



НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCE

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-2-113-122

УДК 622.342

Научная статья

Особенности горно-геологических и горнотехнических условий освоения золоторудного месторождения Рябиновое

С.В. Рыжов^{a,b}, М.В. Рыльникова^a, Е.Н. Есина^{a,c}

^aИнститут проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Российская Федерация, 111020, Москва, Крюковский тупик, д. 4

^bПАО «Селигдар», Российская Федерация, 115035, Москва, ул. Пятницкая, д. 13, стр. 2

^cРоссийский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

История статьи:

Поступила в редакцию: 2 мая 2020 г.

Доработана: 10 мая 2020 г.

Принята к публикации: 11 мая 2020 г.

Ключевые слова:

золоторудное месторождение Рябиновое, комплексное освоение, горно-геологические условия, горнотехнические условия, эффективность, открытая геотехнология, дифференцированный подход

Аннотация. Значимая роль золотодобывающей промышленности в развитии минерально-сырьевого комплекса России предопределила поиск новых организационно-технических и геотехнологических решений для повышения полноты и эффективности освоения месторождений. Большинство золоторудных месторождений России находится в труднодоступных малонаселенных районах, где ощущается недостаток в энергетических, транспортных коммуникациях, инфраструктуре. Показано, что золоторудное месторождение Рябиновое, расположенное в Республике Саха (Якутия), характеризуется сложной структурой, относительно неглубоким залеганием рудных залежей и широким разбросом ценности минерального сырья. Особенности месторождения Рябиновое заключаются в сложном структурном строении и чередовании оруденелых золотоносных и слабозолотоносных или безрудных участков различной мощности и сложной морфологии. Уточнены и обоснованы основные критерии открытой геотехнологии, обеспечивающие безопасную и эффективную разработку месторождения Рябиновое с достижением максимально возможного совокупного дисконтированного дохода за наименьший срок окупаемости проекта. В целом стратегия освоения запасов золоторудного месторождения Рябиновое основывается на комплексном подходе, обеспечивающем повышение уровня извлечения полезных компонентов и увеличение объемов товарной продукции с дифференцированным подходом к выбору способа переработки руд различного качества. Показано, что достижение рациональной производственной мощности при комплексном освоении золоторудного месторождения Рябиновое основано на оптимизации варьирования бортового и среднего содержания золота в руде и перерабатываемой рудной массе с обоснованием соотношения производственной мощности добычного и перерабатывающего цикла.

Рыжов Сергей Владимирович, председатель Совета директоров золото- и оловодобывающей компании ПАО «Селигдар»; научный сотрудник ИПКОН РАН.
Рыльникова Марина Владимировна, заведующая отделом теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН; доктор технических наук, профессор; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9984-5980>, eLIBRARY SPIN-код: 9908-2312, Web of Science ResearcherID: E-4678-2014.

Есина Екатерина Николаевна, старший научный сотрудник ИПКОН РАН; доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии РУДН; кандидат технических наук, доцент; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1685-2406>, eLIBRARY SPIN-код: 9090-9868, ResearcherID: E-6092-2017; esina-en@rudn.ru

© Рыжов С.В., Рыльникова М.В., Есина Е.Н., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Введение

Высокая роль золотодобывающей промышленности в развитии минерально-сырьевого комплекса России, возросшая в связи с мировым экономическим кризисом, предопределила поиск новых организационно-технических и геотехнологических решений для повышения полноты и эффективности освоения месторождений [1–8].

В этой связи представляет интерес анализ горно-геологических и горнотехнических условий освоения золоторудного месторождения Рябиновое, имеющего сложную структуру и характеризующегося не глубоким залеганием рудных залежей и широким разбросом ценности минерального сырья.

Общая характеристика золоторудного месторождения Рябиновое

Золоторудное месторождение Рябиновое находится на территории Алданского муниципального района Республики Саха (Якутия). Оно расположено на правом берегу реки Якоцит в 44 км

к северо-востоку от административного центра г. Алдана (рис. 1) в восточной части массива мезозойских щелочных пород и представлено двумя участками – Мусковитовый и Новый. Более рудоносным является участок Мусковитовый, расположенный в районе слияния ручьев Сульфидный и Мусковитовый, последний является левым притоком ручья Рябиновый. Площадь участка составляет около 4 км², на нем выделено пять рудовмещающих залежей – Северная, Западная, Восточная, Южная и Центральная [9].

Северная залежь прослежена по простиранию на расстояние 600 м (до ее выклинивания), по падению на глубину 170 м (до отметки +746 м). Мощность залежи колеблется от 30 до 145 м и в среднем составляет 83 м. Ширина увеличивается с севера на юг (от 30 до 145 м) и практически не меняется даже при выклинивании на южном фланге. Среднее содержание золота по рудным проявлениям колеблется от 0,88 до 8,55 г/т, составляя в среднем по рудной залежи 1,74 г/т. В штотверке Северной залежи сосредоточено около 22 % от общих запасов золота по месторождению.



