

БЛОЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ С УЧЕТОМ ИХ КАЧЕСТВА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Хаспироков А.С., Белодедов А.А., Горлов Ю.В.

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова (НПИ), Новочеркасск

Ключевые слова: золотодобывающая отрасль, селективно-совмещенная отработка, степень извлекаемости золота, золоторудные формации, промышленные типы руд, ВМТ-датчики, селективная отработка, способы обогащения.

Аннотация. Данная работа посвящена селективно-совмещенной отработке рудных блоков золоторудных месторождений и отображает ее основные недостатки и преимущества перед сплошной и селективной технологиями разработки месторождений рудного золота. Основная цель работы заключается в обосновании эффективности применения селективно-совмещенной отработки рудных блоков. Особое внимание уделяется основному направлению повышения уровня извлекаемости золота на стадии горных работ – селективному взрыванию и выемке рудной массы по формациям. Методикой проведения работы являются литературный обзор и графическое моделирование. Результатом исследовательской работы стало установление наиболее важных задач, которые решаются при селективно-совмещенном способе отработки рудного блока, и преимуществ перед сплошным и селективным способами. По результатам исследовательской работы сделан вывод, что существует целесообразность проведения дополнительных экономических и производственных расчетов с дальнейшим внедрением технологии в производство. Полученные результаты имеют место применения в горном деле при разработке золоторудных месторождений с разным сортовым составом руды.

BLOCK DISTRIBUTION OF GOLD ORE FORMATIONS CONSIDERING THE ORE QUALITY DURING SELECTIVE MINING OF DEPOSITS

Khaspirokov A.S., Belodedov A.A., Gorlov Yu.V.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Keywords: gold mining industry, selective-combined mining, degree of gold extraction, gold formations, industrial ore types, BMT-sensors, selective mining, enrichment methods.

Abstract. This work is devoted to the selective-combined mining of ore blocks of gold deposits and displays its main disadvantages and advantages over joint and selective technologies of gold ore deposits mining. The main purpose of the work is to substantiate the effectiveness of the use of selective-combined mining of ore blocks. Particular attention is paid to the main direction of increasing the level of gold recovery at the stage of mining - selective blasting and excavation of the ore mass in formations. The methodology of the work is mathematical calculations and graphical modeling. The result of the research work has become the establishment of the most important tasks that are solved with the selective-combined method of mining the ore block, and the advantages over joint and selective methods. Based on the results of the research work, it was concluded that there is an expediency for additional economic and production calculations with the further introduction of technology into production. The results can be used in mining of gold deposits with various ore types.

Введение

Золото играет важную роль в экономической структуре каждого государства. Оно входит в золотовалютные резервы стран и выступает неким гарантом в периоды нестабильной и колеблющейся экономики государств. Так, доля золотого запаса в золотовалютных резервах России составляет 23% (128,5 млрд. долл.).

Мировая золотодобывающая промышленность в последние годы работает в условиях постоянного снижения содержания металла (Au) в рудной массе, в свою очередь, потребность в драгоценном металле растет из года в год. Поэтому актуальными направлениями научных исследований являются работы, направленные на:

– увеличение извлекаемости металла на стадии добычных работ;

- повышение объемов добычи золота (путем проведения дополнительных геолого-разведывательных работ и увеличения производительности горнодобывающих предприятий);
- снижение себестоимости (за счет внедрения новых и совершенствования существующих систем разработки, технологий добычи и переработки руды);
- снижения потерь руды (за счет увеличения угла откоса бортов карьера золоторудной залежи и т.д.)
- повышения уровня безопасности на производстве;
- снижения вредного воздействия на окружающую среду [1-3].

Материалы и методы исследования

Более детально рассмотрим проблемы низкого уровня извлечения золота, связанные непосредственно с отработкой рудных блоков, содержащих разные золотопромышленные типы руд. В первую очередь определим основные золоторудные формации РФ, величину их запасов по состоянию на 2021 г. и объемы годовой добычи (табл. 1) [4-6].

