

В пределах исследуемой территории признаков истощения или осушения водоносных горизонтов (комплексов) не зафиксировано, большинство водозаборов работало в установившемся режиме [2]. Анализ результатов мониторинга подземных вод показал, что качество пресных подземных вод на многих водозаборах неудовлетворительное. Некондиционное природное качество подземных вод связано преимущественно с повышенным содержанием железа и марганца, реже — аммония, жесткости и окисляемости перманганатной, также с повышенными значениями мутности и цветности. Техногенное загрязнение подземных вод не отмечено. Для обеспечения населения питьевыми водами надлежащего качества на части водозаборов установлены станции водоочистки (обезжелезивание), работы по их установке продолжаются.

Оценка современного состояния ресурсной базы пресных подземных вод и их использование для водоснабжения населения южных районов Республики Коми позволяют сделать *следующие выводы*.

Прогнозные ресурсы территории значительны и многократно превышают потенциальные потребности населения и промышленности. В среднем по территории на 1 человека приходится 54,14 тыс. л/сут. В общем балансе современного водоснабжения для большей части подземные воды играют первостепенную роль. Степень разведанности ресурсного потенциала южных районов РК низкая и составляет 1 %, что свидетельствует о больших потенциальных возможностях наращивания разведанных запасов подземных вод. В то же время отмечается и низкий процент использования разведанных месторождений, степень освоения запасов не превышает 6 %. Для водоснабжения наиболее широко используются воды четвертичных

отложений (45 % от общих запасов) и среднеюрских (35 %). Балансовые запасы на 1 человека в среднем (540 л/сут) превышают возможную потребность. В нераспределенном фонде недр находится 70 % от общих запасов подземных вод.

Перспективы освоения как утвержденных запасов подземных вод, так и прогнозных ресурсов на территории южных районов республики имеются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный баланс запасов подземных вод по Северо-Западному федеральному округу (<http://www.rosnedra.gov.ru>). (Дата обращения 12.03.2020 г.).
2. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2018 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». — Сыктывкар, 2019. — 163 с.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2018 г. — Вып. 42. — Тверь: Талан Групп, 2019.
4. Куделина, Н.В. Отчет «Оценка состояния месторождений питьевых и технических подземных вод нераспределенного фонда недр с целью приведения их запасов в соответствие с действующим законодательством на территории Республики Коми и НАО» / Н.В. Куделина. — Ухта: Комигеолфонд. №16639. Рукописная, 2014 г.
5. Лапицкая, В.Ф. Перспективы использования подземных вод для водоснабжения г. Сыктывкар / В.Ф. Лапицкая, В.И. Жильцова // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Матер. XVII Геологического съезда Республики Коми. — Т. III. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. — С. 263–264.
6. Протокол Федерального агентства по недропользованию № 18/83-пр от 07.02.2012 г.
7. Огородникова, Г.П. Отчет «Оценка обеспеченности хозяйственно-питьевого водоснабжения Республики Коми» (второй этап) / Г.П. Огородникова, И.П. Разина, Л.И. Косиненко и др. — г. Ухта-2, 1999. Комигеолфонд №11094. Рукописная.
8. Огородникова, Г.П. Атлас Республики Коми // Гидрогеологическая карта Республики Коми / Г.П. Огородникова и др. — М.: Феолия, 2010.

© Кокшарова Ю.А., 2029

Кокшарова Юлия Александровна // yakoksharova@geo.komisc.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 550.822.2

Чужин Д.Н.¹, Рубчевский Ю.И.¹, Малых М.Ю.²,
Осетский А.И.³, Колпаков В.Б.⁴, Симаков А.П.⁴
(1 — АО «ЮВГК», 2 — ООО «Прогноз-Серебро», 3 — АО
«Полиметалл УК», 4 — АО «Полиметалл Инжиниринг»)

ОРИЕНТИРОВАННЫЙ КЕРН И СКВАЖИННАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ РАБОТ ПОЛИМЕТАЛЛА

Кратко описаны принципы бурения скважин с отбором ориентированного керна и телеметрические исследования скважин методом акустического и оптического зондирования. Показаны нюансы реализации телеметрических исследований. Дана сравнительная характеристика этих методов, основанная на результатах производст-

венных работ. **Ключевые слова:** бурение, ориентированный керн, телеметрия, геомеханика, тектонические структуры.

