

Рудоподготовка при потоке балансовой, эксплуатационной и товарной руды золоторудного месторождения Джамгыр

Н.Н. Ермошкин¹, Д.Н. Ермошкин², К.З. Курманалиев³✉, В.А. Мансуров⁴

¹ Global Jamgir Mining, г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Global Asia Management, г. Бишкек, Кыргызская Республика

³ Геолэкспертпроект, г. Бишкек, Кыргызская Республика

⁴ Vertex Gold Co, г. Бишкек, Кыргызская Республика

✉grfgeology@gmail.com

Резюме: Руды месторождения Джамгыр (Кыргызская Республика) вследствие структурно-морфологических особенностей при добычных работах подвержены разубоживанию свыше 54%. Эксплуатационная руда при рудоподготовке восстанавливается до 96–99% первоначальных показателей в недрах (балансовых). Низкая себестоимость подготовки товарной руды позволяет использовать увеличенные размеры очистного пространства до 2,5–3 м и внедрить высокопроизводительные и низкочастотные системы разработки с выходом на производительность свыше 500–600 тыс. т руды в год (эксплуатационной). Приведены результаты внедрения сенсорной сортировки руды, при которой обеспечивается отсеивание до 40% пустых интервалов, развитых в разведочном контуре. Вследствие этого прогнозируется среднее содержание золота в руде выше балансовой оценки при разведочных работах. При дальнейших исследованиях возможно изменение методики оценки этого параметра при подсчете запасов.

Ключевые слова: рудоподготовка, грохочение, сенсорная сортировка, балансовая сортировка, эксплуатационная сортировка, товарная руда

Для цитирования: Ермошкин Н.Н., Ермошкин Д.Н., Курманалиев К.З., Мансуров В.А. Рудоподготовка при потоке балансовой, эксплуатационной и товарной руды золоторудного месторождения Джамгыр. *Горная промышленность*. 2023;(1):101–108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-101-108>

Ore dressing for the balance, mined and merchantable ores at the Jamgyr gold deposit

N.N. Ermoshkin¹, D.N. Ermoshkin², K.Z. Kurmanaliev³✉, V.A. Mansurov⁴

¹ Global Jamgir Mining, Bishkek, Kyrgyz Republic

² Global Asia Management, Bishkek, Kyrgyz Republic

³ Geolekspertproekt LLC, Bishkek, Kyrgyz Republic

⁴ Vertex Gold Co, Bishkek, Kyrgyz Republic

✉grfgeology@gmail.com

Abstract: Ores of the Jamgyr deposit (Kyrgyz Republic) are subject to dilution of over 54% during mining due to the structural and morphological features of the deposit. The mined ore is restored to 96–99% of the reserve (balance) grade as the result of ore dressing. The low cost of the merchantable ore dressing makes it possible to use larger stoping zones increased up to 2.5–3 m and introduce high-performance and low-cost mining methods with the output above 500–600 thousand tonnes of mined ore per year. The paper presents the results of introducing the sensor-based ore separation, which ensures removal of up to 40% of the gangue rock present in the country rock layers within the explored zones. As a consequence, the average gold content of the ore is predicted to be higher than the balance estimate obtained during the exploration phase. Future studies may change the methodology for estimating this parameter when calculating the reserves.

Keywords: ore dressing, screening, sensor-based separation, balance separation, operational separation, merchantable ore

For citation: Ermoshkin N.N., Ermoshkin D.N., Kurmanaliev K.Z., Mansurov V.A. Ore dressing for the balance, mined and merchantable ores at the Jamgyr gold deposit. *Russian Mining Industry*. 2023;(1):101–108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-101-108>

Введение

Разведка и эксплуатация месторождения Джамгыр в рамках разведочно-эксплуатационного комплекса выполняются с 2010 г. Балансовые запасы на 2022 г. по 13 рудным телам и оценочные ресурсы по 23 рудным телам по категориям C₁ + C₂ + P₁ составили 8,1 млн т руды балансовой (или 16,2 млн т эксплуатационной), запасы 66,7 т золота с содержанием 8,47 г/т. При разработке рудника Джамгыр пришлось столкнуться со следующими основными проблемами:

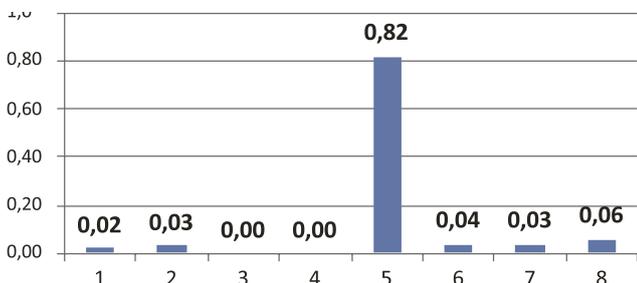
- разубоживание, превышающее 50%, за счет вторичного отслаивания вмещающей жильной и породной массы и внутриконтурных безрудных прослоек оруденения;
- использование системы очистных работ с открытым очистным пространством с магазинированием руды не позволяет превысить производительность 250–300 тыс. т руды в год; горизонт планирования – до 50 лет;
- высокие удельные затраты на переработку руды с более чем 50%-ной примесью пустых пород в горной массе эксплуатационной и товарной руды.

