

УДК: 669.2:622.765

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.32

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ ЗАБАЛАНСОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛЬМАКЫР



Аскарров Аззам Муратович

Начальник Управления международного сотрудничества и координации инвестиционных проектов и локализации Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Алмалык, Узбекистан
E-mail: A.Askarov@mingeo.uz
ORCID ID: 0009-0001-8116-671X
Science ID: FTV-0926-0030



Ларионов Сергей Владимирович

Главный инженер АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Алмалык, Узбекистан
E-mail: s.larionov@agmk.uz
ORCID ID: 0009-0007-0681-6552
Science ID: MTV-0926-0058

Аннотация. Рассмотрены история освоения медно-порфирового месторождения Кальмакыр и предпосылки образования техногенных отвалов окисленных забалансовых руд. Показано, что длительная открытая разработка месторождения сопровождалась селективным складированием сырья, не соответствовавшего требованиям действующей флотационной технологии. На примере отвалов № 9 и № 39 охарактеризован ресурсный потенциал накопленных руд, содержащих медь, золото и серебро. Проанализированы минералогические и технологические особенности окисленного сырья, ограничивающие прямое применение традиционной сульфидной флотации. Обоснованы перспективные направления развития: геолого-технологическое картирование отвалов, раздельная подготовка технологических типов, сернокислотное кучное и чановое выщелачивание, комбинированные схемы извлечения меди и благородных металлов, оборот растворов и цифровой контроль процессов. Результаты лабораторных опытов показывают возможность извлечения 75–80 % меди при чановом выщелачивании, однако промышленная реализация требует укрупнённых испытаний, замкнутого материального баланса и технико-экономического сравнения вариантов.

Ключевые слова: Кальмакыр, окисленные медные руды, забалансовые руды, техногенные отвалы, малахит, хризокolla, кучное выщелачивание, чановое выщелачивание, медь, золото, серебро.

Received: 07.09.2026

Accepted: 13.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

QALMOQQIR KONINING OKSIDLANGAN BALANS DAN TASHQARI RUDALARINI SHAKLLANTIRISH TARIXI VA QAYTA ISHLASH ISTIQBOLLARI

Askarov Agzam Muratovich

*O'zbekiston Respublikasi Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligi,
Xalqaro hamkorlik, investitsiya loyihalarini muvofiqlashtirish va
mahalliyashtirish boshqarmasi boshlig'i, Olmaliq, O'zbekiston*

Larionov Sergey Vladimirovich

*"Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ bosh muhandisi,
Olmaliq, O'zbekiston*

Annotatsiya. Qalmoqqir mis-porfir konini o'zlashtirish tarixi va oksidlangan balansdan tashqari ma'danlarning texnogen uyumlari hosil bo'lishining shart-sharoitlari ko'rib chiqilgan. Konni uzoq vaqt davomida ochiq usulda qazib olish amaldagi flotatsiya texnologiyasi talablariga javob bermaydigan xomashyoni tanlab to'plash bilan birga olib borilganligi ko'rsatilgan. № 9 va № 39 uyumlari misolida tarkibida mis, oltin va kumush bo'lgan to'plangan ma'danlarning resurs salohiyati tavsiflangan. An'anaviy sulfidli flotatsiyani to'g'ridan-to'g'ri qo'llashni cheklaydigan oksidlangan xomashyoning mineralogik va texnologik xususiyatlari tahlil qilingan. Rivojlanishning istiqbolli yo'nalishlari asoslangan: ag'darmalarni geologik-texnologik xaritalash, texnologik turlarni alohida tayyorlash, sulfat kislotali uyumli va chanli tanlab eritish, mis va nodir metallarni ajratib olishning kombinatsiyalangan sxemalari, eritmalar aylanishi va jarayonlarni raqamli nazorat qilish. Laboratoriya tajribalari natijalari shuni ko'rsatadiki, chanli tanlab eritishda 75-80% mis ajratib olish mumkin, biroq sanoatda amalga oshirish uchun yiriklashtirilgan sinovlar, yopiq moddiy balans va variantlarni texnik-iqtisodiy jihatdan taqqoslash talab etiladi.

Kalit so'zlar: Qalmoqqir, oksidlangan mis rudalari, balansdan tashqari rudalar, texnogen ag'darmalar, malaxit, xrizokolla, uyumli tanlab eritish, chanli tanlab eritish, mis, oltin, kumush.

