

УДК 622.243.2

Трушин С.И.¹, Осецкий А.И.¹, Малых М.Ю.¹,
Пак А.В.², Шенгальц А.И.² (1 — АО «Полиметалл
Управляющая Компания», 2 — АО «Объединенная
геологоразведочная компания»)

УПРАВЛЕНИЕ ТРАССАМИ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН ПРИ БУРЕНИИ В МНОГОЛЕТНЕ-МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ СО СЛОЖНОЙ ТЕКТОНИКОЙ

*В статье приведены результаты применения технологии пассивного управления траекториями наклонно-направленных скважин при бурении в многолетнемерзлых горных породах со сложной тектоникой на серебряно-полиметаллическом месторождении Прогноз. Основной целью буровых работ является доразведка известных рудных зон, их оконтуривание по падению и простиранию, геологическое изучение рудных зон, а также оценка распространения оруденения на глубину. **Ключевые слова:** бурение, траектории скважин, пассивный метод.*

Trushin S.I.¹, Osetskiy A.I.¹, Malykh M.Yu.¹, Pak A.V.²,
Shengalts A.I.² (1 — Polymetal of UK, 2 — OGK of Groups)

MANAGEMENT OF ROUTES OF THE INCLINED DIRECTED WELLS WHEN DRILLING IN PERMAFROST ROCKS WITH DIFFICULT TECTONICS

*The article presents the results of the passive control technology of the directional wells trajectory during drilling in permafrost rocks with complex tectonics at the silver-polymetallic Deposit Prognoz. The main purpose of drilling is further exploration of known ore zones, their delineation by fall and strike, geological study of ore zones, as well as assessment of mineralization distribution to depth. **Keywords:** drilling, well paths, passive method.*

Месторождение Прогноз является одним из крупных неразработанных месторождений первичного серебра в Евразии. Месторождение расположено в 450 км от г. Якутск. Это удаленный объект, доступ к которому на сегодняшний день осуществляется по зимнику и авиатранспортом. Развитая инфраструктура на месторождении и вокруг него отсутствует.

Месторождение открыто Ю.Н. Бадархановым, первоначально разведывалось В.С. Проккопьевым и Б.П. Подьячевым (1973–1977 гг.). По состоянию на май 2018 г. 50 % акций месторождения принадлежат компании Polar Silver и 50 % — компании «Полиметалл» (Россия, СПб). Запасы серебра на 01.01.2014 г. составляли: разведанные (кат. А+В+С₁) — 4224,5 т, при среднем содержании серебра в рудах 906,3 г/т, предварительно оцененные (С₂) — 4966,0 т. На 01.01.2014 г. по балансовым

запасам серебра Прогноз являлся крупнейшим собственно серебряным месторождением России (опередив Дукат). Больше серебра в России сосредоточено только в серебро-содержащем месторождении Удокан (первое место по балансовым запасам). Но среднее содержание серебра в рудах Удокана в 90 раз ниже, чем в рудах Прогноза, и серебро на Удокане может добываться только попутно при разработке его на основной компонент руд — медь*.

История изучения месторождения Прогноз

Начало изучения района месторождения относится к 1967–1971 гг. и проводилось в процессе геологической съемки м-ба 1:200 000 для целей государственного картирования листов Q-53-XIX, XX. Позднее отдельные площади района были дополнительно изучены при поисково-съёмочных работах м-ба 1:50 000, в результате которых в Сартанг-Нельгесинском междуречье были выявлены минерализованные серебро-содержащие зоны дробления и установлен наиболее перспективный объект — непромышленное свинцово-цинковое месторождение Прогноз.

В 1985–1986 гг. при анализе материалов по сереброрности территории работами ГУГГП «Янгеология» была подтверждена перспективность на серебро площади Сартанг-Нельгесинского междуречья, а участок Прогноз определен геологом Г.Д. Золотилиной в качестве первоочередного для дополнительного изучения. Затем в 1990–1998 гг. силами ГУГГП «Янгеология» на месторождении были проведены поисково-оценочные работы.

