

УПРОЧНЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

ГОЛИК В. И., РАЗОРЕНОВ Ю. И.

Статья посвящена проблеме упрочнения минерально-сырьевой базы уральских предприятий за счет освоения некондиционных запасов, которые в настоящее время могут представлять интерес с точки зрения возобновления добычных работ. Показана объективность перехода с открытого способа разработки на подземный способ для обеспечения материально-сырьевой базы горных предприятий. Дан анализ возможности использования бедно-балансовых и забалансовых запасов руды путем освоения комбинированных технологий, элементом которых является выщелачивание металлов. Дана справка о подземном выщелачивании балансовых руд. Сформулирована концепция комбинирования технологий, приведен пример расчета эффективности вариантов комбинирования путем анализа производственной функции в современных моделях экономического роста. Показаны преимущества технологии с выщелачиванием при добыче некондиционных запасов. Доказано, что комбинирование процессов механической активации и химического выщелачивания позволяет извлекать металлы с получением положительного экономического эффекта. Комбинирование технологий разработки открывает перспективы использования некондиционных запасов и улучшает экономику горных предприятий. Утилизация хвостов обогащения обеспечивает возможность погашения пустот закладкой твердеющими смесями, что расширяет область применения ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: комбинирование; технология разработки; выщелачивание; металл; хвосты обогащения; ресурсосберегающая технология; экономика.

Урал всегда играл важную роль в обеспечении сырьевой безопасности России и СССР. Наиболее древние Чудские копи разрабатывались здесь с середины III тысячелетия до н. э. В эпоху бронзы эксплуатировали запасы месторождений: Каргалинское, Еленовка, Уш-Катта, Таш-Казган, Никольское, Бакр-Узьяк, Гумешевское и др. Промышленная эксплуатация рудных богатств Урала началась с 90-х годов XVII века с открытием магнетитовых руд. Горно-металлургическим комплексом Урала добывается до 20 % железных руд и производится 40 % российского чугуна.

Для Уральского региона характерно обилие объектов добычи полезных ископаемых с различной степенью освоения запасов. При переходе на рыночные отношения с уменьшением возможностей разведки и приращения новых месторождений эти объекты представляют интерес для возобновления добычных работ.

Современный металлургический комплекс Урала испытывает дефицит в рудах и ориентируется на привозное сырье. Главным направлением прироста запасов является освоение глубокозалегающих участков эксплуатируемых месторож-

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН; профессор кафедры горного дела. 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Северо-Кавказский государственный технологический университет. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, проректор. 346428, г. Новочеркасск Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, Южно-Российский государственный политехнический университет. E-mail: yiri1963@mail.ru

дений, что определяет необходимость перехода с открытого способа разработки на подземный способ [1–4].

Подземным способом в настоящее время разрабатываются Гайское, Учалинское и Узельгинское месторождения. Октябрьское и Вадимо-Александровское месторождения обрабатывают открытым способом.

Минерально-сырьевая база золотодобывающей промышленности включает в себя новые месторождения, на которых промышленное руденение прослеживается до глубины 1,0–1,2 км. Резервом развития сырьевой базы может стать освоение потерянных и недоступных для добычи и переработки запасов.

Промышленные запасы руд эксплуатируемых месторождений уменьшаются, а содержание металлов в рудах снижается, увеличивая себестоимость производства металлов. Это стимулирует выборочную отработку участков месторождений [5–8].

Валовая отбойка без разделения на сорта при разработке с обрушением характеризуется повышенными потерями и разубоживанием руды. При увеличении глубины горных работ до 1000–1500 м этому способствует активизация динамических явлений.

