

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ СКВАЖИН КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СЕРЕБРА ХАЧАКЧАН, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

Рассмотрены варианты оценочных геологоразведочных работ путём бурения скважин из подземных горных выработок, проходимых малогабаритным самоходным оборудованием, и практикуемая технология бурения скважин с поверхности. Затраты на ГРП по этим вариантам показывают преимущества бурения скважин из подземных выработок при переводе ресурсов кат. P₂ в запасы кат. C₁+C₂. Стоимость разведки 1 т металла в его цене незначительно увеличивается, повышается качество разведочных материалов, сокращаются сроки проведения ГРП, а также обеспечивается возможность ускоренного перехода к опытно-промышленным работам на объекте.

Ключевые слова: методы ГРП, проходка выработок, мобильное горнопроходческое оборудование, бурение скважин из подземных выработок, скорости бурения скважин, ускорение сроков ГРП.

Один из основных принципов оценки рудопроявлений – выполнение работ с наименьшими затратами финансов и времени, чему способствует рациональная организация разведочного процесса, а также внедрение новейших достижений науки и техники [2, 3]. Нами на примере оценочных работ на рудопроявлении Хачакчан в Республике Саха (Якутия), наряду с традиционным бурением скважин с поверхности, рассмотрен вариант бурения скважин из подземных горных выработок, проходимых высокопроизводительным малогабаритным оборудованием, и проведено их сравнение. Применение горно-бурового метода оценочных работ обусловлено, с одной стороны, суровым климатом района, приводящим к низкой эффективности использования буровых станков при поверхностных работах, с другой – относительно благоприятным рельефом местности для проходки штолен.

Хачакчанское рудное поле расположено в пределах Аллара-Сахского сереброносного рудного узла Верхояно-Колымской металлогенической провинции, сложенной терригенными алевро-лито-песчаниковыми породами Верхоянского комплекса позднепермского и раннетриасового возрастов. В региональном плане оно находится на северном окончании Южно-Верхоянского синклинория, представленного переклиналильным замыканием Аллара-Сахской антиклинали северо-западного простирания, осложнённой разрывными нарушениями. Предполагается, что позиция Хачакчанского рудного поля определяется его приуроченностью



Куликов Данила Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделением
минерально-сырьевой базы
kulikov@tsnigri.ru

Рогизный Валерий Фёдорович

кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
rogizny@tsnigri.ru

Черемисин Алексей Аркадьевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
cheremisin@tsnigri.ru

Карпухина Мария Викторовна

ведущий научный сотрудник
karpukhina@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