Дальнейшие геологоразведочные работы на месторождении проводились в 2006–2009 гг. силами ОАО «Бурятзолото», в ходе которых были изучены структурные особенности и морфология основных рудных тел — зон Главное и Болото. Одновременно было проведено изучение с поверхности канавами и скважинами на глубину нескольких более мелких рудных зон. В 2017 г. АО «Полиметалл УК» возобновило геологоразведочные работы на месторождении. В этот период (2017–2018 гг.) была проведена доразведка и оконтуривание рудных тел на рудных зонах — Главная, Болото и Южная, начаты поисково-оценочные работы на рудных зонах — Весенняя, Тихая, Дальняя. Работы в основном осуществлялись путем бурения наклонно-направленных скважин силами ООО «Хабаровское ГРП», дочерним предприятием АО «Объединенная геологоразведочная компания» (в дальнейшем — ОГК-Групп).

Геологическая характеристика месторождения

Месторождение Прогноз расположено на площади Улахан-Чайдахского рудного узла в верховьях руч. Сытыган — левого притока р. Нельгесе. Его западная граница определяется взбросо-надвиговой зоной Аллаха-

* http://hera.wdcb.ru/tols/tecton/db_paleo_prognoz.html

Нельгесинского разлома, по которому среднетриасовые песчаниковые толщи Арангасчанской антиклинали надвинуты на песчано-алевролитовые толщи карнийского и норийского ярусов Чайдахской синклинали (рис. 1).

На восточном фланге рудного поля (в своде антиклинали) рудная минерализация прослеживается до системы продольных разрывных нарушений, срезающих восточное крыло Арангасчанской антиклинали. Отмечающееся здесь снижение интенсивности оруденения обусловлено сменой литологического состава — преобладающим распространением алевролитово-песчаниковой толщи нижнего анизия.

С севера и юга рудное поле ограничено системами поперечных разрывов Средне-Сартангского разлома северо-восточного и субширотного простирания. Затухание оруденения за их пределами связано также и с нескрытыми интрузиями гранитоидов, выделяемых по геофизическим данным.

В геологическом строении рудного поля участвуют алевролитово-песчаниковые толщи среднего и верхнего триаса, прорванные дайками позднеюрского, ранне- и позднемелового возраста. В долинах руч. Сытыган, Улахан-Чайдах и Уэль-Талахта развиты делювиально-солифлюкционные и аллювиальные отложения плейстоцена и голоцена.

