

## ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ–АЛАНИИ

В.И. Голик<sup>1</sup>, И.А. Алексеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет), Владикавказ, РСО-Алания, Россия

**Аннотация:** Приведены результаты исследования возможности восстановления потенциала производства металлов путем вовлечения в эксплуатацию некондиционного для традиционных технологий сырья. Рассмотрена проблема восстановления потенциала бывших некогда флагманами горной отрасли предприятий. Цель исследования состоит в обосновании целесообразности вовлечения в производство некондиционного металлосодержащего сырья с выщелачиванием из них металлов. Она достигается использованием методов обобщения и систематизации опыта выщелачивания металлов из руд и хвостов обогащения, анализа технологий выщелачивания и прогнозирования возможностей их применения в условиях региона. Дана справка о результатах реформы и стратегии развития региона. Показано, что современные технологии обогащения руд нерентабельны при добыче некондиционного по содержанию металлов минерального сырья. Обоснована возможность рентабельного освоения запасов месторождений технологиями с химическим окислением и переводом металлов в легкорастворимые соединения. Даны количественные результаты применения пионерных технологий извлечения металлов выщелачиванием в блоках и дезинтеграторе и из промышленных стоков. Рекомендована комбинированная технология разработки месторождений с переработкой богатых руд на заводе, выщелачиванием металлов из рядовых руд и из хвостов обогащения в активаторах. Технологии с выщелачиванием металлов из некондиционных руд и хвостов обогащения являются не используемым направлением восстановления утраченного потенциала горно-добывающих предприятий Северного Кавказа. Установлены особенности выщелачивания скальных руд, преимущественно сульфидного состава, месторождений региона. Проведена детализация условий применения каждого из видов выщелачивания.

**Ключевые слова:** металл, руда, месторождение, потенциал, некондиционное сырье, выщелачивание, извлечение.

**Для цитирования:** Голик В. И., Алексеев И. А. Выщелачивание металлов из некондиционного сырья в Северной Осетии–Алании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5-1. – С. 135–144. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_51\_0\_135.

### Metal leaching from low-grade raw materials in North Ossetia–Alania

V.I. Golik<sup>1</sup>, I.A. Alekseev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>2</sup> North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),  
Vladikavkaz, Russia

---

**Abstract:** The article describes the studies into recoverability of metal production potential by using raw materials which are assumed as substandard for the traditional technologies. The problem of recovery potential of the mining industries—former flagships in the mineral sector is discussed. The aim of the research is to justify the expediency of metal leaching from the substandard metal-bearing raw materials. The research uses the methods of generalization and systematization of the experience gained in metal leaching from ore and tailings, the analysis of the leaching technologies and prediction of their applicability in a specific region. The results of reform and development strategy in the region are described. It is shown that the modern ore processing technologies are unprofitable in case of raw materials with substandard content of metals. The feasibility of profitable mineral extraction by chemical oxidation and transition of metals to readily soluble compounds is validated. The figures of the advanced technology-based recovery of metals from industrial effluents in blocks and in disintegrator are given. The mixed-type technology is proposed for mineral production including high-grade ore processing on a plant scale and metal leaching from low-grade ore and from tailings in activators. The technologies of metal leaching from substandard ore and processing tailings are yet a dead area in recovery of lost potential of mining companies in the Northern Caucasus. The specifics of metal leaching from hard sulfide-bearing ore of the region and the features of the regional mineral deposits are found. The application conditions are refined for each type of leaching.

**Key words:** metal, ore, deposit, potential, substandard raw material, leaching, recovery.

**For citation:** Golik V. I., Alekseev I. A. Metal leaching from low-grade raw materials in North Ossetia–Alania. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5-1):135-144. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_51\_0\_135.

---

## Введение

В результате реформы 1990 г. перестали функционировать или ослабили деятельность бывшие дотационными предприятия горнодобывающих отраслей Северного Кавказа — некогда являвшиеся флагманами цветной металлургии. С изменением ценовой политики и резким сокращением геологоразведочных работ ослабла их минерально-сырьевая база и обнаружился дефицит запасов, рентабельных для добычи металлов традиционными технологиями.

