

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Санакулов К.С., Исмаилов Д.К.

АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан.

ООО «O'zGEORANGMETLITI», Ташкент, Узбекистан.

Doi: 10.5281/zenodo.17338634

АННОТАЦИЯ

Получено:
13.07.2025

Пересмотрено:
18.07.2025

Пересмотрено:
02.08.2025

Опубликовано:
10.10.2025

В статье представлено комплексное исследование месторождения Нукракон в Центральных Кызылкумах, являющегося одним из крупнейших объектов золотосеребряной минерализации в Узбекистане. Особое внимание уделено характеристике рудных залежей, их морфологии и распределению ценных компонентов. Изложены результаты детальных технологических исследований различных методов переработки руд: сорбционного цианирования, флотационного обогащения, обработки хвостов флотации и противоточно-декантационной отмывки. Проведённый анализ показал высокую эффективность цианирования как основного метода извлечения благородных металлов, при этом установлено оптимальное сочетание технологических параметров процесса. Исследованы формы нахождения серебра и золота в рудах, включая самородное состояние, сульфидные и оксидные соединения. Определены наиболее перспективные технологии обогащения, позволяющие достичь максимального извлечения ценных компонентов при минимальных затратах. Полученные данные позволяют рекомендовать для промышленной разработки месторождения комбинированную технологию переработки руд с использованием противоточной декантации и цементации цинковой пылью, что обеспечивает высокую степень извлечения металлов при относительно низких капитальных и эксплуатационных затратах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

золотосеребряные руды, геологическое строение, минеральный состав, окисленные руды, сульфидные руды, цианирование, сорбционное цианирование, флотационное обогащение, гравитационные методы, противоточная декантация, цементация цинковой пылью, извлечение металлов, технологические параметры, обогащение руд.

Введение

В современных условиях развития горнодобывающей промышленности особую актуальность приобретает необходимость комплексного изучения перспективных месторождений благородных металлов, что позволяет не только оценить их ресурсный потенциал, но и разработать эффективные технологии переработки руд.

В условиях постоянно растущих требований к экологической безопасности и экономической эффективности производства особую значимость приобретает разработка инновационных технологий, позволяющих максимально полно извлекать ценные компоненты при минимальных затратах.

В данной статье представлены результаты комплексного изучения месторождения, включающего геолого-минералогические исследования, технологические испытания методов обогащения и переработки руд, а также оценку экономической целесообразности применения выявленных технологий.

Объект исследования

Исследуемое месторождение Нукракон, находящееся в Центральных Кызылкумах, в горах Бельтау, на территории Канмехского

района Навоийской области Узбекистана, представляет собой уникальный объект горнодобывающей промышленности. Оно расположено в 45 километрах к югу от города Зарафшан и в 7 километрах северо-западнее посёлка Даугызтау. История освоения месторождения началась в 1966 году, когда были обнаружены золотосеребряные руды. Детальные поисковые работы, проведённые в период с 1972 по 1974 годы, позволили признать месторождение крупным и пригодным для открытой разработки на глубину до 300 метров.

Геологическое строение месторождения отличается сложностью и включает два структурных этажа. Нижний этаж состоит из терригенных отложений бесапанской толщи, представленных песчаниками, алевролитами и аргиллитами (сланцами). Эти породы характеризуются отсутствием маркирующих горизонтов и многократным повторением однотипных по составу слоёв. Песчаники являются наиболее распространённой породой, преимущественно олигомиктовыми и мелкозернистыми, с примесью гравелита до 5–10%. Алевролиты встречаются реже и имеют кварцевый и слюдисто-кварцевый состав, а аргиллиты представлены тонкослоистыми

породами с преобладанием гидрослюд и серицита.

На флангах месторождения распространены верхнемеловые и палеоген-неогеновые отложения мощностью до 250 метров. Интрузивные породы на поверхности не обнаружены, но предполагается их наличие на глубинах более 500 метров. Месторождение характеризуется сложной тектонической структурой, включающей складчатые и разрывные дислокации. Основной рудоконтролирующей структурой является субширотный разлом, который прослеживается горными выработками на 2,5 километра и буровыми скважинами на 300–350 метров.

Промышленные залежи сосредоточены в узлах пересечения разломов, и форма месторождения напоминает полукольцо, обусловленное пересечением Даугызтауского и субширотного разломов. Месторождение включает семь рудных залежей при этом рудные тела имеют различные формы от крестообразной и линзообразной до серповидной с плитообразной структурой.

