

УДК 622.274.36 : 553.411

**Соколов Игорь Владимирович**

доктор технических наук,  
заведующий лабораторией  
подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [geotech@igduran.ru](mailto:geotech@igduran.ru)

**Барановский Кирилл Васильевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [kartingist@list.ru](mailto:kartingist@list.ru)

**ОБОСНОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ДОРАБОТКИ ЗАПАСОВ ЗОЛОТОРУДНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ\****Аннотация:*

Изложен комплекс технических решений по вскрытию, подготовке и очистной выемке запасов золоторудного месторождения на стадии доработки с целью поддержания производительной мощности подземного рудника. Особенностью данной стадии является необходимость вовлечения в эксплуатацию рудных тел, граничащих с ранее отработанными блоками, а также учет разнообразия горно-геологических и горнотехнических условий, обусловленного большим количеством разобитых рудных тел с незначительными запасами. Рудные тела имеют сложную форму и представлены серией сближенных кварцевых жил, линз, прожилков и жильных образований неправильной формы мощностью от 1 до 7 м. Для сложившихся условий разработана ступенчатая схема транспортирования горной массы, вскрытие ранее отработанной и действующей части месторождения дополнено необходимыми вентиляционно-ходовыми восстающими, рудоспусками, обходными выработками и наклонными съездами. Данные технические решения обеспечивают своевременный доступ ко всем запасам месторождения, безопасность ведения горных работ, эффективное транспортирование руды и проветривание очистных забоев. Для различных горно-геологических условий сконструированы варианты систем разработки с универсальной схемой подготовки добычного блока, позволяющей в случае изменения условий без дополнительных затрат переходить от одной технологии к другой. Высокие показатели производительности добычи руды и ее качества достигаются за счет применения систем разработки, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям, и максимального возможного использования наиболее эффективной системы подэтажных штреков. Полученные показатели извлечения полезного ископаемого и удельные объемы горно-капитальных и подготовительно-нарезных работ не превышают соответствующих показателей, достигнутых при отработке подобных месторождений. Принятые технические и технологические решения обеспечивают эффективное освоение всех запасов месторождения.

*Ключевые слова:* золоторудное месторождение, схема вскрытия, схема подготовки, система разработки, подэтажная выемка, потери, разубоживание

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.012

**Sokolov Igor V.**

Doctor of Technical Sciences,  
Head of the laboratory,  
the Institute of Mining of UB RAS,  
620075, Ekaterinburg,  
Mamina-Sibiriyaka st., 58  
e-mail: [geotech@igduran.ru](mailto:geotech@igduran.ru)

**Baranovsky Kirill V.**

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Research Worker,  
the Institute of Mining of UB RAS  
e-mail: [kartingist@list.ru](mailto:kartingist@list.ru)

**SUBSTANTIATION OF UNDERGROUND  
TECHNOLOGY FOR FURTHER DEVELOPMENT  
OF A GOLD DEPOSIT RESERVES***Abstract:*

The complex of technical decisions on opening, preparation and clearing excavation of reserves of a gold ore deposit at the stage of further development to maintenance the capacity of an underground mine is ascertained. A specificity of this step is a need for involving into exploitation of ore bodies bordering to the earlier developed blocks and the diversity of geological and mining-technical conditions caused from a large number of fragmented ore bodies with minor stocks. The ore bodies have a complex shape and are built up of a series of contiguous quartz loads, lenses, veins and irregularly shaped vein formation from 1 to 7 m. For the present conditions a stepwise scheme of rock mass transporting has been designed, opening of the used part of the field has been completed by the necessary ventilation-way elements, chutes, bypass workings and inclined moving ways. These technical solutions provide timely access to all the reserves of the deposit, the safety of mining, the efficient transportation of ore and the ventilation of the faces. For different mining-and-geological conditions some variants of developing systems have been engineered with a universal scheme of preparation mining block, in the case of changing conditions allowing to move from one technology to another without any extra cost. High ore production output indicators and ore quality are achieved through the use of designed systems that respond specific geological conditions, and through the maximum possible use of the most effective system of sublevel drifts. The obtained minerals extraction parameters and specific volumes of capital mining works and preparatory-threaded works do not exceed the corresponding indices achieved when developing such deposits. The taken technical and technological solutions ensure the effective development of all the reserves of the field.