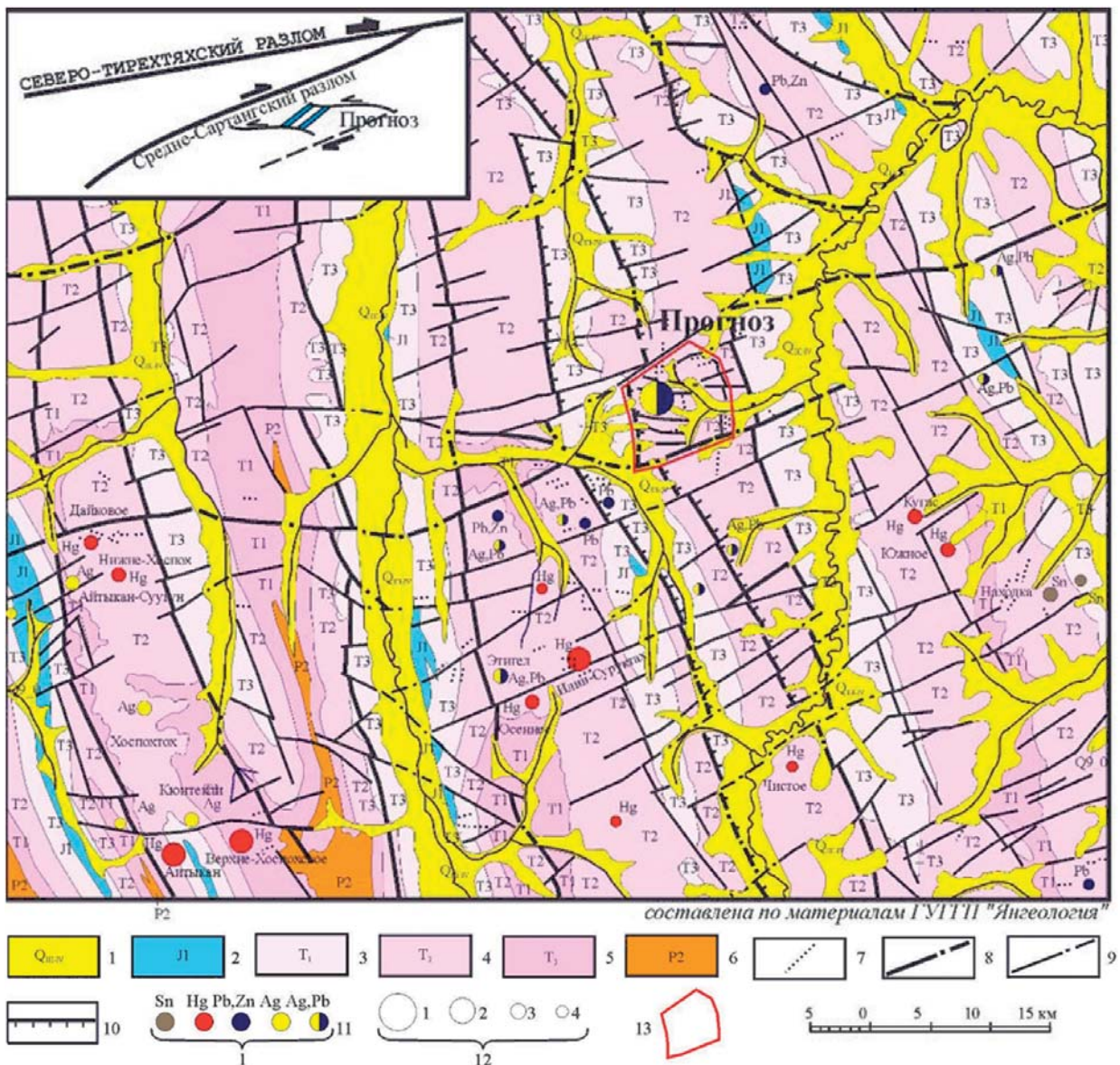


Рис. 1. Геологическая карта района серебряно-полиметаллического месторождения Прогноз (северо-восток Якутии): 1 — верхний плейстоцен-голоцен: аллювиальные и делювиально-пролювиальные галечники, щебень, пески, супеси, суглинки; 2 — нижняя юра: алевролиты, аргиллиты, песчаники, линзы конгломератов; 3 — верхний триас: песчаники и алевролиты; 4 — средний триас: преимущественно песчаники, линзы конгломератов; 5 — нижний триас: алевролиты и песчаники; 6 — верхняя пермь: песчаники и алевролиты; 7 — ранне-позднемеловые дайки кислого, среднего и основного состава; 8–10 — разрывные нарушения: 8 — главные рудоконтролирующие, 9 — второстепенные, 10 — взбросо-надвиги; 11 — полезные ископаемые: Sn, Hg, Pb, Zn, Ag, Ag, Pb; 12 — месторождения: крупное (1), малое (2), проявление (3), пункт минерализации (4); 13 — контур ГРП на месторождении Прогноз. На врезке: структурный рисунок разрывного каркаса рудного поля месторождения Прогноз

Геокриология и гидрогеология

Природные условия обуславливают существование в пределах месторождения низкотемпературных многолетнемерзлых пород (далее ММП) сплошного типа. Для них характерно ярусное строение. Промерзшие элювиальные, делювиальные, делювиально-солифлюкционные и аллювиальные отложения, имеющие повсеместное распространение, подстилаются многолетнемерзлыми песчаниками и алевролитами.

По данным термометрических наблюдений по скважинам средняя мощность ММП составляет 260 м при средней температуре минус 2,8°. Мощность зоны годового теплооборота по данным наблюдений не превышает 15–20 м. Геотермический градиент составляет 1,7°/100 м, и соответственно геотермическая ступень составляет 58,8 м/град.