Zhuzhinov D.N.¹, Rubchevskiy Yu.I.¹, Malykh M.Yu.²,
Osetskii A.I.³, Kolpakov V.B.⁴, Simakov A.P.⁴ (1 — YuVGK,
2 — Prognoz-Serebro, 3 — Polymetal UK, 4 — Polymetal Engineering)

ORIENTED CORE AND DOWNHOLE TELEMETRY, EXPERIENCE OF APPLICATION AT POLYMETAL FACILITIES

The brief description of the oriented core drilling method and borehole telemetric studies (acoustical and optical) method is given. The nuances of the implementation of telemetric studies are shown. These two methods are compared. The comparison is based on the results of production activities. **Keywords:** drilling, oriental core, telemetry, study, geotechnics, tectonic structure.

Введение

Как известно, данные о структурной неоднородности массива горных пород являются базовыми для геомеханических расчетов и моделирования. От их точности и полноты зависит корректность расчетов параметров устойчивости проектируемых горных выработок в первую очередь карьеров. Традиционным методом получения структурных данных является отбор ориентированного керна при бурении скважин. Одним из новых современных методов структурных исследований является скважинная телеметрия [5]. В настоящей статье дана сравнительная оценка этих методов на основе результатов работ, выполненных на месторождениях Прогноз и Нежданинское (Якутия) в 2019 г.

Геологическая характеристика месторождений

Месторождение Прогноз расположено на площади Улахан-Чайдахского рудного узла в верховьях руч. Сытыган — левого притока р. Нельгесе. Его западная граница определяется взбросо-надвиговой зоной Аллах-Нельгесинского разлома, по которому средне-триасовые песчаниковые толщи Арангасчанской антиклинали надвинуты на песчано-алевролитовые карнийского и норийского ярусов Чайдахской синклинали. Более подробно геологическая характеристика месторождения Прогноз изложена в статье [1].

Месторождение Нежданинское — четвертое по величине месторождение золота в России, находится в Томпонском районе на северо-востоке Якутии, примерно в 480 км к востоку от Якутска. Наиболее