*Key words:* gold ore deposit, opening scheme, preparation scheme, balance reserves, development system, sublevel extraction, pillar, losses, dilution

\* Работа выполнена по Госзаданию 007-00293-18-00. Тема № 0405-2018-0015.

## Введение

Эксплуатация золоторудного месторождения нагорного типа ведется подземным способом на стадии доработки. С целью продления срока существования рудника были пересмотрены постоянные разведочные кондиции. В результате запасы ряда рудных тел переведены из забалансовых в балансовые. Все вновь вводимые в эксплуатацию рудные тела находятся на ранее отработанных горизонтах, зачастую вблизи с погашенными блоками, либо на флангах месторождения. Небольшие запасы и разобщенность в пространстве рудного поля определяют особенность их отработки. Таким образом, актуальным является вопрос разработки новых или модернизации существующих схем вскрытия, транспортирования и проветривания рудника, систем разработки [1 – 3].

### *Горно-геологические и горнотехнические условия*

Климат района резко континентальный, характеризующийся продолжительной суровой зимой и коротким летом. Рудные тела залегают в зоне развития многолетней мерзлоты, имеют сложную форму и представлены серией сближенных кварцевых жил, линз, прожилков и жильных образований неправильной формы. Кварцево-жильные образования в рудных телах изменчивы по мощности и прерывисты по простиранию и падению. Мощность рудных тел изменяется от 0,7 до 7,4 м, угол падения – от 31 до 80°. Вмещающие породы от малоустойчивых до устойчивых, руды крепкие – XIV-XV (по буримости).

Нагорный рельеф поверхности определил штольневой способ вскрытия месторождения. Через каждые 50 м по высоте пройдены штольни, разделяющие шахтное поле на 7 этажей. На промплощадке штольни № 4 расположена главная вентиляционная установка (ГВУ), работающая в нагнетательном режиме. Основным концентрационным горизонтом является штольня № 11. Подземный транспорт руды до места разгрузки на площадке штольни осуществляется автосамосвалами PAUS UNI 50-2. На поверхности руда грузится погрузчиком Komatsu WA-420 в автосамосвал БелАЗ-7548 и доставляется на рудный склад золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ).

На руднике применяются три системы разработки: поэтажные штреки (ПШ), поэтажное обрушение (ПО) и система с магазинированием руды (СМ) с малогабаритным высокопроизводительным самоходным оборудованием (буровые установки Boomer, буровые станки Simba и погрузочно-доставочные машины (ПДМ) Scooptram). Системы разработки и комплексы геотехники хорошо себя зарекомендовали [4], полностью соответствуют горно-геологическим условиям месторождения и позволяют достаточно эффективно его обрабатывать.

### *Изложение технических решений*

Существующая схема вскрытия модернизирована в следующем направлении. По степени вскрытия и подготовленности запасов к очистной выемке и порядку их отработки месторождение разделено на две части: верхнюю (отработанную ранее) и нижнюю (действующий участок). Исходя из пространственного расположения рудных тел и разработанной ступенчатой схемы транспортирования горной массы, вскрытие ранее отработанной и действующей части месторождения дополнено необходимыми вентиляционно-ходовыми восстающими (ВХВ), рудоспусками, обходными выработками и наклонными съездами [5, 6]. Запасы, расположенные ниже действующего участка, решено вскрыть транспортным уклоном, вентиляционным шурфом и наклонным съездом (рис. 1).

Разработанная схема вскрытия рудника максимально использует существующие выработки, позволяет осуществить своевременный доступ ко всем запасам месторождения, обеспечивает безопасность ведения горных работ, эффективное транспортирование руды и проветривание очистных забоев. При этом выработки, попадающие в зону сдвига или не используемые для отработки проектируемых запасов, могут частично использоваться для размещения пустой породы от проходческих работ.