Основные характеристики рудных залежей включают длину до 2250 метров и мощность от 40 до 200 метров. Они располагаются в зонах интенсивного дробления и сульфидной

минерализации, связанной с пиритом и арсенопиритом.

В свою очередь руды месторождения делятся на окисленные и сульфидные. Окисленные руды залегают до глубины 50–60 метров и отличаются низким содержанием сульфидов, включая гидроокислы железа и марганца. Сульфидные руды включают кварц, полевые шпаты и различные сульфиды. Основные ценные компоненты — золото и серебро, с попутными элементами серы, селена и теллура, мышьяк при этом считается вредной примесью. Вертикальный размах оруденения достигает 1,0–1,2 км.

Методы исследований и их анализ

В статье уделяется внимание технологии переработки именно окисленных руд, для чего были проведены исследования по трём технологическим пробам весом от 0,5 до 2,0 тонн каждая, с изучением химического и минерального состава, а также технологических свойств. На рис. 1 приведены результаты изучения вещественного состава проб, в том числе: химический состав (по данным микроскопических исследований).

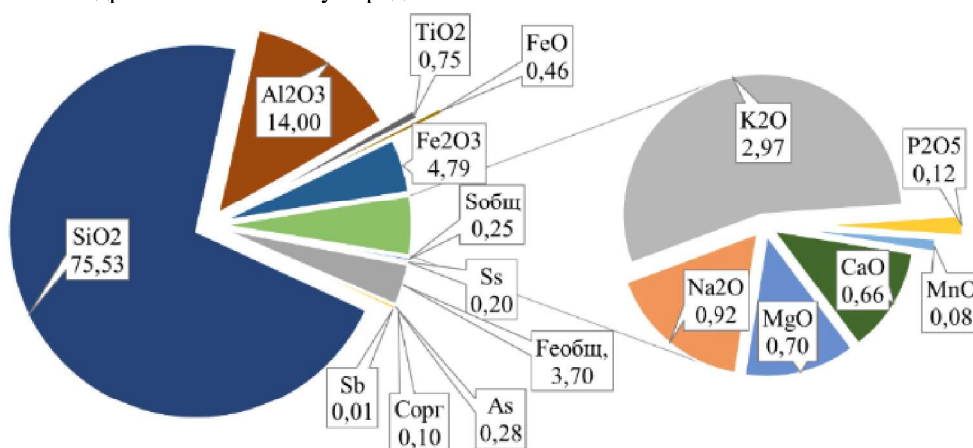


Рис. 1 – Химический состав проб окисленных руд в процентах месторождения Нукракон

При изучении минерального состава проб окисленных руд месторождений Нукракон в составе руд отмечается значительное содержание кварца, колеблющееся в пределах от 40% до 55%. Алюмосиликаты также занимают существенную долю, варьируясь от 40% до 55%, при этом полевые шпаты составляют примерно 10–15%, а глинистые минералы, слюды и гидрослюды — 30–40%.

Рutil присутствует в незначительных количествах, как и апатит, который отмечен редкими знаками. Карбонаты, такие как кальцит и доломит, составляют около 0,5%, в то время как сульфаты, включая гипс, ярозит, англезит и барит, варьируются от 0,8% до 1%.

Окислы и гидроокислы железа, такие как гётит и гидрогётит, представлены в количестве

от 4% до 7%. Арсенаты, в частности скородит, могут достигать до 1%. Сульфиды в целом составляют около 0,2%, включая пирит (0,1%), арсенопирит (от редких зерен до 0,05%), халькопирит, галенит и другие редкие минералы. Вторичные сульфиды, такие как ковеллин и халькозин, а также сульфосоли, включая теннантит и тетраэдрит, присутствуют в редких зернах.

Дополнительно отмечены редкие знаки самородного серебра и других соединений серебра, таких как сульфиды, теллуриды и хлориды. Угlistое вещество в составе руд не обнаружено. Эти данные позволяют получить полное представление о минералогическом составе и особенностях двух типов руд.

Распределение серебра по результатам исследования минерального состава проб окисленных руд месторождений Нукракон представлено следующими соотношениями. Самостоятельные зерна и в открытых сростках в диапазоне 85-90%, связанное с окислами и

гидроокислами железа находятся в пределах 5-10% и в породообразующих минералах 5-10%.