Табл. 1. Типы золотопромышленных руд в РФ

№ п/п	Промышленные типы золоторудных месторождений	Число месторождений	Среднее содержание, г/т	Балансовые запасы		Забалансовые запасы		Добыча золота в 2021г.	
				кг	%	кг	%	кг	%
1	Золотой	269	2,23	7061941	53,1	1707737	54,2	150317	43,4
2	Серебряно-золотой	47	5,36	877755	6,6	170144	5,4	48605	14,0
3	Золото-сульфидный	37	2,56	452177	3,4	226858	7,2	15922	4,6
4	Золото-кварцевый	29	1,72	319184	2,4	100826	3,2	11276	3,2
5	Полиметалльно-золотой	4	13,08	66497	0,5	12603	0,4	2177	0,6
6	Золото-сульфидно-кварцевый	4	2,07	5320	0,04	36	0,00	0	0,00
7	Золото-серебряный	3	2,94	53197	0,4	34659	1,1	0	0,00
8	Золото-серебро-баритовый	1	1,04	5320	0,04	181	0,00	0	0,00
9	Золото-колчеданный	4	5,93	26599	0,2	5356	0,17	346	0,1
10	Золото-сурьмяный	1	15,01	3990	0,03	0	0,00	0	0,00
11	Медно-золоторудный	1	0,46	26598	0,2	3466	0,11	0	0,00
12	Золото-скарновый	2	2,20	1330	0,01	945	0,03	692	0,2
13	Окисленный золото-колчеданные	4	6,54	7980	0,06	296	0,00	0	0,00
Итого в РФ (золоторудные)		405	-	8907888	66,98	2263107	71,83	229335	66,1
Всего в РФ		5954	-	13299324	100	3150807	100	346123	100

В настоящее время блока с разным сортовым составом (формациями) рудного золота в большинстве месторождений обрабатываются по следующей схеме (рис. 1):

- сплошное взрывание блока с ВМТ-датчиками (Blast movement technologies), расположенными в скважинах на границах разных формаций руд;
- селективная погрузка отбитой золотосодержащей рудной массы разных формаций по датчикам на всю высоту развала.

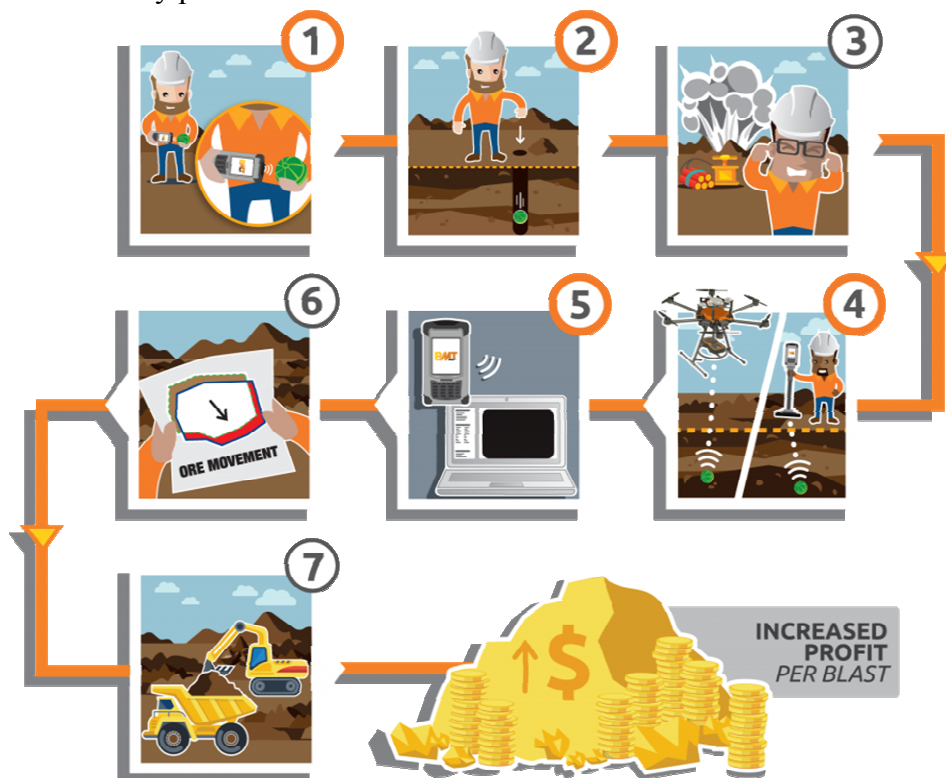


Рис. 1. Технология ВМТ-взрывания

Технология взрывания с помощью ВМТ-датчиков заключается в следующем:

