation of costs and damages from waste storage, production capacity of the disposal enterprise and its technological level. Diversification of mining production to underground mining of deposits in near-term perspective requires the correction in engineering support of mining on mountain specialties. Production activities of mining engineers is related to the efficient use of resources, therefore, a mining engineer should be a technologist and processor, hydrogeologist, ecologist, etc. Conversion of technologies is implemented, provided that: the efficiency of ore extraction is based on the value of recoverable and not recoverable metals, and taking into account the effective quantity of damage to the environment.

Conclusions: restoration of mining industry potential depends on implementation of innovative technologies, provided adequate engineers of the new generation.

Key words:

Conversion, development technique, ore, hardening mixture, leaching, metal, mining engineer, efficiency.

REFERENCES

- Petrov I.V., Savon D.Yu., Stoyanova I.A. Environmental and economic impacts of coal industry restructuring eastern Donbass and solutions. *Mining informational and analytical bulletin*, 2014, no. 5, pp. 67–74. In Rus.
- Belova A.G., Kornilkov S.V. On technological platform «Solid Minerals». *Gornyi Zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 45–52. In Rus.
- Gendler S.G. Ensuring complex safety when exploring mineral and raw material and spatial resources of subsoil. *Gornyi Zhurnal*, 2014, no. 5, pp. 105–110. In Rus.
- Lizunkin V.M., Lizunkin M.V., Beydin A.V. Underground geotechnologies of developing ore deposits. *Mining informational and analytical bulletin*, 2015, no. 1, pp. 78–85. In Rus.
- Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*, 2015, vol. 157, pp. 306–324.
- Avdeev P.B., Ovshnikov Yu.M. Experience of on heap leach ore mines Transbaikalia. *Mining informational and analytical bulletin*, 2014, no. 4, pp. 123–128. In Rus.
- Svyatetsky V.S., Litvinenko V.G., Morozov A.A. On opportunities and conditions of applying block underground leaching of uranium ores of the Streltsovsky field. *Gornyi Zhurnal*, 2012, no. 10, pp. 77–82. In Rus.
- Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental Study of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite. *Research India Publications*, 2015, no. 15, pp. 35410–35416.
- Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes. *Science*, 2012, no. 6095, pp. 702–703.
- Davies M.P., Rice S. An alternative to conventional tailing management – «dry stack» filtered tailings. *Proc. of the Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste*. Fort Collins, Colorado, 2001, US, Balkema, 2001. P. 411–422.
- Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. *Resources Policy*, 2011, vol. 36, no. 2, pp. 114–122.
- Golik V.I., Komashchenko V.I., Razorenov Yu.I. Activation of technogenic resources in desintegrator. *Mine Planning and Equipment Selection. Proc. of the 22nd MPES Conference*. Eds. Carsten Drebenstedt, Raj Singhal. Freiberg, 2013, pp. 1101–1106.

13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metalurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 38–41.
14. Packey D. J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization. *Resour. Policy*, 2012, vol. 37, no. 1, pp. 104–108.
15. Reck B. K., Graedel T. E. Challenges in metal recycling. *Science*, 2012, vol. 337, no. 6095, pp. 690–695.
16. Maslennikov S.A. The justification of the rational parameters of the combined cast-iron and concrete vertical well bore supports. *Mining informational and analytical bulletin*, 2009, no. 4, pp. 210–214. In Rus.
17. Evdokimov S. I., Evdokimov V. S. Flotation of technogenic tungsten-molybdenum raw materials when utilizing sands of the tailing dump of Tyrnyauzsk concentrating factory. *Gornyi Zhurnal*, 2015, no. 8, pp. 92–97. In Rus.
18. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste. *The Social Sciences*, 2015, no. 10 (5), pp. 682–686.
19. Morozov A.A., Smagin A.P., Beznosov G.F., Yurtaev A.N. Technical and economic efficiency evaluation of block underground leaching of uranium from poor ores of the Streltsovsky ore field. *Gornyi Zhurnal*, 2013, no. 8–2, pp. 123–128. In Rus.
20. Polukhin O.N., Volkov Yu.I. Training of mining engineers at the Belgorod State National Research University. *Gornyi Zhurnal*, 2012, no. 9, pp. 29–37. In Rus.

Received: 21 November 2016.

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, professor, North Caucasian State Technological University; chief researcher, Geophysical Institute of the Vladikavkaz Russian Academy of Sciences Scientific Center.

Yury I. Razorenov, Dr. Sc., professor, rector, North Caucasian State Technological University.

Victor G. Lukyanov, Dr. Sc., professor, professor, National Research Tomsk Polytechnic University.