



## ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-07-130>

УДК 622.7.1

**Исследование лежалых отвалов бедной золотосодержащей руды горнодобывающего предприятия Golden Pride Project (GPP) в районе Нзэга, Танзания**Дж. Ширима<sup>1</sup> , А. Викидзи<sup>1</sup>  , А. В. Рассказова<sup>2</sup>   <sup>1</sup> Университет Дар-эс-Салама, регион Дар-эс-Салам, Танзания<sup>2</sup> Институт горного дела, обособленное подразделение Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация [annbot87@mail.ru](mailto:annbot87@mail.ru)**Аннотация**

Поиск альтернативных источников полезных минералов является достаточно актуальной проблемой. Одним из таких возможных источников является переработка бедных золотосодержащих руд, переработка которых ранее не представлялась привлекательной для недропользователей, вследствие чего из них формировались отвалы забалансовой руды. Переработка этих ресурсов становится востребованной на фоне роста цен и уровня технологий с течением времени. В данной статье представлен элементный и минералогический состав бедных золотосодержащих отвалов горного предприятия Golden Pride Project (GPP) в Танзании, в районе «Лихендо». В данном районе находится старый отвал бедной золотосодержащей руды (масса составляет примерно 1,4 млн т). Извлечение ценных компонентов из бедного минерального сырья является актуальным направлением в настоящее время. Для опробования отвалов был произведён отбор проб. Глубина бурения скважин составила 1 м, общая площадь опробования – 20 га; было отобрано 18 проб средней массой 3 кг. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа (РФА/XRF) показали, что в отобранных пробах присутствуют такие элементы, как Fe, S, Si, Ca, Mn, Cu, Al, Cr, Ti, As, Ag. Результаты рентгенофазового анализа (XRD) показали, что основными минералами в отвалах являются мусковит, каолинит, кварц, монтмориллонит и гетит. Среднее содержание золота в отобранных пробах составляет 0,72 г/т. Исследования гранулометрического состава и распределения золота по классам крупности после измельчения руды показали, что большая часть золота (74 %) находится в классе –75 мкм. В исходной минеральной массе отвалов доля класса крупности +30–50 мм составляет 81 %. В статье предложены возможные методы переработки бедных отвалов золотосодержащих руд. Одним из возможных методов переработки отвалов является измельчение минерального сырья, отделение класса –75 мкм и его прямое выщелачивание либо выщелачивание по технологии «уголь в пульпе». Наиболее перспективным с точки зрения технико-экономических показателей представляется метод кучного выщелачивания. Имеется положительный опыт применения данной технологии в отношении руд аналогичного минерального типа.

**Ключевые слова**

Golden Pride Project (GPP), рентгенофазовый анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, бедная золотосодержащая руда, характеристика руды, методы переработки

**Для цитирования**Shirima J., Wikedzi A., Rasskazova A.V. Investigation of old waste dump composition of lean gold-bearing ores from the Golden Pride Project (GPP) mining operation in Nzega district, Tanzania. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(1):5–11. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-07-130>



## BENEFICIATION AND PROCESSING OF NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS

Research paper

**Investigation of old waste dump composition of lean gold-bearing ores from the Golden Pride Project (GPP) mining operation in Nzega district, Tanzania**J. Shirima<sup>1</sup> , A. Wikedzi<sup>1</sup>  , A. V. Rasskazova<sup>2</sup>   <sup>1</sup> University of Dar es Salaam, Dar es Salaam Region, Tanzania<sup>2</sup> Mining Institute, Separate Division of Khabarovsk Federal research center of the Far Eastern branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation [annbot87@mail.ru](mailto:annbot87@mail.ru)**Abstract**

