

УДК [622.85:504.06]: 622.274

**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)

**Антипин Юрий Георгиевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**Барановский Кирилл Васильевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории  
подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**Никитин Игорь Владимирович**

научный сотрудник лаборатории  
подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**Рожков Артем Андреевич**

научный сотрудник лаборатории  
подземной геотехнологии,  
Институт горного дела УрО РАН

**ОБОСНОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ  
МАЛЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ГРАНУЛИРОВАННОГО КВАРЦА  
НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ОЦЕНКИ\***

*Аннотация:*

Расширение сырьевой базы высокочистого кварца возможно за счет вовлечения в обработку малых жил с небольшими запасами. Главной задачей при этом является обоснование экономически эффективной и экологически безопасной геотехнологии их освоения. Решением может служить применение подземного способа разработки с использованием мощностей и инфраструктуры действующего подземного рудника и обогатительной фабрики. На примере жилы № 193 Кузнецкихинского месторождения гранулированного кварца разработана подземная геотехнология вскрытия автотранспортным уклоном и камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства породой от проходки выработок и отходами первичной рудосортировки жильной массы. В результате эколого-технологической оценки и сравнения с открытым способом разработки установлено превосходство подземного способа. Экономическая эффективность обеспечивается за счет рационального способа и схемы вскрытия, системы разработки с открытым очистным пространством и площадным выпуском руды, приме-

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.023

**Sokolov Igor V.**

Doctor of Science (Engineering),  
Head of the Laboratory  
of Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075, Ekaterinburg, Mamina-Sibiryaka Str., 58  
e-mail: [geotech@igduran.ru](mailto:geotech@igduran.ru)

**Antipin Yuriy G.**

Candidate of Science (Engineering),  
Senior Researcher  
of the Underground Geotechnology Laboratory,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Baranovsky Kirill V.**

Candidate of Science (Engineering),  
Senior Researcher of the Laboratory  
of Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Nikitin Igor V.**

Researcher of the Laboratory  
Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Rozhkov Artem A.**

Researcher of the Laboratory  
Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**JUSTIFICATION OF UNDERGROUND  
GEOTECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT  
OF SMALL DEPOSITS  
OF GRANULAR QUARTZ  
BASED ON ENVIRONMENTAL AND  
TECHNOLOGICAL ASSESSMENT**

*Abstract:*

Expansion of the raw material base of high-purity quartz is possible owing to small cores with small reserves being involved into development. The main objective herewith is to justify economically efficient and environmentally safe geotechnology for the development of these cores. The solution may be to use an underground method of development using the capacity and infrastructure of an existing underground mine and processing plant. As exemplified by the mine № 193 of Kuznechikhinskoye granular quartz deposit, the underground geotechnology has been developed for deposit opening by road transport slope and chamber development system with the laying of the developed space with the rock from the excavation of workings and the waste of primary ore sorting of the veinstone. As a result of ecological and technological assessment and comparison with the open method of development it is established the superiority of the underground method. The economic efficiency is ensured by the rational method and scheme of deposit opening, the development system with open treatment space and area discharge of ore, the use of self-propelled equipment for preparation and treatment works, transportation of the extracted veins to the surface. The environmental safety is ensured through the reduction

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00581-19-00. Тема №0405-2019-0005

нения самоходного оборудования на подготовительных и очистных работах, транспортировании добытой жильной массы на поверхность. Экологическая безопасность обеспечивается за счет сокращения земельного отвода и сохранения лесного покрова территории вследствие отказа от открытого способа разработки, утилизации отходов горно-обогатительного производства в выработанном пространстве камер, использования хвостохранилища действующей обогатительной фабрики.