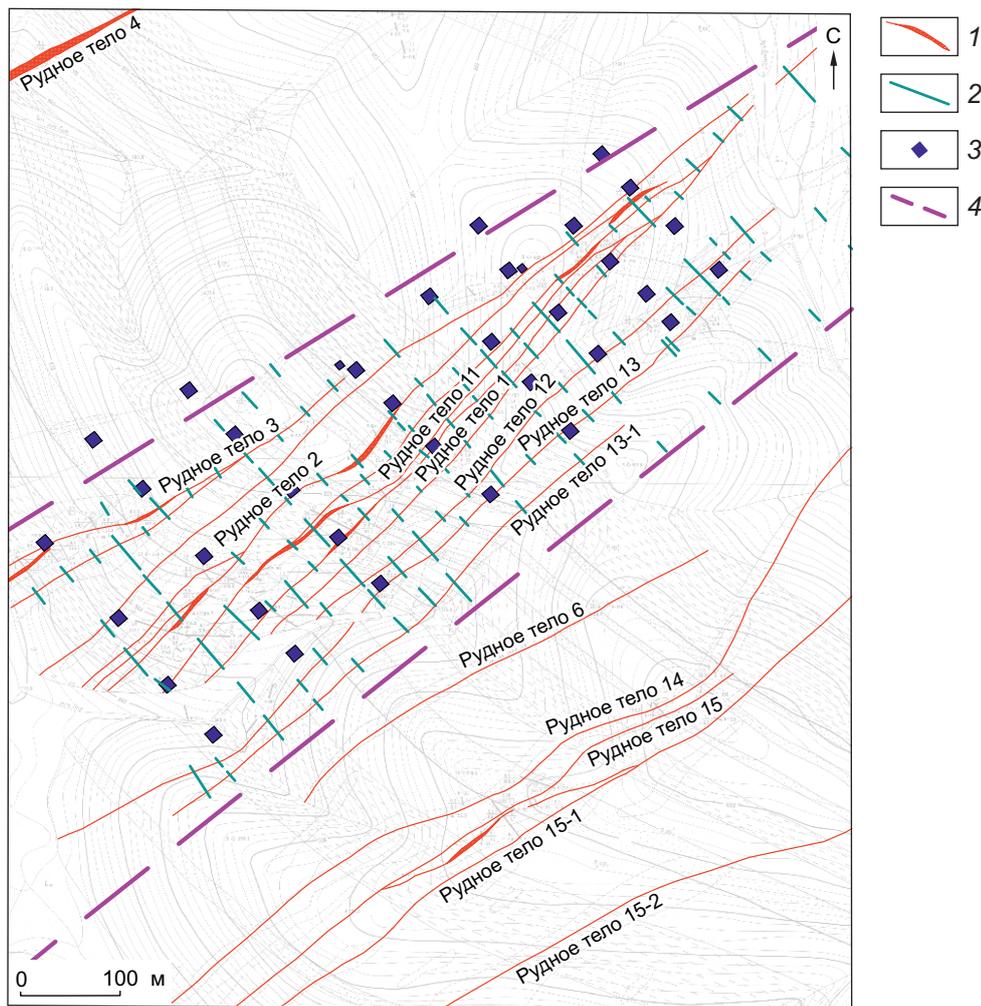


Рис. 1. ПЛАН МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ БУРОВЫХ ПЛОЩАДОК И КАНАВ НА ПОВЕРХНОСТИ (вариант 1):

1 – рудные тела; 2 – проектные открытые горные работы (канавы, траншеи); 3 – буровые площадки на поверхности; 4 – границы минерализованной зоны

к области надинтрузивной зоны нескрытого гранитоидного массива с большой глубиной залегания. С разломами северо-восточной ориентировки в северо-западной части рудного поля связываются все основные перспективы.

Рудные тела Хачакчанского рудопроявления группируются в минерализованные зоны (пять зон) протяжённостью от 1000–1400 до 2500–3000 м при мощности от 200 до 400 м, расстояние между которыми в центральной части проявления от 350 до 600, на флангах 850–950 м. В минерализованных зонах выявлено от одного до восьми рудных тел протяжённостью 540–1250 м, мощностью 0,3–2,33 м при средних содержаниях Ag от 114,5 до

2265,15 г/т. Содержание сульфидов от первых процентов до 5%.

Исследования проводились в минерализованной зоне III рудопроявления серебра Хачакчан, прогнозные ресурсы которого соответствуют месторождениям средних масштабов нераспределённого фонда недр. Согласно протоколу № 4 ФГБУ «ЦНИГРИ» от 20.12.2011 г., на данном рудопроявлении апробировано 2030 т серебра по категории P₂ со средним содержанием Ag 600 г/т. Минерализованная зона III северо-восточного простирания шириной от 200 до 450 м, протяжённостью 1600 м вмещает восемь субпараллельных крутопадающих рудных тел, согласных простиранию зоны (рис. 1).

1. РЕСУРСЫ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III

Показатели	Предполагаемые рудные тела								Всего
	2-1	3	11	1	1-1	12	13	13-1	
Руда, тыс. т	446,7	110,8	455,6	396,1	148,9	177,4	199,8	183,7	2118,9
Содержание серебра, г/т	922,0	946,1	919,0	852,4	689,4	689,4	638,7	689,4	794,2
Серебро, т	342,5	104,9	418,6	337,6	102,7	122,3	127,6	126,7	1682,7

Авторские данные по прогнозным ресурсам этой зоны приведены в табл. 1.