Целью исследования является обоснование геотехнологий подготовки товарной руды с обеспечением роста производительности отработки месторождения Джамгыр.

Характеристика балансовых руд

Балансовая руда месторождения Джамгыр залегает в золото кварцевых жилах и прожилках мощностью от 0,2 до 1,2 м. Отмечается тенденция снижения средней мощности до 0,6 м на нижних горизонтах рудника. По простиранию и падению залежи распространены от 10–20 до 60–80 м. Золото кварцевые жилы, в свою очередь, приурочены к жильным зонам в пределах разломов. Определяются четыре генерации кварца, три из них рудолокализирующие. Зальбанды кварцевых жил представлены слабоизмененными окварцованными, брекчированными гранитами. Мощность жильных тел составляет от 0,8 до 2,2–2,6 м, в среднем 1,4 м. Золото в кварцевых жилах – свободное крупное (более 42% размерностью свыше 0,2 мм). В сульфидах нитевидное золото находится в количествах не более 3–4%.

По результатам обработки тысяч проб установлена приуроченность оруденения к породам жильной зоны, горизонт 3207 м (рис. 1).



- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Гранит слабо измененный | 6 Карбонаты |
| 2 Гранит, брекчиров. кальцитом | 7 Брекция кварц-карбоната |
| 3 Дайка основного состава | 8 Гидротермально- измененные граниты |
| 4 Кварц-1 | |
| 5 Кварц-2-3-4 | |

Рис. 1
Частота приуроченности золота к вмещающим жильным породам

Fig. 1
Frequency of gold confinement to matrix rocks

При анализе более 10 тыс. бороздовых проб разведанных рудных тел по 6 горным горизонтам от 3407 до 3007 м (горные этажи 60 и 40 м) было определено, что золото от 65% случаев в приповерхностных условиях до 95–98% на глубину локализуется и контролируется жильным кварцем. От 4 до 6% золота находится в зальбандах кварцевых жил в зоне тонкого прожилкового окварцевания во вмещающей жильной массе брекчированных и окварцованных гранитов.

Вмещающие оруденение жильные тела сосредоточены в разломной зоне. Они состоят из измененных и не измененных окварцеванием гранитов брекчий. Современными тектоническими процессами разломы подновляются с высокой степенью дробления и развитием весьма густой трещиноватости. Золото по классам микрограмм на тонну руды (м · гр/т) до 75% приурочены к классам 0,8–256,0 м · гр/т. Убогие классы составляют 19–24%, до 3% руды приходится на бонанцевые классы (рис. 2).

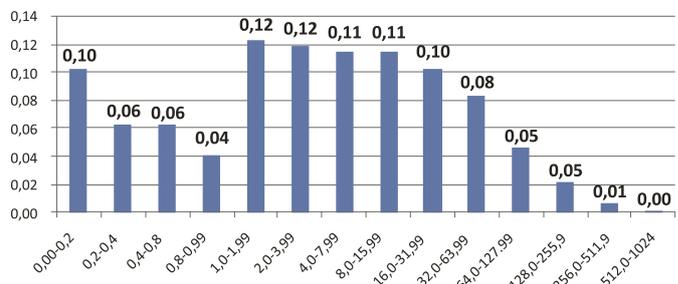


Рис. 2
Распределение по частоте классов м · гр/т, рудное тело №2 бис

Fig. 2
Distribution of the m*gr/t grades by frequency, ore body No.2 bis

Влияние данных классов м · гр/т на формирование запасов золота в рудном теле определяется преобладанием классов с высоким содержанием при резко подчиненном значении убогих и бедных классов (рис. 3) [1–3].

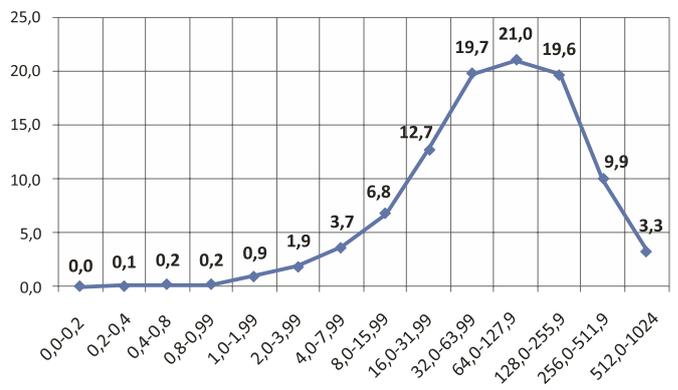


Рис. 3
Распределение запасов золота по м · с, %, по классам в рудном теле №2 бис

Fig. 3
Distribution of gold reserves by m*s (%) by grades in ore body No.2 bis

Высокие качества богатой руды месторождения, рис. 3, при очистных работах во многом теряются (табл. 1).

**Эксплуатационная руда.
Разубоживание**

Разведочные и добычные параметры запасов балансовой и эксплуатационной (товарной) руды за период 2010–2017 гг. представлены в табл. 1.