Характер сереброрудной минерализации по основным рудным минералам окисленных руд представлен на рис 2.

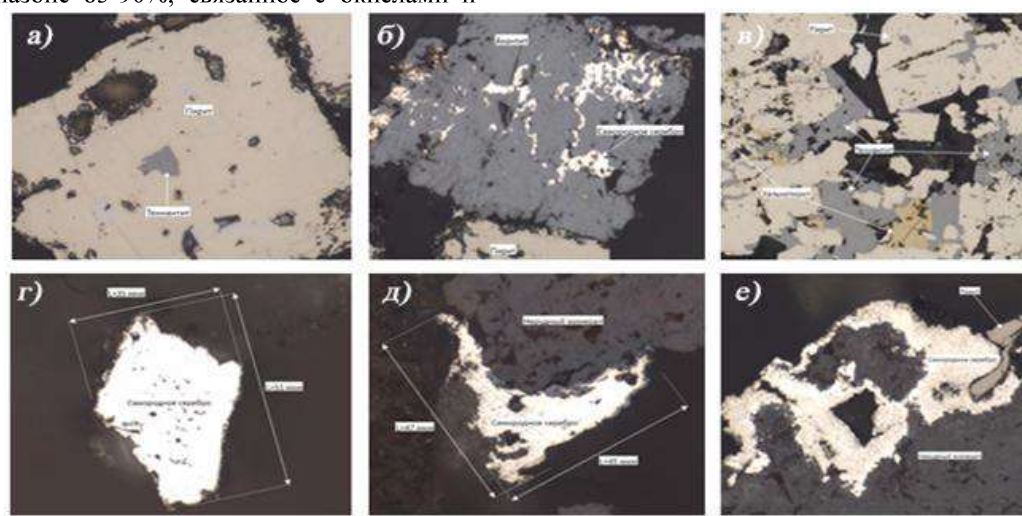


Рис. 2 Сереброрудная минерализация:

а) теннантит в закрытом сростке в пирите; б) самородное серебро (кремово-белый) и акантит (серый) в сростке с зерном пирита; в) теннантит и халькопирит преимущественно в закрытом сростании в пирите; г) среднее (35х51 мкм) зерно самородного серебра; д) самородное серебро (45х47 мкм) в сростке с нерудным минералом; е) самородное серебро в сростке с пиритом и нерудным минералом

На месторождении Нукракон демонстрируются распределение самородного серебра в сростках с кварцем и гидроокислами железа. Это указывает на тесную ассоциацию данных минералов с кварцевой матрицей и процессы вторичного обогащения руд.

При изучении вещественного состава и минералогических исследований выявлено, что в окисленных рудах месторождений Нукракон основными полезными рудными компонентами являются серебро и золото, основными минералами серебра самородное серебро, сульфосоли (тетраэдрит и теннантит), акантит, полибазит, пираргирит, миаргирит, штроемeyerит, кераргирит и др., при этом значительно большая часть зёрен самородного серебра и других минералов серебра находится

в виде самостоятельных зёрен и в открытых сростках с другими минералами.

При проведении технологических исследований изучались:

- формы нахождения серебра и золота в руде и характер их ассоциации;
- сорбционное цианирование исходных руд в различных режимах (рис. 3);
- флотационное обогащение исходных руд (рис. 4);
- сорбционное цианирование хвостов флотации (рис. 5);
- сорбционное цианирование флотоконцентрата;
- цианирование и противоточно-декантационная отмывка пульпы (рис. 6).