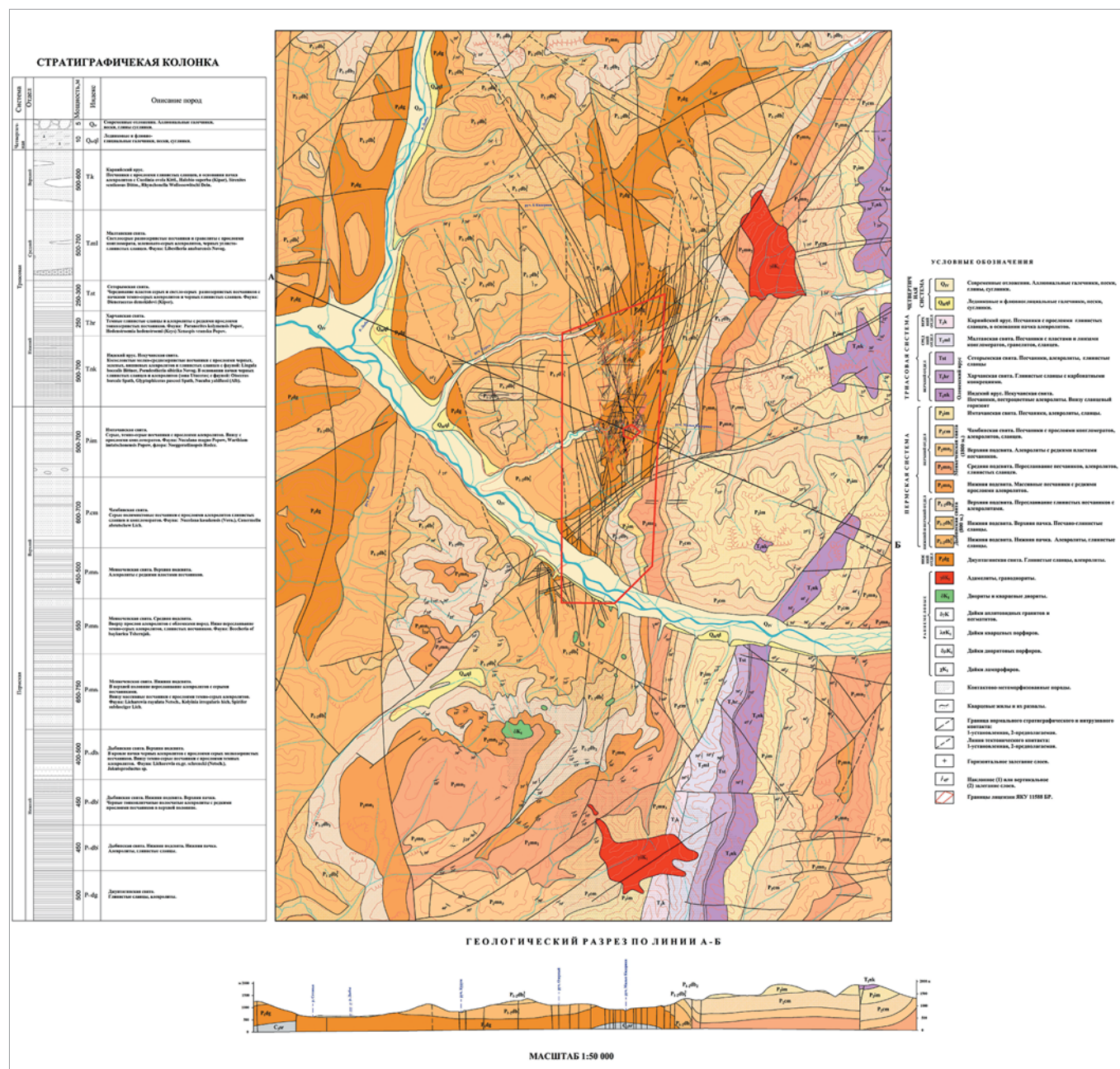


Рис. 1. Геологическая карта района Нежданнинского месторождения



Рис. 2. Керн с нанесенными отметками ориентирования из скважины на месторождении Прогноз (Якутия)

крупным структурным элементом, характеризующим район месторождения, является Южно-Верхоянский сектор Верхоянской складчатой области.

Южно-Верхоянский сектор представляет собой тектонический клин, заключенный между жесткими блоками (с запада — Сибирской платформой, с востока — Охотским массивом), простирающийся в меридиональном направлении на 500 км и шириной 200 км. Основными структурами, слагающими область, являются три крупные тектонические образования: Кылахская зона сочленения с Сибирской платформой, Сетте-Дабанский антиклинорий и Южно-Верхоянская синклиналь, имеющие сложное геологическое строение, обусловленное широким развитием субмеридиональных глубинных разломов и складчатых дислокаций. Нежданинское рудное поле расположено в западной части Южно-Верхоянского синклинория. Породы, слагающие рассматриваемую территорию, представлены толщей песчаниково-аргиллит-алевролитовых пород возрастом от среднего карбона до верхней перми, с резким подчинением песчаниковой составляющей. Породы смяты в складки, осложненные тектоническими нарушениями, придающие им блоковое строение (рис. 1).

Бурение скважин с отбором ориентированного керна

Для выполнения работ привлекались подрядные организации — ООО «Хабаровское геологоразведочное предприятие», ООО «Геосолюшинс», SRK Consulting, Fugro и ФГБУ «ВИМС».

Отбор ориентированного керна производился с целью получения данных об ориентировке таких структурных неоднородностей, как открытые и залеченные трещины, жилы, слоистость пород и др. При этом для каждой из зафиксированных неоднородностей дополнительно определялся ряд геомеханических параметров (раскрытие трещин, тип заполнителя, шероховатость стенок и т.п.).

Бурение скважин для отбора ориентированного керна в настоящее время выполняется, как правило, с использованием тройного колонкового набора. Это не только позволяет выполнить ориентирование керна, но и существенно повышает его сохранность, что важно для проведения дальнейших исследований.

Ориентирование керна осуществляется с помощью специального устройства — ориентатора. В нашем случае применялись ориентаторы производства фирм Maxibor (месторождение Прогноз) и Reflex (месторождение Нежданинское). Перед началом проходки очередного бурового рейса на вкладыше внутренней колонковой трубы ставится отметка, показывающая ориентацию предыдущего бурового интервала. После проходки рейса (до извлечения керна) керна с вкладышем проворачивается до момента, пока его направление не совпадет с направлением ранее пробуренного интервала. На торце керна ставится отметка, указывающая ориентировку, и наносится осевая линия, указывающая условный «верх» керна (рис. 2). Относительно этой линии выполняются все дальнейшие измерения. После выполнения процедуры маркировки керна из вкладыша колонковой трубы выдавливается водой в специально подготовленные деревянные уголки для последующего документирования.