Сведения о подмерзлотных водах были получены при проходке глубокой скважины № 130 (пройденной ГУГПП «Янгеология») в центре рудного поля. Напорные воды были вскрыты на глубине 440 м. По техническим причинам опытно-фильтрационные работы не проводились, пробы воды на химический анализ не отбирались.

Тектоника

Месторождение Прогноз расположено на участке пересечения продольного субмеридионального Аллах-Нельгесинского разлома и Средне-Сартангской зоны разрывных нарушений северо-восточного простирания. Аллах-Нельгесинский разлом представляет собой зону взбросо-надвиговых разрывных нарушений субмеридионального простирания, определяющих горстовую структуру Арангасчанской антиклинали.

Средне-Сартангский разлом прослеживается в виде системы крутопадающих сбросов и сбросо-сдвигов северо-восточного простирания, разбивающих Арангасчанскую антиклиналь на три блока: северный, южный и, опущенный относительно них, центральный блок, к которому приурочено большинство рудных тел месторождения. В пределах Средне-Сартангской зоны разломов широкое развитие получили субширотные, северо-восточные и северо-западные оперяющие разрывы, явившиеся рудовмещающими структурами при формировании рудных тел.

Наиболее крупным является Главный разлом. Он состоит из сложных по своей морфологии эшелонированных кулис, оси которых подчиняются генеральному направлению рудовмещающего разрыва. Морфологически все известные рудные тела на месторождении Прогноз относятся к типу минерализованных зон дробления. Основным кинематическим типом рудовмещающих разрывов рудного поля Прогноз являются субширотные (90–110°) левые сбросо-сдвиги, заложение которых произошло в дорудное время, а подновление — в период оруденения. Минерализованные зоны дробления, выполняющие эти разрывы, отличаются значительной протяженностью, они вытягиваются на расстояние нескольких километров, в целом подчиняясь генеральному направлению рудовмещающей системы разломов.

Буровые работы

Основной целью буровых работ, выполняемых на месторождении Прогноз, является доразведка известных рудных зон, их оконтуривание по падению и простиранию, дополнительное геологическое изучение рудных зон, недостаточно выполненное предшественниками, а также оценка распространения оруденения на глубину. Согласно данным предшественников, оруденение распространяется до глубины 300 и более метров от поверхности. С целью оценки глубины распространения оруденения в 2018 г. было заложено бурение 5 профилей, в том числе 3 профиля на рудной зоне Главная и 2 профиля на рудной зоне Болото. Глубина изучения составляла до 700 м от дневной поверхности.

Буровые работы на месторождении Прогноз выполнялись ООО «Хабаровское геологоразведочное предприятие», являющееся дочерней структурой ОГК-Групп. При бурении использовались станки типа CS-14 и С-5 производства фирмы Атлас Копко (Швеция). Скважины — наклонно-направленные под углом 55–60° к горизонту и проектной глубиной от 30 до 700 м. Основной диаметр бурения — 96,1 мм (типоразмер HQ), запасной — 75,7 мм (типоразмер NQ). Забуривание скважин осуществлялось инструментом с начальным диаметром 112 мм (типоразмер PQ), обсадка скважин велась до глубины 6 м в зависимости от геологических условий. Проведение специальных мероприятий (установка стационарных или съемных клиньев) для активного управления трассами скважин не предусматривалось.

Однако начало ведения буровых работ было осложнено вскрытием толщи ММП пород большой мощности (до 350 м), широким распространением разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости, в которых локализованы рудные тела, что зачастую приводило к поглощению бурового раствора и, как следствие, к заклиниванию и обрывам бурового снаряда.

Одновременно возникли определенные проблемы, связанные с существенными отклонениями фактического положения трасс скважин от теоретического, а также с низким выходом керна по рудным интервалам. В процессе бурения с применением стандартной технологии некоторые скважины были признаны геологической службой как не выполнившие геологическое задание по причине недопустимого отклонения трасс скважин от проектной точки подсечения рудного тела. Всего было забраковано более 3 000 погонных метров скважин. Учитывая сжатые плановые сроки проведения буровых работ, такое положение дел было признано недопустимым и потребовало принятия решения по применению специальных технических средств, т.н. «пассивного» управления трассами скважин и технологических приемов с целью исправления ситуации.