HISTORY OF FORMATION AND PROSPECTS FOR PROCESSING OXIDIZED OFF-BALANCE ORE OF THE KALMAKYR DEPOSIT

Askarov Agzam Muratovich

*Head of the Department for International Cooperation,
Coordination of Investment Projects and Localization, Ministry of
Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan,
Almalyk, Uzbekistan*

Larionov Sergey Vladimirovich

*Chief Engineer, JSC "Almalyk Mining and Metallurgical
Complex", Almalyk, Uzbekistan*

Abstract. The history of the development of the Kalmakyr copper-porphyry deposit and the prerequisites for the formation of technogenic dumps of oxidized off-balance ore have been examined. It has been shown that long-term open-pit development of the deposit was accompanied by the selective storage of raw materials that did not meet the requirements of current flotation technology. Using dumps No 9 and No 39, the resource potential of accumulated ores containing copper, gold, and silver is characterized. The mineralogical and technological characteristics of oxidized raw materials, which limit the direct application of traditional sulfide flotation, have been analyzed. Promising development directions have been substantiated: geological and technological mapping of dumps, separate preparation of technological types, sulfuric acid bulk and tank leaching, combined schemes for extracting copper and noble metals, solution circulation, and digital process control. Laboratory experiments show that 75–80% of copper can be extracted during tank leaching, but industrial implementation requires enlarged testing, a closed material balance, and a technical-economic comparison of the variants.

Keywords: Kalmakyr, oxidized copper ores, off-balance ore, technogenic tailings, malachite, chrysocolla, bulk leaching, tank leaching, copper, gold, silver.

Введение. Месторождение Кальмакыр сформировало минерально-сырьевую основу медной промышленности Алмалыка. За десятилетия эксплуатации приоритет отдавался сульфидным медно-молибденовым рудам, пригодным для флотационного обогащения. Окисленные и смешанные разновидности с

пониженным содержанием меди часто относили к забалансовому сырью и складировали во внешних отвалах. Изменение ценности металлов, развитие гидрометаллургии и рост требований к комплексному использованию недр позволяют рассматривать эти накопления как самостоятельный техногенный ресурс.

Цель статьи состоит в обобщении истории формирования отвалов окисленных забалансовых руд Кальмакыра и определении технологических и организационных условий их промышленного освоения.

История освоения месторождения Кальмакыр. Кальмакыр относится к крупным медно-порфировым объектам Алмалыкского рудного района Срединного Тянь-Шаня. Промышленную ценность имеют медь, молибден, золото и серебро, а также сера, селен, теллур и рений. Месторождение разрабатывается открытым способом с транспортированием руды на обогатительные фабрики и вывозом вскрышных пород во внешние отвалы [1].

Строительство карьера началось в 1954 г. Акт о вводе первой очереди рудника был подписан 1 июля 1959 г. Первый проект отработки подготовил институт «Гипруда», а последующее проектирование и расширение выполнял институт «Гипроцветмет». Уже в 1960-е годы росли глубина и масштаб горных работ, обновлялись буровые станки, экскаваторы и транспорт [1].

Таблица 1.

Основные этапы освоения Кальмакыра и развития медного производства

Период	Событие	Значение для окисленных руд
1954	Начало строительства карьера Кальмакыр	Начало масштабного вскрытия верхней окисленной зоны
1 июля 1959	Ввод первой очереди рудника	Переход к систематической промышленной эксплуатации
1960-е годы	Расширение карьера и механизация горных работ	Рост объема селективно складированного некондиционного сырья
1961–1970	Основной период накопления части окисленных руд по опубликованным данным	Формирование крупных техногенных отвалов
2021–2026	Строительство и ввод новых обогатительных мощностей АГМК	Рост потребности в комплексном управлении минерально-сырьевой базой
После 2026	Развитие МОФ-4 и последующих мощностей	Возможность интеграции отдельных гидрометаллургических потоков и инфраструктуры

Развитие производственной базы было ориентировано на устойчивое снабжение медной обогатительной фабрики и медепла-

вильного завода. В этот период технологическая классификация запасов определялась возможностями массовой флотации сульфидного сырья. Окисленные минералы меди хуже взаимодействуют с традиционными сульфидными собирателями; поэтому значительная часть окисленных и смешанных руд не обеспечивала требуемые показатели и складировалась отдельно.

Происхождение и статус забалансовых окисленных руд. Окисленная зона месторождения возникла в результате гипергенного изменения первичных сульфидов в приповерхностных условиях. Медь перераспределялась с образованием малахита, азурита, хризоколлы, куприта, брошантита, псевдомалахита и вторичных сульфидов. Железо представлено гетитом, гидрогетитом и гематитом. Такая минералогическая неоднородность определяет различную растворимость меди и затрудняет применение одного режима ко всему объему сырья.

