

УДК 622.271:622.7

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУД
ПРИ ОСВОЕНИИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**И. Ю. Рассказов¹, А. Ю. Чебан², Н. М. Литвинова²,
Т. Г. Конарева², А. С. Андрющенко²**

¹Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН,
E-mail: rasskazov@igd.khv.ru, ул. Дзержинского, 54, 680000, г. Хабаровск, Россия

²Институт горного дела ДВО РАН,
E-mail: chebanay@mail.ru, ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия

Представлены результаты комплексных аналитических исследований и геотехнологического тестирования проб взорванной руды одного из золоторудных месторождений с разделением их по классам крупности. Определены параметры объединенных фракций для переработки по различным технологиям. Разработана схема добычи и переработки руд сложноструктурного выемочного блока. Предложена усовершенствованная технология освоения сложноструктурных месторождений. После селективной выемки руд проводится грохочение с разделением на фракции, обогащенные и обедненные полезным компонентом. Полученные фракции рудной массы шихтуются, при этом шихта с рядовым содержанием полезного компонента перерабатывается с применением флотации, а бедная рудная масса направляется на кучное выщелачивание. Выделенная из богатых руд фракция с повышенным содержанием полезного компонента перерабатывается с применением двухстадийного сорбционного выщелачивания с предокислением, обеспечивающим высокое извлечение металла.

Сложноструктурный блок, сопровождающая эксплуатационная разведка, сорта руд, грохочение, опережающая выемка, обогащенная и обедненная рудная масса, ресурсосбережение

DOI: 10.15372/FTPRPI20230206

Месторождения цветных и благородных металлов характеризуются высокой изменчивостью содержаний полезных компонентов в руде. Согласно [1, 2], в 20–40 % объема рудных тел заключается до 70–90 % запасов. Разработка сложноструктурных выемочных блоков без качественной селективной выемки приводит к значительной пересортице и неравномерности состава рудной массы. В результате на обогатительную фабрику поступает руда с высокой изменчивостью качественных показателей [3–5]. Например, относительные колебания содержания никеля в потоке товарной руды с рудника “Комсомольский” на Норильскую обогатительную фабрику составляют 525 %, меди — 557 % [6], при этом наибольшая вариативность содержаний проявляется при перемешивании богатых и рядовых руд. Существенные колебания характеристик качественного состава руд не всегда в должной мере могут сглаживаться в процессе усреднения рудной массы, что затрудняет управление процессами обогащения, влечет за собой значительные потери металлов (до 5 %) и реагентов (до 10 %), а также снижение производительности оборудования (до 10 %) [5].

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Развитие открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых должно сопровождаться комплексным решением вопросов последовательности выемки, ресурсосбережения, снижения энергоемкости процессов горно-обогачительного производства и уменьшения их отрицательного воздействия на окружающую среду [7–11]. Взрывное рыхление сложноструктурных выемочных блоков приводит к смещению границ контуров руд разных сортов и пустых пород. Это зависит от многих факторов, оценить совокупное влияние которых весьма сложно. Несоответствие проектных и фактических параметров буровзрывных работ (БВР) может приводить к непрогнозируемому смещению границ контуров с вариативностью до нескольких метров от взрыва к взрыву [12, 13]. Из-за неточности моделирования взрывного смещения границ контуров возникает пересортица при селективной выемке руд различных сортов, а также разубоживание полезного ископаемого вмещающими породами и внутренними породными включениями, что сказывается на эффективности горно-обогачительного производства.

Уточнить и проконтролировать горизонтальные и вертикальные смещения рудной массы при взрыве позволяет система с применением ВММ-датчиков, которые располагаются в скважинах рудного блока. После взрыва датчики обнаруживаются специальным детектором, фиксирующим их новые координаты, на основе которых с применением специального программного обеспечения устанавливается смещение границ контуров. Однако после проведения взрыва не все датчики удается обнаружить [12, 13], что снижает надежность системы и точность определения границ “руда – порода”. Кроме того, сложность смещенных в процессе взрыва контуров сравнительно небольших по размерам включений богатых руд обуславливает существенную пересортицу рудной массы при их выемке карьерными экскаваторами с относительно большой емкостью ковша [14]. Отсутствие точных данных по содержанию полезного компонента в извлекаемой рудной массе не позволяет в дальнейшем обеспечить ее качественное усреднение.