*Ключевые слова:* малое месторождение, высокочистый кварц, подземная геотехнология, схема вскрытия, система разработки, утилизация отходов

*of land allotment and the preservation of forest cover of the territory owing to the abandonment of open-pit method, the enrichment production in the developed chamber space, the use of the tailing dump of the existing concentrating plant.*

*Key words:* small deposit, high purity quartz, underground geotechnology, opening scheme, development system, waste utilization

### Введение

Высокочистые кварцевые концентраты используются во многих отраслях промышленности России, определяющих мировой уровень научно-технического прогресса: авиационной, космической, электротехнической, радиоэлектронной, полупроводниковой и других. Весьма актуальным является расширение сырьевой базы высокочистого кварцевого сырья за счет вовлечения в отработку малых кварцевых жил с небольшими запасами [1, 2]. Основной задачей при этом является обоснование способа и технологии разработки таких месторождений [3]. При кажущейся очевидности применения открытого способа – небольшие глубина залегания (до 100 м) и запасы (до 50 тыс. т) – его преимущества могут быть нивелированы относительно большим объемом вскрыши, необходимостью изъятия из лесного оборота соответствующих площадей под размещение отвалов вскрышных пород, следовательно, значительным снижением экономической и экологической эффективности [4 – 8]. В данных условиях перспективным выглядит применение подземного способа разработки с использованием мощностей и инфраструктуры существующих горно-обогатительных производств [9]. Для этого необходимо комплексно рассмотреть вопрос об экономической и экологической целесообразности отработки малых кварцевых жил подземным способом [10]. Таким образом, разработка и оценка эколого-технологической эффективности подземной геотехнологии на примере жилы № 193 Кузнечихинского месторождения гранулированного кварца является весьма актуальной научно-технической задачей.

#### *Геолого-промышленная характеристика месторождения*

Кузнечихинское месторождение гранулированного кварца расположено в Челябинской области в 18 км от г. Кыштым. В пределах Кузнечихинского месторождения детально изучены 16 кварцевых жил [11, 12]. Основные запасы месторождения (около 40 %) сосредоточены в жиле № 193. Длина жилы по простиранию 220 м, по падению 65 м, мощность 2 – 5 м, угол падения 75 – 83° (на некоторых участках 60 – 70°). Жила имеет четкие геологические границы на контактах. Вмещающие породы относятся к устойчивым и среднеустойчивым.

В конце 80-х годов верхняя часть жилы была частично отработана открытым способом на глубину до 5 м, в результате чего вынута примерно 11 тыс. т жильной массы. Оставшиеся балансовые запасы жилы составляют 35 тыс. т.

В целом инженерно-геологические и гидрогеологические условия отработки жилы достаточно благоприятны. Район месторождения обладает развитой инфраструктурой, в частности функционирует Кыштымский горно-обогатительный комбинат (КГОК) – предприятие по добыче и обогащению гранулированного кварца, осваивающее жилу № 175 Кыштымского месторождения подземным способом [13, 14].

*Технические и организационные решения по подземной отработке жилы*

Как один из целесообразных рассмотрен вариант стратегии освоения кварцевой жилы № 193 подземным способом с организацией обособленного добычного участка в составе действующего подземного рудника и обогащением добытой руды на обогатительной фабрике КГОКа.

Годовая производственная мощность участка принята, исходя из потребностей КГОКа, и равна 5 тыс. т жильной массы. Режим работы – сезонный в летний период (количество рабочих дней – 125), односменный. Это дает возможность строительства производственных помещений из временных разборных конструкций и отказаться от их отопления в зимнее время. Также не требуется подогрев воздуха, подаваемого в шахту, в период отрицательных температур. Рабочий персонал участка обслуживается в административно-бытовом комбинате подземного рудника и доставляется автобусом.

На промплощадке обособленного добычного участка сооружаются следующие объекты: хозяйственно-бытовое здание, вентиляторная главного проветривания, компрессорная станция, электроподстанция и линии электропередач, инженерные сети и коммуникации.