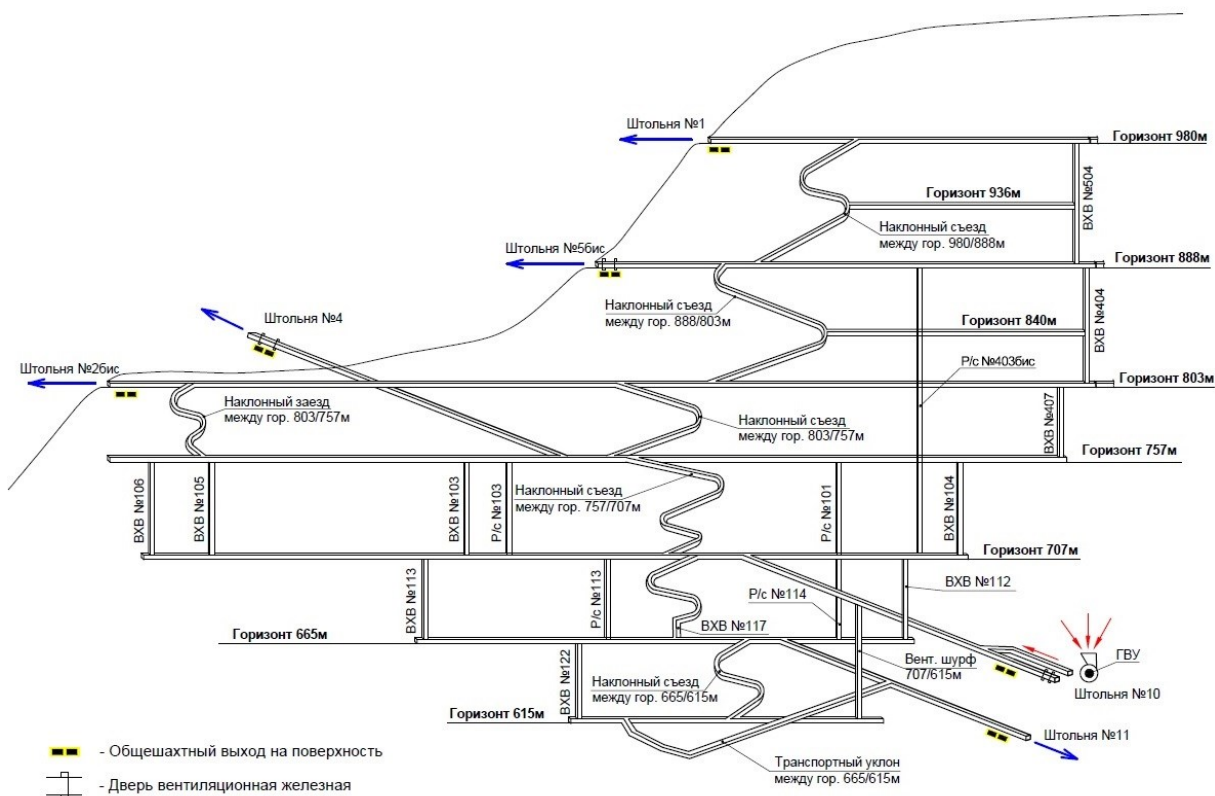


Рис. 1 – Модернизированная схема вскрытия рудника

Одной из особенностей залегания рудных тел месторождения является то, что выемка основной части запасов нижних горизонтов не приводит к подработке рудных тел на верхних горизонтах. Поэтому в первую очередь регламентирована отработка более подготовленных к выемке запасов нижней части месторождения при параллельном проведении вскрывающих выработок верхней части. Такой порядок отработки, во-первых, исключает подработку вышележащих запасов, во-вторых, обеспечивает необходимый объем добычи руды, в-третьих, позволяет после выемки запасов этажа погасить соответствующие горные выработки и упростить схему вентиляции рудника.