Рудопроявление размещается на севере Томпонского улуса, где продолжительность периода с температурой воздуха ниже 0°C составляет 242 дня при средней -28,6°C, причём температура наиболее холодной пятидневки -51°C. Среднегорный рельеф позволяет вскрывать минерализованные зоны штольневыми выработками. Для проходки горных выработок и сооружения камер предлагается использовать комплекс малогабаритного оборудования, включающий бурильную установку и погрузочно-доставочную машину (ПДМ), приспособленный для проходки разведочных штолен сечением 5,2 м². При последующей отработке запасов подземным способом планируется использовать систему разработки подэтажными штреками: при мощности рудных тел ≥1–3 м – традиционный вариант с групповой подготовкой спаренных блоков наклонными съездами и с плоским днищем; при мощности ≤1 м – подэтажно-щелевая разработка.

Ввиду сложных климатических условий региона методика оценочной стадии ГРП включает геологическое и экономическое сопоставление двух вариантов: 1) изучение канавами и скважинами колонкового бурения с поверхности; 2) изучение канавами с поверхности и скважинами колонкового бурения из буровых камер подземных выработок, проходка которых производится малогабаритным оборудованием. Второй вариант рассматривается в целях уменьшения влияния климатических условий региона на сроки выполнения работ.

Методика и объёмы работ по изучению рудных тел минерализованной зоны III с поверхности канавами в обоих вариантах одинаковы. Различия объёмов ГРП и сроков их выполнения обусловлены методикой буровых работ: в первом варианте с поверхности, во втором – из подземных горных выработок (штольни). Изучение сближенных крутопадающих рудных тел минерализованной зоны предполагается в течение двух лет в интервале длиной 980 м, в пределах которого намечено восемь буровых профилей. В обоих вариантах параметры создаваемой сети скважинных пересечений рудных тел примерно одинаковы и составляют (45–60)х(25–40–60) м. Однако во втором варианте рудные тела пересекаются скважинами при больших углах, а в горных выработках осуществляются непрерывное прослеживание одного рудного тела и вскрытие расщелками параллельных рудных тел.

Вариант 1. Бурение скважин с поверхности выполняется станками Атлас Копко CS10 (глубина бурения до 400 м; стоимость станка 20 300 тыс. руб.). Для создания необходимой сети пересечений проходятся скважины глубиной от 100 до 360 м (средняя глубина 234 м). Общий объём бурения 58 960 пог. м, количество скважин 266, буровых площадок 35. Расположение поверхностных скважин на разведочных линиях юго-западной части минерализованной зоны III проиллюстрировано на рис. 2.

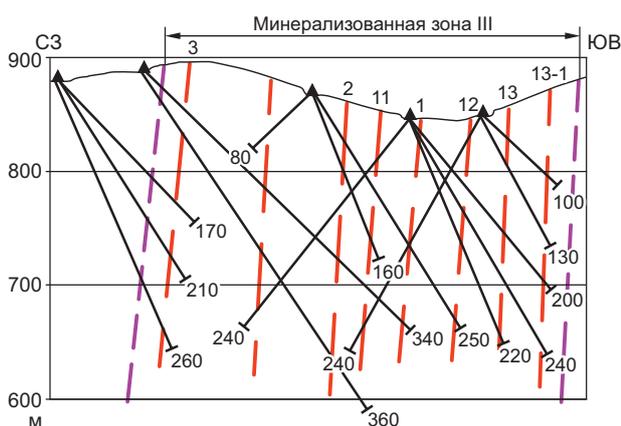


Рис. 2. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН И ИХ ГЛУБИНА (м) НА РАЗВЕДОЧНЫХ ЛИНИЯХ:

треугольниками обозначены буровые площадки; остальные усл. обозн. см. рис. 1

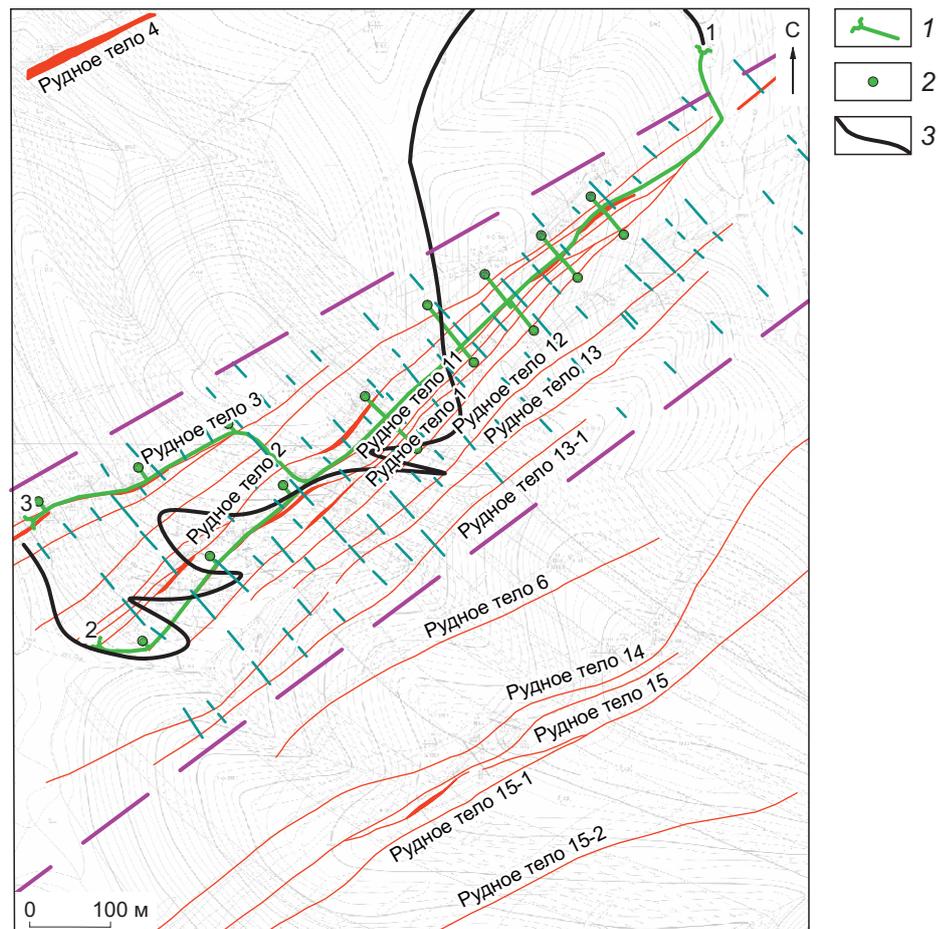


Рис. 3. ПЛАН МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ КАНАВ, ШТОЛЕН С РАССЕЧКАМИ И БУРОВЫХ КАМЕР (вариант 2):

1 – штольни, порталы и их номера; 2 – буровые камеры; 3 – дорога; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Для проходки скважин с поверхности, учитывая рельеф местности и кустовое бурение, требуется создание буровых площадок (по 4–5) на профиле, с которых разбуриваются рудные тела на нескольких разведочных линиях, расположенных в 40–60 м от основного профиля. Расстояние между буровыми профилями с буровыми площадками 80–100 (до 150) м. На рис. 1 показаны буровые площадки и канавы, проходимые буровзрывным способом с зачисткой полотна вручную.

Техническая производительность станка, по данным изготовителя, составляет 9–15 м/ч, при этом обеспечивается проходка 1,6 тыс. пог. м/мес. или 11,2 тыс. пог. м/год на один станок. Производительность одного станка за два года с учётом сезонности 19,2 тыс. пог. м. В связи с переездом на новые площадки (35 площадок) и сезонностью ра-

бот (шесть месяцев в году) для выполнения расчётного объёма бурения (58 960 пог. м) в течение двух лет потребуются три станка Atlas Copco CS10.