Структурное документирование ориентированного керна сводится к следующему:

- отбраковываются и маркируются искусственные трещины;
- производится фотосъемка промаркированного керна;
- для естественных трещин (жил, слоистости) измеряются максимальный угол наклона относительно оси керна (α) и угол от линии отсчета до направления вектора максимального наклона (β) (рис. 3);
- определяются дополнительные геомеханические параметры для выделенных неоднородностей.

Структурное документирование обычно выполняется непосредственно на буровой площадке. После этого керна раскладывается по ящикам с соответствующей маркировкой интервалов. В дополнение к структурному обычно также выполняется стандартное геомеханическое описание керна по доменам [4].

Комбинация структурного и геомеханического описания ориентированного керна позволяет полу-

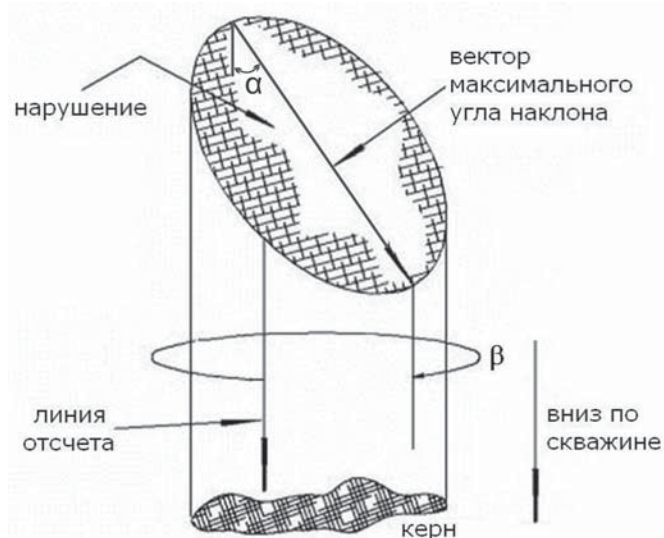


Рис. 3. Определение угла β на ориентированном керна

чить весь доступный набор данных. Для обеспечения высокого качества этих данных необходимо присутствие высококвалифицированного персонала ввиду большого влияния, т.н. «человеческого фактора» на результаты измерений. Часть работ по документированию керна скважин (ориентированного и неориентированного) выполнялась силами специалистов геологической службы АО «Южно-Верхоянская горнорудная компания» совместно со специалистами ООО «Геосолюшинс» и SRK Consulting.

Общий объем бурения скважин с отбором ориентированного керна составил:

- на месторождении Прогноз — 5325,0 м;
- на месторождении Нежданинское — 4456,0 м.

Телеметрия скважин методами акустического и оптического зондирования

Скважинная телеметрия — один из новых современных методов получения данных о структурной неоднородности массива. Зондирование (сканирование) сводится к получению ориентированной развертки изображения стенки скважины в акустическом и (или) оптическом диапазоне. На таких изображениях плоские структуры, секущие ствол скважины, представляются в виде синусоидальных кривых. На этапе интерпретации для выделения и классификации кривых в соответствии с особенностями структур используется специальное программное обеспечение.

Определение истинного азимута и углов падения структур выполняется на основе дополнительных измерений диаметра и параметров траектории скважины. Замеры параметров траектории выполняют, как правило, непосредственно в процессе сканирования, поскольку в состав зонда входят приборы ориентирования (магнитометр, акселерометр). Диаметр ствола скважины может быть измерен отдельным прибором — калверномером, а также определен расчетным путем на основе данных акустического сканирования или принят по диаметру бурового инструмента [5].

Акустическое сканирование. Акустический зонд (рис. 4) представляет собой ультразвуковой передатчик-приемник, работающий на частоте 1,2 МГц. Вращаясь в стволе скважины с частотой примерно 10 оборотов в секунду, он сканирует стенки скважины по спирали, которая преобразуется в развернутое ориентированное изображение с помощью специального программного обеспечения.