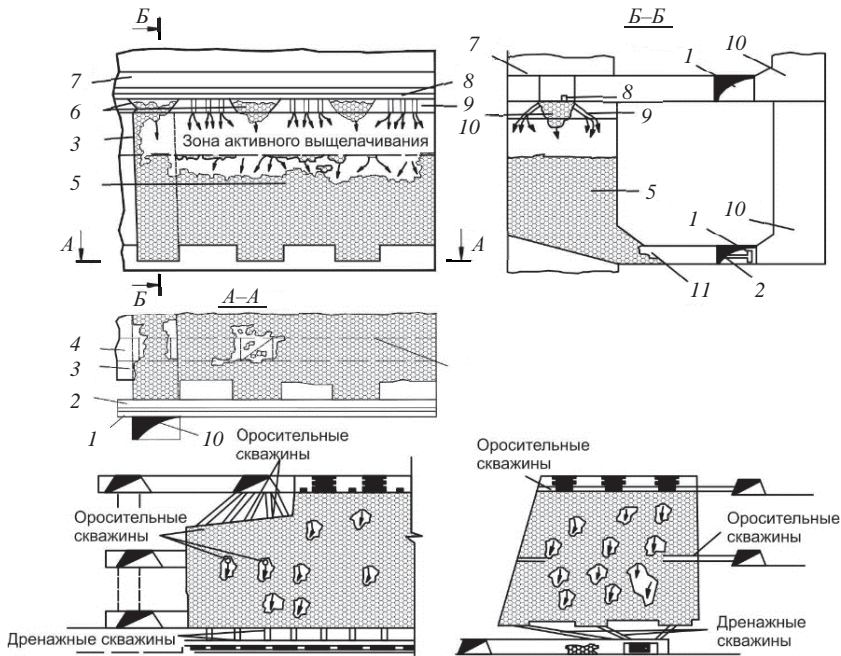


Рис. 1. Подземное выщелачивание металлов:

1 – этажные штреки; 2 – приемник растворов; 3 – отрезная щель; 4 – отрезной восстающий; 5 – руда; 6 – рудоспуски; 7 – верхний штрек; 8 – трубопровод для подачи раствора; 9 – скважины для подачи раствора; 10 – восстающие; 11 – выпускные выработки

Стремление использовать бедно-балансовые и забалансовые запасы руд вызвало к жизни комбинирование технологий разработки месторождений, важным элементом которого является выщелачивание металлов из руд.

Природоохранные тенденции гуманизации горного дела во второй половине XX в. породили класс технологий с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. При неоспоримых достоинствах технологии с закладкой включают в себя выдачу на поверхность и разубоживающих пород.

При использовании технологий с выщелачиванием металлов механизм образования потерь и разубоживания руд изменяется. Около 40 % руды выдается на поверхность, а остальная руда перерабатывается на месте залегания (рис. 1).

Технология реагентного выщелачивания для доработки потерянных и балансовых руд родилась полвека назад. Подземное выщелачивание балансовых руд впервые осуществлено на урановом месторождении Восток (Северный Казахстан). Коэффициент извлечения металлов в раствор составил 72 % [9].

Концепция комбинирования сводится к тому, что богатые руды выдают на поверхность и перерабатывают на заводе, а остальные – в подземных блоках и штабелях на поверхности. Комбинирование технологий представлено на рис. 2.

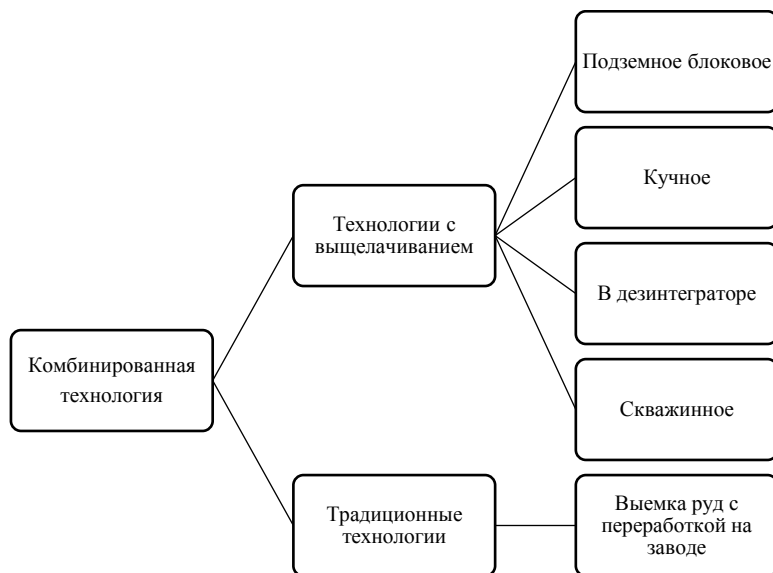


Рис. 2. Комбинирование традиционных технологий и технологий с выщелачиванием металлов

Утилизация хвостов обогащения возможна после извлечения из них металлов до определенного уровня. Такому требованию отвечает новая технология с одновременным воздействием на минеральное сырье механической и химической энергией [10–12].