По традиционной технологии селективно извлеченная рудная масса после усреднения технологически совместимых сортов или после внутрисортного усреднения перерабатывается на обогачительной фабрике одним или несколькими потоками. Новые методы позволяют внедрять более гибкий подход к переработке разнокачественных руд [15, 16]. Широко применяется при освоении сложноструктурных месторождений технология, при которой богатые и рядовые руды перерабатываются на фабрике, а бедные — с применением кучного выщелачивания [17, 18]. Переработка рудной массы выщелачиванием позволяет существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты на извлечение металла, и в переработку могут вовлекаться руды с более низким содержанием полезного компонента [19, 20].

У многих руд в процессе взрывного или механического рыхления происходит концентрирование полезных компонентов в рудной мелочи. Вместе с тем крупные фракции рудной массы характеризуются относительно низкими содержаниями полезного компонента. В результате исследований, выполненных на одном из месторождений комплексных руд Казахстана, выявлено, что содержание металлов в рудной массе взорванного блока в зависимости от класса крупности составляет, у. е.: – 50 мм — 80.4, 50–100 мм — 40.4; 100–150 мм — 36.8; 150–200 мм — 31.6; 200–300 мм — 15.1; 300–400 мм — 6.2 [18, 21]. На месторождении Джилау (Таджикистан) забалансовая руда со средним содержанием золота 0.77 г/т, направляемая на выщелачивание, класса крупности – 8 мм при выходе по массе 19.77% содержит 41.76% металла, при этом рудная масса крупностью 100–200 мм имеет содержание всего

0.10–0.27 г/т [22]. Исследования характера распределения золота в теряемой рудной мелочи в очистном пространстве при скреперовании отбитой руды на руднике Ирокинда показали, что в классах – 8 мм содержание золота составляет > 7.2 г/т, в классе + 8 мм — 2.7 г/т [23]. При разработке месторождения свинцово-цинковых руд Уччулач (Узбекистан) на стадии грохочения выделяется мелкий класс (– 25 мм) и направляется на переработку как концентрат, поскольку содержит в 2–3 раза свинца больше, чем руды классов + 25 мм [24]. Исследования медно-никелевой руды Заполярного месторождения показали, что с увеличением размера кусков рудной массы с 5 до 300 мм снижается содержание никеля с 0.59 до 0.33 %, меди с 0.75 до 0.45 % [25]. На Тырныаузском вольфрамо-молибденовом месторождении для биотитовых роговиков обогащенным является класс – 13 мм, выход по массе которого составляет 18–20 %. Содержание молибдена в нем в 2.3 раза выше, чем в исходной рудной массе [26]. В рудном отсеке – 5 мм бедных вольфрамовых руд месторождения Лермонтовское (Приморский край) содержится 0.45 % полезного компонента при среднем содержании в исходной руде 0.24 %, а содержание в классе + 50 мм составляет 0.18 % [27].

Наличие обогащенных мелких классов предопределяет возможность выделения кондиционной по содержанию металла фракции из забалансовых руд. В [28] предлагается выделять из потока некондиционных руд, направляемых по рудоскату с прорезями, наиболее обогащенные вольфрамом мелкие фракции размером < 5 мм для последующей переработки. Основной объем рудной массы не перерабатывается и направляется на склад временно некондиционной руды. В [29, 30] представлено технико-технологическое решение по отделению обогащенных полезным компонентом мелких фракций от некондиционных крупных фракций руды во время ведения выемочно-погрузочного процесса посредством экскаваторов, оборудованных просеивающими ковшами различных конструкций. Для сформированных отвалов некондиционной руды, для которых характерен эффект сегрегации, рассмотрены технологические схемы, заключающиеся в снятии верхнего слоя и направлении кондиционной рудной массы на кучное выщелачивание [31, 32]. В [33] такая рудная масса предварительно подвергается грохочению, при котором выделяется и отправляется на самостоятельный передел мелкая фракция, а крупнокусовая фракция — не подлежит переработке и поступает в отвал.

Для разработки весьма тонких рудных жил Хрустальненского ГОКа предложена технология, заключающаяся в увеличении плотности размещения шпуровых зарядов в блоках с жилами со средней мощностью 0.3 м и при соответствующем разряжении в прихватываемых на мощность 0.7 м вмещающих породах. Среднее содержание олова в жиле составляло 0.79 %, во вмещающих породах — 0.05 %, изменение параметров БВР позволило сконцентрировать жильный материал в классе крупности – 50 мм, удельный объем которых был равен 45 % со средним содержанием металла 0.53 %. Материал крупностью + 50 мм, составляющий 55 % объема, имел среднее содержание 0.07 % и был отделен на грохоте [34].

Эффект фракционирования по классам крупности с существенно различающимся содержанием полезного компонента, характерный для некоторых руд, используется для выделения обогащенной мелкой фракции из некондиционных руд. Однако данный эффект наблюдается и в кондиционных рудах различных сортов.