Одним из направлений выживания депрессивных предприятий является использование забалансовых руд в недрах, добытых убогих руд и хвостов переработки руд. Становятся актуальными вопросы обоснования экономической целесообразности утилизации некондиционного сырья [1–2], а также переоценка

подходов к стоимости металлов [3]. Рассматриваются направления производства металлов из руд [4], получения металлов из сточных вод горно-перерабатывающих предприятий [5, 6] и ликвидации накопленного экологического ущерба [7]. Реализуются новые технологии, например, подземного выщелачивания месторождений [8] и другие совершенствования в решении проблем прорывных инноваций [9].

Государственная стратегия развития добывающих регионов Северного Кавказа учитывает благоприятные условия для функционирования горных отраслей. Депрессивные субъекты Северо-Кавказских регионов ослабили долю добывающей отрасли в экономике, поэтому поиски выхода добывающей отрасли из кризиса становятся все более актуальными.

Малая мощность, протяженность рудных тел, низкое содержание металлов в руде уменьшают технико-экономические показатели традиционных способов подземной разработки, кроме того, истощение минерально-сырьевой базы вызывает необходимость поиска новых технологий для рентабельной отработки оставшихся запасов Садонских месторождений [8 – 11].

Современные технологии позволяют извлекать в коллективные концентраты большую часть полезных компонентов, но нерентабельны при переработке бедного минерального сырья. Обоснование целесообразности их применения нуждается в постановке комплексных исследований с привлечением современных методов.

Получают развитие традиционные процессы физико-химической геотехнологии [12, 13]. Исследуются возможности предприятий по упрочнению минерально-сырьевой базы пригодных для освоения методами физико-химической геотехнологии руд [14]. Опыт извлечения металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации получает осмысление с позиций современного состояния минерально-сырьевой базы предприятий [15, 16]. Особое внимание уделяется вопросам применения композиционных закладочных материалов на основе механоактивированных отходов обогащения [17, 18].

Целью исследования является обоснование новых технологий разработки месторождений Северного Кавказа для обеспечения рентабельного производства металлов с вовлечением в передел некондиционного сырья.

### **Методы и материалы исследования**

Основным методом исследования является ретроспективный анализ истории научно-технического прогресса на гор-

ных предприятиях, разработка альтернативных технических и технологических решений для достижения поставленной цели. Используются считавшиеся в прошлом веке пионерными методы получения металлов, разработанные учеными СКГМИ: И.А. Остроушко, К.К. Хулидзе, А.П. Городничева, Ю.И. Кондратьева, В.Н. Келина, С.Э. Ростованова и др.

Проводились эксперименты по извлечению металлов из хвостов обогащения и руд месторождений Садонского свинцово-цинкового комбината в установке на базе лабораторного дезинтегратора ДЕЗ-11. Выполнено по 5 серий экспериментов для каждого из выщелачиваемых материалов. В единичном эксперименте выщелачивали 50 г измельченных до крупности –2 мм минералов, отфильтрованный продукционный раствор анализировали на содержание металлов. Эксперименты повторялись трижды с составлением матриц планирования экспериментов.

### **Результаты исследования**

Критический анализ развития технологий добычи металлов сводится к следующим положениям.

Садонский свинцово-цинковый комбинат функционирует с 1853 г., начиная свою промышленную историю с ввода в эксплуатацию Садонского рудника и Алагирского металлургического завода.

На месторождениях Садонской группы в качестве основной применяли системы разработки с открытым выработанным пространством. Потери руды составляли 20%, разубоживание – 60%, производительность труда рабочего по горной массе – до 2 м<sup>3</sup> за смену. Проектная мощность достигала 745 тыс. т в год. В 1985 г. начался спад объемов добычи собственных руд, а с 70-х гг. комбинат выполнял план по выпуску концентратов за счет привозных руд.