Согласно геологическому заданию для каждого интервала глубин было рассчитано предельно допустимое отклонение точки забоя скважины от проектного положения (табл. 1). Достижение поставленных целей и решение этой достаточно сложной задачи при буре-

Таблица 1
Предельно допустимое (расчетное) отклонение точки забоя скважины от проектного положения, м

Глубина скважин, м	Предельно допустимое (расчетное) отклонение точки забоя скважины от проектного положения, м
50	2
100	3
150	5
200	6
250	8
300	9
350	10
400	14
450	15.7
500	17.5
550	19.2
600	21
650	22.7
700	24.5
750	26.2

нии снарядами со съемными керноприемниками (далее — ССК) возможно двумя путями.

Первый путь — активное управление трассами скважин. Для приведения скважины в заданную точку в практике буровых работ, как правило, используются технические средства отечественного производства — стационарные клинья типа КОС, съемные клинья СНБ-КО, СО, клинья непрерывного действия ТЗ-3, Кедр и др. В последнее время для целей управления трассами скважин стали использовать винтовые забойные двигатели типа 5LZ73x3,0 Р производства группы компаний «РИНАКО», типа ДР-76.ВР.4/5—20 производства фирмы «ПФ БОРАКС», а также специальные технические средства типа Devi Drill производства компании Devisco (Норвегия).

Второй путь — это, т.н. пассивное управление трассами скважин. В свою очередь, пассивный метод управления трассами скважин может быть подразделен на два подвида. Первый предполагает применение специальной компоновки колонкового снаряда, а второй основан на изучении закономерностей искривления на каждом участке работ и определении расчетным путем точки забуривания скважины в соответствии с выявленными закономерностями.

Очевидно, что с точки зрения стоимости работ по удержанию трасс скважин от недопустимого искривления пассивный метод управления трассами скважин с использованием специальной компоновки колонкового снаряда в сочетании с применением методики расчета точки забуривания скважины является предпочтительным и не требует специальной квалификации бурового персонала.

Подготовительные мероприятия

Перед началом работ по бурению скважин с целью выполнения требований геологической службы Заказ-

чика в части отклонений, указанных в табл. 1, было запланировано проведение ряда мероприятий, в том числе по направлениям:

Антивибрационные смазки

С целью снижения вибраций бурового снаряда и затрат мощности на бурение было рекомендовано применение смазывающих добавок типа ECOLUBE, Лубриол или Stab Visco LDF с концентрацией в буровом растворе до 3 %.

Полимерные растворы в качестве промывочной жидкости

С целью стабилизации стенок скважин, обеспечения выноса шлама, уменьшения усилия на вращение бурового снаряда, предотвращения повышенного износа инструмента при пониженных расходах промывочной жидкости было рекомендовано вводить в состав бурового раствора полимерную добавку РНРА-анионный из расчета от 0,2–0,7 кг на 1 м³ технической воды совместно с полиакриламидами типа EZ-MUD, EZY-BORE.

Реагенты типа EZ-MUD, EZY-BORE, GR-19, Stab Visco, РНРА-анионный разрешается добавлять в техническую воду без предварительного замачивания в смазывающих добавках типа ECOLUBE, Лубриол или Stab Visco LDF.

Реагенты целлюлозной группы PAC-HVX или PAC-HV следует добавлять в техническую воду исключительно с предварительным замачиванием в смазывающих добавках, что дает возможность их распускания без образования комков типа «рыбий глаз».

При этом параметры готового раствора должны находиться в пределах: удельный вес — 1,02–1,05 г/см³, вязкость — 35–42 сек, водоотдача 10–15 см³/30 мин.