Эффективность комбинирования видна из анализа производственной функции для следующих условий: из исходного сырья на металлургическом заводе будет извлечено 40 % металла с коэффициентом извлечения 0,93. Из оставшихся на подземное выщелачивание 50 % балансовых запасов при коэффициенте извлечения 0,8 и с учетом потерь при переработке растворов будет получено 39 % металла. При содержании металла в забалансовых рудах 1 г/т в конечный продукт будет извлечено 2,3 % металла, а сквозной коэффициент извлечения составит 0,88.

При среднем содержании металла наиболее эффективной комбинацией является соотношение 15 % традиционной технологии (ТС) и 85 % подземного выщелачивания (ПВ). Для богатых руд оптимально соотношение 40 % ТС и 60 % ПВ.

Эффективность комбинирования технологий разработки месторождений оценивают путем сравнения показателя полноты извлечения полезного компонента (ПК) из недр традиционным и комбинированным способами добычи [13–14].

Традиционный способ. Полнота извлечения ПК e_3 представляет собой отношение количества ПК в конечном продукте к количеству ПК в недрах:

$$e_3 = M_3/M = (Q_6\beta_6\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3)/M = M_6/M\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3,$$

где M_3 – количество ПК в конечном продукте; M – количество ПК в недрах до начала разработки; Q_6 – количество руды в балансовом контуре; β_6 – содержание

ПК в балансовом контуре; ε_1 – коэффициент извлечения ПК горными работами; ε_2 – коэффициент извлечения ПК из добытой руды обогащением; ε_3 – коэффициент извлечения ПК в конечный продукт; M_6 – количество ПК в балансовом контуре, $M_6 = Q_6\beta_6$.

Комбинированный способ заключается в выдаче части руды из блока, обогащении и заводской переработке, а также подземном выщелачивании руд.

Количество ПК, извлеченного из концентрата в конечный продукт на заводе:

$$M_6 = M_5\varepsilon_3 = Q_6\beta_6\varepsilon_2\varepsilon_3,$$

где M_5 – количество металлов при обогащении; Q_6 – количество выщелачиваемой руды; β_6 – содержание ПК в выщелачиваемой руде.

Количество ПК, извлеченного в конечный продукт подземным выщелачиванием:

$$M_7 = (M - M_4)\varepsilon_4 = (M - Q_6\beta_6)\varepsilon_4,$$

где ε_4 – коэффициент извлечения ПК из руды при подземном выщелачивании, ед. Количество металла, извлекаемого при комбинировании технологий:

$$M_k = M_6 + M_7 = Q_6\beta_6\varepsilon_2\varepsilon_3 + (M - Q_6\beta_6)\varepsilon_4,$$

где M_6 – количество металла, извлеченного в конечный продукт традиционным способом; M_7 – количество металла, извлеченного в конечный продукт выщелачиванием.

Технология с выщелачиванием по сравнению с традиционной уменьшает потери металлов при добыче на 5–10 %, а при обогащении на 2–2,5 %.

Сквозной коэффициент извлечения при традиционной технологии не превышает 0,865. Способом ПВ при выдаче 40 % с 50 % содержания металлов на гидрометаллургическом заводе (ГМЗ) будет извлечено 40,5 % ПК с коэффициентом извлечения 0,93. Из оставленных для ПВ 50 % балансовых запасов металлов при коэффициенте извлечения ПВ, равном 0,8, и с учетом потерь ПК при переработке растворов в конечном продукте будет получено 39,2 % металлов. При содержании 3 % металлов в забалансовых рудах из них будет извлечено в конечный продукт 2,3 % ПК. Сквозной коэффициент извлечения металлов ПВ составит 0,879.

Реакция целевой функции – прибыли – на изменение параметров разработки:

– соотношение запасов, обрабатываемых технологиями: традиционный способ (ТС) от 0 до 100 %; кучное выщелачивание (КВ) от 0 до 100 %; подземное выщелачивание (ПВ) от 0 до 80 %;

– содержание ПК в запасах блока от минимального в забалансовых рудах до максимального в богатых рудах;

– повышение содержания в руде, выдаваемой из компенсационного пространства, по сравнению с содержанием в блоке от 0 до 30 %;

– коэффициент извлечения при ПВ от 0,6 до 0,9;

– коэффициент извлечения при КВ от 0 до 0,9;

– стоимость добычи, транспортировки, переработки руды, получения и переработки продуктивных растворов ПВ и КВ.