Также на поверхности организуется рудный склад, где производится первичная рудосортировка добытой жильной массы с отделением пустой породы и некондиционной мелкой фракции. По опыту Кыштымского подземного рудника, выход кондиционного для обогащения кварцевого сырья составляет около 70 %, следовательно, годовой объем транспортирования равен 3,5 тыс. т. При принятом режиме работы суточная производительность участка составляет 28 т. Перевозка суточного объема добытого кварца при расстоянии транспортирования до промплощадки подземного рудника 23 км обеспечивается работой одного автосамосвала КАМАЗ-45141 грузоподъемностью 10 т. Этой же машиной обеспечивается и доставка на участок необходимых материалов и оборудования.

Верхняя часть жилы отработана карьером глубиной 5 м (отм. 385 м). Освоение подкарьерных запасов предусмотрено этажами высотой 30 м в два этапа:

- первый – вскрытие и отработка 90 % запасов жилы в этаже 385/355 м;
- второй – вскрытие и отработка оставшихся запасов в этаже 355/320 м.

Предусмотрена проходка следующих вскрывающих выработок:

- разрезной траншеи 390/379 м;
- транспортного уклона 379/320 м;
- заездов на гор. 379, 355, 345 и 320 м;
- вентиляционно-закладочного штрека гор. 379 м;
- доставочных штреков гор. 355, 345, 320 м и камерных выработок;
- фланговых вентиляционно-ходовых восстающих (ВХВ) № 1 и 2.

На всех процессах проходческих, очистных и транспортных работ предусматривается использование самоходного оборудования.

Траншея проходится открытым способом с поверхности (отм. 390 м) до гор. 379 м под углом 10° при помощи экскаватора. Транспортный уклон проходится в лежачем боку месторождения с гор. 379 м до гор. 320 м под углом 10° и служит для транспортирования руды и породы на поверхность, подачи в шахту свежего воздуха, прокладки коммуникаций, водоотлива, доставки к местам работы людей, материалов и оборудования. Транспортирование горной массы из забоев непосредственно на поверхность осуществляется погрузочно-доставочной машиной (ПДМ) типа *Atlas Copco ST 3.5*. Схема вскрытия жилы № 193 приведена на рис. 1.