В технологии освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд [35] осуществляется селективное извлечение особо богатых, богатых, рядовых и бедных руд, а также особо бедной руды, из которой предлагается

выделять обогащенную рудную мелочь для переработки совместно с бедной рудой методом кучного выщелачивания. Особо богатая руда может перерабатываться, минуя стадию предварительного концентрирования, автоклавным выщелачиванием с предварительным озонированием или биоокислением и последующим сорбционным выщелачиванием, а богатая и рядовая руды — отдельными потоками на обогащательной фабрике флотационным методом. Технология обеспечивает повышение сквозного извлечения полезного компонента из руд выемочного блока за счет применения высокоэффективных методов обогащения и гидрометаллургии особо богатых руд с последующей вторичной переработкой их хвостов и вовлечения в кучное выщелачивание кондиционной части особо бедных руд. Данная технология может эффективно применяться при освоении месторождений, содержащих включения особо богатых руд с содержаниями золота десятки граммов на тонну.

На месторождениях, где в обогащенных рудных включениях среднее содержание золота составляет 6–10 г/т, применение технологии [35] нецелесообразно. В случае переработки руд, характеризующихся существенной вариативностью содержаний по классам крупности рудной массы, такая технология не предусматривает выделение обогащенных и обедненных фракций сортов руд для направления их на переработку различными методами. При относительно низком среднем содержании металла, сопоставимом с качественными характеристиками бедных руд, крупные фракции в общем объеме рядовых руд направляются на флотацию. На кучное выщелачивание поступает обогащенная металлом мелкая фракция бедных руд с качественными характеристиками, сопоставимыми с рядовыми рудами. В первом случае имеют место повышенные эксплуатационные затраты при существенной вариативности содержаний, во втором — пониженное извлечение из фракции с относительно высоким содержанием металла. Следовательно, для реализации стратегии глубокой переработки руд по сортам необходимо обеспечить высокий уровень селекции при добыче.

Цель настоящей работы — повышение эффективности добычи и сквозного извлечения полезного компонента и снижение затрат на переработку рудной массы. Для этого обоснован комплекс технологических решений, обеспечивающих опережающую глубокую селективную выемку богатой руды при добыче, а также стабилизацию качества рудной массы в процессе выделения обогащенных и обедненных фракций сортов руды и их последующего шихтования при подготовке к переработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Институте горного дела ДВО РАН проведены комплексные аналитические и геотехнологические исследования проб взорванных кварц-серицитовых метасоматитов одного из золоторудных месторождений Дальневосточного региона. Образцы проб разделялись по классам крупности и по сортам руд, выделенных по различным содержаниям металла. Анализы проводились с применением атомно-абсорбционного метода с использованием спектрофотометра АА-7000. Результаты исследований представлены на рис. 1. В образцах мелких классов – 10 мм содержание металла в 2.0–2.3 раза превышает средний показатель различных сортов, что позволяет направлять отделенный обогащенный материал класса – 10 мм некоторых сортов на переработку совместно с рудами более высокого сорта. Руды крупностью – 100 + 50 мм имеют относительно низкое содержание золота, поэтому может быть целесообразным выделение обедненных полезным компонентом крупных классов и направление их на переработку с рудами более низкого сорта при использовании менее затратных технологий.