В случае комбинирования ТС и ПВ оптимум целевой функции обеспечивает вариант, когда при содержании металлов в запасах блока ниже 65–70 усл. ед. технологии соотносятся как 15 % ТС и 85 % ПВ. Максимальное значение прибыли достигается при содержании металла в запасах от 65–70 до 130–150 ед. и соотношении технологий 40 % ТС и 60 % ПВ.

Сквозной коэффициент извлечения при комбинированной технологии сопоставим с извлечением при традиционной технологии, а в тех случаях, когда он оказывается ниже, за счет минимизации затрат компенсируются потери и обеспечивается прибыль [15–17].

Процесс выщелачивания в дезинтеграторах используют для повышения активности компонентов смеси при приготовлении твердеющих смесей (рис. 3).

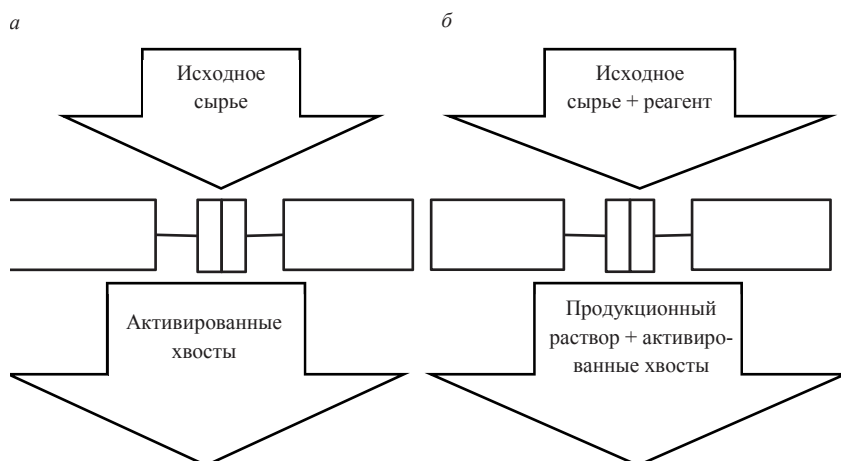


Рис. 3. Направления применения дезинтеграторов:
а – использование в составе бетонов; *б* – извлечение металлов и использование в составе бетонов

Прочность твердеющих смесей на основе хвостов обогащения при их активации в дезинтеграторах повышается с 1,30 до 1,52 МПа, или в 1,17 раз. Активированные хвосты обогащения используются в составе твердеющей смеси не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих компонентов [18–21]. Мелкие фракции размером до 0,076 мм, включающие карбонатные компоненты, используют в качестве вяжущих. Смеси на основе активированных хвостов обогащения руд обеспечивают прочность при одноосном сжатии 0,5–1,5 МПа, достаточную для закладки большей части выработанного пространства при снижении расхода цемента в разы по сравнению с базовым значением.

Итак, комбинирование традиционных технологий разработки с технологиями выщелачивания металлов открывает перспективы использования ранее считавшихся некондиционными запасов и является резервом оздоровления экономики горных предприятий.

Утилизация хвостов обогащения на основе технологий выщелачивания обеспечит возможности погашения образованных горными работами пустот закладкой твердеющими смесями, что важно при работе на больших глубинах в напряженных скальных массивах.

Утилизируемые без ограничения по санитарным условиям материалы – продукты механохимической переработки – формируют практически неограниченную сырьевую базу не только для горного производства, но и для смежных отраслей народного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голик В. И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. М.: Инфра-М, 2014. 192 с.
2. Вагин В. С., Голик В. И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа: учеб. пособие. Владикавказ: Проект-пресс, 2005. 192 с.

3. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgatyi L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // *The Social Sciences (Pakistan)*. 2015. Vol. 10. No. 6. P. 750–754.
4. Шестаков В. А., Разоренов Ю. И., Габараев О. З. Управление качеством продукции на горных предприятиях: учеб. пособие. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2001. 262 с.
5. Исмаилов Т. Т., Голик В. И., Дольников Е. Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. М.: Изд-во МГГУ, 2006. 331 с.
6. Голик В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: Инфра-М, 2014. 132 с.
7. Пагиев К. Х., Голик В. И., Габараев О. З. Научно-технические технологии добычи и переработки руд. Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 1998. 571 с.
8. Голик В. И., Хадонов З. М., Габараев О. З. Управление технологическими комплексами и экономическая эффективность разработки рудных месторождений. Владикавказ: Терек, 2001. 391 с.
9. Голик В. И., Брюховецкий О. С., Габараев О. З. Технологии освоения месторождений урановых руд: учеб. пособие. М.: Изд-во МГРИ-РГГРУ, 2007. 131 с.
10. Разоренов Ю. И., Голик В. И., Куликов М. М. Экономика и менеджмент горной промышленности: учеб. пособие. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2010. 251 с.
11. Golik V. I., Komashchenko V. I., Razorenov Yu. I. Activation of technogenic resources in desintegrator // *Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the 22nd MPES Conference*. Carsten Drebenstedt, Raj Singhal. 2013. P. 1101–1106.
12. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 3. P. 49–52.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 5. P. 401–405.
14. Разоренов Ю. И., Голик В. И. Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // *Маркшейдерия и недропользование*. 2013. № 4(66). С. 52–54.
15. Рьльникова М. В. Обоснование параметров комбинированной геотехнологии освоения медноколчеданных месторождений Урала: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 1999. 324 с.
16. Каплунов Д. Р., Рьльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // *Горный журнал*. 2013. № 12. С. 29–33.
17. Голик В. И., Страданченко С. Г., Масленников С. А. Экспериментальное обоснование возможности утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов // *Цветная металлургия*. 2011. № 3. С. 19–27.
18. Голик В. И., Разоренов Ю. И. Проектирование горных предприятий. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2007. 262 с.
19. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Ляшенко В. И., Шевченко Е. В. Повышение безопасности труда при подземной добыче оптимизацией размеров целиков и пролетов выработок // *Безопасность труда в промышленности*. 2016. № 3. С. 35–39.
20. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Масленников С. А. Концепция утилизации отходов обогащения металлосодержащего минерального сырья // *Цветная металлургия*. 2014. № 2. С. 36–44.
21. Воробьев А. Е., Разоренов Ю. И., Ваккер О. В. Высшее профессиональное образование в XXI веке. Новочеркасск: Набл, 2011. 168 с.

Поступила в редакцию 4 августа 2017 года

STRENGTHENING THE RAW MATERIAL BASE OF METAL DEPOSITS OF THE URALS

Golik V. I. – North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, the Russian Federation. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Razorenov Yu. I. – Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, the Russian Federation. E-mail: yiri1963@mail.ru

The article is devoted to the problem of strengthening of the mineral-raw material base of the Ural enterprises at the expense of exploitation of substandard reserves, which currently are of interest to the resumption of mining. The objectivity is shown of transition from opencast method of mining to underground method to ensure the raw material base of mining enterprises. The analysis is introduced of the possibility to use poor-balance and off-balance ore reserves through the development of combined technologies, which have metal leaching as an element. The certificate on the underground leaching of balance ore is given. The idea of technologies integration is formulated; an example of options integration effectiveness calculation is introduced by means of analyzing the production function in modern models of economic growth. The advantages of the technology with leaching in substandard reserves extraction are revealed. It has been proved that the integration of the processes of mechanical activation and chemical leaching makes it possible to extract metals and obtain positive economic effect. Development technologies integration opens up prospects of substandard reserves use and improves the mining enterprises economics. Concentration tailings utilization provides the possibility of voids elimination by laying hardening mixtures, which expands the scope of resource-saving technologies application.

Key words: integration; development technology; leaching; metal; concentration tailings; resource-saving technology; economy.