На основании анализа горно-геологических и горнотехнических условий, опыта эксплуатации рудника обоснованы системы разработки ПШ, ПО, СМ, конструктивно несколько отличающиеся от применяемых. При всех системах разработки в качестве элементарной выемочной единицы принят добычный блок. Для ПШ и ПО разработана единая схема подготовки, что позволяет в случае снижения устойчивости обнажений вмещающих пород оперативно и без лишних затрат переходить от одной системы к другой [7, 8]. В днище блока проходят траншейный и доставочный штрек, соединяемые между собой погрузочными заездами. На подэтажах проходят буро-доставочные штреки и при необходимости вентиляционные штреки. Отрезные восстающие располагают в центре или на флангах блока. Трассировка проходимых подготовительно-нарезных выработок увязана с существующими этажными и подэтажными выработками.

Система ПШ применяется для отработки рудных тел мощностью более 3 м с углом падения  $\alpha \geq 45^\circ$  при устойчивых рудах и вмещающих породах. Устойчивая площадь обнажения всяческого бока составляет 1500 – 2000 м<sup>2</sup>. При отработке рудных тел значительных размеров или граничащих с ранее отработанными блоками система имеет классический вид. Для отработки локальных рудных тел (рис. 2) в рамках допустимых обнажений образование междуэтажных (МЭЦ) и междукамерных целиков (МКЦ) не требуется.

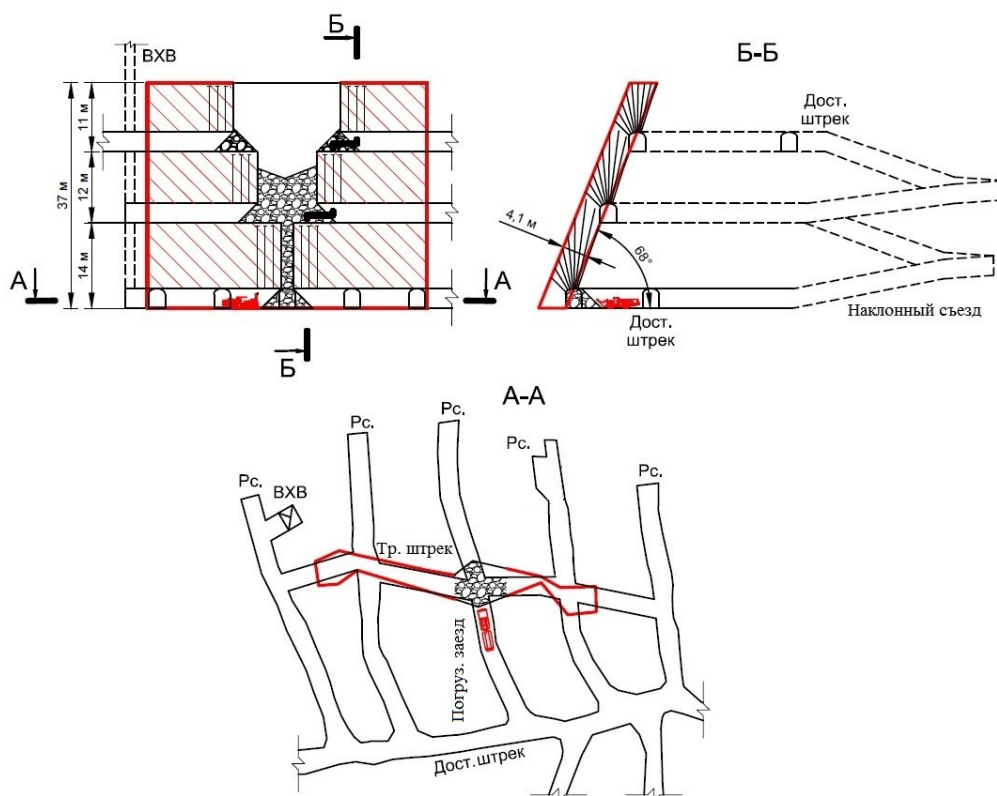


Рис. 2 – Система разработки ПШ

Основные параметры системы ПШ:

- высота подэтажа – 10 – 14 м;
- длина камеры – 50 м (средняя);
- высота камеры – 30 м (средняя), равна высоте рудного тела;
- ширина – 4,1 м (средняя), равна мощности рудного тела;
- толщина МКЦ и МЭЦ – 10 – 12 м.