The search for alternative sources of useful minerals is a pressing issue. One such possible source is the processing of lean gold-bearing ores, which previously did not seem feasible to exploit for subsoil users, leading to their disposal in off-balance ore dumps. Processing these resources becomes economically viable as gold prices rise and processing technologies improve over time. This paper presents the elemental and mineralogical composition of lean gold-bearing ore dumps from the Golden Pride Project (GPP) mining operation in Tanzania's Lihendo district. This area contains an old dump of lean gold-bearing ores, weighing approximately 1.4 million tons. Extracting valuable components from lean mineral raw materials is a current priority. Sampling was conducted to study the dumps. Boreholes were drilled to a depth of 1 m, covering a total sampling area of 20 ha; 18 samples, each averaging 3 kg in weight, were collected. The results of X-ray fluorescence analysis (XRF) indicated the presence of Fe, S, Si, Ca, Mn, Cu, Al, Cr, Ti, As, and Ag in the collected samples. X-ray diffraction (XRD) analysis revealed that the main minerals in the dumps are muscovite, kaolinite, quartz, montmorillonite, and goethite. The average gold grade in the selected samples is 0.72 g/t. Studies of the grain-size distribution and gold distribution by grain-size classes after ore grinding demonstrated that the majority of gold (74%) is in the  $-75 \mu\text{m}$  class. In the initial mineral material of the dumps, the share of the  $+30-50 \text{ mm}$  grain-size class is 81%. The paper proposes potential methods for processing lean dumps of gold-bearing ores. One such method involves crushing the dump material, separating the  $-75 \mu\text{m}$  class, and subjecting it to direct leaching or leaching using "carbon-in-pulp" technique. Heap leaching appears to be the most promising method for extracting gold from such dumps in terms of technical and economic feasibility. Positive experience has been reported in applying this process to ores of similar mineralogical type.

**Keywords**

Golden Pride Project (GPP), X-ray phase analysis, X-ray fluorescence analysis, lean gold-bearing ore, ore characterization, processing methods

**For citation**Shirima J., Wikedzi A., Rasskazova A.V. Investigation of old waste dump composition of lean gold-bearing ores from the Golden Pride Project (GPP) mining operation in Nzega district, Tanzania. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(1):5–11. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-07-130>**Введение**

В современном мире промышленная революция вызвала повышенный спрос на полезные ископаемые, такие как золото, кобальт, никель, редкоземельные элементы, и элементы платиновой группы, такие как родий, осмий, палладий, рутений и иридий [1, 2]. Однако первичные запасы этих полезных ископаемых в мире ограничены и немногочисленны. Актуальным является поиск альтернативных источников полезных ископаемых [3]. Одним из таких возможных источников является переработка бедных золотосодержащих руд, переработка которых ранее не представлялась привлекательной для недропользователей, вследствие чего из них формировались отвалы забалансовой руды. Переработка этих ресурсов становится более актуальным вопросом за счет роста цен и уровня технологий с течением времени. Затраты на переработку бедных руд в настоящее время оправданы [1]. Методы оценки бортового содержания и эконо-

номической целесообразности проекта являются обязательными для принятия окончательного решения относительно эксплуатационных и экономических решений [4].

Извлечение золота из бедного минерального сырья актуально во многих регионах мира, что связано со снижением содержания золота в рудах текущей добычи вследствие первоочередной разработки более богатых и легкообогатимых руд [5]. Конкретными примерами являются рудник Риджуэй в Соединенных Штатах Америки, Симмерго, Эрго и Краун Сэнд в Южной Африке [6].

Несмотря на вовлечение в переработку низкосортной руды на различных предприятиях мира, у каждого месторождения есть свои проблемы, которые требуют частного технико-экономического обоснования [7]. Одними из ключевых моментов технико-экономического обоснования являются свойства самой руды. Характеристики руды определяют выбор

метода переработки, который оказывает непосредственное влияние на экономику процесса добычи полезных ископаемых, таких как золото [8, 9].

Целью данной статьи является исследование отвалов золотосодержащих бедных руд Golden Pride Project (GPP) по элементному, минералогическому и гранулометрическому составу. В статье даны рекомендации по возможному способу переработки бедного минерального сырья отвалов.

Golden Pride Project (GPP) был проектом по добыче золота в районе Нзеза в Танзании, в 25 км от города Нзеза. Карьер эксплуатировался с 1998 г. до закрытия в 2013 г.<sup>1</sup> За время работы проекта добыто 2,589 млн т руды и получено 169 тыс. унций золота. Запасы месторождения оцениваются в 5,79 млн т руды (категория А – 2,04 млн т, категория В – 3,75 млн т со средним содержанием 2 г/т). Месторождение отрабатывалось открытой системой разработки. Основным методом извлечения золота являлось сорбционное выщелачивание с применением в качестве сорбента активированного угля (уголь в пульпе).