Таблица 1
Сопоставление параметров балансовой и эксплуатационной руды

Table 1
Comparison of the balance and mined ore characteristics

Параметры	Балансовые запасы	Объемы добычи
Руда, тыс. т	209	519,7
Среднее содержание, г/т	18,49	5,89
Золото, кг	3856,7	3059

Резкое снижение качества руды в результате разубоживания в значительной мере сокращает показатели извлечения (90,2%) и более чем в два раза увеличивает удельные эксплуатационные затраты на добычные и технологические работы при извлечении.

Внедрение систем со снижением разубоживания, к примеру, слоевой почвоуступной закладкой или без нее, кроме роста удельных затрат ведет к значительному (до 20%) снижению производительности. Существующая производительность при использовании системы с мажанированием не превышает 6,9 т на проходчика в смену.

На рис. 4 представлена типичная схема жильного и рудного тела при очистных работах, вследствие вторичного отслаивания зальбандов рудного тела до границ жильного тела в разломе.

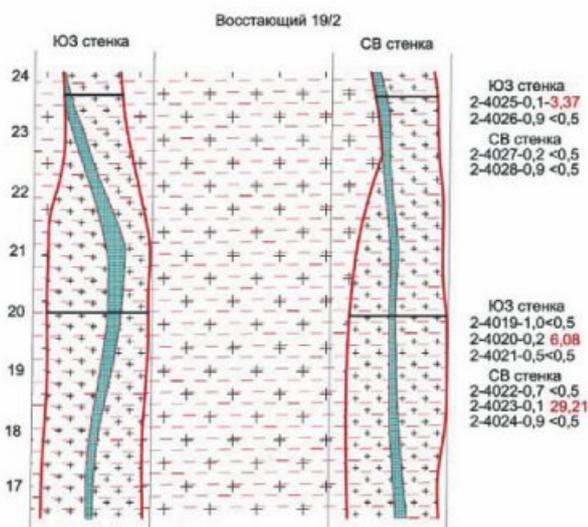


Рис. 4
Золото-кварцевая продуктивная жила в жильном теле

Fig. 4
Gold-quartz productive vein within the vein-shaped body

На 2022 г. по балансу ГКЗ КР на месторождении значатся 2610,7 тыс. т руды, 22120,5 кг золота с содержанием 8,47 г/т, что в эксплуатационном выражении при существующей системе работ составляет 5,4 млн т руды с содержанием 4,1 г/т (при разубоживании в 54%). С учетом прогнозных ресурсов по руде свыше 16,2 млн т применяемая геотехнология разработки месторождения в части параметров

эксплуатационной руды не обладает достаточной эффективностью и обуславливает риски потерь при переходе в забалансовые ресурсы бедных и рядовых руд (до 8% ресурсов).

Технология рудоподготовки

Изучение и исследование характеристик руд опираются на развитие дискретных закономерностей, которые учитывают размерность приуроченности руды к фракциям [4].

Садовский М.А. [4] описал масштабированную иерархию блоков от планетарного до уровня отдельностей разрыхленной почвы (рис. 5). Результаты исследования блочности структуры месторождения Джамгыр до подсистемы «естественной кусковатости» руды представлены на рис. 6.

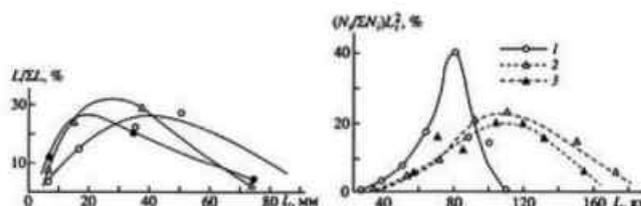


Рис. 5
Распределение по размерам отдельностей песчано-гравийной почвы (Садовский М.А.) и отдельностей блоков земной коры [4]

Fig. 5
Size distribution of sand-gravel soil (Sadovskiy M.A.) and crustal block particles [4]

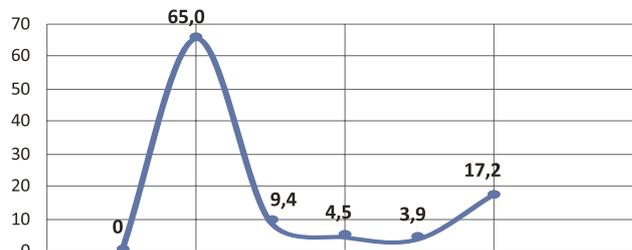


Рис. 6
Распределение размерности кусков руды месторождения Джамгыр по фракциям, %

Fig. 6
Size distribution of the ore lumps of the Jamgyr deposit by fractions (%)

На основе приуроченности кварцевых обломков руды в горной массе эксплуатационной руды изучены и обоснованы приемы подготовки товарной руды методами грохочения и сенсорной сортировки [3; 5–7].

Подготовка товарной руды. Грохочение

При очистных работах по рудным телам формируется первичное (безрудные перерывы) и вторичное сейсмическое, формируемое буровзрывными работами, отслаивание породной массы, представляющее вторичное разубоживание. Неконтролируемые вывалы боковых вмещающих пород также увеличивают объемы отбитой горной массы в 2,1–2,4 раза. Разубоживание составляет 54–58%, достигая 60%.