Понятие «забалансовая руда» отражает экономические и технологические условия конкретного периода. Оно не означает отсутствия полезных компонентов. Руда могла быть отнесена к забалансовой из-за низкого содержания меди, высокой степени окисления, неблагоприятной минералогии, сложностей обогащения или отсутствия отдельной технологической линии. При изменении цен, оборудования и реагентных схем часть таких запасов может перейти в промышленно извлекаемый ресурс.

По опубликованным данным на начало 2000-х годов на АГМК учитывалось около 46 млн т добытой окисленной медной руды, складированной преимущественно в 1961–1970 гг. в девяти отвалах; среднее содержание меди приводилось на уровне 0,455%, а в части балансового сырья — 0,827% [2]. Эти исторические оценки требуют актуализации, поскольку состояние отвалов, контуры, влажность и качество сырья могли измениться.

Ресурсный потенциал отвалов № 9 и № 39. По данным проведенных исследований, в отвалах № 9 и № 39 сосредоточено 5 219,1 тыс. т окисленной руды. Учетное количество составляет 39,4 тыс. т меди, около 6,03 т золота и

19,8 т серебра. В пробах содержание меди изменялось от 0,41 до 0,80% для отвала № 9 и от 0,75 до 0,83% для отвала № 39. Доля сульфидной меди оценена в 10–12%. Золото исследованных проб составляло 1,40–1,60 г/т и 1,03–1,58 г/т соответственно.

Таблица 2.

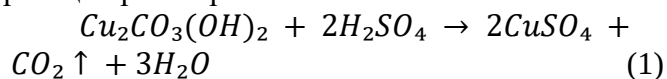
**Учётные показатели окисленных руд
отвалов № 9 и № 39**

Отвал	Руда, тыс. т	Медь, тыс. т	Золото, т	Серебро, т	Среднее Cu, %
№ 9	3 806,1	27,4	4,247	13,8	0,720
№ 39	1 413,0	12,0	1,790	6,0	0,849
Всего	5 219,1	39,4	6,037	19,8	—

Минералого - технологические особенности. Исследования вещественного состава показывают, что 92–95% массы окисленных руд образуют породообразующие минералы. Преобладают кварц и полевые шпаты; присутствуют серицит, хлорит, биотит, каолинит и другие глинисто-слюдистые минералы [3]. Суммарное содержание глинисто-слюдистых минералов в отдельных пробах достигает 23,5–32,3%, что повышает склонность материала к ошламованию и ухудшает фильтрацию и перколяцию растворов.

Степень окисления по меди в исследованных пробах оценивалась примерно в 61%, поэтому часть материала фактически относится к смешанным рудам [3]. Это важно для выбора процесса: легкорастворимые карбонатные и оксидные минералы переходят в сернокислый раствор сравнительно быстро, хризокolla и медь в силикатной матрице растворяются медленнее, а остаточные сульфиды требуют окислительных условий.

Для карбонатных минералов типична реакция растворения малахита:



Куприт в сернокислой среде может растворяться с образованием сульфата меди и металлической меди, а присутствие кислорода способствует дальнейшему окислению металлической меди. Породные карбонаты и железосодержащие минералы расходуют кислоту и увеличивают количество примесей в продуктивном растворе. Поэтому расход кислоты нельзя определять только по содержанию меди.

Опыт технологических исследований. Агитационное сернокислотное выщелачивание окисленных руд Кальмакыра исследуется как способ быстрого извлечения меди из тонкоизмельчённого сырья. В работе Д. Б. Холикулова с соавторами рассмотрены влияние крупности и концентрации кислоты, состав раствора и кека [2]. Более поздние исследования И. Б. Турамуратова с соавторами показали извлечение меди 65,9% при кучном и 80 % при чановом выщелачивании в оптимальных условиях [4].

В лабораторных опытах с пробами отвалов № 9 и № 39 при концентрации H_2SO_4 40–50 г/л, отношении Т:Ж = 1:4, продолжительности 1,5–2 ч и подаче воздуха извлечение меди составляло преимущественно 75–80%, а в отдельных пробах достигало более высоких значений. Для руды отвала № 39 при 50 г/л H_2SO_4 , температуре 35–45 °С и продолжительности 2 ч получено 78,6% для класса +1 мм и 79,4% для класса –1 мм. Это указывает на ограниченное влияние крупности в испытанном узком диапазоне при достаточно интенсивном режиме.