Рис. 1. Расположение месторождения Рябиновое [8]
[Figure 1. Location of the Ryabinovoe gold deposit [8]]

Центральная залежь – пластообразная, характеризуется переменной мощностью 38÷56 м и углом падения до 30°. По падению протяженность залежи прослеживается на глубину 85 м от основания ранее отработанного карьера и залегает на глубине 30–70 м от поверхности. Верхние горизонты Центральной рудной залежи были отработаны в 1990–1994 гг., ее ширина меняется по простиранию от 40 м в местах пережима до 260 м на северо-западном фланге. Центральная залежь характеризуется сравнительно высоким уровнем содержания золота по отношению к другим руд-

зонтами Центральной рудной залежи были отработаны в 1990–1994 гг., ее ширина меняется по простиранию от 40 м в местах пережима до 260 м на северо-западном фланге. Центральная залежь характеризуется сравнительно высоким уровнем содержания золота по отношению к другим руд-

ным залежам месторождения Рябиновое. Среднее содержание по рудопроявлениям составляет 3,90 г/т, изменяясь от 1,04 до 17,8 г/т. Количество запасов, сосредоточенных в Центральной залежи, – около 11 % от общих запасов золота по данному месторождению.

Западная залежь расположена к юго-западу от залежи Центральная и приурочена к лежащему северо-западному контакту щелочных базальтоидов с измененными мусковитизированными сиенитами [8]. Западная залежь залегает субсогласно положению лежащего бока базальтовой дайки, погружающейся под углом 75–85° в юго-восточном направлении, характеризуется неправильной формой и невыдержанной мощностью. На северо-восточном фланге залежь выходит под четвертичные отложения, на юго-западном она находится на глубине 10–55 м. По простиранию залежь прослежена на 235 м, по падению – до отметки +607 м на глубину до 120 м. Ее мощность колеблется от 10 до 67 м и составляет в среднем 41 м. Содержание золота по рудным проявлениям меняется от 0,86 до 10,6 г/т и в среднем составляет 2,51 г/т. Запасы Западной залежи включают около 9 % от общих запасов месторождения.

Южная залежь располагается в 60–70 м к юго-западу от залежи Западная и приурочена к трещинным структурам субпараллельным северо-западному контакту тела щелочных базальтоидов. Оруденение локализуется в щелочных сиенитах в экзоконтактной зоне дайки, иногда примыкая непосредственно к щелочным базальтоидам. Залежь имеет удлиненную форму и прослежена по простиранию на 280 м при средней ширине в 50 м. Практически на всем своем протяжении она выходит на поверхность. Залегание залежи – крутое с падением на юго-восток под углом 70–80°. Мощность – от 2 до 85 м, в среднем 37 м. Среднее содержание золота составляет 3 г/т, изменяясь от 1,0 до 7,0 г/т. Запасы Южной залежи составляют около 13 % от общих запасов золота по месторождению.

Протяженность Восточной залежи значительна – до 560 м, ширина в среднем составляет 58 м. Средняя мощность залежи – 25 м, с вариациями от 2,5 до 60 м. Среднее содержание золота 1,56 г/т, колеблется от 0,67 до 6,1 г/т. Восточная рудная залежь содержит около 7 % запасов золота от общих запасов месторождения.

Обособленно от Мусковитового участка расположен участок Новый. На нем находится лишь

одна залежь – крупный золотоносный шток эпидейцитовых сиенитов. Рудная залежь прослежена на поверхности (+1040 м), на штольневом горизонте (+940 м) и ниже на глубину около 400 м. Золотосульфидная минерализация на участке Новый изучена в интервале глубин +625 ÷ +1040 м. Она приурочена к телу эпидейцитовых сиенитов и в его объеме встречается повсеместно, но степень концентрации золотоносных руд весьма неравномерная. Более богатое оруденение высокой сплошности тяготеет преимущественно к крайним частям тела эпидейцитовых сиенитов, его центральная часть насыщена рудными скоплениями в значительно меньшей степени. Параметры рудных интервалов, как в плане, так и в разрезе, изменяются в широких пределах. В плане мощность рудных интервалов колеблется от 3 до 52 м, при среднем содержании золота от 1,03 до 2,11 г/т. В разрезе диапазон изменений мощности рудных интервалов еще шире – от первых сотен метров до 3 м. Среднее содержание золота в продуктивной части залежи составляет 2,2 г/т при варьировании от 0,87 до 17,75 г/т. В рудной залежи участка Новый сосредоточено 38 % общих запасов месторождения.

