

DOI <https://doi.org/10.36719/2707-9317/119/52-57>

Innovative solutions in the gold mining industry

Ellada Khankishiyeva

Doctor of Philosophy (PhD) in Economics,

Institute of Economics of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,

ellada10@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9996-0946>

Abstract: The article examines contemporary challenges in the gold mining industry associated with the depletion of high-grade ore reserves and the increasing complexity of extraction processes. Traditional gold extraction technologies and their limitations are analyzed, and innovative solutions are presented, including bioleaching, thiosulfate leaching, nanotechnologies, digitalization, and the use of artificial intelligence. The importance of implementing innovations to enhance efficiency, safety, and environmental sustainability in gold mining is emphasized.

Keywords: gold, gold mining, innovations, cyanidation, nanotechnologies, artificial intelligence, environmental safety.

Инновационные решения в золотодобывающей промышленности

Эллада Ханкишиева

доктор философии по экономике,

Институт экономики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики,

ellada10@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9996-0946>

Резюме: В статье рассматриваются современные проблемы золотодобывающей промышленности, связанные с сокращением запасов богатых руд и усложнением добычи. Анализируются традиционные технологии извлечения золота и их ограничения, а также представлены инновационные решения — биовыщелачивание, тиосульфатное выщелачивание, нанотехнологии, цифровизация и использование искусственного интеллекта. Подчёркивается важность внедрения инноваций для повышения эффективности, безопасности и экологической устойчивости золотодобычи.

Ключевые слова: золото, золотодобыча, инновации, цианирование, нанотехнологии, ИИ, экологическая безопасность

Введение

В настоящее время перспективные месторождения золота открываются все реже и реже в силу того, что многие золотые запасы уже истощены. Из истории золотодобывающих стран известно, что наиболее богатые месторождения рудного и россыпного золота измерялись концентрацией более 100 граммов золота на тонну породы, а в отдельных случаях на ограниченных участках - даже килограммами. Если сто лет назад россыпные месторождения обеспечивали до 90% мировой добычи золота, то к 1970-м годам их вклад сократился до примерно 3–5%. [1]. Доказательством являются золотые лихорадки в Калифорнии, Австралии, Аляске и в России в 19 веке, когда добытчики гонялись за россыпным золотом. В современных условиях месторождения считаются богатыми, если в тонне руды содержится более 10 грамм золота, в случае, если одна тонна руды содержит около 4-5 граммов золота это месторождение причисляют к рентабельным, к перспективным залежам на сегодня также причисляют те, в которых содержание золота 2-3 грамма на тонну руды.

Основной текст

Учитывая природную редкость этого металла, золото всегда находится в центре внимания инвесторов в качестве актива-убежища, спрос на золото в мире растет, а цены на него бьют рекорды.

Таблица 1

Рейтинг стран мира по добыче золота за 2024 год

№	Страна	Объем добычи золота, тонн
1	Китай	380,2
2	Россия	330,0
3	Австралия	284,0
4	Канада	202,1
5	США	158,0
6	Гана	140,6

7	Мексика	140,3
8	Индонезия	140,1
9	Перу	136,9
10	Узбекистан	129,1

Источник: составлен по данным Всемирного совета по золоту (WGC) [2]

При наличии развитой минерально-сырьевой базы золота государство получает возможность формировать собственные золотые резервы — запасы физического золота, учитываемые на балансе Центрального банка или Министерства финансов. Эти резервы используются для поддержания стабильности денежного обращения, проведения международных расчётов и погашения государственных обязательств. В составе золотовалютных резервов страны золото является важным индикатором её экономической устойчивости и силы.

Рейтинг 20 стран по мировым запасам золота, тонн

Место	Государство	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2024
1	США	8146,2	8136,9	8133,5	8133,5	8133,5	8133,5	8133,5	8133,5
2	Германия	2960,5	3468,6	3401,0	3381,0	3373,6	3366,5	3362,4	3350,3
3	Италия	2073,7	2451,8	2451,8	2451,8	2451,8	2451,8	2451,8	2451,9
4	Франция	2545,8	3024,6	2435,4	2435,5	2435,9	2436,0	2436,1	2437,0
5	Россия	484,6	384,4	788,6	1352,2	1828,6	2271,2	2298,5	2326,
6	Китай	395,0	395,0	1054,1	1708,5	1842,6	1948,3	1948,3	2305,4
7	Швейцария	2590,3	2419,4	1040,1	1040,0	1040,0	1040,0	1040,0	1039,9
8	Индия	332,6	357,8	557,7	557,7	557,8	625,6	670,1	880,2
9	Япония	753,6	763,5	765,2	765,2	765,2	765,2	765,2	846,0
10	Турция	127,4	116,3	116,1	504,5	525,8	415,2	567,9	644,3
11	Нидерланды	1366,7	911,8	612,5	612,5	612,5	612,5	612,5	612,5
12	Польша							419,7	543,3
13	Тайвань	421,0	421,8	423,6	423,6	423,6	422,4	423,6	423,9
14	Португалия	492,4	606,7	382,5	382,5	382,5	382,5	382,6	382,7
15	Узбекистан						338,4	315,7	380,4
16	Казахстан	...	57,2	67,3	213,5	301,0	382,0	383,3	333,3
17	Сауд.Аравия	143,0	143,0	322,9	322,9	322,9	323,1	323,1	323,1
18	Великобритания	589,1	487,5	310,3	310,3	310,3	310,3	310,3	310,3
19	Ливан	286,8	286,8	286,8	286,8	286,8	286,8	286,8	286,8
20	Испания	485,6	523,4	281,6	281,6	281,6	281,6	281,6	281,6
	Австрия	634,3	377,5	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0