Активные вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы локализованы преимущественно в Садонском (19%) и Архонском (30%) месторождениях. Пассивные запасы приурочены к флангам, погашенным и глубоким горизонтам месторождений, и перевод их в разряд активных затруднен. Реальной сырьевой базой являются запасы участка «Бозанг» Джимидонского месторождения.

Тырныаузский горно-металлургический комбинат начал свою деятельность в 1940 г. На подземном руднике применяли систему разработки этажно-камерную и подэтажного обрушения. Верхняя часть основной залежи отработана системой с отбойкой минными зарядами и увеличенной до 210 м высотой этажа. Комбинат добывал до 7 млн т руды в год, но уже в 1993 г. добыча составляла всего 1,1 млн т. При этом вскрышные работы, некогда превышавшие 11 млн м в год, в 1994 г. составляли только 207 тыс. м<sup>3</sup>, а в 1995 г. были прекращены.

Урупский горно-обогатительный комбинат функционирует с 1963 г. Применяются системы разработки с обруше-

нием пород и с закладкой выработанного пространства при отработке запасов под рекой Уруп. Извлечение руды составляет 85%, разубоживание — до 30%. Система разработки подэтажными штреками применяется при отработке рудных тел с углом падения более 500 и мощностью 2—4 м. Технико-экономические показатели вариантов: потери до 15%; разубоживание — до 25%; производительность забойного рабочего по системе — до 6,5 м<sup>3</sup>/см за смену.

Основная причина низких показателей извлечения из недр и высокой затратности производства металлов — несоответствие используемых технологий разработки принципам ресурсосбережения. Из-за опережающей добычи богатых руд запасы обеднялись с переводом в категорию неактивных.

На Северо-Кавказских месторождениях выработанное пространство оставалось или открытым, или бессистемно заполненным продуктами добычных работ, которые перемещались вниз при разработке нижних горизонтов, не участвуя в управлении горным давлением (рис. 1). Если при отработке первичных

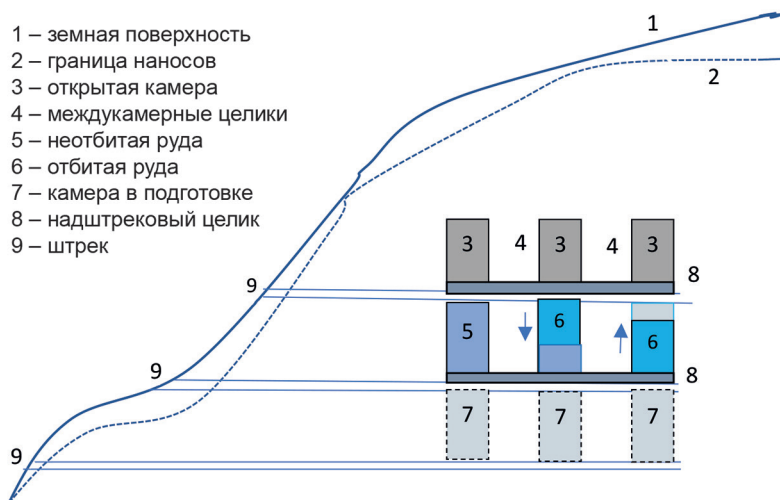


Рис. 1. Технология с открытым выработанным пространством и отбойкой целиков  
 Fig. 1. Technology with an open worked-out space and the removal of targets

Таблица 1

**Показатели эксплуатации месторождений**  
**Field operation indicators**

Месторождения	Форма	Породы	Руды	Потери, %	Разубоживание, %
Садонские	крутопадающие жилы мощностью до 5 м	сланцы, известняки, граниты и др.	галенит, сфалерит, пирит, пирротин	20	40
Тырныаузское	крутопадающие рудные тела мощностью до 130 м	сланцы, гнейсы, граниты, порфиры и др.	молибденит, шеелит, молибдошеелит	20	50
Урупское	пологие пласты мощностью 1–5 м	диабазы, альбитофиры, сланцы и др.	пирит, халькопирит, сфалерит, борнит, гематит	15	30

камер показатели добычи руд были удовлетворительными, то отбойка целиков снижала качество руд и удорожала стоимость металлов.