Рудная область представляет ряд слоев основных вулканитов, вулканокластических отложений, полосчатых железистых образований и интрузивных порфиров, прорванных поздними гранитами. Район имеет сложное строение с рядом мощных структур северного простирания, подчеркнутых поздними долеритовыми дайками и более тонкими структурами северо-западного и северо-восточного простирания. Разведка в этом регионе выявила два основных типа минерализации:

– золотокварцевую жильную минерализацию с высоким содержанием золота с обширными карбо-

нат-кремнистыми изменениями и пиритовыми прожилками;

– обширную минерализацию с низким вкрапленным содержанием золота, расположенную в северо-восточной сдвиговой системе Канегеле.

Именно ко второму типу минерализации относятся руды Golden Pride Project (GPP).

На протяжении всего срока эксплуатации месторождения бортовое содержание золота составляло приблизительно 2 г/т<sup>2</sup>. Минеральное сырье, содержание золота в котором было ниже 2 г/т, складировалось и использовалось для шихтования, либо отправлялось на отвал пустой породы, поскольку его переработка не была рентабельной [10–12]. Однако с ростом цен на золото и развитием методов переработки этот материал может быть пригодным для повторной переработки. Особый интерес представляют отвалы в округе Лихендо. Ранее выполненная оценка установила, что в данном районе содержится около 1,4 млн т золото-содержащей руды с содержанием золота 1,37 г/т, что действительно требует дальнейшей оценки возможности переработки руды.

## Материалы и методы

### 1. Материалы

Первым этапом отбора проб было разделение всей площади Лихендо в Танзании (130 га) с помощью Expert GPS Pro версии 7. После этого пробы были отобраны на пересечении вертикальной и горизонтальной линий сетки на площади 20 га (внутри области, обведенной линией на рис. 1 с помощью навигатора «Germin GPS, Montana 680t»).

<sup>1</sup> Report of the Presidential Mining Review Committee to Advise the Government on Oversight of the Mining Sector. 2008. URL: [https://www.policyforum-tz.org/sites/default/files/BomaniReport-English\\_0.pdf](https://www.policyforum-tz.org/sites/default/files/BomaniReport-English_0.pdf) [Accessed: January 2023].

<sup>2</sup> Developing the golden opportunity, GPP Annual Report. 2004. URL: [https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/R/ASX\\_RSG\\_2004.pdf](https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/R/ASX_RSG_2004.pdf) [Accessed: January 2023].

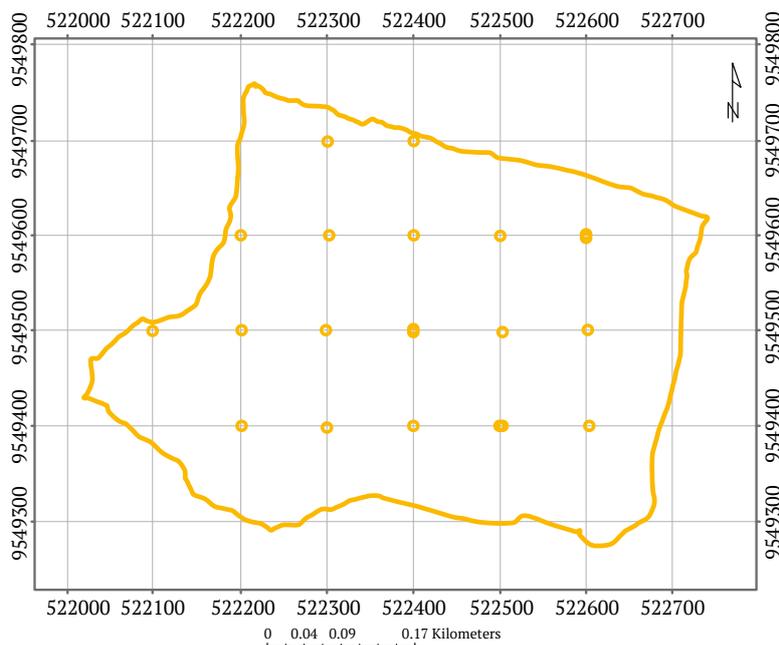


Рис. 1. Схема точек отбора проб в районе Лихендо (UTM)



Всего было отобрано 18 проб (табл. 1) из скважин глубиной 1 м, в сумме примерно 54 кг проб. Координаты точек отбора проб в формате долготы и широты (формат Arc1960) представлены в табл. 1.