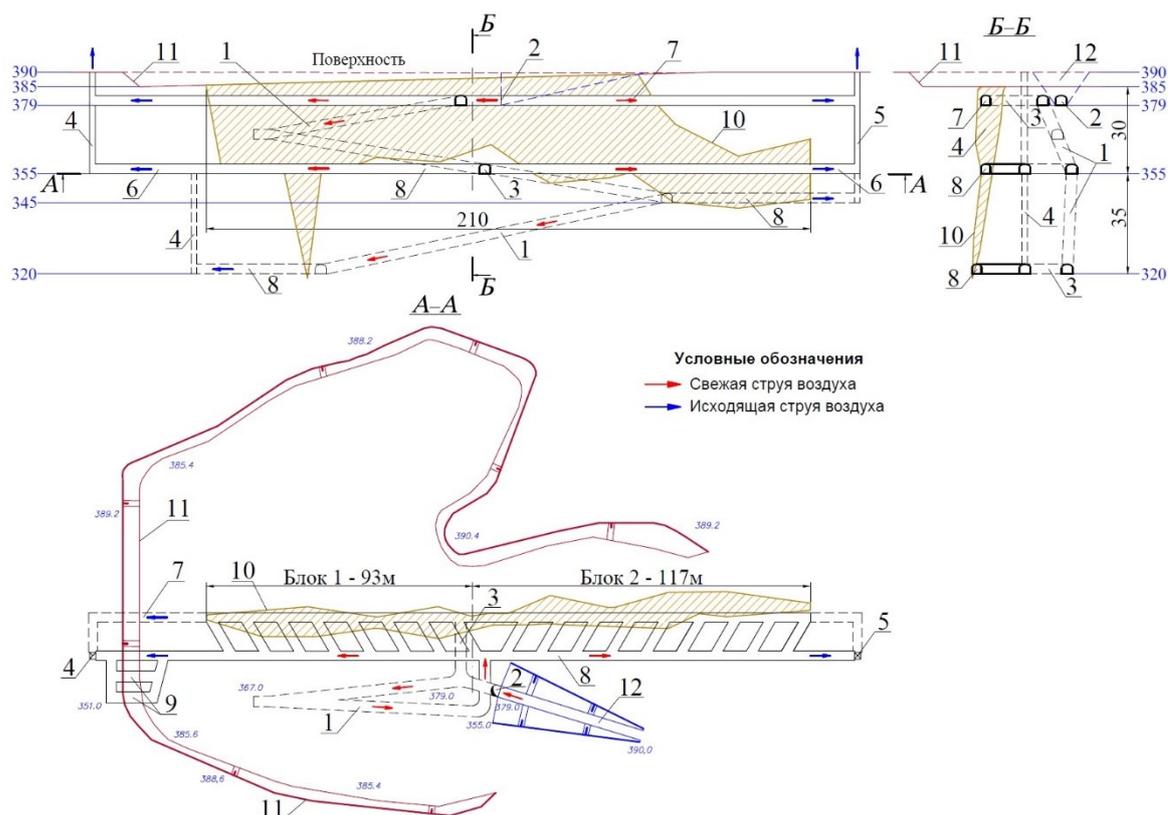


Рис. 1 – Схема вскрытия кварцевой жилы № 193:

- 1 – транспортный уклон; 2 – портал транспортного уклона; 3 – заезд на горизонт;  
4, 5 – фланговые ВХВ № 1 и № 2; 6 – вентиляционная сбойка;  
7 – вентиляционно-закладочный штрек; 8 – доставочный штрек; 9 – камерные выработки;  
10 – контур рудного тела; 11 – граница карьера; 12 – разрезная траншея

Горизонтальные и наклонные выработки проходятся буровзрывным способом. Сечения выработок разработаны в соответствии с габаритами размещаемых в них транспортных средств и оборудования. Форма сечения принята с вертикальными стенками и трехцентровым сводом. Крепление вскрывающих выработок производится штангами в сочетании с металлической сеткой и набрызгбетоном толщиной 5 см.

Бурение шпуров проходческого забоя и под анкерное крепление осуществляется буровой установкой типа *Atlas Copco Boomer T1D*. Зарядка шпуров производится гранулированным ВВ типа граммонит 21 ТМЗ зарядчиком ЗМК-1А. Уборка породы из забоя на поверхность, а также доставка материалов и оборудования к местам работ производится ПДМ типа *Atlas Copco ST 3.5*. Проветривание проходческих забоев предусматривается двумя вентиляторами местного проветривания ВМ-6М с гибкими трубопроводами.

Фланговые ВХВ длиной 35 м проходятся комплексом типа КПВ-4, оборудованным навесными телескопными перфораторами ПТ-48. Форма сечения – прямоугольная. ВХВ оборудуются лестничными отделениями.

В рассмотренных условиях наиболее рациональным является применение камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства пустой породой от проходки и отходами первичной рудосортировки жильной массы с последующей выемкой изолирующего подкарьерного целика (потолочины).

На первом этапе порядок отработки запасов в этаже 385/355 м состоит в следующем. Запасы этажа 385/355 м по простиранию рудного тела разбиты на две выемочные единицы – два очистных блока, состоящих из камеры и потолочины. Длина блоков составляет 93 и 117 м, ширина равна мощности рудного тела. Высота блоков равна высоте

этажа – 30 м. Сначала отрабатывается блок 1 на восточном фланге, затем блок 2 на западном фланге. Порядок отработки этажа сплошной от флангов к центру, при этом междуканальный целик не формируется. Для изоляции подземных выработок от карьерного пространства в кровле камер под дном карьера предусматривается формирование потолочины толщиной 3 м по всей длине камер и шириной, равной мощности рудного тела.