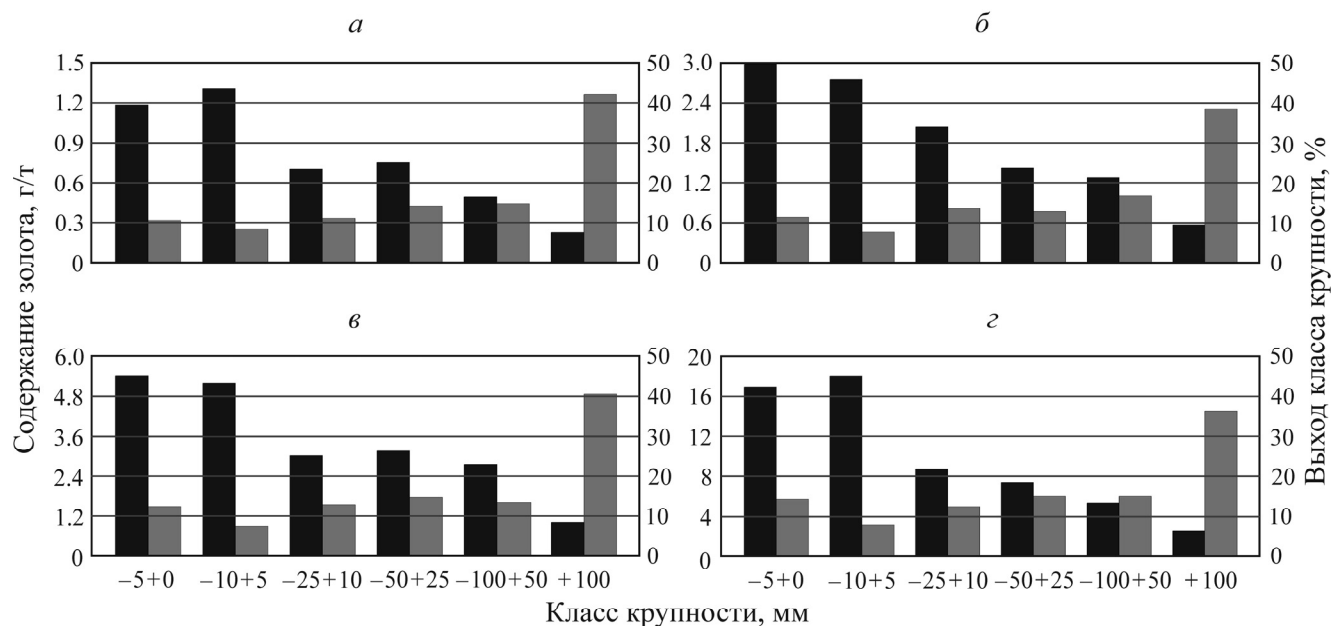


Рис. 1. Содержание золота (черный) в различных сортах руд и распределение рудной массы по классам крупности после взрыва (серый): *а* — особо бедная руда; *б* — бедная руда; *в* — рядовая руда; *г* — богатая руда

На основании результатов исследований по распределению классов крупности рудной массы и содержания в ней металла по сортам руд определены параметры объединенных фракций, обогащенных и обедненных полезным компонентом, с целью их переработки по различным технологиям (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Параметры обогащенных и обедненных полезным компонентом объединенных фракций по пробам сортов руд

Сорт руды	Среднее содержание металла в пробе, г/т	Параметры объединенных фракций				Способ переработки рудной массы
		Размер, мм	Доля руды, %	Содержание металла, г/т	Доля металла, %	
Богатая	7.53	– 50	48.7	12.19	78.8	Двухстадийное сорбционное выщелачивание Флотация
		+ 50	51.3	3.11	21.2	
Рядовая	2.69	– 100	59.6	3.79	83.9	Флотация Кучное выщелачивание
		+ 100	40.4	1.07	16.1	
Бедная	1.42	– 10	19.0	2.90	38.8	Флотация Кучное выщелачивание
		+ 10	81.0	1.07	61.2	
Особо бедная	0.57	– 10	18.7	1.23	40.3	Кучное выщелачивание Не перерабатывается
		+ 10	81.3	0.42	59.7	

Исходя из данных эксплуатационной разведки в контурах выемочного блока, полученных параметров объединенных фракций по пробам сортов руд и на основе предложенного в [35] критерия оценки эффективности, определены рациональные кондиционные содержания по сортам руд. Доля руды, а также содержание и доля металла по фракциям сортов руд приняты пропорционально параметрам, полученным при обработке проб сортов руд (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Параметры обогащенных и обедненных полезным компонентом фракций по сортам руд выемочного блока

Сорт руды и содержание, г/т	Руды в выемочном блоке			Фракции руд после грохочения			
	Доля руды, %	Среднее содержание металла, г/т	Доля металла, %	Размер, мм (обозначение)	Доля руды, %	Среднее содержание металла, г/т	Доля металла, %
Богатая > 6.0	15.2	8.77	47.2	– 50 (Б1)	7.4	14.20	37.2
				+ 50 (Б2)	7.8	3.61	10.0
Рядовая 2.1 – 6.0	27.4	3.42	33.3	– 100 (Р1)	16.3	4.82	27.9
				+ 100 (Р2)	11.1	1.36	5.4
Бедная 0.9 – 2.1	30.5	1.34	14.5	– 10 (б1)	5.8	2.74	5.6
				+ 10 (б2)	24.7	1.01	8.9
Особо бедная 0.3 – 0.9	26.9	0.52	5.0	– 10 (об1)	5.0	1.12	2.0
				+ 10 (об2)	21.9	0.38	3.0
Итого	100.0	2.82	100.0	—	100.0	2.82	100.0

На рис. 2 представлена рекомендуемая схема добычи и переработки руд сложноструктурного блока исследуемого золоторудного месторождения с фракционированием по классам крупности и различающимся содержанием полезного компонента.