Рентабельная доработка месторождений возможна технологиями, основанными на переводе металлов в легкорастворимые соединения. Достоинством технологии с выщелачиванием является возможность извлечения сопутствующих металлов, суммарная стоимость которых может превосходить стоимость уже извлеченных металлов.

На Фиагдонском месторождении в середине прошлого века была предпринята попытка выщелачивания балансовых руд путем подачи раствора реагентов по скважинам и выдачи продукционных растворов на переработку. Проектная производительность установки составляла 150 м<sup>3</sup> растворов в час.

Возможности технологии с выщелачиванием подтверждены практикой разработки Быкогорского месторождения, которое в течение 30 лет разрабатывали при содержании металла в 2 раза ниже забалансового порога.

Для горных предприятий характерно применение технологий с естественным управлением состоянием массива, которые характеризуются повышенными потерями и разубоживанием руд — сырья

для выщелачивания (табл. 1). На Дегтярском месторождении медь выщелачивали подаваемой по скважинам и трещинам водой. В выделенные перспективные для выщелачивания участки подавались растворы реагентов, а насыщенные металлами растворы — принимались скважинами или выработками.

По опыту Быкогорского месторождения (Северный Кавказ), растекание растворов за пределы выемочного участка предотвращалось откачкой вод через пограничные скважины.

Извлечение металлов из хвостов переработки руд традиционными методами неосуществимо, но становится возможным при повышении активности хвостов за счет образования новых поверхностей минералов в активаторах.

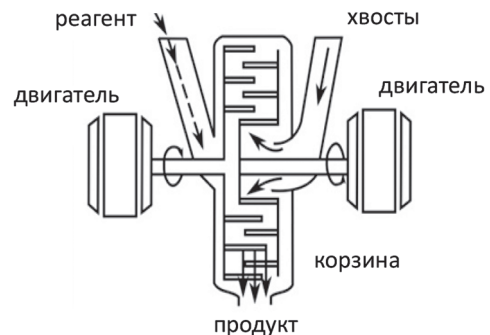


Рис. 2. Схема выщелачивания в дезинтеграторе  
 Fig. 2. Leaching scheme in the disintegrator

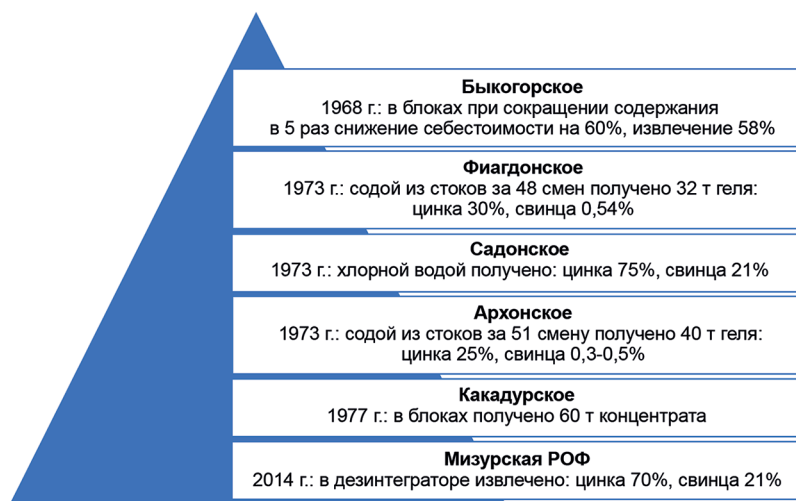


Рис. 3. Результаты выщелачивания металлов  
Fig. 3. Results of metal leaching

Таблица 2

**Извлечение металлов в раствор**  
**Extraction of metals into solution**

В агитаторе				В дезинтеграторе			
содержание в хвостах, %				содержание в хвостах, %			
цинк — 0,95		свинец — 0,84		цинк — 0,95		свинец — 0,84	
извлечение за 0,2—1,0 ч, %		извлечение за 0,2—1,0 ч, %		извлечение за 10 с, %		извлечение за 10 с, %	
извлечено	остаток	извлечено	остаток	извлечено	остаток	извлечено	остаток
24	72	16	71	28	69	24	62

Активация хвостов обогащения осуществляется при комбинированном механическом и химическом воздействии с повышением эффективности выщелачивания за счет ввода реагента в трещины под давлением (рис. 2) [19, 20].