Вариант 2. Бурение колонковых скважин из подземных выработок штольневых горизонтов ведётся из буровых камер, заложенных в рассечках длиной 60–80 м, пройденных из штольни по восьми разведочным линиям через 80–120 (до 200) м. Всего планируется сооружение 16 буровых камер (рис. 3).

Штольня проходится на горизонте 800 м по рудному телу 11 с ответвлением на юго-западе к рудному телу 3 одним комплектом малогабаритного оборудования в составе электрогидравлической бурильной установки Muki FF с гидроперфоратором ($B \times H = 1,05 \times 1,90$ м) и ПДМ LH201D ($B \times H = 1,05 \times 2,05$ м; грузоподъёмность ковша 1 т; фирма Sand-

2. ОБЪЁМ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ РАЗВЕДКИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III (см. рис. 3)

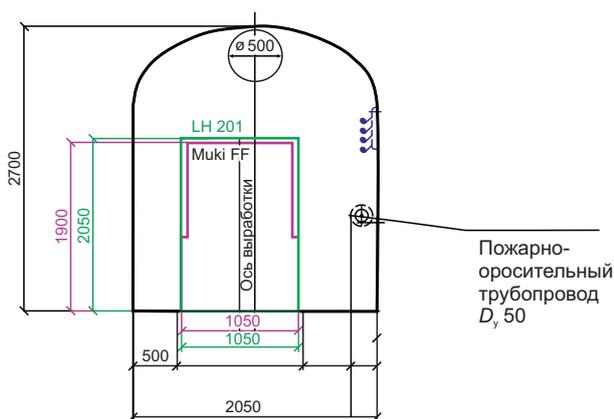


Рис. 4. СЕЧЕНИЕ РАЗВЕДОЧНОЙ ШТОЛЬНИ $S=5,2 \text{ м}^2$

vik, Финляндия). Сечение штольневых выработок, равное $5,2 \text{ м}^2$, показано на рис. 4. При этом формируются три портала штольни: один на северо-востоке и два на юго-западе. Все порталы на горизонте 800 м связаны технологической дорогой на поверхности (см. рис. 3), позволяющей переезжать самоходному оборудованию между забоями при проходке. Благодаря этому обеспечивается многозабойная работа комплекса: бурильная установка Muki FF+ПДМ LH201D+машина вспомогательного назначения. Положение штолен показано на рис. 3.

Оценка минерализованной зоны III, включающей сближенные рудные тела (1, 2, 3, 11, 12, 13), на-

Наименование выработок	Длина, м	Сечение, м^2	Объём м^3
Горизонт 800 м			
Разведочная штольня по 11 р. т.	1430	5,2	7488
Разведочный квершлаг 11-3 р. т.	120	5,2	624
Рассечки (16 шт.)	480	5,2	2496
Буровые камеры (16 шт.)			1120
Итого	2040		11 728

мечаются колонковыми скважинами, проходимыми из буровых камер. Схема расположения скважин подземного бурения и их протяжённость, которые обеспечивают такую же сеть пересечений рудных тел, как в примере бурения станками с поверхности, представлена на рис. 5.

Для контроля достоверности кернового опробования предполагаются проходка и опробование сопряжённых с горизонтальными скважинами горных выработок (рассечек). Горные выработки, вскрывающие рудные тела, используются для отбора разведочных технологических проб, а также валовых для определения объёмной массы в целиках. В штреках опробуются забои через 4 м. В рассечках и квершлагах бороздовые пробы отбираются по двум стенкам выработок.