## 2. Методы

### 2.1. Подготовка проб

Первоначально образцы сушили в печи при 105 °С в течение 1 ч для удаления влаги. Три пробы были объединены в единую технологическую пробу и измельчены до –2 мкм, а затем и разделены с помощью роторного делителя (Serog 040J-001 24) на 6 образцов каждый весом приблизительно 9 кг. Скорость вращения роторного делителя 0,5 об/с. От каждого из 9-килограммовых образцов отбирали 0,5-килограммовый образец для рентгеноструктурного анализа. Для рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализов были отобраны образцы массой 1 кг.

### 2.2. Химический и минералогический анализ

Прежде чем выбрать какой-либо метод переработки полезных ископаемых, который напрямую определяет экономику проекта, важно провести элементный и минералогический анализ. В этом исследовании элементный состав был определен с использованием рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА, прибор HITACHI-X MET 8000). Для идентификации Si, P, Al и Mg использовался режим MINING LE, в то время как MINING MODE использовался для идентификации остальных элементов. Продолжительность всех анализов составила 120 с на образец.

Определение минеральных фаз проводилось с использованием Bruker AXS D2 PHASER XRD производства Германии (модель A26-X1-A2B0D2C). Для идентификации этих фаз генератор XRD работал при напряжении 30 кВ и токе 10 мА с использованием медного анода.

### 2.3. Ситовой анализ

Исследователи обнаружили, что большая часть частиц золота высвобождается, когда руда измельчается примерно до 50–80 % класса –75 мкм [13, 14]. В данном исследовании была использована аналогичная методология. Образец весом около 1 кг измельчали до

50 % класса –75 мкм [14]. Образец просеивали в сухом виде в течение примерно 15 мин с последующим анализом золота на ситах каждого размера с использованием атомно-абсорбционного спектрометра (ААС).

## Результаты

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа шести образцов показали, что элементный состав отвалов весьма равномерный (рис. 2). Статистически с доверительной вероятностью 95 % элементный состав исследованных образцов является представительным. Результаты элементного состава отвалов следующие: Fe – 7,61, S – 0,22, Si – 10,74, Ca – 0,61, Mn – 0,04, Cu – 0,01, Al – 2,69, Cr – 0,025, Ti – 0,49, As – 0,04 % (масс), Au – 0,72 г/т, Ag – 0,06 г/т. Ценными металлами являются Ag и Au, а основным неметаллом является Si. Проба характеризуется низким содержанием серы и мышьяка, а также кальция, марганца, меди хрома и титана.

Рентгенофазовый анализ показывает, что минеральные фазы, присутствующие в образце, представляют собой кварц, биотит, каолинит, монтимориллонит, гетит, куприт и мусковит (рис. 2).

Основными минералами с процентным содержанием более 10 % являются мусковит, каолинит и кварц. Второстепенными фазами, доля которых по массе составляет менее 10 %, являются биотит, монтимориллонит и гетит (табл. 2).

Изучение распределения золота проводилось ситовым анализом с размерами сит 75, 106, 125 и 150 мкм. Результаты этого анализа показали, что руда имеет унимодальное распределение, при этом большая часть золота находится в тонкой фракции –75 мкм, как указано в табл. 3.

Для определения гранулометрической характеристики исходного материала отвалов бедной золотосодержащей руды был выполнен ситовый анализ минерального сырья. Для выполнения анализа были использованы сита с размером отверстий от 15 до 50 мм. Результаты распределения частиц по размерам (рис. 3) показывают, что только 0,4 % материала характеризуется крупностью менее 20 мм, в то время как большинство частиц (81 %) имеют крупность +30–50 мм.