REFERENCES

1. Golik V. I. *Prirudookhrannyye tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [Environmental protection technologies of ore deposits development]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 192 p.
2. Vagin V. S., Golik V. I. *Problemy ispol'zovaniia prirodnykh resursov tuzhnogo federal'nogo okruga: ucheb. posobie* [School book "The problems of natural reserves use at the Southern Federal District"]. Vladikavkaz, Proekt-press Publ., 2005. 192 p.
3. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgatyi L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences (Pakistan)*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
4. Shestakov V. A., Razorenov Iu. I., Gabaraev O. Z. *Upravlenie kachestvom produktsii na gornyykh predpriiatiakh: ucheb. posobie* [School book "Product quality control at mining enterprises"]. Novocherkassk, YuRGU Publ., 2001. 262 p.
5. Ismailov T. T., Golik V. I., Dol'nikov E. B. *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: uchebnyk dlia vuzov* [School book for the institutions of higher education "Special methods of developing mineral deposits"]. Moscow, MGGU Publ., 2006. 331 p.
6. Golik V. I. *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdenii* [Special methods of developing mineral deposits]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 132 p.
7. Pagiev K. Kh., Golik V. I., Gabaraev O. Z. *Naukoemkie tekhnologii dobychi i pererabotki rud* [High technologies of ore mining and procession]. Vladikavkaz, NCMMI (STU) Publ., 1998. 571 p.
8. Golik V. I., Khadonov Z. M., Gabaraev O. Z. *Upravlenie tekhnologicheskimi kompleksami i ekonomicheskaiia effektivnost' razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [Workflow processes control and the economic efficiency ore deposits development]. Vladikavkaz, Terek Publ., 2001. 391 p.
9. Golik V. I., Briukhovetskii O. S., Gabaraev O. Z. *Tekhnologii osvoeniia mestorozhdenii uranovykh rud: ucheb. posobie* [Uranium ore deposits exploitation technologies: school book]. Moscow, MGRI-RGGRU Publ., 2007. 131 p.
10. Razorenov Iu. I., Golik V. I., Kulikov M. M. *Ekonomika i menedzhment gornoj promyshlennosti: ucheb. posobie* [School book "Economics and management of mining"]. Novocherkassk, IuRGPU (NPI) Publ., 2010. 251 p.
11. Golik V. I., Komashchenko V. I., Razorenov Yu. I. Activation of technogenic resources in disintegrator. *Proc. of the 22nd MPES Conf. "Mine Planning and Equipment Selection"* Carsten Drebenstedt, Raj Singhal. 2013, pp. 1101–1106.
12. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 49–52.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 5, pp. 401–405.
14. Razorenov Iu. I., Golik V. I. [Problems of deep recycling of the waste coal processing's] *Marksheideriia i nedropol'zovanie – Mine Surveying and Subsurface Use*, 2013, no. 4(66), pp. 52–54. (In Russ.)
15. Ryl'nikova M. V. *Obosnovanie parametrov kombinirovannoi geotekhnologii osvoeniia medno-kolchedannykh mestorozhdenii Urala: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Substantiation of the parameters of integrated geotechnology of exploitation of the Urals copper-sulphide deposits. Dr. eng. sci. diss.]. Magnitogorsk, 1999. 324 p.
16. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. [Enlargement of raw base of mining enterprises on the basis of integrated use of deposits mineral resources]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2013, no. 12, pp. 29–33. (In Russ.)
17. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. [Experimental substantiation of the possibility to utilize the tailings of non-ferrous metals ore concentration]. *Tsvetnaia metallurgiiia – Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2011, no. 3, pp. 19–27. (In Russ.)
18. Golik V. I., Razorenov Iu. I. *Proektirovanie gornyykh predpriatii* [Mining enterprises design]. Novocherkassk, YuRGU Publ., 2007. 262 p.
19. Golik V. I., Razorenov Iu. I., Liashenko V. I., Shevchenko E. V. [Workplace safety improvement in underground mining by optimizing the size of pillars and spans of the working]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Industrial Workplace Safety*, 2016, no. 3, pp. 35–39. (In Russ.)
20. Golik V. I., Razorenov Iu. I., Maslennikov S. A. [The idea of utilizing metal-containing mineral raw materials concentration wastes]. *Tsvetnaia metallurgiiia – Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2014, no. 2, pp. 36–44. (In Russ.)
21. Vorob'ev A. E., Razorenov Iu. I., Vakker O. V. *Vyshee professional'noe obrazovanie v XXI veke* [Higher professional education in the 21st century]. Novocherkassk, Nabla Publ., 2011. 168 p.