Бурение колонковых скважин выполняется станками Атлас Копко Diames U4, которые позволяют бурить в любом направлении (360°). Производительность станка 15–18 м/ч. При работе из подземных буровых камер месячная производительность оценивается в 2,4 тыс. пог. м/мес., а годовая – в 26,4 тыс. пог. м/год на один станок. Стоимость станка, по сведениям поставщика, составляет ориентировочно 15 400 тыс. руб. Веерное бурение из камеры осуществляется по двум-трём разведочным профилям (по основному и параллельным ему).

В проекциях рудных тел на продольную вертикальную плоскость создаётся сеть пересечений $(40-60) \times (40-60) \text{ м}$, на отдельных участках расстояние между пересечениями сокращается до 10 м. В табл. 2 рассчитан объём подземных выработок сечением $5,2 \text{ м}^2$ с рассечками и камерами для буровых станков, которые проходятся малогабаритным оборудованием.

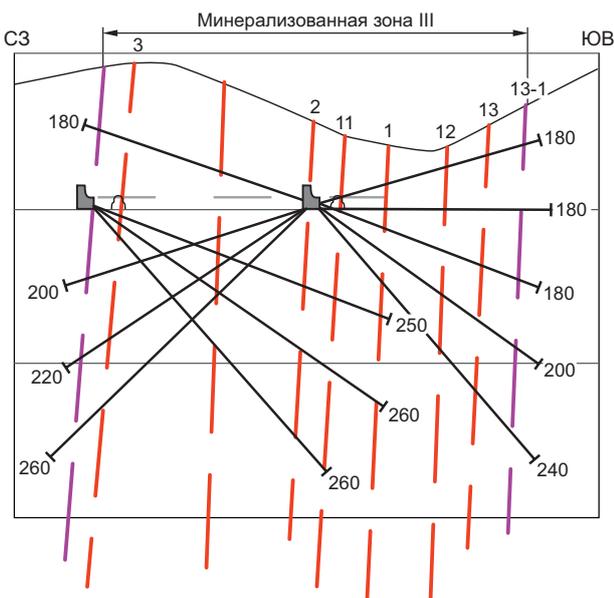


Рис. 5. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО БУРЕНИЯ НА ОСНОВНЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ ЛИНИЯХ

3. СТОИМОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ПРОВОДИМЫХ КАНАВАМИ И СКВАЖИНАМИ С ПОВЕРХНОСТИ И ИЗ ПОДЗЕМНЫХ БУРОВЫХ КАМЕР ПРИ ПЕРЕВОДЕ РЕСУРСОВ КАТ. P₂ В ЗАПАСЫ КАТ. C₁+C₂, тыс. руб

№№ п/п	Наименование работ и затрат	Варианты оценки	
		Канавы и скважины с поверхности	Канавы и скважины из подземных выработок
I	Основные затраты	765 545	826 722
A	<i>Собственно геологоразведочные работы</i>	715 640	790 966
1	Предполевые работы и проектирование (2,5% от полевых работ)	13 292	14 960
	Полевые работы	531 668	598 398
	В том числе:		
2	2.1 Горноразведочные работы	3 113*	209 997**
	2.2 Разведочное бурение с ГИС	495 808	356 813
	2.3 Опробование	10 249	9 088
	2.4 Топографо-геодезические работы (1,5% от пп. 2.1, 2.2)	7 500	7 500
	2.5 Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования (3% от пп. 2.1, 2.2)	15 000	15 000
3	Организация и ликвидация полевых работ (5,4% от полевых работ)	28 710	32 313
4	Лабораторные и технологические исследования	52 649	44 764
5	Камеральные, картосоставительские, издательские тематические и опытно-методические работы (11,8% от полевых работ)	62 737	70 611
6	Прочие собственно геологоразведочные работы (5% от п. 2)	26 583	29 920
B	<i>Сопутствующие работы и затраты</i>	49 905	35 756
II	Косвенные затраты (содержание АУП, охрана, проч.) (10% от п. I)	76 554	82 672
III	Прибыль (5% от пп. I-II)	42 105	45 470
IV	Компенсированные затраты	127 384	140 792
V	Подрядные работы	0	0
VI	Резерв на непредвиденные расходы (6% от пп. I-V)	60 695	65 739
VII	Всего (пп. I+II+III+IV+V+VI)	1 072 283	1 161 395
VIII	Налог на добавленную стоимость (20%)	214 457	232 279
	Всего по объекту	1 286 739	1 393 674

* Канавы.