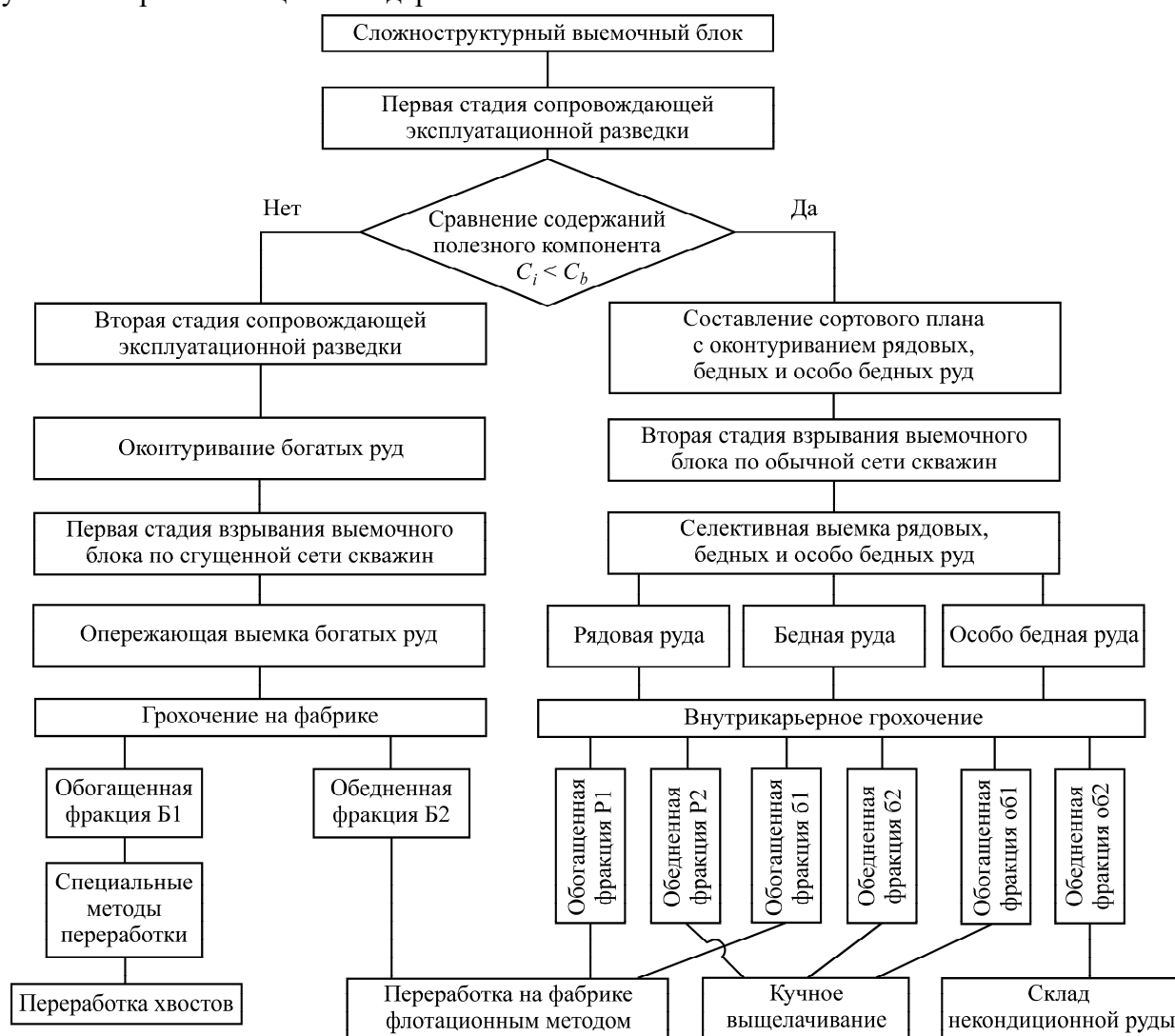


Рис. 2. Схема добычи и переработки руд сложноструктурного выемочного блока: C_i — содержание металла в i -й пробе; C_b — нижнее граничное содержание металла в богатой руде