Рис. 4. Акустический зонд типа ALT QL40-ABI-2G



Рис. 5. Оптический зонд типа ALT QL40-OBI-2G

Прибор одновременно регистрирует амплитуду и время пробега ультразвукового сигнала, отраженного от стенки скважины. Контрастные элементы на акустическом изображении характеризуют акустический импеданс между скважинной жидкостью (буровой раствор или вода) и вскрытыми породами (стенка скважины), а время пробега изменяется в зависимости от скорости движения потока скважинной жидкости и диаметра скважины. Таким образом, при известной скорости прохождения жидкости, кинематическая диаграмма может быть преобразована в ориентированную диаграмму калвернометрии высокого разрешения.

Метод акустического сканирования применим и в скважинах с обсадной колонной из поливинилхлорида (ПВХ) при условии, что обсадная колонна строго отцентрирована, а скважинное пространство на границе с породой заполнено жидкостью и свободно от других материалов.

Акустическое сканирование может выполняться как на спуске, так и на подъеме бурового снаряда по скважине и менее подвержено влиянию забойной «грязи» (взвесей, шлама, остатков керна и т.п.), чем оптическое. Преимущество регистрации на подъеме состоит в более равномерной скорости перемещения прибора, особенно в наклонно-направленных скважинах, в то время как регистрация на спуске предпочтительна в скважинах с нестабильным уровнем жидкости, например, при поглощениях, а также из-за наличия систем трещин и т.п.

Оптическое сканирование. Оптический зонд (рис. 5) представляет собой зафиксированную в осевом положении систему из зеркала и видеокамеры, регистрирующей изображение стенки скважины в оптическом диапазоне. При этом используется светодиодное освещение белого цвета. В результате формируется изображение стенки скважины в истинном цвете, которое при высоком качестве данных и известном показателе нарушенности пород сравнимо с фотографиями керна.

Для получения оптических изображений высокого качества скважина должна быть либо заполнена прозрачной жидкостью, либо оставаться пустой. Регистрация диаграмм оптического сканирования обычно выполняется на спуске прибора в скважину, т.к. на забое скважины нередко скапливается грязь, а загрязне-

ние окна оптического сенсора приводит к снижению качества получаемых данных.

Для получения полной информации о структурных неоднородностях массива предпочтительно использовать комбинированные телеметрические исследования (акустический + оптический). Фрагмент лога такой комбинированной телеметрии приведен на рис. 6.

Таким образом, комбинированная телеметрия позволяет с более высокой точностью определять ориентировку структурных неоднородностей. Однако при этом отсутствует возможность определения дополнительных геомеханических параметров для зафиксированных неоднородностей [2].

Практика применения бурения скважин с отбором ориентированного керна

Бурение скважин с отбором ориентированного керна применяется на объектах Полиметалла последние 5 лет. За это время специалистами Компании был разработан собственный стандарт описания керна.

Он состоит из двух частей:

- структурное описание (возможно только на ориентированном керна);
- геомеханическое, по доменам (не зависит от ориентирования керна).

Хронометражные наблюдения, проведенные на месторождении Прогноз, показывают, что бурение с отбором ориентированного керна требует относительно небольших дополнительных затрат времени по сравнению с обычным бурением. Так, например, в скважинах глубиной до 100 м время проходки рейса длиной 1,5 м составляет в среднем 7–9 мин, спускоподъемные

операции — 1–2 мин, ориентация и извлечение керна 6–8 мин. Геомеханическое документирование керна бурового интервала занимает в среднем 15–20 мин в зависимости от насыщенности интервала трещинами, наличием контактов и т.п.

По нашему мнению, это делает бурение с отбором ориентированного керна доступным и эффективным способом получения информации о структурной неоднородности массива. Но у данного метода есть, на наш взгляд, несколько существенных недостатков:

- практически невозможно определить элементы залегания трещин, ориентированных вдоль ствола скважины или под небольшим углом к нему;
- крайне сложно достоверно зафиксировать литологическую слоистость;
- качество полученных данных напрямую зависит от квалификации персонала, выполняющего работы по ориентированию и документированию керна.

С первыми двумя недостатками бороться практически невозможно. Квалификацию персонала можно поднять при условии соответствующих тренингов. Но такие тренинги крайне сложно организовать при выполнении документирования силами подрядных организаций. Единственным способом повлиять на качество данных в таком случае является постоянный контроль всех стадий работ специалистами заказчика.