Рис. 3 Сорбционное цианирование исходной руды

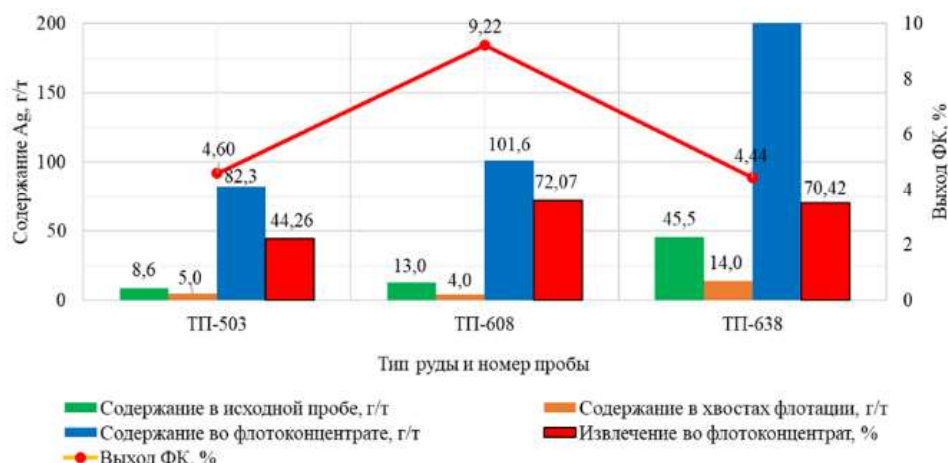


Рис. 4 Флотационное обогащение исходной окисленной руды месторождения Нукракон

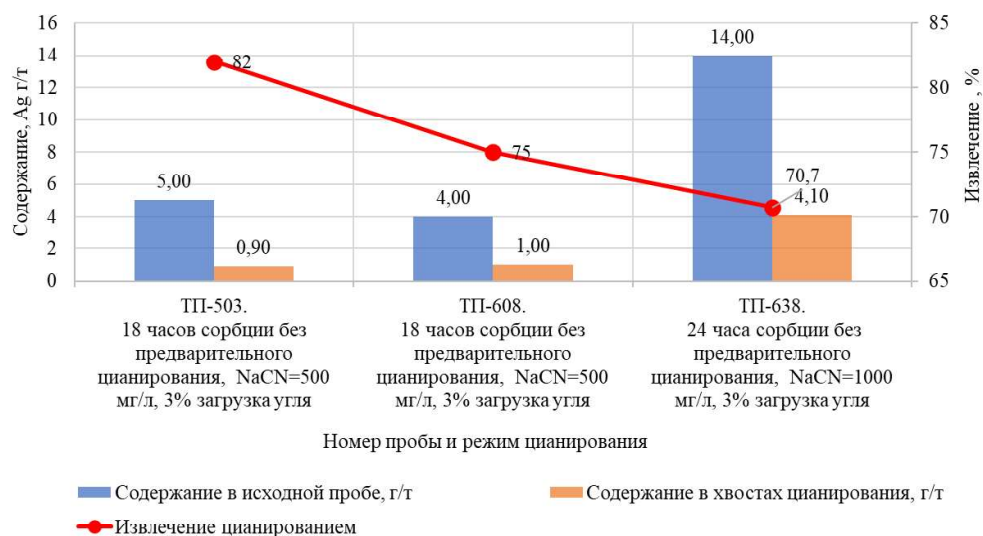


Рис. 5. Сорбционное цианирование хвостов флотации

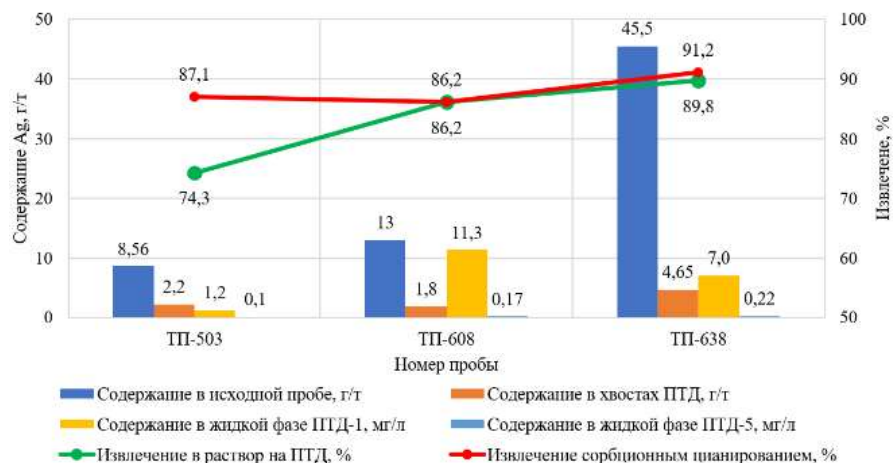


Рис. 6 Результаты противоточно-декантационной отмывки процианированной пульпы

Кроме того, изучалась измельчаемость проб, обогатимость гравитационными методами, влияние крупности измельчения на извлечение при выщелачивании, кинетика цианирования и сорбции, изотерма сорбции, сгущаемость продуктов обогащения, цементация благородных металлов из растворов.