Особенности геологических и горнотехнических условий

Особенности месторождения Рябиновое заключаются в сложном структурном строении и чередовании оруденелых золотоносных и слабо-золотоносных или безрудных участков различной мощности и сложной морфологии [9]. Оконтуривание минерализованных зон из-за их прерывистого внутреннего строения носит условный характер. Промышленные рудные скопления, разделенные с бедными некондиционными рудными прослоями, не связаны между собой и геометризовать их в единое рудное тело не представляется возможным. В связи с этим они учитываются в обобщенных границах минерализованных зон (рудных залежей) статистически с применением коэффициента рудоносности, который весьма изменчив и варьирует по отдельным блокам от 0,20 до 0,77, в среднем составляя 0,43. Это показывает определенные сложности при выборе технологии управления качеством рудной массы при открытой разработке месторождения.

Распределение ценного компонента внутри рудных участков отличается неравномерным гнездо-

образным характером. Длина рудных интервалов в среднем составляет 14,7 м, изменяясь в пределах $0,7 \div 170$ м.

При этом в целом золотосодержащие руды месторождения Рябиновое представляют собой единый геологический тип – штокверковый, включающий сульфидное золото, в объеме которого выделяются три природноизмененные разновидности руд: первичные сульфидные, полуокисленные смешанные, окисленные. При содержании 80–90 % сульфидов руды относятся к сульфидным, менее 50 % – к окисленным, при промежуточных количествах сульфидов – к смешанным.

Кроме золота в рудах присутствуют в незначительных количествах медь, свинец, мышьяк, цинк, сера, серебро. Количество попутных компонентов (за исключением серебра) в рудах месторождения Рябиновое непромышленное, с содержанием на уровне десятых, сотых и тысячных долей процента.

При выборе параметров открытой геотехнологии учтены особенности структурного строения массива и физико-механические характеристики горных пород.

Наличие зон ослабления в массиве связано с развитием экзогенной и в меньшей степени тектонической трещиноватости. Общий модуль трещиноватости – 2–7 ед/м, породы – слабо- и среднетрещиноватые, слабовыветрелые, устойчивые и весьма устойчивые. Среднее значение плотности руды месторождения Рябиновое принято равным 2530 кг/см^3 . Влажность первичных руд и вмещающих пород – 0,8–1,9 %, смешанных руд – 2,0–2,2 %, окисленных руд – 2,8–3,1 %. Пористость горных пород изменяется от 5,0 до 10,3 %, максимальные значения характерны для окисленных разностей.

Крепость руды и породы по шкале профессора М.М. Протоdjаконова составляет 14–16. В целом руды и породы месторождения Рябиновое относятся к весьма крепким. Породы, слагающие месторождение, характеризуются минимальной размокаемостью, высокой прочностью и малой деформируемостью. Категория пород по буримости XIV–XVI. Интенсивное распространение многолетней мерзлоты отмечено на участке Новом, а также по левому борту ручья Сульфидного. Глубина ее распространения составляет первые сотни метров.