После удаления меди твёрдый остаток сохраняет золото и серебро. Испытания показали более высокую результативность цианирования по сравнению с глициновым выщелачиванием: извлечение золота достигало 84–88%, серебра — 42–60%. Такая последовательность требует тщательной промывки и нейтрализации кислого кека перед цианированием, отдельного оборота растворов и обязательного обезвреживания цианид-содержащих продуктов.

Перспективные технологии переработки. Промышленная схема должна учитывать неоднородность отвалов и различие между задачами быстрого извлечения и низкой себестоимости. Чановое выщелачивание обеспечивает высокую скорость и управляемость, но требует тонкого измельчения, большого реакторного объёма, фильтрации и повышенных капитальных затрат. Кучное выщелачивание проще масштабируется для миллионов тонн, однако зависит от проницаемости штабеля, гранулометрии, агломерации и продолжительности цикла.

Таблица 3.
Сравнение направлений переработки окисленных забалансовых руд

Технология	Преимущества	Ограничения	Рациональная область применения
Кучное выщелачивание	Низкие капитальные затраты на единицу руды; большой масштаб	Длительный цикл; каналообразование; чувствительность к шламам	Бедные проницаемые руды после дробления и агломерации
Чановое выщелачивание	Высокая скорость; контроль pH, температуры и аэрации	Тонкое измельчение; реакторы; фильтрация; высокий расход энергии	Более богатые и труднорастворимые селективные партии
Флотация окисленных минералов	Получение концентрата; возможность применения существующей инфраструктуры	Сложная реагентная схема; низкая селективность; хризоколлы; ошламование	Смешанные руды с заметной долей сульфидов
Комбинированная схема	Раздельное извлечение Cu, Au и Ag; гибкость по типам сырья	Несколько контуров растворов; сложный водный баланс	Усреднённое сырьё после геометаллургической классификации

Приоритеты дальнейшего развития

Инвентаризация и геометаллургическое картирование. Первым этапом должна стать актуализация объёма и качества каждого отвала. Требуется топографическая съёмка, бурение или систематическое опробование, определение влажности и насыпной плотности, фазовый анализ меди, минералогия, кислотопотребление и распределение золота и серебра. Простого среднего содержания недостаточно: проектирование должно опираться на трёхмерную модель технологических типов сырья.

Укрупнённые испытания и пилотный участок. Лабораторное извлечение подтверждает принципиальную возможность процесса, но не определяет промышленную экономику. Необходимы колонные и опытно-кучные испытания, тесты агломерации, измерение перколяции, укрупнённое чановое выщелачивание и полный материальный баланс. Пилотная программа должна установить удельный расход H_2SO_4 , воды и электроэнергии, накопление железа и алюминия в растворе, извлечение по времени и качество конечного продукта.

Получение товарной меди из растворов. Для продуктивных растворов перспективна схема жидкостной экстракции и электролиза SX–EW. Она позволяет отделить медь от части примесей, вернуть рафинат на выщелачивание и получить катодную медь. Возможность внедрения зависит от концентрации меди, кислотности, содержания железа, хлоридов и органических примесей. При менее концентри-

рованных растворах следует сравнить цементацию, сорбцию и другие способы концентрирования.

Вода, экология и рекультивация. Разработка отвалов должна проектироваться как экологический проект с управляемым водным балансом. Основание штабелей и площадки растворов должны исключать инфильтрацию, а ливневые и технологические воды — собираться и возвращаться в процесс. После извлечения металлов необходимо оценить кислотогенирующий потенциал остатка, устойчивость примесей и возможность технической рекультивации.

Интеграция с развитием АГМК. Расширение АГМК формирует инфраструктурные предпосылки для вовлечения вторичного минерального сырья. В 2024 г. началось строительство МОФ-4, проектная продукция которой оценивается в 146 тыс. т катодной меди, 13 т золота и 73 т серебра в год [5]. В марте 2026 г. введена первая очередь МОФ-3, рассчитанная на переработку 60 млн т руды и получение около 900 тыс. т медного концентрата в год [6]. Эти проекты ориентированы на крупномасштабное рудное производство, но созданные энергетические, транспортные, ремонтные и кадровые мощности могут поддержать отдельный гидрометаллургический комплекс для окисленных руд.