Месторождение Нукракон характеризуется разнообразием форм нахождения серебра,

которые отличаются по характеру связей с рудными компонентами. В ходе исследований были проанализированы три технологические пробы месторождения.

По результатам анализа выявлено, что основная часть серебра (90,6%-91,9) находится в свободном состоянии или в виде сростков, что позволяет эффективно использовать цианирование для его извлечения. Обнаружено

незначительное количество (от 0,0 до 3,8%) серебра, покрытого плёнками и ассоциированного с антимонитом и кремнезёмом. Небольшая доля (0,6–4,94%) серебра связана с оксидами и гидроксидами железа, требуя предварительной обработки соляной кислотой перед цианированием, а до 3,50% ассоциировано с сульфидами. Тонковкрапленное серебро в породообразующих минералах находится в диапазоне от 0,59 до 4,5%. Эти данные демонстрируют разнообразие минеральных форм серебра и их особенности, что важно для выбора оптимальных технологий переработки руд месторождения Нукракон.

В ходе проведённых исследований сорбционного цианирования флотоконцентрата были изучены две пробы окисленных руд с месторождения Нукракон. В первой пробе содержание серебра в исходной пробе составляло порядка 150 г/т, после проведения цианирования содержание серебра в хвостах существенно снизилось до 3,4 г/т при этом извлечение серебра оказалось весьма высоким и достигло значения 97,7%. Процесс осуществлялся при следующих технологических параметрах: загрузка угля составила 10%, концентрация цианида натрия (NaCN) была установлена на уровне 2000 мг/л, а продолжительность сорбции составила 48 часов.

Во второй пробе, содержание серебра в исходной пробе составляло 168,7 г/т, после проведения цианирования содержание серебра в хвостах уменьшилось до 2,6 г/т, эффективность извлечения металла в этом случае оказалась несколько выше и составила 98,5%. Условия проведения процесса были аналогичны первой пробе.

Представленные данные демонстрируют высокую эффективность процесса сорбционного цианирования для обеих проб, а также позволяют отметить незначительные различия в показателях извлечения.

На пробах окисленных руд Нукракон проведены тестовые опыты по гравитационному обогащению с применением концентраторов Knelson и Falcon. Измельчение осуществлялось до крупности 80% класса – 0,074 мм. В результате экспериментов было установлено, что выход концентрата при этом составляет примерно 0,91%, а извлечение ценных минералов достигает лишь около 4,5%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что применение гравитационных методов для обогащения серебросодержащих руд оказалось неэффективным. Низкая степень извлечения и незначительный выход концентрата делают нецелесообразным использование этих технологий в промышленных масштабах.

Следует отметить, что для эффективной переработки окисленных серебро-

золотосодержащих руд месторождений Нукракон необходимо учитывать ряд ключевых факторов. Анализ результатов лабораторных исследований показывает, что от 91 до 98% серебра в руде находится в цианируемых формах, что делает возможным применение прямого цианирования. Однако использование гравитационных методов обогащения показало низкую эффективность, поэтому их применение в схеме нецелесообразно.

Извлечение серебра методом интенсивной гравитации составляет всего 3,5–4,5%, что подтверждает необходимость использования более эффективных технологий. В то время как флотационное обогащение демонстрирует более высокие результаты с извлечением серебра в концентрат до 72%, однако даже этот метод не позволяет получить отвальные хвосты по содержанию серебра, что требует последующего цианирования.

При этом цианирование требует соблюдения особых условий: продолжительность процесса должна составлять не менее 24 часов при концентрации цианистого натрия 1000 мг/л. Важно также измельчать руду до крупности 80–85% класса минус 0,074 мм для достижения оптимальных результатов.

При выборе метода извлечения серебра следует учитывать экономические аспекты. Несмотря на высокую эффективность сорбционного выщелачивания (извлечение 95,4%), этот метод требует значительных капитальных вложений и повышенных эксплуатационных затрат из-за расхода активированного угля и электроэнергии. В условиях высокого соотношения серебра к золоту (72:1 и выше) более экономически целесообразным представляется использование противоточной декантации в сочетании с процессом цементации цинковой пылью (Меррилл-Кроу). Этот метод обеспечивает извлечение серебра в раствор до 96,4% и позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с сорбционной технологией.

Заключение

Месторождение Нукракон представляет собой значимый объект горнодобывающей промышленности благодаря богатым запасам золотосеребряных руд. Его сложная тектоническая структура и разнообразие геологических отложений создают уникальные условия для локализации рудных залежей.