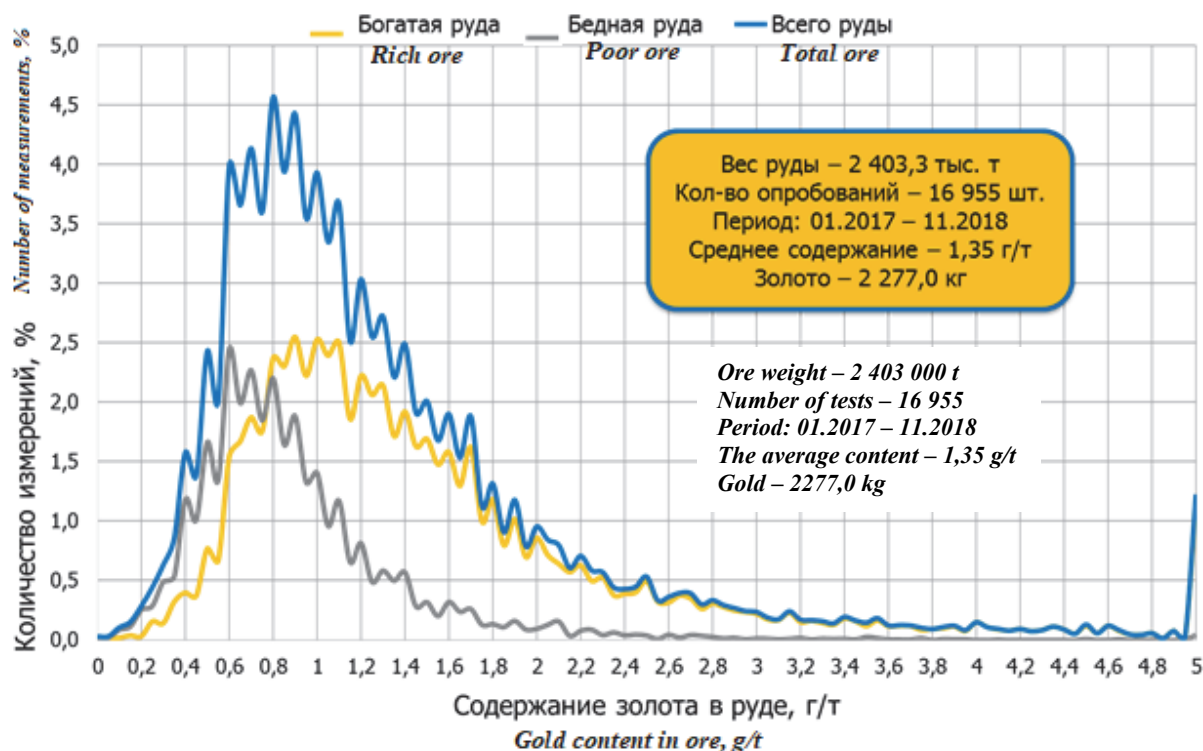


Рис. 2. График статистики распределения содержания полезного компонента в руде на месторождении Рябиновое
[Figure 2. Statistics graph of the content distribution of the useful component in the ore at the Ryabinovoe deposit]

Составлению вариантов календарного графика разработки месторождения Рябиновое с целью расчета трех показателей оптимизации – денежного потока, величины чистой приведенной стоимости и срока окупаемости проекта – предшествовало построение статистики распределения содержания полезного компонента в руде. Формирование данного графика осуществлено на основе 16 955 посамосвальных опробований руды, извлеченной из недр в период с января 2017 г. по ноябрь 2018 г. По каждому опробованию

фиксировалось значение его массы и среднего содержания полезного компонента. Статистические сведения о распределении содержания полезного компонента в руде на основе данных посамосвальных опробований представлены на рис. 2.

При подсчете запасов на месторождении Рябиновое к балансовым отнесены все запасы, находящиеся в экономически обоснованном контуре карьера. Запасы за пределами этого контура отнесены к забалансовым (табл. 1) [8].

Таблица 1

Сводный подсчет промышленных запасов месторождения Рябиновое
[Table 1. Summary calculation of industrial reserves of the Ryabinovoe deposit]

Категория [Category]	Запасы руды, тыс. т [Ore reserves, thous. t]	Содержание, г/т [Content, g/t]		Запасы, кг [Reserves, kg]	
		Au	Ag	Au	Ag
C ₁	5713,2	2,17	4,31	12394,6	24625,2
C ₂	3800,2	1,99	4,21	7568,2	16002,7
C ₁ + C ₂	9513,4	2,10	4,27	19962,8	40627,9

Таблица 2

Производительность карьеров по горной массе на месторождении Рябиновое в ходе ввода карьеров в эксплуатацию
[Table 2. The pit capacity of the rock mass at the Ryabinovoe deposit]

Карьер [Pit]	Производительность по годам, тыс. м ³ /год [Annual productivity, 1000 m ³ /year]			
	1-й [1 st]	2-й [2 nd]	3-й [3 rd]	4-й и последующие [4 th and next]
Северный [Northern]	–	180	280	300
Центральный [Central]	–	–	90	220
Южный [South]	–	70	130	130
Новый [New]	250	250	250	350
Итого [Total]	250	500	750	1000

Отработка всех залежей на месторождении Рябиновое ведется одновременно четырьмя карьерами, начиная с четвертого года эксплуатации. Разработка запасов участка Мусковитовый осуществляется карьерами Северный (отрабатывает Северную залежь), Центральный (осуществляет горные работы по добыче запасов Центральной, Западной и Восточной залежей), Южный (производит выемку запасов Южной залежи). На участке Новый отработка запасов ведется одноименным карьером Новый.

Принятая производительность карьеров по годам отработки представлена в табл. 2.

В процессе развития добычных работ контуры трех карьеров Северный, Восточный и Южный на участке Мусковитовый объединятся в один, где будут выделены как нагорная зона с разомкнутыми горизонтами, имеющими непосредственный выход на поверхность, так и общая углу-

бочная зона. Условия вскрытия рудных залежей нельзя назвать благоприятными в связи со сложным рельефом и значительным разбросом уклона поверхности в нагорной части. Глубина более 100 м предусмотрена только на карьере Новый.