Организуется проходка двух горизонтов – выпуска и доставки (гор. 355 м) и вентиляционно-закладочного (гор. 379 м). Из транспортного уклона проходятся заезды на гор. 355 м и на гор. 379 м. На гор. 379 м по рудному телу ниже дна карьера на 6 м проходит вентиляционно-закладочный штрек, что позволяет сформировать потолочину толщиной 3 м над камерами. На флангах он сбивается с ВХВ вентиляционными сбоями. На гор. 355 м к флангам рудного тела проходятся полевой доставочный штрек, вентиляционные сбойки, траншейный штрек и погрузочные заезды. На флангах рудного тела с гор. 355 м на поверхность проходятся ВХВ. В блоке 1 проходит отрезной восстающий 379/355 м на восточном фланге камеры, в блоке 2 – на западном фланге.

Очистная выемка в блоке ведется в две стадии: на первой стадии вынимаются камерные запасы, на второй – запасы изолирующего целика. Отбойка руды в камере ведется вертикальными слоями толщиной 3 м и высотой 21 м. Нисходящие и восходящие веера скважин бурятся из вентиляционно-закладочного и траншейного штреков, соответственно. Выпуск отбитой руды – площадной из погрузочных заездов, и транспортирование ее на поверхность до рудного склада производится ПДМ (рис. 2).

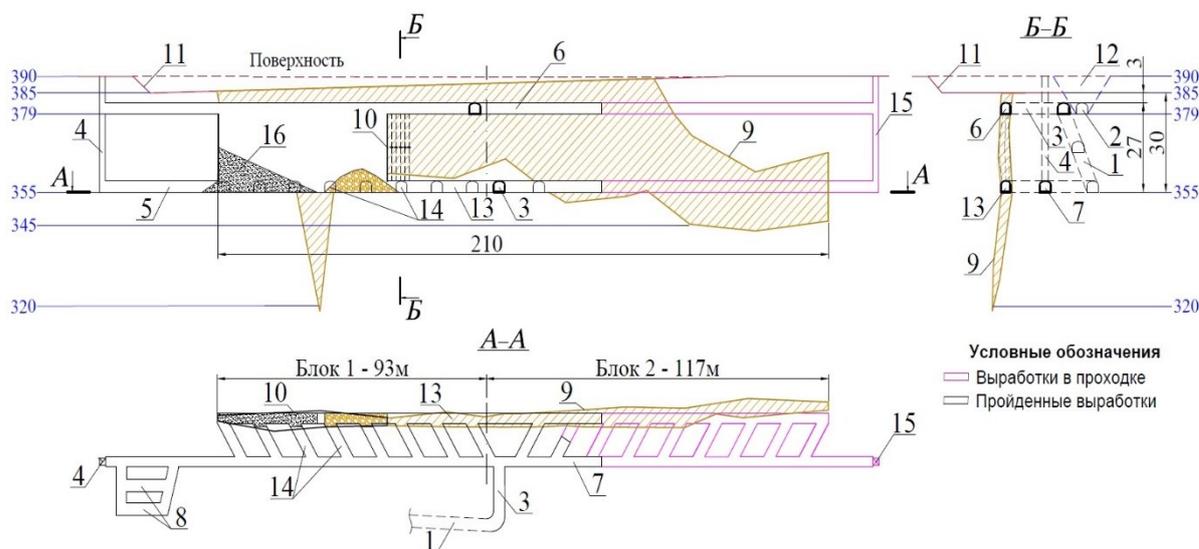


Рис. 2 – Система разработки кварцевой жилы № 193:

- 1 – транспортный уклон; 2 – портал транспортного уклона; 3 – заезд на горизонт;
- 4 – фланговый ВХВ № 1; 5 – вентиляционная сбойка; 6 – вентиляционно-закладочный штрек;
- 7 – доставочный штрек; 8 – камерные выработки; 9 – контур рудного тела;
- 10 – контур выработанного пространства; 11 – граница карьера; 12 – траншея;
- 13 – буровой штрек; 14 – погрузочные заезды; 15 – фланговый ВХВ № 2; 16 – закладка

Погашение отработанной камеры осуществляется сухой закладкой путем заполнения выработанного пространства пустой породой и отходами рудосортировки [15]. Закладочный массив формируется засыпкой из вентиляционно-закладочного штрека с помощью ПДМ. Закладочные работы можно производить в период выемки запасов камеры, но с отставанием на 50 м от очистного забоя для предотвращения разубоживания руды.