Результаты выщелачивания металлов из хвостов обогащения руд Садонских месторождений представлены в табл. 2.

Результаты выщелачивания металлов на месторождениях представлены на рис. 3.

**Обсуждение результатов**

Безотходная утилизация хвостов обогащения может быть прибыльной даже без получения товарной продукции, если

при этом уменьшаются затраты на предотвращение рисков для окружающей природной среды:

$$\mathcal{E} = (\Sigma Z_6 - \Sigma Z_p)Q,$$

где  $Z_6$  — базовые затраты на содержание хвостов;  $Z_p$  — затраты на предотвращение рисков;  $Q$  — объем утилизируемых хвостов.

Научное обоснование и разработка инновационных процессов добычи [21] и комплексной и переработки минерального сырья даны в работах [22, 23].

Методы оценки пригодности месторождений на примере урана рекомендованы в работах зарубежных специалистов [24, 25].

## Выводы

Основная причина низких показателей извлечения руд из недр и высокой затратности производства металлов — несоответствие технологий разработки принципам ресурсосбережения: отбойка запасов второй стадии отработки увеличивала потери и разубоживание руд до порога нерентабельности.

Рентабельная доработка месторождений возможна технологиями, основанными на переводе металлов в растворимые соединения, достоинством которых является возможность извлечения всех металлов, в том числе дефицитных, редких.

Механохимическая активация процессов выщелачивания хвостов в дезинтеграторе по сравнению с традиционными способами добычи металлов снижает продолжительность процесса на 2 порядка и позволяет извлекать металлы до уровня санитарных требований.

Для Северо-Кавказских предприятий рекомендуется комбинированная технология разработки месторождений, включающая в себя добычу богатых руд с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, выщелачивание в блоках и штабелях и выщелачивание металлов из хвостов обогащения в дезинтеграторе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горно-промышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 23–30.

2. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste // International Business Management. 2015, vol. 9, no. 6, pp. 1119–1123. DOI: 10.3923/ibm.2015.1119.1123.

3. Bahrani N., Hadjigeorgiou J. Influence of Stope Excavation on Drift Convergence and Support Behavior: Insights from 3D Continuum and Discontinuum // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2018, vol. 51, no. 8, pp. 2395–2413. DOI: 10.1007/s00603-018-1482-5.

4. Кондратьев Ю. И., Выхребенец А. С., Бетров З. С., Дзеранова К. Б. Снижение энергозатрат на подземное электрохимическое выщелачивание металлов из руд // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 419–426. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-4-419-426.

5. Куликова А. А., Хабарова Е. И., Сергеева Ю. А. Перспективы использования баромембранных технологий в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 22–32. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-22-32.

6. Пухова В. П., Воропанова Л. А. Очистка сточных вод горно-перерабатывающих предприятий путем использования природных продуктов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 134–141. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-134-141.

7. Евдокимов С. И., Герасименко Т. Е., Дмитрак Ю. В. Ликвидация накопленного экологического ущерба // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 238–248. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-238-248.

8. Oryngozhin E. S., Fedorov E. V., Alisheva Zh. N., Mitishova N. A. In situ leaching technology for uranium deposits // Eurasian Mining. 2021, no. 2, pp. 31–35. DOI: 10.17580/em.2021.02.07.

9. Sánchez F., Hartlieb P. Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation // Mining, Metallurgy & Exploration. 2020, vol. 37, no. 5, pp. 1385–1399. DOI: 10.1007/s42461-020-00262-1.

10. Ляшенко В. И., Андреев Б. Н., Куча П. М. Развитие горнотехнических технологий подземного блочного выщелачивания металлов из скальных руд // Горный информацион-

но-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 46–60. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.