Для отработки месторождения формируются система капитальных технологических автодорог, обеспечивающая грузотранспортную связь с обогатительной фабрикой и отвалами пустых пород, и система скользящих съездов [8; 10; 11]. К границам конечных контуров карьеров капитальные въездные траншеи подведены: к карьере Северный – с запада к горизонту 800 м; карьере Центральный – с запада к горизонту 730 м; карьере Южный – с запада к горизонтам 740 и 860 м; карьере Новый – с севера к горизонту 940 м, с юго-запада к горизонту 1040 м. Начиная со второго года эксплуатации, транспортная связь с карьером Новый организуется через берму гори-

зонта 860 м карьера Южный. Транспортная связь с промежуточными горизонтами осуществляется по временным автодорогам, прокладываемым по рельефу поверхности и внутренним скользящим съездам. Формирование единой логистической системы способствует существенному сокращению эксплуатационных затрат на добычу руды. С вышележащих горизонтов породы перемещаются на горизонт погрузки бульдозерами.

Карьеры отрабатываются сверху вниз уступами высотой 10 м по вскрыше и 5÷10 м по руде. Вскрытие эксплуатационных горизонтов карьеров осуществляется полутраншеями, имеющими заезды как непосредственно с поверхности, так и с использованием внутренних скользящих съездов. Проходка разрезных траншей ведется по простиранию рудных тел.

Начало добычных работ на карьерах организуется с горизонтов: карьер Северный – 930 м; карьер Центральный – 820 м; карьер Южный – 860 м; карьер Новый – 1040 м.

Для отработки нижних горизонтов карьеров будут формироваться постоянные и временные

наклонные транспортные съезды. Уклон транспортных берм принят 80%.

Основные параметры горнотехнической системы определены на основе принятой геотехнологии и выбранного технологического оборудования (табл. 3) [8].

Подготовка массива горных пород к выемке предусмотрена буровзрывным способом. Бурение по руде и по породе производится станками шарошечного бурения [8; 9]. Предусмотрена послонная выемка рыхлых вскрышных пород в нагорной части карьеров, их бульдозерная транспортировка в бурты, дальнейшая погрузка в автосамосвалы для перемещения во внешний отвал.

Основные параметры горнотехнических систем при открытой разработке месторождения Рябиновое определены в соответствии с действующими в Российской Федерации нормативными требованиями с учетом оптимизации производственной мощности и режима развития горных работ на карьерах основных структурных подразделений по добыче и переработке разнорудных руд.

Таблица 3

Основные параметры элементов системы разработки на карьерах месторождения Рябиновое [8]
[Table 3. Main parameters of development system elements [8]]

Параметры [Parameters]	Значения [Value]
Высота рабочего уступа [The working bench height]:	
– по руде [for the ore]	5–10 м
– по вскрыше [for the rock]	10 м
Высота уступа при погашении [The ledge height]	20 м
Угол откоса [Slope angle]:	
– рабочего уступа [working ledge]	75°
– при погашении по вмещающим породам [for the rock]	70°
– в наносах [in the sediment]	45°
Ширина предохранительной бермы [Safety berm width]	7 м
Минимальная ширина основания разрезной траншеи [Minimum width of the split trench base]	23 м

Стратегия комплексного освоения запасов золоторудного месторождения Рябиновое

Отличительной особенностью проектирования разработки месторождения Рябиновое является разделение добытой руды на два разных процесса – переработки и промежуточного складирования части добытой руды. Первая, самая большая часть добытой руды с наибольшим содержанием золота будет направляться на золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ) с извлечением 86 % золота. Вторая часть руды – с наименьшим содержанием золота – перерабатываться методом кучного выщелачивания (КВ) с показателем из-

влечения около 65 % [12]. Третья часть руды – складироваться для переработки в будущем.

В результате построения нескольких допустимых по горнотехническим условиям вариантов календарного графика добычи и переработки руды месторождения Рябиновое и их апробации в производственно-финансовой модели предприятия был определен наиболее эффективный вариант. Критериями оптимизации являлись максимизация дисконтированного денежного потока и, как следствие, чистой приведенной стоимости разработки месторождения и минимизация срока окупаемости инвестиций.

Реализация комплексного подхода в совокупности с достижением максимально возможной полноты и эффективности освоения месторождения осуществляется в результате выбора наилучшего сочетания физико-технических и физико-химических методов извлечения и переработки основных и попутных компонентов кондиционных и бедных типов руд, а также грамотной эксплуатации или утилизации образующихся отходов горнодобывающего производства [13–16].

В общем случае потенциал применения комплексного подхода к рациональному освоению недр зависит от основных факторов [17–18]:

– геологических, предусматривающих наличие полезных ископаемых в недрах месторождений, а также прочих видов природного и техногенного сырья;

– технических, обуславливающих возможность наиболее полного извлечения полезных компонентов в процессе добычи и переработки руды, а также контроля и минимизации негативного экологического воздействия;

– экономических, основанных на достижении положительной разницы дисконтированных денежных потоков между доходами проекта комплексной разработки месторождения и затратами на реализацию такого проекта.