Отработка запасов начинается с формирования отрезной щели. Отбойку камерных запасов ведут секциями по два – четыре веера на открытое очистное пространство и с опережением верхних подэтажей по отношению к нижним. Выпуск основной части руды производят через траншейное днище из погрузочных заездов с помощью ПДМ. После выемки основных запасов камеры обрушаются целики [9]. Для погашения образовавшегося выработанного пространства при отработке локальных рудных тел предусмотрен подрыв вмещающих пород висячего бока.

Система ПО применяется для отработки рудных тел, залегающих в неустойчивых вмещающих породах (рис. 3).

Основные параметры системы ПО:

- высота подэтажа – 5 – 12,5 м;
- длина добычного блока – 50 м (средняя);
- высота добычного блока – 15 м (при угле падения больше 45°), 9 м (при угле падения менее 45°), определяется конструктивно;
- ширина (средняя) – 4,3 м (при угле падения больше 45°), 1,9 м (при угле падения менее 45°), равна мощности рудного тела.

Технология очистной выемки заключается в отбойке руды вертикальными слоями с помощью вееров скважин диаметром 65 мм на зажатую среду и последующем выпуске отбитого слоя руды через торец буродоставочного штрека с помощью ПДМ. Вариант системы ПО с уменьшенной до 5 – 6 м высотой подэтажа используется при выемке рудных тел с углом падения  $\alpha < 45^\circ$  [10]. Буродоставочный штрек при этом смещается в сторону лежачего бока для оформления подсечки [11]. При отработке слепых рудных тел в



верхнем подэтаже предусмотрен перебур скважин в породы всячего бока для подрыва объема, обеспечивающего заполнение пустот после выпуска отбитой руды.

СМ применяется для отработки тонких и маломощных ( $m < 3$  м) крутопадающих ( $\alpha \geq 45^\circ$ ) рудных тел при устойчивых рудах и вмещающих породах. Подготовка блока включает в себя проходку доставочного и вентиляционного штрека, двух ВХВ, подсечного штрека и погрузочных заездов [12].