11. *Завьялов С. С., Мамонов Р. С.* Комбинированная технология сухого предварительного обогащения золотосодержащей руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 338–345. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_338.

12. *Сурин С. Д.* Перспективы развития физико-химической геотехнологии в России // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 6–16. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_31\_0\_6.

13. *Машковцев Г. А.* Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых, пригодная для освоения методами физико-химической геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 384–394.

14. *Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Самусев А. Л., Хабарова И. А.* Теория и практика применения комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы и водные суспензии // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 77–83. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.14.

15. *Голик В. И.* Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. — 2010. — № 5. — С. 38–40.

16. *Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N.* Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator // International Journal of Applied Engineering Research. 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.

17. *Ермолович О. В., Ермолович Е. А.* Композиционные закладочные материалы с добавкой из механоактивированных отходов обогащения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2016. — № 3. — С. 24–30.

18. *Куликова А. А., Ковалева А. М.* Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 144–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

19. *Шарипзянова Г. Х., Еремеева Ж. В., Саенко А. А.* Исследование структуры и свойств механоактивированного титаната самария // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 134–141. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-134-141.

20. *Golik V. I., Klyuev R. V., Martyushev N. V., Brigida V., Efremenkov E. A., Sorokova S. N., Mengxu Q.* Tailings utilization and zinc extraction based on mechanochemical activation // Materials. 2023, vol. 16, no. 2, article 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

21. *Босиков И. И., Ключев Р. В., Хетагуров В. Н.* Анализ и комплексная оценка газодинамических процессов на угольных шахтах с помощью методов теории вероятности и математической статистики // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 461–467. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-461-467.

22. *Чантурия В. А.* Научное обоснование и разработка инновационных процессов комплексной переработки минерального сырья // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 7–13. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.01.

23. *Дуйсебаева Т. С., Вершков А. Ф., Дуйсебаев Б. О., Камберов И. М., Дюсембаев С. А.* Перспективы извлечения золота и попутных ценных металлов из отработанных и действующих блоков урановых месторождений / Актуальные проблемы урановой промышленности: Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Ч. 1. — Алматы, 2019. — 256 с.

24. *Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Neto J., Lefevre E.* A study of uranium-ore agglomeration parameters and their implications during heap leaching // Minerals Engineering. 2018, vol. 127, pp. 22–31. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.07.012.

25. *Kuhar L. L., Bunney K., Jackson M., Oram J., Rao A.* Assessment of amenability of sandstone-hosted uranium deposit for in-situ recovery // Hydrometallurgy. 2018, vol. 179, pp. 157–166. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.06.003. **PLoS**



## REFERENCES

1. Komashchenko V. I. Ecological and economic feasibility of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2015, no. 4, pp. 23–30. [In Russ].
2. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015, vol. 9, no. 6, pp. 1119–1123. DOI: 10.3923/ibm.2015.1119.1123.
3. Bahrani N., Hadjigeorgiou J. Influence of Stope Excavation on Drift Convergence and Support Behavior: Insights from 3D Continuum and Discontinuum. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2018, vol. 51, no. 8, pp. 2395–2413. DOI: 10.1007/s00603-018-1482-5.
4. Kondratyev Yu. I., Vyskrebenets A. S., Betrozov Z. S., Dzeranova K. B. Energy costs reduction on underground electrochemical metal leaching from ores. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 419–426. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-4-419-426.
5. Kulikova A. A., Khabarova E. I., Sergeeva Yu. A. Prospects for pressure-driven membrane technologies in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 22–32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-22-32.
6. Pukhova V. P., Voropanova L. A. Wastewater treatment of mining and processing plants using the natural products. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 134–141. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-134-141.
7. Evdokimov S. I., Gerasimenko T. E., Dmitrak Yu. V. Elimination of accumulated environmental damage. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 238–248. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-238-248.
8. Oryngozhin E. S., Fedorov E. V., Alisheva Zh. N., Mitishova N. A. Insitu leaching technology for uranium deposits. *Eurasian Mining*. 2021, no. 2, pp. 31–35. DOI: 10.17580/em.2021.02.07.
9. Sánchez F., Hartlieb P. Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2020, vol. 37, no. 5, pp. 1385–1399. DOI: 10.1007/s42461-020-00262-1.
10. Lyashenko V. I., Andreev B. N., Kucha P. M. Technological development of in-situ block leaching of metals from hard ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 46–60. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.
11. Zavyalov S. S., Mamonov R. S. Mixed-type dry pretreatment technology for gold-bearing ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 338–345. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_338.
12. Surin S. D. Prospects for the physicochemical geotechnology in Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3-1, pp. 6–16. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_31\_0\_6.
13. Mashkovtsev G. A. Mineral resource base of solid minerals, suitable for development by methods of physico-chemical geotechnology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3-1, pp. 384–394. [In Russ].
14. Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Samusev A. L., Khabarova I. A. Composite physico-chemical and energy action on geomaterials and aqueous slurries: theory and practice. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 11, pp. 77–83. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.14.
15. Golik V. I. Extraction of metals from tailings of enrichment by combined activation methods. *Obogashchenie Rud*. 2010, no. 5, pp. 38–40. [In Russ].
16. Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.
17. Ermolovich O. V., Ermolovich E. A. Composite laying materials with the addition of mechanically activated enrichment waste. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2016, no. 3, pp. 24–30. [In Russ].