- датчики заранее закладываются во взрывные скважины на дне, возможно также закладывание нескольких датчиков в одной скважине на разных глубинах для более точного определения линии смещения рудного тела;
- датчики работают в режиме стандартной или автоматической активации (т. е. сразу активируются после закладывания в скважину или непосредственно перед взрывом, или вместе с детонацией взрывных скважин);
- датчики перемещаются вместе с взрываваемой горной массой и передают свои координаты на детектор;
- с помощью детектора определяются расположения датчиков;
- по данным расположения датчиков в специальном программном обеспечении создается контур смещения рудного тела;
- рудный блок готов к отработке.

Рядовые показатели степени извлекаемости золота из руд в 2021 году по России изменяются в среднем от 80 до 90%. Степень извлекаемости золота зависит от: типа золотосодержащей руды; применяемой технологии обогащения; состава рудной массы, подаваемой на золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ).

Главным направлением повышения уровня извлекаемости является разделение рудной массы (селективная выемка) по формациям на стадии горных работ для дальнейшего выбора технологии обогащения, присущей конкретному золотопромышленному типу месторождения [7].

Для решения этой задачи требуется анализ технологических схем переработки для разных промышленных типов месторождений с учетом содержания золота в руде для дальнейшего создания блоков рудных формаций, соответствующих конкретному способу обогащения (табл. 2, рис. 2) [6, 8-10].

Табл. 2. Характеристика промышленных типов рудного золота

Промышленный тип руды	Степень извлекаемости, %	Крупность золота, мм
Золотой (содержание сульфидов менее 2%)	90-95	0,01-0,08
Серебряно-золотой	80-95	0,001-0,1
Золото-сульфидный (содержание сульфидов 2-5%)	87-95	0,01-0,1
Золото-кварцевый	86-93	0,1-1,0
Полиметалльно-золотой	83-96	0,1-0,2
Золото-сульфидно-кварцевый	85-90	0,01-0,1
Золото-серебряный	86-95	0,001-0,1
Золото-колчеданный	90-91	0,01-0,1
Золото-сурьмяный	70-84	0,01-0,1
Медно-золоторудный	70-80	0,01-0,1
Золото-скарновый	70-85	0,005-0,1