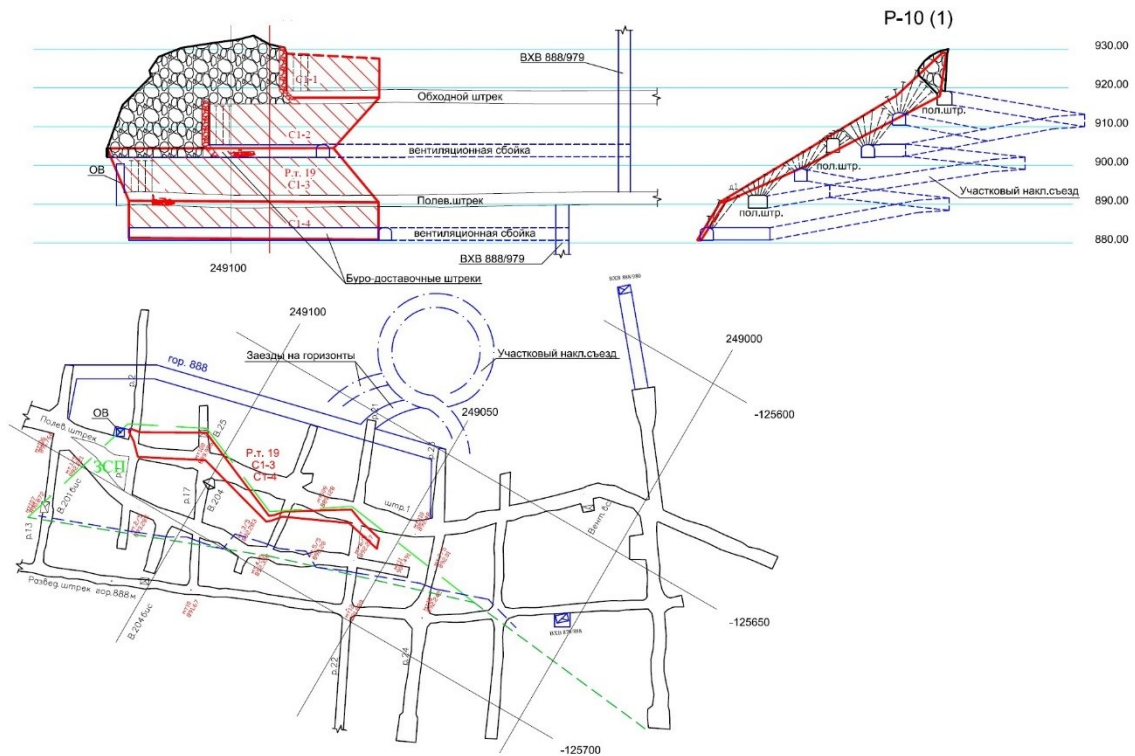


Рис. 3 – Система разработки ПО

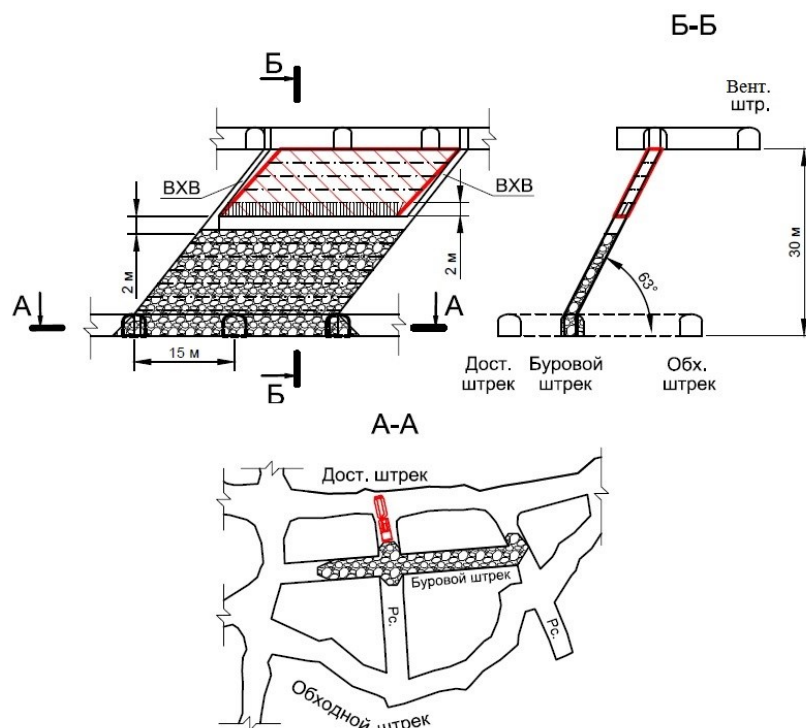


Рис. 4 – Система разработки с магазинированием руды

Основные параметры СМ:

- высота этажей – 40 – 50 м;
- высота подэтажа – 10 – 12,5 м;
- длина добычного блока – 30 м (средняя);
- высота добычного блока – 30 м (средняя);
- ширина добычного блока – 1,8 м, равна мощности рудного тела;
- высота слоя – 2 м.

Очистная выемка блока осуществляется слоями снизу вверх с применением мелкошпуровой отбойки на открытое очистное пространство. Выпуск производят из магазина на величину, определяемую необходимым освобождением пространства для разбуривания следующего слоя переносным оборудованием. Из-за небольших размеров рудных тел оставление целиков не предусматривается. По мере отбойки запасов блока нижняя часть ВХВ погашается, доступ воздуха и людей в очистное пространство осуществляется с вышележащего горизонта. После выпуска руды очистное пространство погашается путем обрушения вмещающих пород или заполнения пустыми породами. Доля применения СМ не более 2 %.

Для каждой системы определены показатели извлечения (табл. 1).