Таблица 4.
Предлагаемая последовательность освоения отвалов

Этап	Основные работы	Результат
Аудит сырья	Съёмка, опробование, фазовый анализ, 3D-модель	Достоверные запасы и технологические домены
Лабораторная программа	Кислотопотребление, кинетика, перколяция, извлечение Au и Ag	Диапазоны оптимальных режимов
Пилотные испытания	Опытная куча и укрупнённое чановое выщелачивание	Баланс металлов, воды, кислоты и примесей
ТЭО	Сравнение CAPEX, OPEX, производительности и экологических рисков	Выбор промышленной схемы
Очередное внедрение	Селективная выемка наиболее благоприятных участков	Снижение риска и раннее получение продукции
Масштабирование	Расширение мощности и интеграция оборотных растворов	Стабильная переработка техногенного сырья

Прямое смешение окисленного сырья с сульфидной рудой на флотационных фабриках целесообразно только после технологического подтверждения. Более обоснованным представляется выделение самостоятельного потока с собственными узлами дробления, агломерации или измельчения, выщелачивания, очистки растворов и получения меди.

Заключение:

1. История отвалов окисленных руд непосредственно связана с освоением верхней части Кальмакырского месторождения после начала строительства карьера в 1954 г. и ввода первой очереди в 1959 г.

2. Исторически забалансовый статус определялся требованиями флотационной технологии и экономикой своего времени. Современные гидрометаллургические методы позволяют пересмотреть промышленную ценность части складированного сырья.

3. Отвалы № 9 и № 39 содержат значительный объем руды и сопутствующие золото и серебро. До проектирования

необходимо сверить учётные показатели и создать геометаллургическую модель.

4. Минералогическая неоднородность, высокая доля кварца и глинисто-слюдястых минералов, а также сочетание окисленных и остаточных сульфидных фаз требуют разделения сырья на технологические типы.

5. Для массового бедного сырья наиболее масштабируемым направлением является кучное выщелачивание; чановый процесс целесообразно оценивать для более богатых или труднорастворимых селективных потоков.

6. Промышленное решение должно включать извлечение меди из растворов, обращение с золотосодержащим остатком, оборот воды, обезвреживание реагентов и рекультивацию переработанных отвалов.

7. Ближайшей практической задачей является создание пилотного участка и получение замкнутого материального баланса, на основании которого можно подготовить достоверное технико-экономическое обоснование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] АО «Алмалыкский ГМК». (n.d.). Рудоправление «Кальмакыр». Retrieved September 9, 2026, from Алмалыкский ГМК — Рудоправление «Кальмакыр»
- [2] Холикулов, Д. Б., Ниязметов, Б. Е., Бекбутаев, А. Н., & Гайратов, Б. Г. (2022). Исследование по извлечению меди из окисленных руд АО «Алмалыкский ГМК» агитационным серноокислотным выщелачиванием. *Universum: Технические науки*, (1[94]). Статья
- [3] Холикулов, Д. Б., и др. (2025). Оценка вещественного состава окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. Научная публикация. Статья
- [4] Турамурастов, И. Б., Усенов, Р. Б., Алматов, И. М., & Нурмухамедов, И. С. (2025). Исследование возможности гидрометаллургической переработки окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. *Обогащение руд*, (3). <https://doi.org/10.17580/or.2025.03.04>
- [5] Президент Республики Узбекистан. (2024, October 15). На Алмалыкском горно-металлургическом комбинате начато строительство 4-й медно-обоганительной фабрики. Официальный веб-сайт Президента Республики Узбекистан
- [6] Президент Республики Узбекистан. (2026, March 16). В Алмалыке запущена первая очередь новой медно-обоганительной фабрики. Официальный веб-сайт Президента Республики Узбекистан
- [7] Zhao, X. B., et al. (2017). The porphyry Cu–Au/Mo deposits of Central Eurasia. 2. The Almalyk (Kalmakyr–Dalnee) and Saukbulak Cu–Au porphyry systems, Uzbekistan. *Ore Geology Reviews*.
- [8] Liu, Y., et al. (2023). Contrasting apatite geochemistry between ore-bearing and ore-barren intrusions in the Kalmakyr porphyry Cu–Au deposit, Uzbekistan. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1162994. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1162994>
- [9] Санакулов, К. С. (2009). Перспективы переработки окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. *Горный вестник Узбекистана*, (3), 47–50.

- [10] Холикулов, Д. Б., Бекбутаев, А. Н., Ниязметов, Б. Е., & Нормуротов, Р. И. (2021). Переработка окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. In Техноген-2021: Труды V Конгресса с международным участием (pp. 132–135). УрО РАН.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Аскарлов, А. М., & Ларионов, С. В. (2026). История формирования и перспективы переработки окисленных забалансовых руд месторождения Кальмакыр. Цифровые технологии в промышленности, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.32>