Таблица 1

Точки отбора (в формате Arc1960)

Координаты точки	Широта	Долгота	Координаты точки	Широта	Долгота
1	4°4'31"	33°12'0"	10	4°4'24"	33°11'57"
2	4°4'28"	33°12'0"	11	4°4'21"	33°11'57"
3	4°4'24"	33°12'0"	12	4°4'41"	33°11'54"
4	4°4'21"	33°12'0"	13	4°4'38"	33°11'54"
5	4°4'41"	33°11'57"	14	4°4'34"	33°11'54"
6	4°4'38"	33°11'57"	15	4°4'31"	33°11'54"
7	4°4'34"	33°11'57"	16	4°4'28"	33°11'54"
8	4°4'31"	33°11'57"	17	4°4'24"	33°11'54"
9	4°4'28"	33°11'57"	18	4°4'21"	33°11'54"

**Обсуждение**

По результатам рентгенофазового анализа в бедных золотосодержащих отвалах преобладают оксиды и силикаты. По данным минералогического анализа минеральную массу можно отнести к золотокварцевому типу. Причем, судя по содержанию мусковита, минеральное сырье является метасоматизированным. Незначительное количество сульфидных мине-

ралов не оказывает влияния на возможные процессы выщелачивания [15, 16]. Результаты РФА показали, что содержание как меди, так и серы было ниже 0,05 и 0,5 % соответственно. Медь является цианисидом, элементом, вступающим во взаимодействие с цианидом при выщелачивании золота и обуславливающим его повышенный расход, но в исследуемом минеральном сырье не прогнозируется ее негативное влияние.

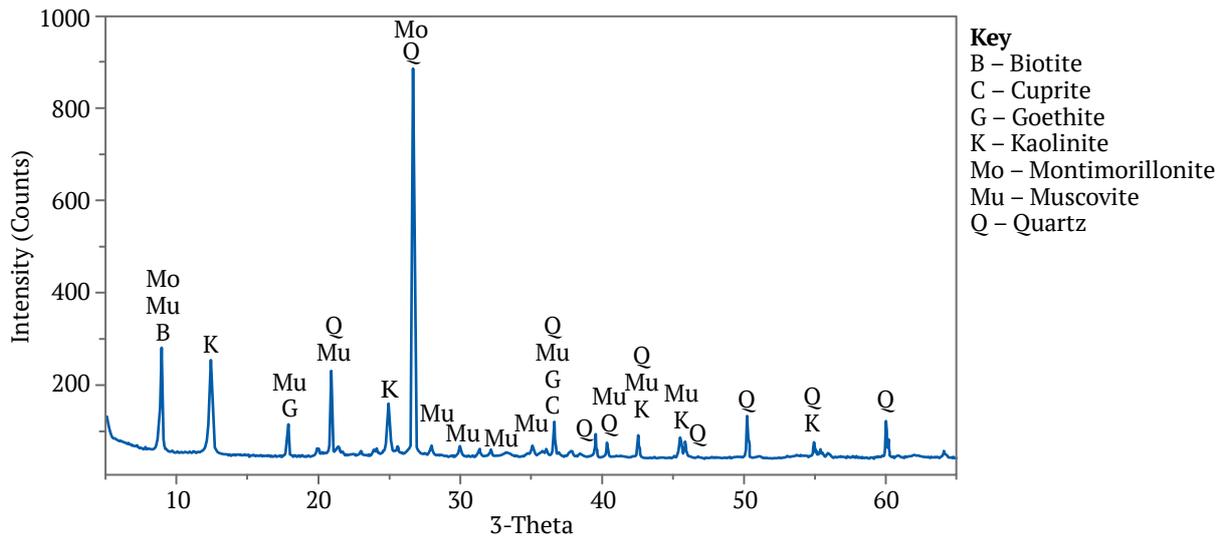


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ (XRD) и основные минеральные фазы

Таблица 2

Основной минералогический состав пробы

Минерал	Массовая доля, %
Мусковит	37,66
Кварц	28,03
Каолинит	27,77
Биотит	3,89
Гетит	1,44
Монтмориллонит	0,89
Остальные минералы	0,32
<b>Итого</b>	<b>100</b>