Жильный кварц обладает отличными физико-механическими свойствами по сравнению с вмещающими гранитами. В жильных зонах разломов кварцевые жилы дробятся, в большей степени представляя естественную кусковатость [4–6; 8].

Проведенными исследованиями установлено распре-

деление отбитой руды по размерным фракциям (табл. 2). Эксплуатационная руда характеризуется средним содержанием золота 4,97 г/т (балансовая руда 9,16 г/т). Уровень минимально-промышленного содержания в недрах составляет 3,43 г/т (для добытой товарной руды – 1,85 г/т).

Таблица 2
Распределение фракций отбитой руды

Класс крупности, мм	Масса, кг	Удельный вес от общей массы, %	Содержание золота, г/т
-50	11080	64,98	6,61
+50-100	1597,5	9,37	6,40
+100-150	767,5	4,50	0,65
+150-200	667	3,91	0,81
+200	2940	17,24	< 0,5
Σ	17052	100	4,97

Наблюдениями установлена концентрация кварцевой руды в классах размерностью до -100 мм. Подавляющая часть разубоживающей породной массы – гранитов – фиксируется в классах крупностью свыше +100 мм. В процессе дальнейших исследований планируется уточнить границу распределения руды и породы с детализацией по классам размерности и содержанию золота (отвалы хвосты извлечения составляют 0,43 г/т).

Прогнозируемая минимальная граница отсечения пустой горной массы от кварцевой руды составляет 26% [9]. Установлено, что рудоподготовка и обогащение руды на основе сенсорной технологии имеют значительные перспективы для руд месторождения Джамгыр [6-8; 10-13].

Описание технологии и результатов исследований

Ниже приведено описание сенсорной технологии рудоподготовки и используемого при этом оборудования.

Машина Steinert состоит из питателя, конвейерной ленты, зоны обнаружения, оснащенной рентгеновским просвечиванием, лазерными, цветовыми и индукционными датчиками. Разбрасыватель состоит из форсунок, предназначенных для охвата всей рабочей ширины конвейерной ленты, а для отделения кусков горной массы используется сжатый воздух. На рис. 7 показана схема комбинированной сортировочной системы компании Steinert¹.

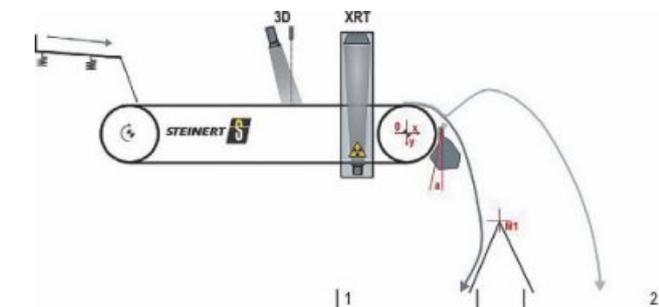


Рис. 7
Схема рентгеновской сортировочной системы компании Steinert
Источник: Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн; 2020

Table 2
Particle size distribution in the muck pile ore

женный под конвейерной лентой, может генерировать рентгеновское излучение с энергией 160 кВ. Детекторы позволяют обнаруживать два разных уровня энергии рентгеновского излучения – высокий и низкий – по атомной плотности элементов, содержащихся в породе. Рентгеновские лучи проходят через материал с поглощением или отражением. Детекторы регистрируют излучение, прошедшее через породу. Блок генерации и обнаружения рентгеновских лучей показан на рис. 8.

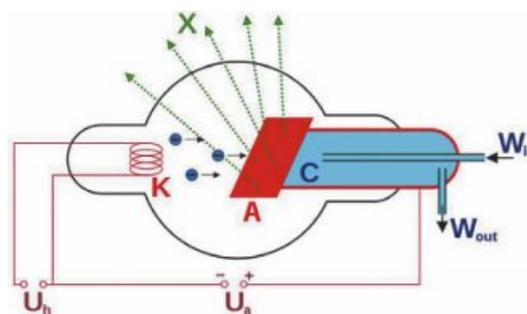


Рис. 8
Источник рентгеновских лучей
Источник: Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн; 2020

Fig. 8
X-ray source
Source: Steinert. Ore Separation Project at the Jamgyr deposit. Cologne; 2020

Для сложноструктурной руды загружается программа из нескольких кривых и настроек. В таких случаях в программное обеспечение вводят предварительно загруженный алгоритм для выбора подходящих параметров сортировки в соответствии со свойствами руды. При обработке данных сортируют руду и породу и определяют координаты на ленте конвейера с отправкой данных на разбрасыватель. Последний открывает воздушные форсунки на конвейерной линии. Давление воздуха регулируют в зависимости от массы и формы материала.

Для сортировки требуется подготовка кусков руды по размерам, исследованы куски от 10 мм до 100 мм, оптимальными признаны размеры +30 – 50 мм.

Для исследований руды месторождения Джамгыр подобран сортировщик KSS LXT, где L – лазер, а XT – рентгеновское просвечивание².

Распределение плотности различных кусков горных пород (этап сканирования) показано на рис. 9. Светло-серым цветом окрашены области с низкой плотностью, а темно-серым – области с элементами высокой плотности.