Выемка потолочины производится после полной закладки отработанной камеры. Бурение осуществляется скважинами из вентиляционно-закладочного штрека в период бурения скважин для отбойки камерных запасов. Заряжание и массовое взрывание потолочины осуществляется зарядами гранулированного ВВ из вентиляционно-закладочного

штрека, погрузка обрушенной на почву закладочного массива руды производится ПДМ открытым способом, транспортировка ее на поверхность – по существующим подземным выработкам [16].

Аналогичным способом обрабатывается блок 2. Рудный массив, отделяющий выработанное пространство камеры 1, отбивается массовым взрывом на последней стадии отработки камеры 2.

Потери и разубоживание руды по данной технологии можно прогнозировать на уровне 12,5 %.

На втором этапе порядок отработки запасов ниже гор. 355 м состоит в следующем. Выделено два блока, состоящих из камеры и потолочины:

- блок 3 на западном фланге в отм. 355/345 м длиной 50 м и высотой 10 м;
- блок 4 на восточном фланге в этаже 355/320 м длиной 20 м, высотой 35 м.

Блоки 3 и 4 обрабатываются независимо друг от друга.

Подготовительные работы начинаются с проведения транспортного уклона до отм. 320 м и заездов на горизонты 345 и 320 м. На данных эксплуатационных горизонтах проходятся доставочные штреки, вентиляционные сбойки, фланговые ВХВ, траншейные штреки, погрузочные заезды и отрезные восстающие в камерах. Очистная выемка камер ведется аналогично первому этапу. Запасы потолочин толщиной 3 м после массового взрывания выпускаются под обрушенными породами на гор. 320 и 345 м.

По опыту Кыштымского подземного рудника буровзрывные работы следует вести с учетом физико-механических свойств гранулированного кварца (склонность к переизмельчению, значительный коэффициент крепости) и свойств всего массива жилы в целом (блочность, поле напряжений) [17].

Проветривание горных выработок осуществляется нагнетательным способом с расположением главной вентиляторной установки у портала транспортного уклона (отм. 379 м). Свежий воздух подается по транспортному уклону на рабочие горизонты и далее – в проходческие забои и добычные блоки (см. рис. 1). Загрязненный воздух из рабочих забоев и служебных камер по фланговым ВХВ выводится на поверхность. Подача необходимого объема воздуха обеспечивается вентилятором *Atlas Copco AVN 140.75.4.8*.

Таблица 1

**Основные показатели подземной геотехнологии**

Показатель	Ед. изм.	Значение
Балансовые запасы жилы	т	35000
Потери	%	12,5
Разубоживание	%	12,5
Эксплуатационные запасы, в т.ч.	т	35000
– в этаже 385/355 м	т	31500
– в этаже 355/320 м	т	3500
Режим работы рудника:		
– количество рабочих дней в году	день	125
– количество рабочих смен	смена	1
– продолжительность смены	час	6
Производительность рудника по руде	т/год	5000
Явочная численность персонала, в т. ч.		
– забойных рабочих	чел.	4
– вспомогательных рабочих	чел.	2
– инженерно-технических работников	чел.	1
Производительность труда забойного рабочего на очистной выемке	т/чел-см	107

Для шахтного водоотлива предусмотрена насосная станция главного водоотлива и водосборники вблизи доставочного штрека гор. 355 м. Водоотливный трубопровод

прокладывается по фланговому ВХВ № 2 до поверхности (отм. 390 м), где производится слив шахтной воды в водосборный колодец. Для откачки воды принят насос ЦНС.Г-105/98. Участковая станция водоотлива располагается на гор. 320 м.