В сложных природно-климатических и горнотехнических условиях причиной эффективного освоения запасов месторождения Рябиновое является дифференцированный подход к выбору способа переработки руд различного качества с обоснованием рациональной структуры производственных мощностей рудника и перерабатывающих производств [19–21]. Реализация данного подхода предполагает изучение потенциального участка разработки для обоснования стратегии его освоения и проектирования горнотехнических систем с параметрами, обеспечивающими заданные показатели экономического и экологического эффектов [22; 23].

Выбранная стратегия освоения запасов золоторудного месторождения Рябиновое основывается на комплексном подходе, обеспечивающем безопасную и эффективную разработку месторождения за счет повышения уровня извлечения полезных компонентов и увеличения объемов товарной продукции, дифференцированного выбора способа переработки руд различного качества с обоснованием рациональной структуры производственных мощностей при минималь-

ном экологическом воздействии на окружающую среду.

Заключение

Вариативность стратегии отработки запасов золоторудного месторождения Рябиновое обусловлена неравномерностью распределения полезного компонента в массиве как по площади, так и по глубине месторождения. Неоднородность распределения содержания ценных компонентов вызвана длительной и неравномерной физико-химической изменчивостью среды в процессе генезиса полезных ископаемых.

Уточнены и обоснованы основные критерии открытой геотехнологии, обеспечивающие безопасную и эффективную разработку месторождения Рябиновое с достижением максимально возможного совокупного дисконтированного дохода при минимизации срока окупаемости проекта.

Показано, что достижение рациональной производственной мощности структурных подразделений горного предприятия по добыче и переработке золотосодержащих руд различного качества при комплексном освоении месторождения Рябиновое основано на оптимизации бортового и среднего содержания золота в руде и перерабатываемой различными способами рудной массы с обоснованием соотношения производственной мощности добычных и перерабатывающих циклов комбинированной геотехнологии.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Развитие теоретической базы проектирования горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1. С. 391–406.
2. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. М.: ИПКОН РАН, 2014. 196 с.
3. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Комплексное освоение недр – основное содержание горных наук и образования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S1. С. 165–174.
4. Asad M.W.A., Qureshi M.A., Jang H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations // Resources Policy. 2016. Vol. 49. Pp. 142–152.

5. Zayernyuk V.M., Mukhomorova I.V., Zabaikin Iu.V., Egorova E.N., Seifullaev B.M. Analysis of the current state and prospects of the gold mining industry in Russia // *Espacios*. 2017. Vol. 38. No. 58. P. 24.
6. Howe S., Pan J. Application of Enterprise Optimisation Considering Ultra High Intensity Blasting Strategies. Victoria: Whittle Consulting Ltd., 2018. 35 p.
7. Wellmer F.-W., Scholz R.W. What is the optimal and sustainable lifetime of a mine? // *Sustainability*. 2018. Vol. 10. Issue 2. Article 480. doi: 10.3390/su10020480.
8. Горно-обогатительный комплекс «Рябиновый»: проектная документация. СПб.: ЗАО «ТОМС инжиниринг», 2012. Т. 2.1. 98 с.
9. Resources and reserves audit of the Ryabinovoe gold deposit (Sakha Republic (Yakutia), Russia). United Kingdom: Micon International Co Limited, 2016.
10. Арсентьев А.И., Холодняков Г.А. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1994. 336 с.
11. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Проектирование карьеров: учебное пособие для вузов. М.: НПК «Гемос Лимитед», 2002. 176 с.
12. Патент на изобретение РФ №2622534. Способ извлечения благородных металлов из отработанных штабелей кучного выщелачивания / Башлыкова Т.В., Рыжов С.В., Аширбаева Е.А., Грознов И.Н. Заявл. от 23.09.2015; опублик. 16.06.2017.
13. Рыжов С.В., Иляхин С.В., Сытенков В.Н., Никитин А.А. Повышение эффективности использования ресурсного потенциала рудных месторождений // *Горный журнал*. 2019. № 12. С. 25–29.
14. Грубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015. № S1–1. С. 21–32.
15. Вареничев А.А., Комогорцев Б.В., Громова М.П. Сырьевая база золота России // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016. № 8. С. 212–220.
16. Абрамова М.А. Перспективы мирового потребления драгоценных металлов // *Горный информаци-*
- онно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S52. С. 8–12.
17. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений // *Рациональное освоение недр*. 2016. № 2–3. С. 36–41.
18. Абдрахманов И.А., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Перспективы повышения полноты и комплексности освоения месторождений // *Недропользование. XXI век*. 2009. № 3. С. 28–32.
19. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdziva O. Metal deposits combined development experience // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 591–594.
20. Arteaga F. The mining rate in open pit mine planning: a thesis submitted for the degree of Master of Philosophy. Queensland: The University of Queensland, 2014. 110 p.
21. Рыжов С.В., Рыльникова М.В. Обоснование структуры производственной мощности золотодобывающего предприятия на различных этапах развития открытых горных работ // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020. № 1. С. 458–470.
22. Hall B. Cut-off Grades and Optimizing the Strategic Mine Plan. Carlton, Victoria: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2014. 301 p.
23. Dushin A.V., Yurak V.V. Authors' approach to the total economic value: essentials, structure, evolution // *Eurasian Mining*. 2018. No. 1. Pp. 11–15. doi: 10.17580/em.2018.01.03.