При выявлении в процессе сопровождающей эксплуатационной разведки обогащенных участков проводится дополнительная вторая стадия с локальным сгущением сети скважин уменьшенного диаметра в их приконтурных частях с поинтервальным опробованием для детального оконтуривания включений богатых руд в плане и по вертикали. Затем проводится рыхление включений богатых руд путем взрывания по сгущенной сети скважин и их опережающая селективная выемка. Если прочность руд позволяет проводить эффективную локальную механическую выемку, для уменьшения пересортицы предпочтительно осуществлять механическое рыхление и выемку богатых руд с применением гидромолотов, фрез, ковшей с активными зубьями и др. Для повышения производительности данного оборудования возможно проведение предварительного разупрочнения руд, например с использованием раствора поверхностно-активных веществ, подаваемого в массив через локально сгущаемую сеть скважин. Основная часть выемочного блока взрывается по обычной сети взрывных скважин с последующей селективной выемкой различных сортов руд, которую целесообразно вести фронтальными погрузчиками для подачи рудной массы без перегрузок непосредственно к оборудованию для внутрикарьерного грохочения. На грохотах происходит разделение руд на фракции, обогащенные и обедненные полезным компонентом. Размеры фракций для каждого сорта руд устанавливаются исходя из результатов исследований. Обогащенная фракция Б1 с высоким содержанием полезного компонента перерабатывается с применением двухстадийного сорбционного выщелачивания с предокислением, обеспечивающим относительно высокое извлечение металла. Шихта фракций Б2 + Р1 + б1 перерабатывается флотационным методом, шихта фракций Р2 + б2 + об1 — кучным выщелачиванием.

В табл. 3 представлены результаты расчетов по извлечению металла из руд в конечный продукт.

ТАБЛИЦА 3. Показатели извлечения металла по сортам руд

Сорт руды или шихта фракций (содержание, г/т)	Доля руды, %	Доля металла, %	Среднее содержание металла в руде, г/т	Извлечение металла в конечный продукт, %	Доля извлеченного металла, %
Традиционная технология переработки руды общим потоком на фабрике					
Кондиционная (> 1.5)	54.1	87.5	4.56	78	68.3
Некондиционная (0.3 – 1.5)	45.9	12.5	0.77	—	—
Итого руды	100.0	100.0	2.82	—	68.3
Традиционная технология раздельной переработки руд (обогащательными способами и кучным выщелачиванием)					
Кондиционная богатая (> 2.1)	42.6	80.5	5.32	79	63.6
Кондиционная бедная (0.9 – 2.1)	30.5	14.5	1.34	65	9.4
Некондиционная (0.3 – 0.9)	26.9	5.0	0.52	—	—
Итого руды	100.0	100.0	2.82	—	73.0
Предлагаемая технология раздельной переработки					
Б1	7.4	37.3	14.20	92	34.3
Б2 + Р1 + б1 (2.74 – 4.82)	29.9	43.5	4.10	78	34.0
Р2 + б2 + об1 (1.01 – 1.36)	40.8	16.2	1.12	63	10.2
об2	21.9	3.0	0.38	—	—
Итого руды	100.0	100.0	2.82	—	78.5

Применение комбинации селективной выемки, сортировки и раздельной переработки разнокачественных руд позволяет существенно увеличить полноту и комплексность использования запасов сложноструктурного выемочного блока.

В табл. 4 представлены результаты расчетов себестоимости продукции при использовании традиционных и предлагаемой технологий. Предлагаемая технология раздельной переработки руд характеризуется недоизвлечением 21.5% металла, оставшегося в отходах обогащения, штабеле кучного выщелачивания и складе временно некондиционной руды. Хвосты и кеки, полученные при переработке богатых руд, содержат ~3.0% исходного металла. Содержание полезного компонента в данных отходах переработки более 1.1 г/т, что позволяет осуществлять их рентабельную вторичную переработку с применением скоростного активационного кучного выщелачивания, обеспечивающего извлечение 50–75% оставшегося металла [36]. Это позволяет увеличить общее сквозное извлечение металла еще на 1.5–2.0%, а также обеспечить снижение уровня миграции токсичных компонентов руд в окружающую среду. Если руды содержат большое количество сульфидных минералов, то их переработка проводится стадийно: флотация с получением концентрата и его окислением по инновационным технологиям (автоклавной, биоокисления, озонирования) с последующим выщелачиванием. Хвосты флотации могут эффективно перерабатываться посредством скоростного активационного кучного выщелачивания, кеки — по технологии кюветного активационного выщелачивания тиомочевинными растворами с формируемой электрохимическим окислением сульфидов сернокислотной средой.