Основные показатели подземной геотехнологии приведены в табл. 1.

*Эколого-технологическая оценка подземной геотехнологии  
и ее сравнение с открытым способом*

Эколого-технологическая оценка разработанной подземной геотехнологии включает экономическую оценку принятых технических решений и экологических последствий их реализации. Для этого приняты показатели, достигнутые на Кыштымском подземном руднике: себестоимость добычи 1 т жильного кварца подземным способом равна 2050 руб., условная цена реализации 1 т жильного кварца – 7000 руб. [18].

Объем горно-капитальных работ составляет 6875 м<sup>3</sup>. При средней взвешенной себестоимости проходки выработок 3248 руб/м<sup>3</sup> (горизонтальных и наклонных выработок – 3100 руб/м<sup>3</sup>, вертикальных – 4700 руб/м<sup>3</sup>, камерных – 3800 руб/м<sup>3</sup>) капитальные затраты на проходку горно-капитальных выработок составят 22,33 млн руб.

Капитальные затраты на приобретение стационарного и технологического оборудования с учетом использования имеющегося оборудования Кыштымского подземного рудника составят 18,2 млн руб. Капитальные затраты на сооружение объектов поверхности составят 32,0 млн руб.

Общий доход при освоении жилы № 193 подземным способом составит 171,5 млн руб., условная прибыль до уплаты налогов – 27,22 млн руб. Срок ввода подземного участка в эксплуатацию – 2,5 года.

Таблица 2

**Расчетные технико-экономические показатели по способам разработки**

Показатель	Ед. изм.	Подземный способ	Открытый способ
Объем горно-капитальных работ	м <sup>3</sup>	6875	52000
Себестоимость проходки 1 м <sup>3</sup> горно-капитальных выработок	руб/м <sup>3</sup>	3248	120
Капитальные затраты, в т.ч.	тыс. руб.	72530	20000
- объекты поверхности	тыс. руб.	32000	5760
- технологическое оборудование	тыс. руб.	18200	8000
- горно-капитальные работы	тыс. руб.	22330	6240
Срок ввода рудника в эксплуатацию	лет	2,5	0,5
Продолжительность отработки запасов	лет	7	6
Удельные эксплуатационные затраты на добычу 1 т жильной массы	руб/т	2050	4114
Валовые эксплуатационные затраты	тыс. руб.	71750	144000
Условная цена реализации жильного кварца	руб.	7000	
Выход годного кварцевого сырья	%	70	
Доход от реализации жильного кварца	тыс. руб.	171500	
Условная прибыль до уплаты налогов	тыс. руб.	27220	7500

При оценке открытого способа разработки в качестве аналога принята жила № 2136 Уфимского месторождения кварца, обрабатываемая карьером со следующими проектными показателями:

- глубина карьера – 70 м;
- генеральный угол наклона борта карьера – 30°;
- коэффициент вскрыши – 16,2 м<sup>3</sup>/т;
- себестоимость вскрыши – 120 руб/м<sup>3</sup>;
- себестоимость добычи – 105 руб/т.

Капитальные затраты при освоении жилы № 193 открытым способом составят 20,0 млн руб., эксплуатационные затраты с учетом рекультивации нарушенных земель и увеличения площади земельного отвода ориентировочно на 15 га – 144,0 млн руб., условная прибыль до уплаты налогов – 7,5 млн руб.

Сравнение технико-экономических показателей освоения жилы № 193 подземным и открытым способами приведено в табл. 2.

Таким образом, эколого-технологическая оценка показала преимущество подземного способа разработки по сравнению с открытым способом при освоении кварцевой жилы №193 Кузнечихинского месторождения.