Для цитирования

Рыжов С.В., Рыльникова М.В., Есина Е.Н. Особенности горно-геологических и горнотехнических условий освоения золоторудного месторождения Рябиновое // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2020. Т. 21. № 2. С. 113–122. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-2-113-122>

Geological and mining features of gold deposits development of Ryabinovoe gold deposit

Sergey V. Ryzhov^{a,b}, Marina V. Rylnikova^a, Ekaterina N. Esina^{a,c}

^aInstitute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
4 Kryukovskii Deadend, Moscow, 111020, Russian Federation

^bSeligdar, 13 Pyatnitskaya St, bldg 2, Moscow, 115035, Russian Federation

^c'Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: May 2, 2020

Revised: May 10, 2020

Accepted: May 11, 2020

Keywords:

Ryabinovoe gold deposit, comprehensive development, gold deposit, mining and geological conditions, mining technical conditions, efficiency, safety, open geotechnology, differentiated approach

Abstract. The significant role of the gold mining industry in the development of the Russian mineral resource system determines the search for new organizational, technical and geotechnical solutions to improve the completeness and efficiency of deposit development. Most of Russia's gold deposits are in remote, sparsely populated areas, where there is a lack of energy, transport communications, and infrastructure. It is shown that the Ryabinovoe gold deposit, located in the Republic of Sakha (Yakutia), is characterized by a complex structure, relatively low occurrence of ore deposits and a widespread in the value of mineral raw materials. Features of the Ryabinovoe deposit consist in a complex structural structure and alternation of mineralized gold-bearing and low-gold-bearing or ore-free areas of various capacities and complex morphology. The main criteria for open Geotechnology have been clarified and justified. This ensures safe and efficient development of the Ryabinovoe field with the achievement of the maximum possible total discounted income and the shortest recoupment period for the project. In general, an integrated approach is the basis of the development strategy of the Ryabinovoe gold deposit. It includes increasing the level of extraction of useful components, increasing the production volume and a differentiated approach to the choice of a method for processing ores of different quality. It is shown that the achievement of rational production capacity in the complex development of the Ryabinovoe gold deposit is based on optimizing the variation of the onboard and average gold content with justification of the ratio of production capacity of the mining and processing cycle.

References

1. Kaplunov DR. Razvitie teoreticheskoy bazy proektirovaniya gornyh predpriyatij [Development of the theoretical basis for designing mining enterprises]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015;(S1):391–406. (In Russ.)

2. Trubetskoy KN. Razvitie resursosberegayushchih i resurovosproizvodyashchih geotekhnologij kompleksnogo osvoeniya mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh [Development of resource-saving and resource-reproducing geotechnologies of complex development of mineral deposits]. Moscow: IPKON RAS; 2014. (In Russ.)

3. Kaplunov DR, Radchenko DN. Kompleksnoe osvoenie nedr – osnovnoe sodержanie gornyh nauk i obrazovaniya [Complex development of mineral resources – the main content of mining science and education]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;(S1):165–174. (In Russ.)

4. Asad MWA, Qureshi MA, Jang H. A review of cut-off grade policy models for open pit mining operations. *Resources Policy*. 2016;49:142–152.

Sergey V. Ryzhov, Chairman of the Board of Directors of Seligdar Holding; researcher of IPKON RAS.

Marina V. Rylnikova, Head of Department of Design Theory of Subsurface Development of IPKON RAS; Doctor of Technical Sciences, Professor; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9984-5980>, eLIBRARY SPIN-code: 9908-2312, Web of Science ResearcherID: E-4678-2014.