Контроль параметров процесса бурения

Согласно разработанным рекомендациям, частота вращения бурового снаряда должна находиться в пределах 750–950 об/мин⁻¹, нагрузка на забой — в диапазоне 1500–3000 кг при расходе промывочной жидкости 30–50 дм³/мин. В качестве промывочной жидкости должен использоваться раствор, приготовленный на основе полимеров марки EZ-MUD (BAROID IDP, США) или любого РНРА (гидролизованый полиакриламид) с концентрацией, равной 0,2–0,7 кг/м³. При этом необходимо добиваться величины механической скорости бурения не менее 12 см/мин за счет регулирования частоты вращения бурового вала, а осевая нагрузка на коронку типоразмера HQ для условий месторождения Прогноз не должна превышать 2500 кг.

Проведение процедур комплектования, калибровки и выбраковки бурового инструмента

Известно, что в процессе бурения колонковый снаряд, бурильные трубы, калибраторы-стабилизаторы, расширители и породоразрушающий инструмент подвергаются износу, в отдельных случаях аномальному, приводящему к искривлениям трасс скважин в нежелательном направлении. С целью исключения негативного влияния перечисленных факторов необходимо осуществлять постоянный контроль состоя-

ния всех составляющих бурового вала с измерением и регистрацией их геометрических параметров/размеров и, при необходимости, выбраковкой. Для обеспечения прямолинейности ствола скважины целесообразно включать в его состав дополнительные технические средства:

1. Стабилизирующий расширитель длиной 10 дюймов или 18 дюймов с двумя калибрующими поверхностями.
2. Наружную колонковую трубу типа FULL HOLE специального профиля — т.н. «граненую».
3. Переходную муфту.
4. Релитовый переходник полного сечения FULL HOLE.

Реализация метода пассивного управления трассами скважин

Реализация метода пассивного управления трассами скважин с использованием специальной компоновки колонкового снаряда типоразмера HQ на месторождении Прогноз была начата в марте 2018 г. в связи с началом бурения скважин в интервале глубин до 700 м при зенитных углах 30–35°. Перед началом бурения глубоких скважин была создана комиссия из уполномоченных представителей Заказчика и Подрядчика для совместного проектирования. Совместно отстраивался проектный разрез скважин, далее в геолого-техническом наряде геологической службой Заказчика заполнялась геологическая колонка с указанием характеристик горных пород. Техническим специалистом Подрядчика устанавливались режимы бурения, исходя из геологического разреза скважины, а также параметры промывочной жидкости.

Далее проводилось совместное определение точки заложения, азимутального и зенитного углов заложения скважины с использованием программного обеспечения Заказчика. Обязательным условием для начала бурения скважины являлось присутствие на объекте работ инженера-технолога для контроля параметров режима бурения и рецептуры буровых растворов, а также наличие на буровой установке показывающей аппаратуры для контроля технологических параметров бурения.

При бурении частота вращения бурового снаряда задавалась в пределах 750–900 об/мин, осевая нагрузка на забой составляла 1500–3000 кг при расходе промывочной жидкости 30–50 дм³/мин. В качестве промывочной жидкости использовался раствор, приготовленный на основе полимеров марки EZ-MUD с концентрацией, равной 0,2–0,7 кг/м³. Механическая

скорость бурения находилась в пределах 12–23 см/мин, месячная производительность при этом достигала 2200 м/станко-месяц.

В качестве наружной колонковой использовалась жесткая «граненая» наружная колонковая труба типа FULL HOLE диаметром 92,3 мм производства фирмы Boart Longyear (США). К переходной муфте взамен релитового переходника присоединялся стандартный алмазный расширитель диаметром 96,7 мм производства АО «Терекалмаз» (РФ) или HAYDEN (Канада), а в него вворачивался дополнительно релитовый переходник. В качестве породоразрушающего инструмента использовались в основном алмазные буровые коронки типа «HERO» различных модификаций и расширители производства фирмы «Фордиа» (Канада), а также инструменты фирмы «HAYDEN» (Канада).

Дополнительно, взамен стандартного алмазного расширителя, находящегося между коронкой и наружной колонковой трубой, устанавливался расширитель с двумя калибрующими алмазными поясками.