Исследования показали, что основными рудными компонентами являются серебро и золото, представленные различными минералами серебра, такими как самородное серебро, сульфосоли (тетраэдрит, теннантит), акантит, полибазит и другие. Преобладающими минералами в окисленных рудах являются кварц и алюмосиликаты.

Проведенные исследования методов переработки руд продемонстрировали высокую эффективность сорбционного цианирования, обеспечивающего извлечение серебра до 97,7–98,5%. Также было установлено, что флотационное обогащение позволяет достичь извлечения серебра до 72%, однако требует последующего цианирования.

Гравитационные методы обогащения показали низкую эффективность, что делает их нецелесообразными для промышленного применения. Это подтверждает необходимость использования более современных технологий переработки руд.

Для оптимальной переработки руд месторождения Нукракон рекомендуется

применять метод противоточной декантации в сочетании с цементацией цинковой пылью. Этот метод обеспечивает высокую степень извлечения серебра (до 96,4%) при меньших капитальных и эксплуатационных затратах по сравнению с сорбционным цианированием.

Полученные результаты позволяют считать месторождение Нукракон перспективным для промышленной эксплуатации с использованием современных технологий переработки руд. Дальнейшие исследования и оптимизация технологических процессов могут способствовать повышению эффективности переработки благородных металлов и снижению затрат на производство.

ОҚИСЛАНГАН КУМУШЛИ РУДАЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ ТЕХНОЛОГИК ЖИХАТЛАРИ

Sanaqulov Q. S., Ismailov D. K.

"Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJ, Navoiy, O'zbekiston.

"O'ZGEORANGMETLITI" MCHJ, Toshkent, O'zbekiston.

ANNOTATSIYA	Maqolada O'zbekistondagi eng yirik oltin-kumush minerallashtirish obyektlaridan biri bo'lgan Markaziy Qizilqumdagi Nukracon konini kompleks tadqiq etish taqdim etilgan.
Kelib tushgan: 13.07.2025	Ruda konlarining xususiyatlariga, ularning morfologiyasiga va qimmatli tarkibiy qismlarning taqsimlanishiga alohida e'tibor beriladi. Rudalarni qayta ishlashning turli usullari bo'yicha batafsil texnologik tadqiqotlar natijalari keltirilgan: sorbsion siyanidlash, flotatsiyani boyitish, flotatsiya qoldiqlarini qayta ishlash va oqim-dekantatsiya yuvish. Tahlil
Ko'rib chiqilgan: 18.07.2025	qimmatbaho metallarni qazib olishning asosiy usuli sifatida siyanlanishning yuqori samaradorligini ko'rsatdi, shu bilan birga jarayonning texnologik parametrlarining maqbul
Qabul qilingan: 02.08.2025	kombinatsiyasi o'rnatildi. Rudalarda kumush va oltinni topish shakllari, shu jumladan mahalliy holat, sulfid va oksid birikmalari o'rganildi. Eng istiqbolli boyitish texnologiyalari
Chop etilgan: 10.10.2025	aniqlandi, bu esa minimal xarajatlar bilan qimmatli tarkibiy qismlarni maksimal darajada ajratib olishga imkon beradi. Topilmalar konni sanoat yo'li bilan ajratib olish uchun rudalarni qayta ishlashning kombinatsiyalangan texnologiyasini tavsiya etish imkonini beradi, bu
KALIT SO'ZLAR	oqimlarga qarshi dekantatsiya va rux changlari bilan sementlashdan foydalanadi, bu esa nisbatan past kapital va foydalanish xarajatlarida metallarni yuqori darajada ajratib olishni ta'minlaydi.
	Nukracon koni, oltin-kumush rudalari, geologik tuzilishi, mineral tarkibi, oksidlangan rudalar, sulfidli rudalar, siyanlash, sorbsion siyanlash, flotatsion boyitish, tortishish usullari, qarshi oqim dekantatsiyasi, rux changini sementlash, metallarni ajratib olish, texnologik parametrlar, rudalarni boyitish.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PROCESSING OXIDIZED SILVER-CONTAINING ORES

Sanakulov K.S., Ismailov D.K.