Таблица 1

#### Потери и разубоживание

Система разработки	Потери, %	Разубоживание, %
Подэтажные штреки	6,81	13,43
Подэтажное обрушение	11,78	42,13
Система разработки с магазинированием руды	9,95	32,69

Основные технико-экономические показатели освоения дорабатываемых запасов по подземному руднику приведены в табл. 2. С учетом долей применения систем разработки и потерь, возникающих при перегрузке и транспортировке руды на поверхности (1 %), определены общие потери и разубоживание по руднику – 11,96 и 35,64 %. Удельные объемы горно-капитальных (ГКР) и подготовительно-нарезных работ (ПНР) не превышают соответствующих практических показателей отработки подобных месторождений.

Таблица 2

#### Основные технико-экономические показатели

Показатель	Значение
Доля применения системы разработки, %:	
– ПШ	39,6
– ПО	58,4
– СМ	2
Потери руды, %	11,96
Разубоживание, %	35,64
Годовая производительность рудника, тыс. т	200
Объем ГКР для вскрытия вовлекаемых запасов, тыс. м <sup>3</sup>	33,067
Объем ПНР:	
– всего, м <sup>3</sup>	42678
– на 1000 т сырой руды, м <sup>3</sup> /1000 т	121,4

### Заключение

Комплексный подход к освоению запасов месторождения в период доработки обеспечивает:

- своевременное вовлечение, эффективную и безопасную отработку всех запасов месторождения;
- максимальное использование существующих выработок для вскрытия разоб- щенных в пространстве запасов и транспортирования руды, а также для подготовки к очистной выемке и размещения пустых пород от проходческих работ;
- эффективное проветривание горных работ;
- высокие показатели производительности добычи руды и ее качества за счет при- менения оптимальных вариантов систем разработки в конкретных горно-геологических условиях;
- предельно возможное использование наиболее эффективной системы подэтаж- ных штреков за счет единой схемы подготовки добычных блоков;
- поддержание производственной мощности подземного рудника и ЗИФ за счет одновременной отработки запасов верхней и нижней части месторождения технолого- чески независимо друг от друга.

### Литература

1. Трубецкой К.Н. Методология построения инновационных технологий освоения жильных месторождений / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Г.В. Сабянин // ФТПРПИ. – 2011. – № 4. – С. 86 – 94.
2. Каплунов Д.Р. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 86 – 90.
3. Никитин И.В. Вскрытие и технология отработки крутопадающего жильного ме- сторождения в условиях гористой местности / И.В. Никитин // Проблемы недропользо- вания. – 2014. – № 1. – С. 108 – 113.
4. Волков Ю.В. Выбор комплексов самоходного технологического оборудования / Ю.В. Волков, И.В. Соколов // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. – № 2. – С. 3 – 6.
5. Павлов А.М. Обоснование параметров подземной геотехнологии жильных зо- лоторудных месторождений на основе выявления и использования свойств фрактально- сти геологической среды / А.М. Павлов // Горный информационно-аналитический бюл- леть. – 2011. – № 4. – С. 106 – 112.
6. Глотов В.В. Технология разработки мелких жильных месторождений с измен- чивой мощностью / В.В. Глотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Т. 1. № 12. – С. 70 – 74.
7. Влияние показателей извлечения на эффективность технологии подземной раз- работки рудных месторождений / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, Р.И. Со- колов // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 4 – 11.
8. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / В.Л. Яковлев, И.В. Соколов, Г.Г. Саканцев, И.Л. Кравчук // Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 46 – 50.
9. Павлов А.М. Обоснование параметров геотехнологий выемки целиков круто- падающих жильных месторождений / А.М. Павлов, Е.Л. Сосновская // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 15 – 19.
10. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозале- гающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 2. – С. 47 – 53.



11. Результаты экспериментальных исследований подземной добычи высокоценного кварца в условиях Кыштымского рудника / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, А.А. Рожков // ФТПРПИ. – 2018. – № 1. – С. 97 – 106.

12. Необутов Г.П. Оценка изменения тенденций развития технологии разработки жильных месторождений криолитозоны / Г.П. Необутов, Д.Н. Петров, Е.В. Никулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 4. № 12. – С. 14 – 22.