Для оперативного контроля за направлением скважины систематически (через каждые 50 м) проводилась инклинометрия. Результаты измерений обрабатывались при помощи специально разработанной программы в Excel для расчета параметров пространственного отклонения буримой скважины от проектного положения.

Результаты внедрения метода пассивного управления трассами скважин

В результате применения данной технологии бурения по управлению трассами скважин были получены положительные результаты, геологическое задание было выполнено в полном объеме. В среднем отклонение скважин глубиной до 700 м, пробуренных с использованием средств пассивного управления их трассами, было меньше граничного значения на 3,1 м (табл. 2).

За 2017 г. по стандартной технологии было пробурено 37 255,5 метров скважин. С применением пассив-

Таблица 2
Характеристики отклонения трасс скважин

Интервалы глубин	Средневзвешенные значения отклонений трасс скважин от проекта				Предельные значения отклонений	
	2017 г.		2018 г.			
	Зенитный угол, град.	Азимут, град.	Зенитный угол, град.	Азимут, град.	град.	м
0–50м	-0.15	0.33	-0.15	-0.21	2.3	2
50–100м	-0.56	0.34	-0.49	-0.66	1.7	3
100–150м	-0.87	0.05	-0.67	-0.9	1.9	5
150–200м	-1.02	-0.42	-0.83	-1.11	1.7	6
200–250м	-1.23	-0.85	-1.02	-1.17	1.6	7
250–300м	-1.14	-1.16	-1.13	-1.2	1.5	8
300–400м	-1.46	-1.58	-1.23	-0.78	1.4	10
400–600м	—	—	-1.27	-0.06	2	21
>600м	—	—	-1.65	-1.57	2	>21
700м	—	—	-0.03	-0.17	2	26,2