Примечание: составлено автором по базе данных Всемирного золотого совета (ВЗС) по итогам 2024 года (<https://www.gold.org/>)

Как показывают исследования, добыча золота постепенно смещается на руды с более низким содержанием металла, а снижение концентрации золота в руде или песках компенсируется использованием современной высокопроизводительной техники [3]. В процессе извлечении золота из руды применяется более сложная, комбинированная технология, включающая традиционные методы — флотацию, гравитационное обогащение и гидрометаллургию. Флотация и гравитация различаются по принципу действия: если флотация основана на способности частиц прилипать к пузырькам воздуха, то при гравитационном методе разделение происходит благодаря различиям в плотности и размерах частиц. Примером последнего может служить опыт с песком и опилками: при попадании в воду опилки всплывают, а песок оседает на дно [4]. Гидрометаллургия основывается на использовании водных растворов с определёнными реагентами для выщелачивания золота из руды.

В настоящее время одной из самых современных и перспективных технологий добычи золота считается выщелачивание, при котором металл извлекается путём его растворения. Наиболее экономически выгодным методом является кучное выщелачивание: руду размещают на специально подготовленной ровной площадке, после чего на неё подаётся слабый раствор цианида. Под его действием золото растворяется и оседает, а полученный раствор затем собирают и перерабатывают для выделения и очистки золота. Тем не менее, у метода есть недостатки. Он довольно медленный и позволяет извлечь лишь 65–85% золота, содержащегося в руде. Кроме того, он эффективно работает только с окисленными рудами, запасы которых постепенно истощаются. А переработка более сложных сульфидных руд требует новых подходов и серьёзных финансовых вложений.

Альтернативной и более эффективной технологией является цианидное выщелачивание, обеспечивающее извлечение 95–98% золота, в том числе из бедных руд. При этом руду заливают раствором цианистого калия и выдерживают в специальных отстойниках на воздухе в течение двух недель. За это время золото переходит в раствор, а остатки породы оседают. Затем раствор откачивается, а оставшаяся масса направляется в смесительный резервуар, где через воздуховоды высвобождается оставшееся золото. Далее тяжёлые частицы оседают, а насыщенную смесь соединяют с цинком, чтобы окончательно выделить золото. Несмотря на относительную дешевизну, этот способ сопровождается серьёзными экологическими рисками.

Но, как и во всех сферах экономики, инновации стремительно развиваются и в золотодобывающей промышленности. На сегодня, при добыче золота активно используются инновационные методы и технологии, которые направлены на повышение эффективности, снижение затрат и минимизацию экологического ущерба. Известно, что освоение золотых месторождений — это сложный, ресурсоёмкий и затратный процесс, вследствие чего золото становится одним из наиболее ценных и дорогостоящих металлов в мире. Кроме того, золотодобывающая промышленность уязвима перед экологическими факторами, проявляющимися в ограничениях в деятельности золотодобывающих предприятий из-за негативного воздействия на окружающую среду. Разработка и переработка золотых месторождений могут оказывать серьёзное негативное воздействие на окружающую среду. Несоблюдение экологических норм при добыче золота приводит к загрязнению водных ресурсов, эрозии почвы и увеличению выбросов парниковых газов. Даже небольшие объёмы извлечённой руды при подземной добыче способны нарушить природное равновесие в районах деятельности золотодобывающих предприятий. Хранилища пустой породы и руды, оставшиеся на поверхности, засоряют территорию и могут выделять токсичные вещества в результате процессов окисления и выщелачивания [5]. Кроме того, шахтные воды, насыщенные опасными элементами, представляют собой серьёзную экологическую угрозу.

Поэтому предприятия золотодобывающей промышленности все чаще изыскивают инновационные методы работы, способствующие эффективному производству золота. Так, все большую популярность получает биовыщелачивание, при котором для извлечения золота из руд используют микроорганизмы типа *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Этот метод экологичнее традиционного цианирования, так как происходит меньше выбросов токсичных веществ, а также эффективен для бедных руд. Такой способ извлечения золота нашел широкое применение в золотодобыче Австралии, Южной Африки, Чили, Казахстана.