Практика применения скважинной телеметрии

Первый проект телеметрических исследований на объектах Полиметалла был реализован в 2019 г. на месторождении Нежданинское. Основной целью работ

была проверка и уточнение структурных данных, полученных по ориентированному керна в 2017–2018 гг. В ходе реализации проекта также планировалось оценить возможности телеметрии на объекте со сложной многостадийной тектоникой.

Работы выполнялись двумя независимыми подрядчиками: ФГБУ «ВИМС» и Fugro GEOINGSERVICE LLP. При этом подрядчик ФГБУ «ВИМС» в своей работе применял исключительно акустический метод сканирования скважин, подрядчик Fugro применял акустический и оптический методы сканирования.

Телеметрические исследования были проведены по 11 скважинам. Объемы работ составили:

- акустическая телеметрия — 1854 пог. м;

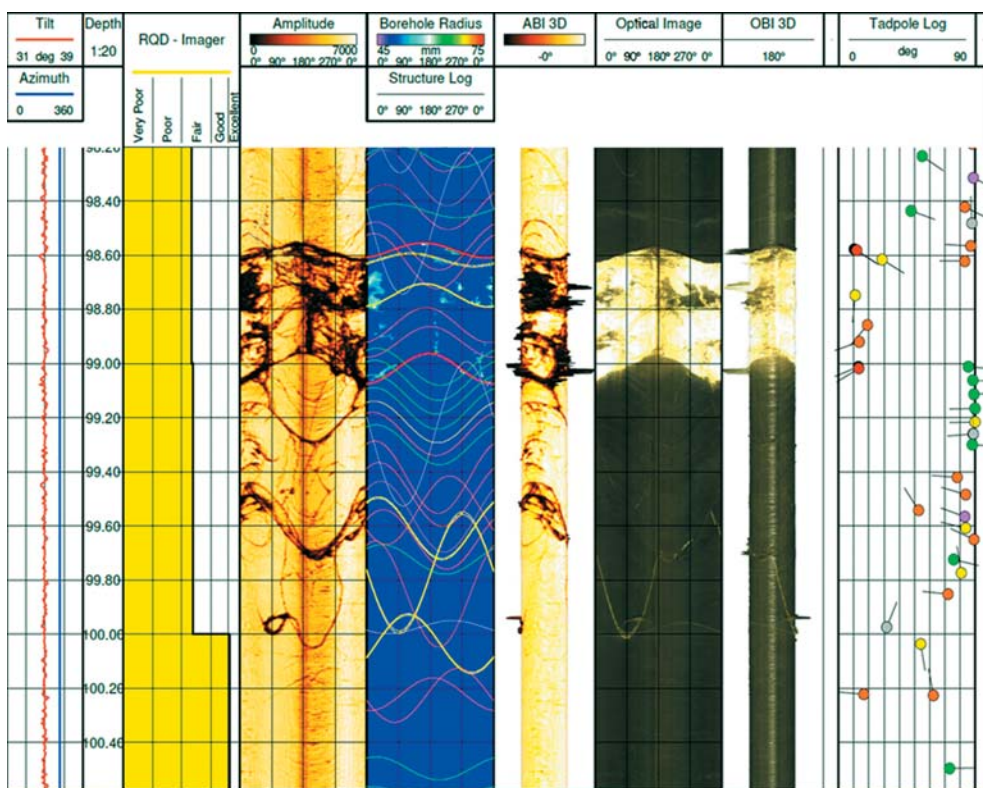


Рис. 6. Пример лога комбинированной телеметрии на месторождении Нежданинское

— акустическая + оптическая телеметрия — 1079 пог. м.

В результате проведенных работ были определены истинные азимуты и углы падения классифицированных структурных неоднородностей: трещин, жил, литологической слоистости. Контроль результатов осуществлялся по ориентированному керну в пяти контрольных скважинах, описание керна выполнялось специалистами ВИМСа.

Практика показала, что телеметрические исследования действительно имеют ряд серьезных преимуществ перед бурением с отбором ориентированного керна:

- отсутствует «слепая зона» вдоль оси скважины;
- достигается высокая точность определения ориентировки структурных неоднородностей;
- т.н. «человеческий фактор» практически не оказывает влияния на качество измерений;
- оптическая телеметрия позволяет достоверно фиксировать ориентировку литологической слоистости;
- гарантируется достоверный результат в скважинах с низким качеством извлечения керна.