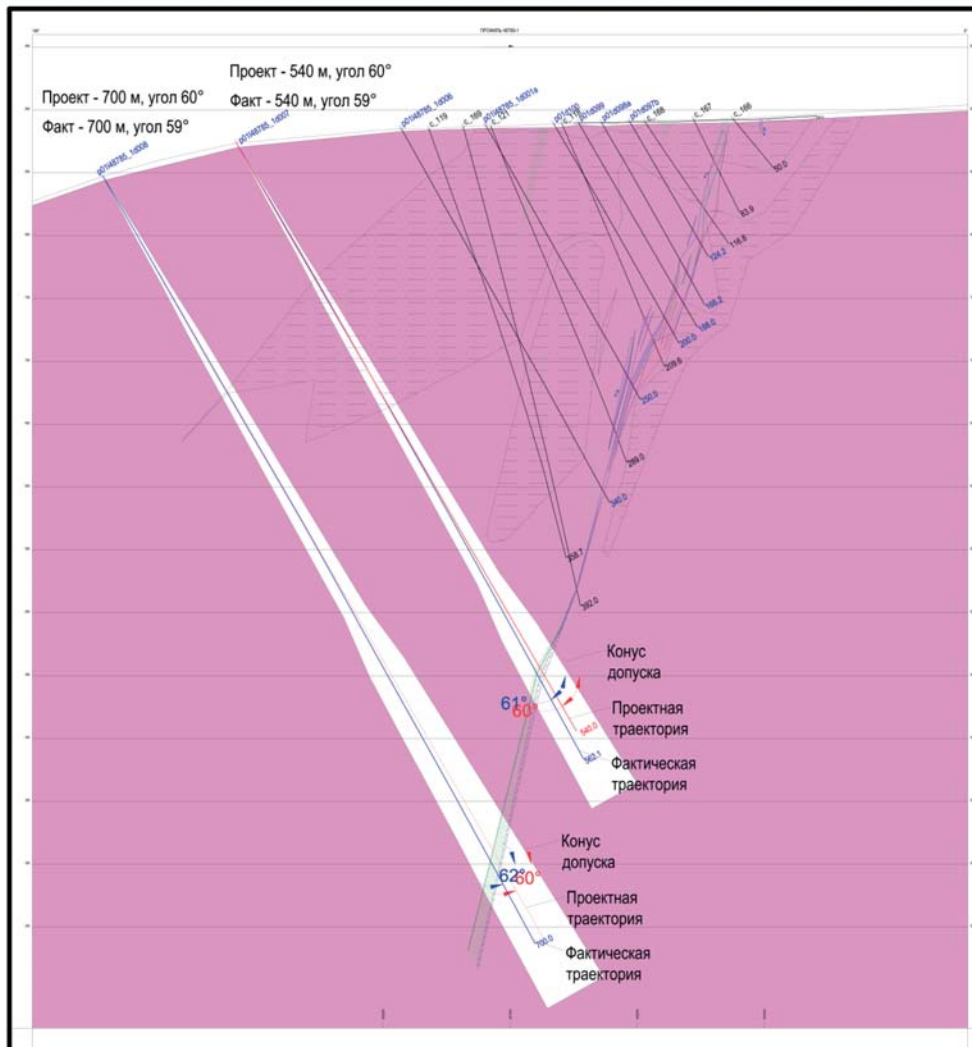


Рис. 2. Проектные и фактические траектории пробуренных скважин (пример)

ной технологии бурения в 2018 г. было пробурено 383 скважины общим объемом 51 544,7 м, из них 6 скважин глубиной более 500 м, в том числе 1 скважина глубиной 700 м.

Как видно из табл. 2 средневзвешенное значение отклонения трасс скважин по зенитным углам бурения в целом в 2018 г. снизилось по сравнению с данными аналогичных отклонений в 2017 г. на 6–19 %. На рис. 2 показаны проектные и фактические траектории скважин, пробуренных с применением технологии пассивного управления. Из рис. 2 видно, что при глубинах скважин от 500 до 700 м отклонение по зенитному углу от заданного значения составляет не более 1–2°, что подтверждает эффективность разработанной технологии.

Следует также отметить дополнительный эффект от внедрения этой технологии — увеличилась проходка на расширители с 450 до 1200 м для расширителей фирмы «HAYDEN» и с 300 до 1000 м для расширителей фирмы АО «Терекалмаз», ресурс колонковых труб увеличился до 2200 м. Увеличение ресурса расширителей, по нашему мнению, предположительно связано с уменьшением амплитуды биений колонкового набора

в связи с применением дополнительных средств центрирования.

Выводы:

По итогам выполнения буровых работ на месторождении Прогноз можно сделать следующие выводы:

1. Применение пассивного метода управления трассами наклонно-направленных скважин с включением в состав снарядов ССК дополнительных центрирующих и калибрующих инструментов, а также специальной компоновки колонкового снаряда в сочетании с применением методики расчета точки забуривания, позволяет уверенно проводить глубокие скважины в заданную точку подсечения рудного тела.

2. С целью снижения интенсивности искривления при бурении наклонно-направленных глубоких скважин (более 400 м) в условиях многолетнемерзлых горных пород со сложной тектоникой рекомендуется устанавливать в нижней части «жесткой» колонковой трубы дополнительные алмазные расширители с двумя алмазными калибрующими поясками.

3. При бурении скважин в условиях месторождения Прогноз требуется поддерживать величину механической скорости бурения на уровне не менее 12 см/мин за счет регулирования частоты вращения бурового снаряда и осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. В случае увеличения интенсивности искривления ствола скважины, выявленной по результатам промежуточной инклинометрии, необходимо снижать нагрузку на буровую коронку при сохранении частоты вращения.

4. В целом для обеспечения проводки скважин в заданном направлении необходимо проводить регулярный контроль технического состояния, геометрических параметров бурового и породоразрушающего инструмента, а также своевременную выбраковку инструмента, пришедшего в негодное состояние.

© Коллектив авторов, 2019

Трушин Сергей Иванович // Trushin@polymetal.ru
 Осецкий Александр Иосифович // Osetskiy@polymetal.ru
 Малых Максим Юрьевич // MalyhMY@polymetal.ru
 Пак Анатолий Валерьевич // a.pak@ogkgroup.ru
 Шенгальц Андрей Иванович // schoenhals@mail.ru