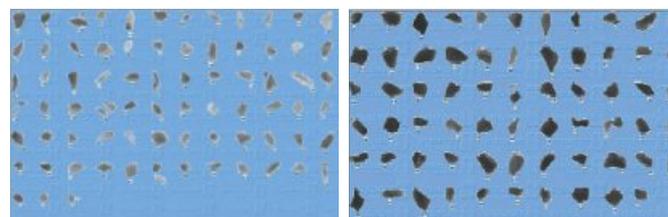


Рис. 9
Распределение плотности кусков горной породы
Источник: Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн; 2020

Fig. 9
Density distribution within the rock
Source: Steinert. Ore Separation Project at the Jamgyr deposit. Cologne; 2020

Исходные породы попадают в зону обнаружения после загрузки в машину. Рентгеновский излучатель, располо-

Цветовая плотность соответствует атомной плотности, поэтому применяют принцип разделения плотной среды с настройкой различной чувствительности. Процесс со-

1 Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн. 2020.

2 Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн. 2020.

Таблица 3
Результаты сортировки проб по плотности

Table 3
Results of sample separation by density

Отсортированные образцы	Масса, кг	Удельный вес, %	Содержание золота, г/т
Проба Q1			
Самая низкая плотность	29,23	63,75	0,08
Низкая плотность	2,72	5,93	0,85
Средняя плотность	1,2	2,62	3,79
Высокая плотность	9,7	21,16	3,21
Самая высокая плотность	3,0	6,54	8,41
Питание	45,85	100	1,43
Проба Q2			
Самая низкая плотность	25,1	48,68	0,02
Низкая плотность	3,52	6,83	1,49
Средняя плотность	0,83	1,61	3,17
Высокая плотность	9,14	17,73	7,59
Самая высокая плотность	12,97	25,16	7,75
Питание	51,56	100	3,46
Проба Q3			
Самая низкая плотность	31,85	61,71	0,09
Низкая плотность	4,07	7,89	1,00
Средняя плотность	8,65	16,76	17,87
Высокая плотность	2,98	5,77	34,22
Самая высокая плотность	4,06	7,87	137,8
Питание	51,61	100	15,95

Источник: Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн; 2020
Source: Steinert. Ore Separation Project at the Jamgyr deposit. Cologne; 2020

ртировки повторяют в три этапа. В табл. 3 представлены результаты по трем пробам с различных участков месторождения.

В табл. 4 показаны результаты сортировки и извлечения золота для технологического регламента на линии. Выход в результате сортировки товарной руды: из убогих руд (Q1) – 36,2%, бедных руд (Q2) – 51,3%, богатых руд (Q3) – 51,4%. Повышение качества руд по содержанию золота соответственно: в 2,7 раза, 1,85 раза и 3,2 раза. Показатели в отвальных породах от 0,02 до 0,09 г/т ниже таковых для хвостов извлечения 0,43 г/т.

Качество концентрированной товарной руды позволяет переходить к дальнейшим процессам дробления, истира-

ния и извлечения золота с соответствующим снижением затрат и повышением сквозного извлечения. При разработке программы оценки руд и пород по плотности тяжелых элементов влияние попутных рудных минералов определено и исключено.

Промышленные условия подготовки модели руды

Результаты моделирования подготовки товарной руды из полученной эксплуатационной при разубоживании от 50 до 70% приведены в табл. 5. Расчет объемов эксплуатационной и товарной руды приводится без учета потерь при добычных работах и на существующую годовую производительность рудника.

Таблица 4
Окончательные результаты сортировки на основе модели установки на перерабатывающем заводе

Table 4
Final separation results based on the plant model at the reprocessing plant

Предмет сортировки	Размер, мм	Удельный вес, %	Масса, кг	Содержание золота, гт	Извлечение золота, %
Q1					
Питание	10–100	100	45,85	1,43	100
Продукт	10–100	36,25	16,62	3,8	96,43
Отходы	10–100	63,75	29,23	0,08	3,57
Q2					
Питание	10–100	100	51,56	3,46	100
Продукт	10–100	51,32	26,46	6,72	99,72
Отходы	10–100	48,68	25,1	0,02	0,28
Q3					
Питание	10–100	100	51,61	15,95	100
Продукт	10–100	38,29	19,76	41,5	99,65
Отходы	10–100	61,71	31,85	0,09	0,35

Источник: Steinert. Проект сортировки руды месторождения Джамгыр. Кельн; 2020
Source: Steinert. Ore Separation Project at the Jamgyr deposit. Cologne; 2020

Таблица 5
Показатели эксплуатационной руды при различных уровнях разубоживания

Table 5
Characteristics of the mined ore at different dilution levels

Разубоживание, %	Балансовая руда в недрах			Эксплуатационная руда		
	Руда, тыс. т	Содержание золота, г/т	Запасы, кг	Руда, тыс. т	Содержание золота, г/т	Запасы, кг
50	250	9,19	2297,5	500	4,60	2297,5
55	250	9,19	2297,5	556	4,14	2297,5
60	250	9,19	2297,5	625	3,68	2297,5
65	250	9,19	2297,5	714	3,22	2297,5
70	250	9,19	2297,5	833	2,76	2297,5