18. Kulikova A. A., Kovaleva A. M. Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 144–154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

19. Sharipzyanova G. H., Eremeeva Zh. V., Saenko A. A. Structure and properties of mechanoactivated Samarium titanate powder. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2022, vol. 14, no. 1, pp. 134–141. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-134-141.

20. Golik V. I., Klyuev R. V., Martyshev N. V., Brigida V., Efremenkov E. A., Sorokova S. N., Mengxu Q. Tailings utilization and zinc extraction based on mechanochemical activation. *Materials.* 2023, vol. 16, no. 2, article 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

21. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Khetagurov V. N. Analysis and comprehensive evaluation of gas-dynamic processes in coal mines using the methods of the theory of probability and math statistics analysis. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2022, vol. 14, no. 3, pp. 461–467. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-461-467.

22. Chanturia V. A. Scientific substantiation and development of innovative processes of complex processing of mineral raw materials. *Gornyi Zhurnal.* 2017, no. 11, pp. 7–13. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.01.

23. Duisebaeva T. S., Vershkov A. F., Duisebaev B. O., Kamberov I. M., Dyusembaev S. A. Prospects for extracting gold and associated precious metals from spent and active blocks of uranium deposits. *Aktual'nye problemy uranovoy promyshlennosti: Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of the uranium industry: Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference], Part 1, Almaty, 2019, 256 p. [In Russ].

24. Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Neto J., Lefevre E. A study of uranium-ore agglomeration parameters and their implications during heap leaching. *Minerals Engineering.* 2018, vol. 127, pp. 22–31. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.07.012.

25. Kuhar L. L., Bunney K., Jackson M., Oram J., Rao A. Assessment of amenability of sandstone-hosted uranium deposit for in-situ recovery. *Hydrometallurgy.* 2018, vol. 179, pp. 157–166. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.06.003.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович — д-р техн. наук,  
профессор, e-mail: v.i.golik@mail.ru,  
Московский политехнический университет,  
Алексеев Игорь Александрович — канд. юрид. наук,  
доцент, профессор, ректор, Северо-Кавказский  
горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет).  
**Для контактов:** Голик В.И., e-mail: v.i.golik@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Golik, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Moscow Polytechnic University,  
107023, Moscow, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru,  
I.A. Alekseev, Cand. Sci. (Jurid.),  
Assistant Professor, Professor, Rector,  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy  
(State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia.  
**Corresponding author:** V.I. Golik, e-mail: v.i.golik@mail.ru.

Получена редакцией 13.01.2023; получена после рецензии 13.02.2023; принята к печати 10.04.2023.  
Received by the editors 13.01.2023; received after the review 13.02.2023; accepted for printing 10.04.2023.