Следующий инновативный метод извлечения золота — это тиосульфатное выщелачивание. Технология этого метода заключается в том, что золото растворяется в растворе тиосульфата натрия с добавками меди. Этот метод является альтернативой цианиду для извлечения золота и обладает рядом преимуществ, среди которых, меньшая токсичность по сравнению с применением цианида, подходит для сложных руд, где золото связано с углеродом или органикой. Этот метод уже внедрен на некоторых предприятиях золотодобывающей промышленности, например, Barrick Gold в Неваде.

Инновационным нововведением в этой сфере можно также назвать нанотехнологии и наноматериалы. Так, наноматериалы используются в мембранных фильтрах для извлечения золота из растворов: с помощью наносенсоров определяются микрочастицы золота, а также

наночастицы золота и серебра повышают эффективность сорбции.

Инновационная деятельность в золотодобывающей промышленности также распространяется на работу, не только связанную с извлечением золота. Геологоразведка с помощью спутников и дронов, использование БПЛА с мультиспектральной съемкой для оценки содержания золота одно из эффективных способов работы золотодобывающих предприятий во всем мире. В настоящее время используется лазерное сканирование (LiDAR) для 3D-картирования геологических структур, а также ИИ-алгоритмы и Big Data для предсказания месторождений [6].

Что касается применения искусственного интеллекта в этой отрасли, то ИИ в золотодобывающей промышленности стремительно развивается и охватывает все этапы — от разведки до переработки руды. Возможности ИИ в золотодобывающей промышленности применяется в прогнозировании золотосодержащих руд, оптимизации маршрутов бурения, автоматизации обогатительных фабрик, для анализа больших данных по содержанию металлов, минералогии, логистике.

Путем цифровизации создаются роботизированные шахты, автономные буровые установки, роботы для буровзрывных и погрузочно-разгрузочных работ, дистанционное управление процессами добычи, использование «цифровых двойников» шахт для моделирования и оптимизации работы.

Заключение

В целом, работу предприятий по добыче золота осложняют целый ряд специфических факторов. Среди них — необходимость проведения масштабных и затратных геологоразведочных работ, истощение как рудных, так и россыпных месторождений, труднодоступность перспективных участков, недостаточное развитие инфраструктуры, высокий уровень опасности при подземных работах, а также серьёзные экологические последствия. Эти проблемы существенно снижают инвестиционную привлекательность золотоносных объектов и требуют особенно тщательной оценки при принятии решений о вложениях в недропользование.

В условиях роста издержек и усложнения добычи всё более актуальным становится внедрение инновационных решений в золотодобывающую отрасль. Современные технологии способны не только повысить эффективность и безопасность производственных процессов, но и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, обеспечивая устойчивое развитие отрасли в долгосрочной перспективе.

Список использованной литературы:

1. Аникин, А.В. Золото: международный экономический аспект/ А.Аникин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Международные отношения, –1988. –336 с.
2. WorldGoldCouncil Annual report. [Electronic resource] URL: <https://www.gold.org/esg/the-social-and-economic-contribution-of-gold-mining-2024-data-update>
3. Ханкишиева, Э.М. Совершенствование методов добычи золота связано с эволюцией человеческого общества// Geneve, Switzerland: The International Scientific Association of Economists “Consilium”, International scientific periodical journal for economists and jurists “The genesis of genius” - 2014. №3, с. 73-76
4. Казахстанский сайт/ статья «Как добывают золото» [Электронный ресурс]. URL: <https://fun-in-kz.livejournal.com/27684.html>
5. Певзнер, М. Е. Экология горного производства / М. Е. Певзнер, В. П. Костовецкий. - Москва: Недра- 1990. – 235 с.
6. Innovation in Mining: What Are the Challenges and Opportunities Along the Value Chain for Latin American Suppliers? *Mineral Economics*, 2021.

Qızıl mədən sənayesində innovativ həllər

Ellada Xankişiyeva

iqtisad üzrə fəlsəfə doktoru,

AR Elm və Təhsil Nazirliyinin İqtisadiyyat İnstitutu,

ellada10@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-9996-0946>

Xülasə: Məqalədə yüksək keyfiyyətli filiz ehtiyatlarının tükənməsi və hasilatın mürəkkəbləşməsi ilə bağlı qızıl mədən sənayesinin müasir problemləri araşdırılır. Ənənəvi texnologiyaların məhdudiyyətləri təhlil edilir və nanotexnologiyalar, rəqəmsallaşma və süni intellekt kimi innovativ həllər təqdim olunur. Qızılın hasilatı proseslərinin səmərəliliyinin, təhlükəsizliyinin və ekoloji dayanıqlığının artırılmasında innovasiyaların vacibliyi vurgulanır.

Açar sözlər: qızıl, innovasiya, sianidləşdirmə, tiosulfat texnologiyası, nanotexnologiya, süni intellekt, ekoloji təhlükəsizlik.