** Канавы + подземные горные выработки.

Общая протяжённость горизонтальных выработок составляет 2040 м, расчётные темпы их проходки в многозабойном (2–3 забоя на комплект) режиме оцениваются в 200 пог. м/мес. Срок проходки горизонтальных выработок 10,2 мес., а с учётом строительства камер размером 10,2х1,25 м – 12,75 мес. При этом начало бурения колонковых скважин возможно через 2–4 мес. после начала проходки штольни.

Объём бурения колонковых скважин из подземных буровых камер оценён в 46 950 пог. м, количество скважин 282, количество буровых камер 16. Средняя глубина скважин подземного бурения

201,1 м. При средней месячной производительности колонкового бурения 2400 м/мес., с учётом переездов в новые подземные буровые камеры и 11 рабочих месяцев в году, для выполнения рассчитанного объёма бурения одним станком потребуется 19,5 мес., или 1,63 года, а с учётом задержки начала буровых работ из-за подготовки горных выработок (≈0,3 года) общая продолжительность ГРП составит 1,9 года.

Для рассмотренных выше двух вариантов до-разведки минерализованной зоны III в целях перевода ресурсов кат. P₂ в промышленные запасы кат. C₁+C₂ (с поверхности и из подземных вырабо-

4. СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕВОДЕ РЕСУРСОВ КАТ. P₂ В ЗАПАСЫ КАТ. C₁+C₂

№№ п/п	Наименование показателей	Варианты оценки	
		Канавы и скважины с поверхности	Канавы и скважины из подземных буровых камер
1	Стоимость геологоразведочных работ при переводе ресурсов кат. P ₁ +P ₂ в запасы кат. C ₁ +C ₂ , млн руб.	1287	1394
2	Ожидаемое количество разведанных запасов кат. C ₁ +C ₂		
	Руда, тыс. т	2119	2119
	Серебро, т	1683	1683
3	Стоимость разведки 1 т ресурсов, руб./т		
	Руда	607	658
	Серебро	764706	828283
4	Цена 1 т серебра, руб./т	33400000	33400000
5	Удельный вес стоимости разведки 1 т серебра в цене на серебро, %	2,3	2,5
6	Стоимость оборудования, необходимого для проведения ГРП, млн руб.	113,7*	89,9**
7	Время проведения разведки, год	2	1,9
8	Продолжительность проведения ГРП в году, мес.	6	12
9	Продолжительность проходки подземных горных выработок, мес.	-	12,75
10	Количество и тип буровых станков, шт.	CS10 – 3	Diamec U4 – 1

* Три буровых станка и вспомогательное оборудование.

** Один буровой станок, бурильная установка, ПДМ и вспомогательное оборудование.

ток) была дана их качественная оценка, а также рассчитаны экономические результаты. При этом в анализируемых вариантах определялись объёмы керна бурения, обеспечивающие примерно одинаковое количество пересечений рудных тел.

Преимущества и недостатки каждого варианта доразведки перечислены ниже.

1. При бурении с площадок на поверхности используются станки, которые могут бурить под углами >75°, поэтому для обеспечения одинакового количества пересечений рудных зон (266 скважин с поверхности и 282 подземных) объём бурения в этом варианте увеличивается на 25%, а количество площадок для бурения на поверхности примерно вдвое больше, чем буровых камер под землей.