Таблица 6
Показатели качества товарной руды по циклам подготовки

Table 6
Merchantable ore quality indicators by processing cycles

Разубоживание, %	Грохочение на выходе			Сенсорная сортировка на выходе		
	Руда, тыс. т	Золото, кг	Выход, %	Руда, тыс. т	Золото, кг	Содержание золота, г/т
76	380,0	2274,5	65,1	247,5	2268,2	9,16
76	422,2	2274,5	58,6	247,5	2268,2	9,16
76	475,0	2274,5	52,1	247,5	2268,2	9,16
76	542,6	2274,5	45,6	247,5	2268,2	9,16
76	633,1	2274,5	39,1	247,5	2268,2	9,16

Таблица 7
Показатели товарной руды по уровню первоначального разубоживания и сквозного извлечения золота

Table 7
Merchantable ore characteristics by initial dilution level and throughput gold recovery

На входе		Извлечение при пирометаллургической переработке, %/кг	Извлечение на золотоизвлекающей фабрике, %/кг		
Руда, тыс. т	Золото, кг		Выход, %	Руда, тыс. т	Золото, кг
366,4	2268,2	0,92	2086,7	0,9029	2047,9
407,1	2268,2	0,92	2086,7	0,9029	2047,9
458,0	2268,2	0,92	2086,7	0,9029	2047,9
523,3	2268,2	0,92	2086,7	0,9029	2047,9
610,5	2268,2	0,92	2086,7	0,9029	2047,9

В табл. 6 приведены параметры товарной руды при двух циклах подготовки эксплуатационной руды. Первый цикл – выделение фракции руды, второй – сенсорная сортировка с выделением концентрированных рудных обломков и достижением максимально возможного содержания золота в товарной руде.

товарной руды по первоначальному разубоживанию и качественным характеристикам приведены в табл. 7.

С помощью сенсорной сортировки отсекают и породы первичного разубоживания – брекчированные граниты. Это позволяет достичь концентрации золота в товарной руде выше балансовых показателей в недрах.

Модель концентраций балансовых и эксплуатационных руд

На основе данных рис. 3 и 6 в табл. 8 приведены результаты сортировки балансовых руд по концентрационным совокупностям. Она необходима для дальнейшей оптимизации показателей товарной руды, поступающей на переработку, моделирования с целью планирования и управления добычными работами и перерабатывающим комплексом. Это дает возможность управления экономическими показателями рудника (в том числе по геотехни-

Для существующих технологий извлечения золота месторождения Джамгыр коэффициенты сквозного извлечения и параметры модели при различных показателях

Таблица 8
Баланс запасов золота и руды в недрах по концентрационным совокупностям

Table 8
Баланс запасов золота и руды в недрах по концентрационным совокупностям

Среднее содержание по классам, г/т	Концентрации оруденения, рудное тело № 2бис			Концентрации оруденения, рудное тело № 2		
	Среднее содержание, г/т	Золото, %	Руда, %	Среднее содержание, г/т	Золото, %	Руда, %
0,4	0,0–0,8	0,4	24,6	0,0–0,8	0,6	23,9
1,4	0,8–2	1,7	16,2	0,8–2	3,0	21,0
5	2,0–8	10,1	25,2	2,0–8	10,7	27,9
12	8,0–16	8,6	10,1	8,0–16	11,6	11,7
24	16,0–32	20,7	11,8	16,0–32	15,0	7,1
48	32,0–64	26,7	6,6	32,0–64	20,1	5,1
96	64,0–128	25,9	4,8	64,0–128	19,4	2,6
128	>128	5,9	0,7	>128	19,5	1,0
	Σ	100	100	Σ	100	100

ческим рискам), инвестиционным проектом, стабилизации выхода эксплуатационной руды. Таким образом, создают модель управления балансовыми запасами в недрах, показателями эксплуатационной и товарной руды [6; 12; 13; 13].

Данные для построения модели разработки по обобщенным контурам рудных тел, концентрационных линз и гнезд со складированием по сортам руд на рудных складах, а также распределения руд по объемам и запасам золота представлены в табл. 9.

При планировании добычных работ и подготовке руды основные операции заключаются в следующем:

- максимально выделять внутренние перерывы оруденения, которые составляют до четверти объема рудных тел;
- выделять при отработке рудных концентрационных рудных столбов линзы и гнезда в контурах концентраций рудностолбовых и бонанцевых классов (свыше 24 г/т).

Безрудные мелкие контуры по размерности составляют от первых метров до десятков метров. В целях снижения геомеханических рисков в очистных пространствах можно использовать целики (возможный объем их создания до 7–8% от контура эксплуатационного блока, что позволяет полностью отказаться от оставления в целиках кондиционной руды).

Высокообогащенные фрагменты оруденения составляют от 15 до 24% объема рудного тела с концентрацией золота от 74 до 79%. Обеспечение при добычных работах сепаратного извлечения из недр даже 40–50% таких обогащенных линз позволяет перейти на высокий уровень планирования управлением извлечения полезного компонента и инвестиционными потоками на средне- и долгосрочную перспективу.