Таблица 3

Распределение золота по гранулометрическим фракциям

Класс крупности, мкм	Выход фракции, %	Содержание золота в классе крупности, г/т	Распределение золота, %
+150	11,49	0,07	3,39
+125-150	23,41	0,05	4,93
+106-125	44,21	0,08	14,91
+75-106	6,61	0,10	2,79
-75	14,27	1,23	73,99
<b>Итого</b>	<b>100,00</b>	<b>0,24</b>	<b>100,00</b>

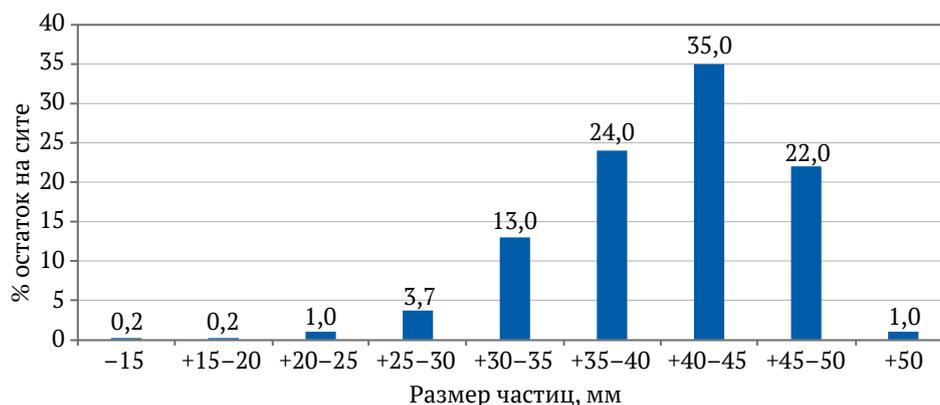


Рис. 3. Гранулометрический состав отвала бедной золотосодержащей руды



В исследуемом материале обнаружено примерно 28 % каолинита, который может проявлять сорбционные свойства относительно золото-цианидных комплексов, образовавшихся при выщелачивании. Также возможны ухудшения фильтрационных свойств минерального сырья вследствие высокого содержания каолинита. Фильтрационные свойства минерального сырья важны в процессах кучного и подземного выщелачивания.

Более того, в настоящем исследовании установлено, что среднее содержание золота составило 0,72 г/т, ранние исследования сообщали о более высоком содержании 1,37 г/т<sup>3</sup>. Отличие от предыдущих результатов может быть связано с тем, что предыдущее исследование включало образцы только из 7 точек отбора, также важным моментом является глубина отбора проб<sup>4</sup>.

Можно рассматривать технологию кучного выщелачивания как один из перспективных вариантов обработки запасов. Низкие содержания золота (0,72 г/т) обуславливают необходимость низких капитальных и эксплуатационных затрат при извлечении ценных компонентов [17]. Прибыль от реализации золота, добытого методом кучного выщелачивания, может на порядок превышать прибыль от реализации золота, полученного по фабричной технологии. Крупность материала отвалов +25 мм, что соответствует требованиям, предъявляемым для кучного выщелачивания. Возможно потребуются дополнительные операции по окомкованию, для уточнения требуются технологические исследования.

Известен положительный опыт кучного выщелачивания золотокварцевых руд месторождения Майское (Хакасия, Российская Федерация). На рудах данного месторождения удалось достигнуть извлечения 73–86 %. Золотокварцевые руды после дробления

до –10 мм окомковывались, укладывались в штабель и орошались цианидным раствором. Из продуктивных растворов золото осаждалось цементацией на цинковую стружку. После кислотной обработки осадков (золото-цинковых шламов) и обжига получали металл в слитках [18].

### Заключение

В данной работе исследованы бедные золотосодержащие отвалы из района Лихендо в округе Нзеза, Танзания. Присутствие глинистых минералов, таких как каолинит, может усложнить фильтрационные процессы при применении метода кучного выщелачивания. Кроме того, глинистые минералы способны проявлять сорбционную активность по отношению к извлеченным золотоцианидным комплексам в результате выщелачивания.