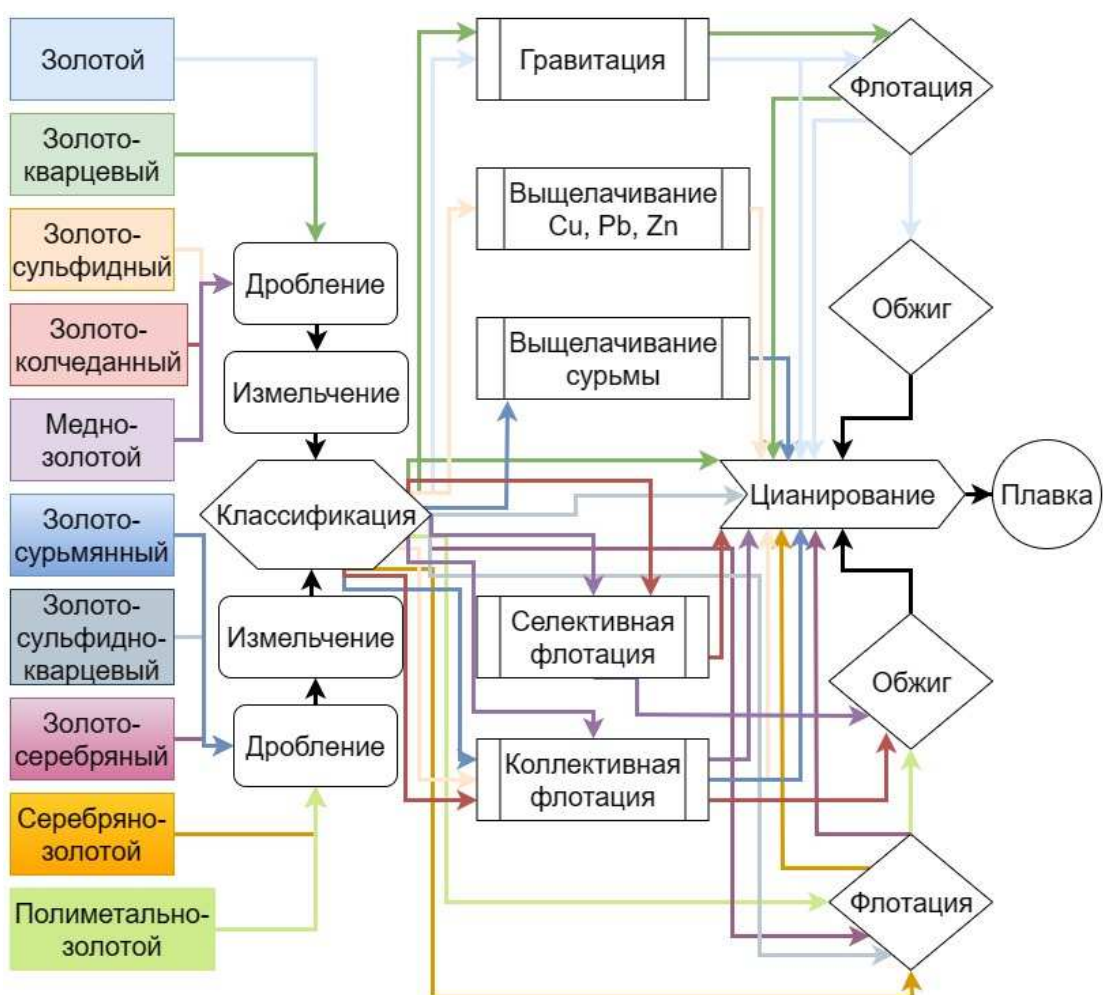


Рис. 2. Типовые схемы обогащения рудной массы разных формаций

Применяя данные из таблицы 2 и рисунка 2, разделим золоторудные формации на 4 блока (группы) (рис. 3) по следующим критериям: способ обогащения, крупность частиц золота, максимальная степень извлекаемости золота, обеспечиваемая современными способами обогащения [11].



Рис. 3. Распределение золоторудных формаций в группы (блоки)

На рисунке 3 представлен один из вариантов распределения золоторудных формаций в блоки (группы). При интеграции дополнительных критериев отбора (среднее содержание Au, содержание дополнительных примесей и металлов и т.д.), значительно влияющих на: себестоимость обогащения и добычи, степень извлекаемости Au, скорость обогащения, – состав блоков может изменяться. При таком селективно-совмещенном способе отработки золоторудных месторождений с применением технологии ВМТ-взрывания решаются ряд задач:

- снижается объем буровых работ, чем при селективном способе разработки, когда каждый золоторудный тип оконтуривается, взрывается и обрабатывается отдельно от остальных;

- степень смешивания легкообогатимых и труднообогатимых руд, а также руд с примесями, негативно влияющими на процесс обогащения, уменьшается за счет их раздельной отработки, чем при сплошном способе разработки рудного блока;

- степень извлечения золота повышается ввиду возможности применения максимально подходящего способа обогащения под конкретный блок золоторудных формаций, чем при сплошном способе;

- временные затраты на отработку блока и простои оборудования уменьшаются прямо пропорционально количеству взрывных работ, чем при селективном способе отработки рудного блока.

Вывод. В связи с вышеизложенным требуется выполнение дополнительных исследовательских работ с учетом экономической оценки способа отработки рудного блока с различными золотопромышленными типами руд, объединенными в группы формаций по различным критериям отбора (качественные показатели, типовые способы обогащения, сопутствующие металлы и примеси, крупность частиц золота и кусков руды и т.д.) на примере существующих золоторудных месторождений.