#### *Заключение*

Разработанная подземная геотехнология освоения жилы № 193 Кузнечихинского месторождения гранулированного кварца обеспечивает:

– экономическую эффективность за счет использования производственных мощностей и инфраструктуры действующего горно-обогатительного предприятия, сезонного (летнего) режима работы шахты, временных разборных конструкций для строительства объектов поверхности, рационального способа и схемы вскрытия, самоходного технологического и вспомогательного оборудования, камерной системы разработки под изолирующим подкарьерным целиком, сплошного порядка отработки без междукammerных целиков;

– снижение нагрузки на окружающую среду по сравнению с открытым способом разработки за счет сокращения земельного отвода, необходимого под размещение карьера и отвалов вскрышных пород, сохранения лесного покрова территории, утилизации породы от проходки выработок и отходов обогатительного производства в выработанном пространстве камер, использования действующего хвостохранилища.

#### **Литература**

1. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых / К.Н. Трубецкой. – М.: ИПКОН РАН, 2014. - 196 с.

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. Яковлев В.Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков, И.В. Соколов; под ред. член-корр. РАН В.Л. Яковлева. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2018. - 360 с.

4. Рославцева Ю.Г. Обоснование объемов горно-капитальных работ на карьерах, разрабатывающих малые месторождения / Ю.Г. Рославцева, В.П. Федорко // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2012. - № 10. - С. 84 - 88.

5. Сабянин Г.В. Экологические особенности горно-промышленного производства при освоении жильных месторождений / Г.В. Сабянин // Экология промышленного производства. - 2011. - № 1. - С. 11 - 15.

6. Антонинова Н.Ю. Оценка геоэкологических рисков при возобновлении эксплуатации месторождений / Н.Ю. Антонинова, Ю.О. Славиковская, Л.А. Шубина // Проблемы недропользования. - 2014. - № 3. - С. 197 - 205. DOI: 10.18454/2313-1586.2014.03.197.

7. Adiansyah J., Rosano M., Vink S., Keir G. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies // Journal of Cleaner Production. - 2015. - Vol. 108 (part A). - P. 1050-1062.

8. Moran C., Lodhia S., Kunz N., Huisingh D. Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future // Journal of Cleaner Production. - 2014. - Vol. 84. - No. 1. - P. 1–15.

9. Калмыков В.Н. Экономико-математическое моделирование процесса отработки группы месторождений подземным способом / В.Н. Калмыков, А.А. Гоготин, А.Н. Ивашов // Горный журнал. - 2015. - № 12. - С. 37 - 41.
10. Целесообразность подземной отработки малых кварцевых жил / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, А.А. Рожков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2018. - Т.16. - № 2. - С. 4 - 13.
11. Красильников П.А. Кварцевые жилы Кузнечихинского месторождения гранулированного кварца / П.А. Красильников // Разведка и охрана недр. - 1999. - № 3. - С. 11 - 15.
12. Götze J., Möckel R. (Eds.). Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics. Springer, 2012. - 360 p.
13. Кравец Б.Н. О состоянии производства высокочистых кварцевых концентратов на Урале. Проблемы и перспективы / Б.Н. Кравец, В.Г. Кузьмин // Изв. вузов. Горный журнал. - 2011. - № 4. - С. 15 - 19.
14. Соколов И.В. Совершенствование технологии опытно-промышленной отработки переходной зоны Кыштымского месторождения кварца / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 6. - С. 183 - 189.
15. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих 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 (42). - С. 47 - 53.
16. Рыльникова М.В. Разработка комбинированных геотехнологий полного цикла комплексного освоения месторождений с формированием систем управления потоками природного и техногенного сырья / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Проблемы недропользования. - 2014. - № 3. - С. 105 - 113.
17. 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 // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 1. - С. 97 - 106.
18. Соколов И.В. Выбор эффективной технологии подземной разработки месторождения кварца / И.В. Соколов, К.В. Барановский // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2016. - № 2. - С. 10 - 17.