Минимально необходимая крупность минерального сырья для агитационного выщелачивания составляет 80 % класса –75 мкм. Существует множество проектных решений, где крупность выщелачиваемого материала ниже [19]. Исходя из минералогии и элементного анализа вероятным методом гидрометаллургической обработки является агитационное выщелачивание, в том числе в режиме уголь в пульпе. Установлено, что в измельченном до необходимой для агитационного выщелачивания крупности минеральном сырье 74 % золота приходится на фракцию –75 мкм. В связи с этим целесообразным способом переработки может быть дробление, измельчение, отделение мелкой фракции на гидроциклонах. Фракция размером –75 мкм может быть переработана прямым выщелачиванием (или в режиме уголь в пульпе). Таким образом уменьшается доля руды, подвергаемой выщелачиванию (что уместно, так как 74 % золота приходится на фракцию –75 мкм, выход которой составляет 14,27 %). Несмотря на техническую реализуемость предложенного выше варианта практически применимым методом с точки зрения экономических показателей является кучное выщелачивание. Руды аналогичного золотокварцевого типа демонстрируют извлечение золота порядка 70–80 %.

<sup>3</sup> Developing the golden opportunity, GPP Annual Report. 2004. URL: [https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/R/ASX\\_RSG\\_2004.pdf](https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/R/ASX_RSG_2004.pdf) [Accessed: January 2023].

<sup>4</sup> Ibid.

### Список литературы / References

1. Araya N., Kraslawski A., Cisternas L. A. Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings. *Journal of Cleaner Production*. 2020;263:121555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121555>
2. Hlabangana N., Bhebhe S., Mguni N.G., et al. Optimisation of the leaching parameters of a gold ore in sodium cyanide solution. *International Journal of Engineering Research and Reviews*. 2018;6(1):1–10.
3. Tilton J.E. Is mineral depletion a threat to sustainable mining? *SEG Newsletter*. 2010. URL: [http://inside.mines.edu/UserFiles/File/economicsBusiness/Tilton/Sustainable\\_Mining\\_Paper.pdf](http://inside.mines.edu/UserFiles/File/economicsBusiness/Tilton/Sustainable_Mining_Paper.pdf) [Accessed: January 2023].
4. Nieto A., Muncher B. An applied economic assessment and value maximization of a mining operation based on an iterative cut-off grade optimization algorithm. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2021;12(4):309–326. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2021.121330>
5. Александрова Т.Н. Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы. *Записки Горного института*. 2022;256:503–504. Aleksandrova T.N. Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and technogenic origin: state and prospects. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:503–504.
6. Marsden J.O. Overview of gold processing techniques around the world. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2006;23(3):121–125. <https://doi.org/10.1007/BF03403198>



7. Gorain B., Lakshmanan V.I., Ojaghi A. Ore body knowledge. In: Lakshmanan V., Gorain B. (eds.) *Innovations and Breakthroughs in the Gold and Silver Industries: Concepts, Applications and Future Trends*. NY: Springer International Publishing; 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32549-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32549-7_2)
8. Baum W. Ore characterization, process mineralogy and lab automation a roadmap for future mining. *Minerals Engineering*. 2014;60:69–73. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.11.008>
9. Nayak A., Ashrit S., Jena M.S., et al. Mineralogical characterization for selection of possible beneficiation route for low-grade lead-zinc ore of Rampura Agucha, India. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2020;73(3):775–784. <https://doi.org/10.1007/s12666-020-01887-y>
10. Asad M.W.A. Cutoff grade optimization algorithm with stockpiling option for open pit mining operations of two economic minerals. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 2005;19(3):176–187. <https://doi.org/10.1080/13895260500258661>
11. Azimi Y., Osanloo M., Esfahanipour A. An uncertainty based multi-criteria ranking system for open pit mining cut-off grade strategy selection. *Resources Policy*. 2013;38(2):212–223. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.01.004>
12. Kalitenge D. Cut-off Grade Optimization in Open-pit Mines Considering Two Processing Streams and Rehabilitation Cost. [Master of Science Thesis]. 2021. URL: <https://era.library.ualberta.ca/items/Oedd2e0d-a615-4243-9cbc-f8e1b2dde87e/download/601fca24-42e9-4b65-8215-320d35dd8695> [Accessed: October 2023]
13. Kondos P.D., Deschênes G., Morrison R.M. Process optimization studies in gold cyanidation. *Hydrometallurgy*. 1995;39(1–3):235–250. [https://doi.org/10.1016/0304-386x\(95\)00032-c](https://doi.org/10.1016/0304-386x(95)00032-c)
14. Coetzee L.L., Theron S.J., Martin G.J., et al. Modern gold departments and its application to industry. *Minerals Engineering*. 2011;24(6):565–575. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.09.001>
15. Dadgar A. Refractory concentrate gold leaching: Cyanide vs. bromine. *The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*. 1989;41(12):37–41. <https://doi.org/10.1007/BF03220846>
16. Mwangi A. *The design of a mobile concentrator plant for gold extraction from Tailings in Tanzania*. 2010. URL: [https://www.academia.edu/en/71531220/The\\_design\\_of\\_a\\_mobile\\_concentrator\\_plant\\_for\\_gold\\_extraction\\_form\\_tailings\\_in\\_Tanzania](https://www.academia.edu/en/71531220/The_design_of_a_mobile_concentrator_plant_for_gold_extraction_form_tailings_in_Tanzania) [Accessed: January 2023].
17. Rasskazova A.V. Leaching of base gold-bearing ore with chloride-hypochlorite solutions. In: *IMPC 2018 – 29<sup>th</sup> International Mineral Processing Congress*. Moscow, September 17–21, 2018. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum; 2019. Pp. 4093–4098.
18. Гудков С.С., Дементьев В.Е., Дружина Г.Я. *Кучное выщелачивание золота и серебра*. Иркутск: ОАО Иргиредмет; 2004. 352 с.  
Gudkov S.S., Dementyev V.E., Druzhina G.Ya. *Heap leaching of gold and silver*. Irkutsk: JSC Irgiredmet; 2004. 352 p. (In Russ.)
19. Marsen J.O., House C.I. *The chemistry of gold extraction*. House Ellis-Horwood: Chichester; 1992.