ТАБЛИЦА 4. Экономические показатели технологий, %

Сорт руды, шихта фракций	Доля руды	Приведенная относительная стоимость добычи и переработки руды	Удельная относительная стоимость добычи и переработки руды	Удельная относительная стоимость металла	Относительная прибыль при добыче и переработке руды*
Традиционная технология переработки руды общим потоком на фабрике					
Кондиционная	54.1	100	74.6	—	—
Некондиционная	45.9	40	25.4	—	—
Итого руды	100.0	—	100.0	100.0	100
Традиционная технология раздельной переработки руд (обогащительными способами и кучным выщелачиванием)					
Кондиционная богатая	42.6	101	58.2	—	—
Кондиционная бедная	30.5	66	27.2	—	—
Некондиционная	26.9	40	14.6	—	—
Итого руды	100.0	—	100.0	95.2	127
Предлагаемая технология раздельной переработки					
Б1	7.4	135	12.5	—	—
Б2 + Р1 + б1	29.9	105	39.3	—	—
Р2 + б2 + об1	40.8	70	35.8	—	—
об2	21.9	45	12.4	—	—
Итого руды	100.0	—	100.0	95.5	136

*При стоимости реализации металла, обеспечивающей рентабельность традиционной технологии с переработкой руды на фабрике на уровне 25%.

ВЫВОДЫ

В результате исследования проб взорванных кварц-серицитовых метасоматитов одного из золоторудных месторождений Дальневосточного региона обнаружено, что содержание металла в рудной мелкой фракции в 2.0–2.3 раза превышает средний показатель в пробах богатых, рядовых, бедных и особо бедных руд. Крупные классы имеют относительно низкое содержание золота.

Предложена усовершенствованная технология освоения сложноструктурных месторождений, заключающаяся в следующем. При выявлении в процессе сопровождающей эксплуатационной разведки выемочного блока включений с высоким содержанием полезного компонента осуществляется детальное оконтуривание в плане и по вертикали богатых руд путем локального сгущения сети скважин уменьшенного диаметра с поинтервальным опробованием, а также опережающее рыхление и выемка богатых руд. Селективно извлеченные руды подвергаются грохочению для разделения на обогащенные и обедненные фракции. Фракции различных сортов руд в последующем объединяются с учетом содержания в них полезного компонента и направляются на переработку различными методами. Применение предлагаемой технологической схемы при разработке сложноструктурных месторождений обеспечит повышение сквозного извлечения металла на 5–10 % по сравнению с традиционными технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткач С. М., Батугин С. А. Одно из актуальных направлений модернизации геотехнологий // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — Т. 1. — № 3. — С. 206–212.
2. Батугин С. А., Черный Е. Д. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений. — Новосибирск: Наука, 1998. — 344 с.
3. **Orebody modeling** and strategic mine planning: old and new dimensions in a changing world, Ed. Dimitrakopoulos R. Proc. Int. Symp., Western Australia, 2009.
4. Menabde M., Froyland G., Stone P., and Yeates G. Mining schedule optimization for conditionally simulated orebodies, *Orebody Modeling and Strategic Mine Planning*, Spectrum Series, 2007. — P. 91–100.
5. Ревнивцев В. И., Азбель Е. И., Баранов Е. Г. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. — М.: Недра, 1987. — 307 с.
6. Батралиев Р. Ш., Охрименко А. В., Туртыгина Н. А. Принципиальная структура оперативной информационно-управляющей системы для стабилизации качества рудопотоков // Горн. журн. — 2022. — № 10. — С. 91–96.
7. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Викторов С. Д., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научное обоснование технологий комплексного ресурсосберегающего освоения месторождений стратегического минерального сырья // ГИАБ. — 2014. — № 12. — С. 5–12.
8. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Новые подходы к проектированию ресурсовоспроизводящих технологий комплексного освоения рудных месторождений // ФТПРПИ. — 2011. — № 3. — С. 58–66.
9. Курленя М. В. Актуальные направления и задачи исследований освоения месторождений полезных ископаемых глубокого залегания в условиях Сибири и Дальнего Востока // ФТПРПИ. — 2021. — № 4. — С. 3–10.
10. Волченко Г. Н., Серяков В. М., Фрянов В. Н. Геомеханическое обоснование ресурсосберегающих вариантов разработки рудных месторождений системой этажного принудительного обрушения // ФТПРПИ. — 2012. — № 4. — С. 144–154.