Ekaterina N. Esina, senior researcher of IPKON RAS; Associate Professor of Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of Academy of Engineering of RUDN University; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1685-2406>, eLIBRARY SPIN-code: 9090-9868, ResearcherID: E-6092-2017; esina-en@rudn.ru

5. Zayernyuk VM, Mukhomorova IV, Zabaikin IuV, Egorova EN, Seifullaev BM. Analysis of the current state and prospects of the gold mining industry in Russia. *Es-pacios*. 2017;38(58):24.
6. Howe S, Pan J. *Application of Enterprise Optimization Considering Ultra High Intensity Blasting Strategies*. Victoria: Whittle Consulting Ltd.; 2018.
7. Wellmer F-W, Scholz RW. What is the optimal and sustainable lifetime of a mine? *Sustainability*. 2018;10(2):480. doi: 10.3390/su10020480.
8. *Gorno-obogatitel'nyj kompleks "Ryabinovyj"* [Mining and processing complex "Ryabinovyj"]: project documentation (vol. 2.1). Saint Petersburg: TOMS engineering; 2012. (In Russ.)
9. *Resources and reserves audit of the Ryabinovoe gold deposit (Sakha Republic (Yakutia), Russia)*. United Kingdom: Micon International Co Limited; 2016.
10. Arsentiev AI, Kholodnyakov GA. *Proektirovanie gornyh rabot pri otkrytoj razrabotke mestorozhdenij* [Design of mining operations in open field development]. Moscow: Nedra Publ.; 1994. (In Russ.)
11. Anistratov YuI, Anistratov KYu. *Proektirovanie kar'erov* [Pit design]. Moscow: Gemos Limited; 2002. (In Russ.)
12. Bashlykova TV, Ryzhov SV, Ashirbaeva EA, Groznov IN. *Sposob izvlecheniya blagorodnyh metallov iz otrabotannyh shtabelej kuchnogo vyshchelachivaniya* [Method for extracting precious metals from spent piles of heap leaching]. Patent for invention of the Russian Federation No. 2622534. Statement of 23.09.2015. Publ. 16.06.2017. (In Russ.)
13. Ryzhov SV, Ilyakhin SV, Sytenkov VN, Nikitin AA. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursnogo potenciala rudnyh mestorozhdenij [Enhancing efficient utilization of resource potential of ore deposits]. *Mining Journal*. 2019;(12):25–29. (In Russ.)
14. Trubetskoy KN, Rylnikova MV. Sostoyanie i perspektivy razvitiya otkrytyh gornyh rabot v XXI veke [Situation and prospects of development of open-pit mining operations in the XXI century]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015;(S1–1):21–32. (In Russ.)
15. Varenichev AA, Komogortsev BV, Gromov MP. Syr'evaya baza zolota Rossii [The raw material base of gold in Russia]. *Mining information-analytical bulletin*. 2016;(8):212–220. (In Russ.)
16. Abramova MA. Perspektivy mirovogo potrebleniya dragocennyh metallov [Prospects of world consumption of precious metals]. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2018;(S52):8–12. (In Russ.)
17. Rylnikova MV, Radchenko DN. Metodologicheskie aspekty proektirovaniya sistemy upravleniya mineral'no-syr'evymi potokami v polnom cikle kompleksnogo osvoeniya rudnyh mestorozhdenij [Methodological aspects of designing the management system of mineral resource flows in the full cycle of complex development of ore deposits]. *Rational development of the subsoil*. 2016;(2–3):36–41. (In Russ.)
18. Abdrakhmanov IA, Kaplunov DR, Rylnikova MV, Radchenko DN. Perspektivy povysheniya polnoty i kompleksnosti osvoeniya mestorozhdenij [Prospects for improving the completeness and complexity of field development]. *Subsoil use. 21st century*. 2009;(3):28–32. (In Russ.)
19. Golik V, Komashchenko V, Morkun V, Burdzheva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(6):591–594.
20. Arteaga F. *The mining rate in open pit mine planning* (a thesis submitted for the degree of Master of Philosophy). Queensland: The University of Queensland; 2014. (In Russ.)
21. Ryzhov SV, Rylnikova MV. Obosnovanie struktury proizvodstvennoj moshchnosti zolotodobyvayushchego predpriyatiya na razlichnyh etapah razvitiya otkrytyh gornyh rabot [Justification of the production structure capacity of the gold mining enterprise at various stages of open pit mining development]. *Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2020;(1):458–470. (In Russ.)
22. Hall B. *Cut-off Grades and Optimising the Strategic Mine Plan*. Carlton, Victoria: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2014.
23. Dushin AV, Yurak VV. Authors' approach to the total economic value: essentials, structure, evolution. *Eurasian Mining*. 2018;(1):11–15. doi: 10.17580/em.2018.01.03.

For citation

Ryzhov SV, Rylnikova MV, Esina EN Geological and mining features of gold deposits development of Ryabinovoe gold deposit. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020;21(2):113–122. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-2-113-122>