JSC "Navoi Mining and Metallurgical Combine", Navoi, Uzbekistan

LLC "O'ZGEORANGMETLITI", Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT	The article presents a comprehensive study of the Nukracon deposit in the Central Kyzylkum, which is one of the largest gold-silver mineralization sites in Uzbekistan.
Received: 13.07.2025	Special attention is paid to the characteristics of ore deposits, their morphology, and the distribution of valuable components. The article also presents the results of detailed technological studies of various ore processing methods, including sorption
Revised: 18.07.2025	cyanidation, flotation enrichment, tailings processing, and counterflow decantation. The analysis showed the high efficiency of cyanidation as the main method of extraction
Accepted: 02.08.2025	of noble metals, and the optimal combination of technological parameters of the process was established. The forms of silver and gold in ores, including native state, sulfide and oxide compounds, were studied. The most promising enrichment technologies were

Published:
10.10.2025

KEYWORDS

identified, allowing to achieve maximum extraction of valuable components at minimal costs. The data obtained allow us to recommend a combined ore processing technology for the industrial development of the deposit, using counterflow decantation and zinc dust cementation, which ensures a high degree of metal recovery at relatively low capital and operating costs.

Nukrakon deposit, gold-silver ores, geological structure, mineral composition, oxidized ores, sulfide ores, cyanidation, sorption cyanidation, flotation enrichment, gravity methods, counterflow decantation, zinc dust cementation, metal extraction, technological parameters, ore enrichment.

Библиографический список

1. Голованов И.М. и др. Рудные месторождения Узбекистана. — Ташкент: Институт минеральных ресурсов, 2002. — 660 с.
2. Лодейщиков В.В., Игнатъева К.Д. Рациональное использование серебросодержащих руд. — М.: Недра, 1973. — 224 с.
3. Костикова О. С. Оптимизация процессов обогащения серебро-полиметаллических руд для снижения вредного влияния шламов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), 2015. — № 5 (14). — С. 14–18.
4. Евдокимов А. В., Дементьева Н. А., Коблов А. Ю. Переработка золото-серебросодержащей полиметаллической руды // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2020. — Вып. 1. — С. 228–234. — ISSN 2218-5194.
5. Эоззонов А.Н. и др. Исследование технологии переработки серебросодержащих руд с кучным выщелачиванием // Universum: технические науки: электрон. научн. Журн, 2023. — № 10(115). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16172>.
6. Эрнazarов М., Самадов А.У., Холикулов Д.Б. Исследования процесса цианирования золото-серебросодержащих руд // Навои: Горный вестник Узбекистана, 2009. — №1. — С. 79-80.
7. Санакулов К.С., Эргашев У.А., Ткаченко Е.С. Усовершенствование схемы рудоподготовки на Гидрометаллургическом заводе №2 // Навои: Горный вестник Узбекистана, 2019. — №2. — С. 65-67.

Information about authors:

Sanakulov Kuvandik Sanakulovich	— DSc, Professor, Chairman of the Management Board – General Director of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC, 210100, Uzbekistan, Navoi city, Navoi st. 27 ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9998-4366 , e-mail: info@ngmk.uz
Ismailov Djamshid Kabiljonovich	— Director of the LLC “O‘ZEORANGMETLITI”, 100070, Uzbekistan, Tashkent city, Bobur st. 15 ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0054-3582 , e-mail: info@georang.uz

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ШЛАКОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДНОЙ ПЛАВКИ

**Маткаримов С.Т., Носирходжаев С.К., Мухаметджанова Ш.А., Очилдиев К.Т.,
Акрамов У.А.**

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Doi: [10.5281/zenodo.17338662](https://doi.org/10.5281/zenodo.17338662)

АННОТАЦИЯ

Получено:
18.07.2025

Пересмотрено:
23.07.2025

Пересмотрено:
07.08.2025

Опубликовано:
10.10.2025

В работе исследованы шлаки кислородной плавки меди, отобранные на разных этапах процесса. Основное внимание уделено шлакам, взятым при выпуске и закалённым в воде. Применены методы XRD, XRF, SEM-EDS и мокрый химический анализ. Обнаружены тонкодисперсные включения Cu_2S , фаялит и магнетит. Установлено, что механически унесённая медь связана с высоковязкой шлаковой матрицей. Результаты могут быть использованы для снижения потерь меди и оптимизации процесса плавки.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

медеплавильный шлак, кислородная плавка, Cu_2S , фаялит, механические потери меди, SEM-EDS, XRD, шлаковая матрица.