Также в ходе реализации данного проекта был выявлен ряд нюансов в проведении телеметрических исследований, которые описаны ниже.

Акустическая телеметрия позволяет выделять открытые и закрытые трещины без твердого минерального заполнителя, а также крупные трещины с твердым минеральным заполнителем и крупные жилы. Оптическая телеметрия позволяет получить информацию о трещинах с твердым минеральным заполнителем и литологической слоистостью массива. Таким образом, для получения полного объема данных о структурной неоднородности массива целесообразно использовать комплексную телеметрию (оптическую + акустическую).

Применение оптической телеметрии связано, прежде всего, с необходимостью получения информации о слоистости массива. Литологическая слоистость является одним из важнейших факторов, влияющих на устойчивость горных выработок. При этом получить детальную и достоверную информацию о слоистости по ориентированному керну крайне сложно. Оптическая телеметрия такую возможность обеспечивает.

В частности, данные по ориентировке слоистости, полученные с помощью телеметрии на Нежданинском месторождении, позволили зафиксировать ранее неизвестные закономерности в ее изменчивости. Они были использованы при построении геолого-структурной модели месторождения и дальнейшей актуализации геомеханических условий его отработки.

Необходимо также отметить, что даже комбинированная телеметрия позволяет определить только ориентировку и тип структурных неоднородностей, для получения других геомеханических параметров необходима работа с керном.

Акустическая телеметрия может применяться только в обводненных скважинах. Оптическая телеметрия

дает наилучший результат в необводненных скважинах, а при использовании в обводненных ее качество зависит от прозрачности скважинной жидкости. Комплексная телеметрия возможна в обводненной скважине, поэтому требует дополнительной промывки скважины. В случаях, когда промывка не дает необходимой прозрачности скважинной жидкости, потребуется полное осушение скважины для проведения оптической телеметрии.

При проведении телеметрических исследований в скважинах, диаметр которых близок к диаметру самого оборудования (64 мм), могут возникнуть сложности, связанные с зажатием зонда в скважине и точностью его центрирования. Оптимальными диаметрами скважин можно считать NQ (76 мм) и HQ (96 мм), но в каждом конкретном случае требуется оценка экономической целесообразности увеличения диаметра бурения. Это особенно важно учесть при постановке телеметрии по геологоразведочным скважинам, которые часто имеют небольшой диаметр.

Интерпретация логов телеметрии (классификация выделенных структурных неоднородностей) осуществляется с помощью так называемого интерпретационного словаря, который представляет собой перечень структур, присутствующих на месторождении и критерии отнесения неоднородностей к тому или иному типу структур. В программных пакетах для обработки результатов телеметрии обычно встроен некий стандартный словарь, но получить качественный результат с его помощью достаточно сложно.

По нашему мнению, интерпретационный словарь должен разрабатываться индивидуально для каждого проекта с учетом цели работ и особенностей объекта. Кроме того, итоговая интерпретация телеметрии должна коррелировать с фото-документацией керна скважины. Большая часть структурных неоднородностей, выделенных по телеметрии в стенках скважины, будет фиксироваться и по керну. Если этого не происходит, то интерпретация телеметрии выполнена некорректно.

Для данного проекта специалистами АО «Полиметалл Инжиниринг» совместно с подрядчиками был разработан интерпретационный словарь, учитывающий геолого-структурные особенности месторождения. Словарь разрабатывался таким образом, чтобы была возможность совместно использовать данные телеметрии и описаний ориентированного керна по всем геомеханическим скважинам, пробуренным на Нежданинском месторождении в период с 2017 по 2019 г.

Это позволило построить комбинированные стереограммы, которые, в свою очередь, были использованы при построении геолого-структурной модели месторождения с последующим выделением геолого-структурных и геомеханических доменов.

Выводы:

Геомеханическое описание ориентированного керна является достаточно простым и доступным методом получения информации о структурных

неоднородностях массива горных пород. При качественном документировании данные бурения с отбором ориентированного керна хорошо увязываются с известными геологическими структурами месторождения.