2. Скорость бурения станком CS10 с поверхности составляет (в среднем по оценке изготовителя) 12 м/ч, а у подземного станка Diamec U4 – 16,5 м/ч, т. е. на 35% выше. При этом из-за суровых климатических условий буровые станки на поверхности работают только шесть месяцев в году, а подземные станки в штольнях – 11–12. По этим причинам для выполнения рассчитанных объёмов колонко-

вого бурения в течение двух лет в первом варианте требуются три станка, во втором – один.

3. При бурении с поверхности существенно больше пересечений рудных тел происходит под острыми углами, что снижает качество разведочных материалов поверхностных скважин по сравнению с подземными, которые вскрывают рудные тела под большими углами.

4. Разведка скважинами из горных выработок позволяет получить большее количество запасов высокой категории, чем при разведке только скважинами с поверхности, а степень изученности рудных тел на горизонтах горных выработок увеличивается за счёт прослеживания части рудных тел горными выработками.

5. Доразведка из подземных буровых камер естественным образом трансформируется в подземные опытно-промышленные работы.

Результаты экономических расчётов стоимости ГРП при переводе ресурсов кат. P₂ в запасы кат. C₁+C₂ приведены в табл. 3 для двух вариантов оценки – поверхностной и с использованием подземных выработок, а сравнение их результатов – в табл. 4.

Итак, полученные данные стоимости ГРП при переводе ресурсов кат. P_2 в запасы кат. C_1+C_2 на удалённых от баз снабжения рудопоявлениях, с учётом проходки подземных разведочных выработок малогабаритным самоходным оборудованием и применения колонкового бурения скважин из подземных буровых камер, свидетельствуют лишь о незначительном повышении удельного веса стоимости разведки 1 т металла в его цене (с 2,3 до 2,5%) и существенных преимуществах в качестве разведочных материалов, а также о возможности ускоренного перехода к опытно-промышленным работам на объекте с использованием пройденных разведочных выработок для целей эксплуатации и вскрытия нижерасположенных горизонтов наклонными съездами.

Рассмотренные вопросы и пути их решения являются составными частями развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации за счёт «актуализации методического обеспечения геологоразведочных работ с учётом современного научно-технического уровня» [1]. В случае жильно-прожилкового крутопадающего оруденения целесообразна его доразведка из подземных выработок, проходка которых упрощается с использованием малогабаритной бурильной и погрузоч-

но-доставочной техники. При положительных результатах изучения и переводе ресурсов в запасы промышленных категорий естественным образом реализуется переход к подземной разработке с организацией опытно-промышленных работ на основе имеющегося оборудования, с обогащением руды на модульных фабричных установках [4]. В итоге общие сроки ГРП на удалённом объекте в труднодоступном районе сокращаются, а полнота его исследования увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стратегия* развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.12.2019 г. № 2914-р.
2. Карпенко И.А., Петраш Н.Г. Резервные золоторудные месторождения России, перспективы и пути повышения инвестиционной привлекательности // Руды и металлы. 2005. № 1. С. 71–75.
3. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. 1. – Москва: Госгеолтехиздат, 1960.
4. Романченко А.А. Модульные золотоизвлекающие фабрики // Золото и технологии. 2017. № 1. С. 26–27.

COMPARISON OF ESTIMATION OPTIONS USING SURFACE AND UNDERGROUND CORE HOLES: EXAMPLE FROM KHACHAKCHAN SILVER OCCURRENCE, REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

D.A.Kulikov, V.F.Rogizny, A.A.Chermisin, M.V.Karpukhina
(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

The paper discusses exploration estimate options by drilling holes from underground workings sunk by under-sized self-propelled machinery compared with drilling holes from surface. In terms of exploration costs, drilling holes from underground workings is a better option in upgrading potential resources to indicated reserves. Exploration cost per 1 t of metal increases insignificantly (from 2,3% to 2,5%) compared to its price, however, exploration material quality improves, exploration periods decrease and it is possible to speed up transition to pilot works at the deposit.

Keywords: exploration methods, sinking of mine workings, mobile mining machinery, underground hole drilling, hole drilling rates, exploration period acceleration.