11. Wu J., Ahn J., and Lee J. Comparative leaching study on conichalcite and chalcopyrite under different leaching systems, Korean J. Metal. Materials, 2019, Vol. 57, No. 4. — P. 245–250.
12. Рахманов Р. А., Лоеб Д., Косухин Н. И. Оценка смещений рудных контуров после взрыва с применением ВММ-системы // Зап. ГИ. — 2020. — Т. 245. — С. 547–553.
13. Метельский А. А., Гамбаль М. Ю. Сокращение потерь руды и разубоживания. Опыт применения системы ВММ на АО “Полнос Красноярск” // Золото и технологии. — 2021. — № 4. — С. 148–153.
14. Рассказов И. Ю., Чебан А. Ю., Литвинцев В. С. Анализ технической оснащенности горнодобывающих предприятий Хабаровского края и Еврейской автономной области // Горн. журн. — 2013. — № 2. — С. 30–34.
15. Чантурия В. А., Самусев А. Л., Миненко В. Г. Интенсификация химико-электрохимического выщелачивания золота из упорного минерального сырья // ФТПРПИ. — 2020. — № 5. — С. 154–164.
16. Ростовцев В. И., Кондратьев С. А., Бакшеева И. И. Совершенствование обогащения медно-никелевых руд на основе энергетических воздействий // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 123–130.
17. Afum B. O., Ben-Awuah E., and Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming framework for optimising the extraction strategy of open pit — underground mining options and transitions, Int. J. Min. Reclamation Env., 2019, Vol. 34, No. 10. — P. 700–724.
18. Голик В. И. Проблемы подготовки руд к кучному выщелачиванию // Изв. ТГУ. Науки о Земле. — 2021. — № 4. — С. 322–330.
19. Рассказов И. Ю., Секисов А. Г., Рассказова А. В. Подземное выщелачивание молибдена и урана с использованием перкарбонатных и хлоридно-гипохлоритных растворов // Зап. ГИ. — 2022. — Т. 256. — С. 623–631.
20. Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. — Новосибирск, 2012. — С. 125–132.
21. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Комащенко В. И., Бурдзиева О. Г. Экспериментальное исследование качества дробления руд для подземного выщелачивания // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332. — № 6. — С. 160–166.
22. Самихов Ш. Р., Зинченко З. А., Бобохонов Б. А. Полупромышленные испытания отвального выщелачивания забалансовой руды месторождения Джилау // Золото и технологии. — 2013. — № 3. — С. 54–57.
23. Павлов А. М., Семенов Ю. М. Применение вакуумной технологии при зачистке руды в условиях криолитозоны рудника “Ирокинда” // ГИАБ. — 2007. — № 11. — С. 24–29.
24. Санакулов К. С., Руднев С. В., Канцель А. В. О возможности отработки месторождения Уччулач с использованием технологии рентгенрадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горн. вестн. Узбекистана. — 2011. — № 1. — С. 17–20.
25. Ломоносов Г. Г., Туртыгина Н. А. Влияние класса крупности медно-никелевого рудного сырья и его изменчивости на показатели обогащения // ГИАБ. — 2015. — № 3. — С. 104–107.
26. Жабоев М. Н., Семочкин Г. А., Каган Г. Ф., Блинов Ю. И. Технология разработки месторождения на основе сортировки некондиционных и ранее потерянных руд // Горн. журн. — 1990. — № 9. — С. 23–25.
27. Саматова Л. А., Шепета Е. Д. Комбинированные технологии переработки бедных, забалансовых вольфрамовых руд и отвалов // ГИАБ. — 2013. — № S4. — С. 187–199.
28. А. с. 1120104 СССР. Способ формирования качества руд при добыче и рудоскат для его осуществления / В. А. Шестаков, В. А. Хакулов, Г. А. Семочкин // Оpubл. в БИ. — 1984. — № 39.

- 29. Чебан А. Ю.** Способ выемки взорванной горной массы экскаватором при разработке сложноструктурных месторождений // Маркшейдерский вестник. — 2020. — № 2. — С. 66–70.
- 30. Увеличение продуктивности** рудника экономически эффективным методом с помощью ALLU // Горн. пром-сть. — 2020. — № 1. — С. 68–69.
- 31. Прохоренко Г. А.** Применение кучного выщелачивания золота из руд техногенных месторождений // ГИАБ. — 2000. — № 3. — С. 86–88.
- 32. Наимова Р. Ш.** Перспективы использования вскрышных пород карьера Мурунтау в качестве резервного сырьевого источника // ГИАБ. — 2011. — № 3. — С. 117–122.
- 33. Пат. 2088758 РФ.** Способ выщелачивания полезных компонентов из руд / Е. М. Валаханович, А. П. Мазуркевич, Л. М. Демич, С. Б. Иноземцев // Оpubл. в БИ. — 2002. — № 29.
- 34. Латышев М. З.** Повышение качества товарной руды при отработке весьма тонких жил // Колыма. — 1972. — № 6. — С. 30–31.
- 35. Секисов Г. В., Чебан А. Ю.** Малоотходная технология освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // ФТПРПИ. — 2021. — № 6. — С. 110–118.
- 36. Sekisov A. and Rasskazova A.** Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu–Au porphyry deposit, Minerals, 2021, Vol. 11, No. 1. — P. 1–11.

Поступила в редакцию 21/II 2023

После доработки 10/III 2023

Принята к публикации 16/III 2023