Таблица 9
Разбровка сортов руд

Среднее содержание по классам	Рудное тело №2бис		Рудное тело №2	
	Золото, %	Руда, %	Золото, %	Руда, %
0,4	0,4	24,6	0,61	23,87
1,4	1,7	16,2	2,99	20,99
5	10,1	25,2	10,74	27,86
12	8,6	10,1	11,61	11,7
24	496,8	283,2	359,28	169,2
48	1281,6	316,8	963,84	245,28
96	2486,4	460,8	1861,44	248,64
128	755,2	89,6	2497,28	131,84
Сумма классов рудных столбов и бонанцев	79,2	23,9	74,0	15,8

Table 9
Presorting of ore grades

Заключение

1. Себестоимость эксплуатации рудника по факту достигает 181–192 долл/т. Из них 42 долл/т приходится на действующую технологию извлечения пирометаллургическим способом на Балхашском медеплавильном заводе. Запущена в эксплуатацию собственная золотоизвлекательная фабрика. Применяемая технология – гравитационная с флотацией хвостов гравитации и цианированием концентрата. Извлечение при первой из перечисленных технологий составляет 92% золота и серебра, при второй – 90,3% (при содержании руды 4 г/т) с себестоимостью 26 долл/т.

2. Стоимость переработки 300 тыс. т (производительность ЗИФ по проекту) составляет 7,8 млн долл/год и/или 12,6 млн долл/год при пирометаллургическом извлечении. В соответствии с горизонтом планирования оптимальным для месторождения является достижение производительности по добычным работам 600 тыс.т/год. Совокупная себестоимость переработки 20,4 млн долл.

3. Расчетные показатели для горчения и сенсорной сортировки руд составляют до 0,5 и 1,92 долл/т соответственно. Таким образом, при переработке эксплуатационной руды в объеме до 600 тыс. т/год себестоимость подготовки и извлечения составит 1,4–1,5 млн долл/год.

4. Дополнительным экономическим эффектом является возможность реализации увеличенной минимальной мощности очистного пространства до 2 м и более (против существующей 1,1 м). С внедрением низкочастотной и высокопроизводительной системы очистных работ – слоевой механизированной из ПЭШ по укрупненным эксплуатационным блокам – ожидается, что последняя обеспечит результат в три раза выше по производительности и в 2,5 раза ниже по удельным эксплуатационным затратам по сравнению с применяемой в настоящее время.

5. Также дополнительным экономическим эффектом является ожидаемое повышение сквозного коэффициента извлечения с 90,3 до значений 92–93%.

6. При сенсорной сортировке руды и концентрировании золото кварцевых кусков руды ожидается отсечение пустых интервалов, развитых в разведочном контуре от 10–20 до 40% (некондиционные и вмещающие граниты). Вследствие этого прогнозируется среднее содержание золота в руде выше балансовой оценки при разведочных работах. Помимо этого, после дальнейших исследований и обоснований возможно изменение методики оценки этого параметра при подсчете запасов. Также возможно вовлечение в разработку ранее некондиционных разведочных блоков с минимально-промышленным содержанием ниже 3,46 г/т.

Список литературы

1. Лось В.Л. *Статистическое распределение содержаний основных полезных компонентов в некоторых месторождениях цветных и благородных металлов Казахстана*. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР; 1972. 148 с.
2. Нарсеев В.А., Левин Г.Б., Лось В.Л. Распределение содержаний полезного компонента, уровни минерализации и рудные столбы. В кн.: *Проблемы образования рудных столбов: материалы симпозиума, г. Новосибирск, 8–12 декабря 1969 г.* Новосибирск: Наука; 1972. С. 34–38.
3. Сендек С.В. Структура запасов металла как следствие генетических особенностей рудообразования. *Записки Санкт-Петербургского горного института*. 1993;137:28–38. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/9983>
4. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. *Доклады Академии наук*. 1979;247(4):829–831.
5. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Lieberwirth H., Aleksandrov A. Selective desintegration and concentration: Theory and practice. *E3S Web of Conferences*. 2018;56:03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185603001>

6. Buchmann M., Schach E., Leißner T., Kern M., Mütze T., Rudolph M., Peuker U.A., Tolosana-Delgado R. Multidimensional characterization of separation processes. Part 2: Comparability of separation efficiency. *Minerals Engineering*. 2020;150:106284. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106284>
7. Цыпин Е.Ф., Ефремова Т.А., Овчинникова Т.Ю., Елизаров Д.Б. Влияние фракционирования по крупности на эффективность рентгенорадиометрической сепарации полиметаллической руды. *Обогащение руд*. 2018;(3):14–19. <https://doi.org/10.17580/or.2018.03.03>
8. Лукичев С.В., Никитин Р.М., Бирюков В.В. Имитационная модель сокращения крупности минеральных частиц. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S37):514–522.
9. Устинов И.Д., Балдаева Т.М. Вибрационная классификация по крупности. Термодинамическая модель. *Обогащение руд*. 2018;(1):12–16. <https://doi.org/10.17580/or.2018.01.02>
10. Holl I., Feldman V., Zampini J. and Cunningham R. The commissioning and start-up of Quebec's first Diamond mine - Stornoway's Renard Mine. In: *Proceedings of the 51st Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference, Ottawa, Ontario, Canada January 22–4, 2019*. Ottawa: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum; 2019.
11. Normanyo, E., Ofosu, R.A., Acquah D.S. On Sensor-Based Ore Sorting. *Ghana Mining Journal*. 2022;22(1):56–61. <https://doi.org/10.4314/gm.v22i1.7>
12. Robben C., Takala A. High volume sensor-based ore sorting solutions. In: *Proceedings of the Sensor-Based Sorting and Control Conference*. Aachen, Germany: Shaker Verlag GmbH; 2018.
13. Robben C., Wotruba H. Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining – Past, Present and Future. *Minerals*. 2019;9(9):523. <https://doi.org/10.3390/min9090523>
14. Волларович Г.П., Иванов В.Н. (ред.) *Методика разведки золоторудных месторождений*. М.: ЦНИИГРИ; 1991. 262 с.