Список литературы

1. Исмаилов Т.Т., Логачев А.В., Голик В.И., Лузин Б.С. Принципы безотходности поэтапной разработки золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 7. – С. 173-178.
2. Логачев А.В., Голик В.И. К теории выщелачивания золота из некондиционного первичного и вторичного сырья // Обогащение руд. – 2009. – № 2. – С. 18-20.
3. Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Разоренов Ю.И., Стась Г.В. К проблеме выщелачивания металлов из некондиционного сырья // Вектор ГеоНаук. – 2019. – Т. 2, № 3. – С. 32-39.
4. Нигай Е.В. Рудные формации и минералого-геохимические особенности месторождений благородных металлов дальневосточного региона России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №6. – С. 245-254.

5. Алексеев Я.В., Конкина О.М., Пивоварова Т.А. Количественные аспекты развития МСБ золота РФ // Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М.: ЦНИГРИ, 2019. – С. 64.
6. Константинов М.М., Стружков С.Ф., Аристов В.В. Геолого-промышленная группировка золоторудных месторождений // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – №4. – С. 15-18.
7. Селективная раздельная выемка. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mining-enc.ru/s/selektivnaya-razdelnaya-vyemka>.
8. Контарь Е.С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 199 с.
9. Геолого-технологическая типизация золотых руд. [Электронный ресурс]. – URL: <https://industrial-wood.ru/zolotorudnye-mestorozhdeniya/14153-geologo-tehnologicheskaya-tipizaciya-zolotykh-rud.html>.
10. Обогащение золотоносных руд. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techade.ru/stati/obogashchenie-zolotonosnykh-rud>.
11. Золотосодержащие руды и минералы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://metal-archive.ru/metallurgiya-zolota-i-serebra/2576-zolotosoderzhaschie-rudy-i-mineraly.html>.

References

1. Ismailov T.T., Logachev A.V., Golik V.I., Luzin B.S. Principles of waste-free phased development of gold deposits // Mining information and analytical bulletin. 2009, no. 7, pp. 173-178.
2. Logachev A.V., Golik V.I. On the theory of gold leaching from substandard primary and secondary raw materials // Ore dressing. 2009, no. 2, pp. 18-20.
3. Dmitrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Razorenov Yu.I., Stas' G.V. On the problem of leaching metals from substandard raw materials // Geoscience Vector. 2019, vol. 2, no. 3, pp. 32-39.
4. Nigaj E.V. Ore formations and mineralogical and geochemical features of precious metal deposits in the Far Eastern region of Russia // Mining information and analytical bulletin. 2009, no. 6, pp. 245-254.
5. Alekseev Ya.V., Konkina O.M., Pivovarova T.A. Quantitative aspects of the development of SME gold in the Russian Federation // Collection of Abstracts of the IX International Scientific and Practical Conference "Scientific and Methodological Basis for Forecasting, Exploration, Evaluation of Deposits of Diamonds, Precious and Non-Ferrous Metals". – М.: CNIGRI, 2019. – P. 64.
6. Konstantinov M. M., Struzhkov S. F., Aristov V. V. Geological and industrial grouping of gold deposits // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2007, no. 4, pp. 15-18.
7. Selective split cut. [Electronic resource]. – URL: <http://www.mining-enc.ru/s/selektivnaya-razdelnaya-vyemka>.
8. Kontar' E.S. Geological and industrial types of deposits of copper, zinc, lead in the Urals (geological conditions of location, history of formation, prospects). – Yekaterinburg: Publ. house USGU, 2013. – 199 p.
9. Geological and technological typification of gold ores. [Electronic resource]. – URL: <https://industrial-wood.ru/zolotorudnye-mestorozhdeniya/14153-geologo-tehnologicheskaya-tipizaciya-zolotykh-rud.html>.
10. Enrichment of gold ores. [Electronic resource]. – URL: <https://www.techade.ru/stati/obogashchenie-zolotonosnykh-rud>.
11. Gold-bearing ores and minerals. [Electronic resource]. – URL: <https://metal-archive.ru/metallurgiya-zolota-i-serebra/2576-zolotosoderzhaschie-rudy-i-mineraly.html>.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хапси́ров Астеми́р Серге́евич – аспирант	Khapsirokov Astemir Sergeevich – postgraduate student
Белодедов Андрей Алексеевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горное дело»	Belodedov Andrey Alekseevich – doctor of technical sciences, head of the Department of mining
Горлов Юрий Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело»	Gorlov Yuri Valentinovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining
haspyrovov.urgpu@bk.ru	

Получена 16.12.2023