### Информация об авторах

**Джексон Ширима** – аспирант, Университет Дар-эс-Салама, регион Дар-эс-Салам, Танзания; ORCID [0000-0001-6206-0306](https://orcid.org/0000-0001-6206-0306); e-mail [jackson1rustus@gmail.com](mailto:jackson1rustus@gmail.com)

**Альфонсе Викидзи** – кандидат технических наук, ведущий исследователь, Университет Дар-эс-Салама, регион Дар-эс-Салам, Танзания; ORCID [0000-0003-3063-8550](https://orcid.org/0000-0003-3063-8550), Scopus ID [57189371148](https://scopus.com/authorid/57189371148); e-mail [alrho20012001@gmail.com](mailto:alrho20012001@gmail.com)

**Анна Вадимовна Рассказова** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела, обособленное подразделение Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6998-8120](https://orcid.org/0000-0002-6998-8120), Scopus ID [36661516800](https://scopus.com/authorid/36661516800), ResearcherID [K-6384-2015](https://orcid.org/K-6384-2015); e-mail [annbot87@mail.ru](mailto:annbot87@mail.ru)

### Information about the authors

**Jackson Shirima** – PhD-Student, University of Dar es Salaam, Dar es Salaam Region, Tanzania; ORCID [0000-0001-6206-0306](https://orcid.org/0000-0001-6206-0306); e-mail [jackson1rustus@gmail.com](mailto:jackson1rustus@gmail.com)

**Alphonse Wikedzi** – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, University of Dar es Salaam, Dar es Salaam Region, Tanzania; ORCID [0000-0003-3063-8550](https://orcid.org/0000-0003-3063-8550), Scopus ID [57189371148](https://scopus.com/authorid/57189371148); e-mail [alrho20012001@gmail.com](mailto:alrho20012001@gmail.com)

**Anna V. Rasskazova** – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Mining Institute, Separate Division of Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6998-8120](https://orcid.org/0000-0002-6998-8120), Scopus ID [36661516800](https://scopus.com/authorid/36661516800), ResearcherID [K-6384-2015](https://orcid.org/K-6384-2015); e-mail [annbot87@mail.ru](mailto:annbot87@mail.ru)

**Поступила в редакцию** 05.07.2023  
**Поступила после рецензирования** 17.11.2023  
**Принята к публикации** 20.11.2023

**Received** 05.07.2023  
**Revised** 17.11.2023  
**Accepted** 20.11.2023