References

1. Los V.L. *Statistical distribution of the main useful mineral contents in some deposits of non-ferrous and noble metals of Kazakhstan*. Novosibirsk: Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences; 1972. 148 p. (In Russ.)
2. Narseev V.A., Levin G.B., Los V.L. Distribution of mineral content, mineralization grades and ore shoots. In: *Issues of ore shoot formation: proceedings of symposium, Novosibirsk, December 8–12, 1969*. Novosibirsk: Nauka; 1972, pp. 34–38. (In Russ.)
3. Sendek S.V. Structure of metal reserves as a consequence of genetic features of ore formation. *Journal of Mining Institute*. 1993;137:28–38. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/9983>
4. Sadovsky M.A. Natural size of rock lumps. *Doklady Akademii nauk*. 1979;247(4):829–831. (In Russ.)
5. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Lieberwirth H., Aleksandrov A. Selective desintegration and concentration: Theory and practice. *E3S Web of Conferences*. 2018;56:03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185603001>
6. Buchmann M., Schach E., Leißner T., Kern M., Mütze T., Rudolph M., Peuker U.A., Tolosana-Delgado R. Multidimensional characterization of separation processes. Part 2: Comparability of separation efficiency. *Minerals Engineering*. 2020;150:106284. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106284>
7. Tsypin E.F., Efremova T.A., Ovchinnikova T.Yu., Elizarov D.B. Effect of size fractionation on the efficiency of X-ray radiometric separation of polymetallic ore. *Obogashchenie Rud*. 2018;(3):14–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2018.03.03>
8. Lukichev S.V., Nikitin R.M., Birukov V.V. A simulation model of minerals' grade size reduction. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(S37):514–522. (In Russ.)
9. Ustinov I.D., Baldaeva T.M. Vibratory size classification. Thermodynamic model. *Obogashchenie Rud*. 2018;(1):12–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2018.01.02>
10. Holl I., Feldman V., Zampini J. and Cunningham R. The commissioning and start-up of Quebec's first Diamond mine - Stornoway's Renard Mine. In: *Proceedings of the 51st Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference, Ottawa, Ontario, Canada January 22–4, 2019*. Ottawa: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum; 2019.
11. Normanyo, E., Ofosu, R.A., Acquah D.S. On Sensor-Based Ore Sorting. *Ghana Mining Journal*. 2022;22(1):56–61. <https://doi.org/10.4314/gm.v22i1.7>
12. Robben C., Takala A. High volume sensor-based ore sorting solutions. In: *Proceedings of the Sensor-Based Sorting and Control Conference*. Aachen, Germany: Shaker Verlag GmbH; 2018.
13. Robben C., Wotruba H. Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining – Past, Present and Future. *Minerals*. 2019;9(9):523. <https://doi.org/10.3390/min9090523>
14. Vollarovich G.P., Ivanov V.N. (eds) *Methodology of gold deposits exploration*. Moscow: Central Research Geological Prospecting Institute of Nonferrous and Precious Metals; 1991. 262 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Ермошкин Николай Николаевич – генеральный директор «Global Jamgir Mining», г. Бишкек, Кыргызская Республика
Ермошкин Денис Николаевич – генеральный директор «Global Asia Management», г. Бишкек, Кыргызская Республика
Курманалиев Капар Зарлыкович – горный инженер-геолог, «Геолэкспертпроект», г. Бишкек, Кыргызская Республика; e-mail: grfgeology@gmail.com
Мансуров Владимир Аглеевич – доктор физико-математических наук, профессор, советник по геотехнике «Vertex Gold Co», г. Бишкек, Кыргызская Республика

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.12.2022
 Поступила после рецензирования: 19.01.2023
 Принята к публикации: 20.01.2023

Information about the authors

Nikolay N. Ermoshkin – Director General, “Global Jamgir Mining”, Bishkek, Kyrgyz Republic
Denis N. Ermoshkin – Director General, “Global Asia Management”, Bishkek, Kyrgyz Republic
Kapar Z. Kurmanaliev – mining engineer-geologist, “Geolekspertproekt LLC”, Bishkek, Kyrgyz Republic; e-mail: grfgeology@gmail.com
Vladimir A. Mansurov – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Geotechnical Advisor, “Vertex Gold Co”, Bishkek, Kyrgyz Republic

Article info

Received: 28.12.2022
 Revised: 19.01.2023
 Accepted: 20.01.2023