Телеметрические исследования требуют наличия специализированного оборудования и предъявляют повышенные требования к качеству подготовки и промывки скважин. Сложность таких исследований компенсируется получением более полного и точного набора структурных данных и, главное, возможностью полноценно оценить литологическую слоистость массива. Кроме того, метод позволяет получить характеристики трещин, ориентированных вдоль направления ствола скважины.

Для полноценной всесторонней оценки структурной неоднородности массива целесообразно использовать комбинацию классического геомеханического описания ориентированного керна и телеметрических исследований. При этом необходимо, по нашему мнению, использовать полный комплекс телеметрических исследований — оптический и акустический. Консолидация данных, полученных разными методами, должна осуществляться с помощью единого интерпретационного словаря, разработанного с учетом геолого-структурных особенностей конкретного месторождения.

Стоимость телеметрических исследований сопоставима со стоимостью работ с отбором ориентированного керна в случае проведения работ силами российской подрядной организации. Это даст возможность комбинировать бурение с отбором ориентированного керна и бурение с телеметрией скважин без существенного увеличения стоимости работ.

Совместное использование данных ориентированного бурения и телеметрических исследований также позволяет осуществлять двусторонний контроль качества данных, получаемых путем сравнения описания ориентированного керна и результатов телеметрии по отдельным контрольным скважинам. Такая схема контроля дает возможность оптимизации объемов геомеханических изысканий для повышения их экономической эффективности без потери качества получаемых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трушин, С.И. Управление трассами наклонно-направленных скважин при бурении в многолетнемерзлых горных породах со сложной тектоникой / С.И. Трушин, А.И. Осецкий, М.Ю. Малых, А.В. Пак, А.И. Шенгалъц // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 8. — С. 32–37.
2. Gwynn, X.P. Combined use of traditional core logging and televiwer imaging for practical geotechnical data collection / X.P. Gwynn, X.C. Brown, J.P. Mohr. Proceedings of the 2013 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, 25–27 September 2013 / Dight, P.M. (ed.) Australian Centre for Geomechanics, Nedlands. — pp 261–272.
3. Rien Corstanje Choong Pek Kem Acoustic Borehole Televiwer — Raising the Bar in Geotechnical Site Investigation. <http://geosensor.com.au/wp-content/uploads/Acoustic-Borehole-Televiwer-Raising-the-Bar-in-Geotechnical-Site-Inve....pdf> (10.01.2020 г.).

4. Ureel, S. Rock core orientation for mapping discontinuities and slope stability analysis / S. Ureel, M. Momayes, Z. Oberling // International Journal of Research in Engineering and Technology. Volume 02, issue 7, 2013.

5. Weir, F.M. The future of structural data from boreholes / F.M. Weir // International Journal of Geotechnical Engineering in volume 9, 2015. — pp 223–228.

© Коллектив авторов, 2020

Чужинов Дмитрий Николаевич // ChuzhinovDN@polymetal.ru

Рубчевский Юрий Игоревич // Rubchevskiy_UI@polymetal.ru

Малых Максим Юрьевич // MalyhMY@polymetal.ru

Осецкий Александр Иосифович // Osetskiy@polymetal.ru

Колпаков Виктор Борисович // KolpakovVB@polymetal.ru

Симаков Антон Петрович // SimakovAP@polymetal.ru

УДК 669.712: 615.035.4

Степанов С.И., Бояринцев А.В., Хтет Йе Аунг, Чекмарев А.М. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева)

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СКАНДИЯ ИЗ КРАСНЫХ ШЛАМОВ И ОТХОДОВ МОКРОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ТИТАНО-ЖЕЛЕЗО-ВАНАДИЕВЫХ РУД

*Красные шламы (КШ) алюминиевого производства и отходы мокрой магнитной сепарации (ММС) титано-железо-ванадиевых руд Гусевогорского месторождения рассмотрены как техногенные источники скандия, содержащие более 120 г/т этого редкого элемента. Изучено карбонатное выщелачивание скандия из КШ при сатурации пульпы CO_2 и сернокислотное выщелачивание Sc из отходов ММС. Показано, что основным фактором, снижающим извлечение скандия в карбонатные растворы, является его соосаждение с алюминием, обусловленное гидролитической полимеризацией в присутствии протона угольной кислоты. Извлечение скандия из отходов ММС в сернокислые растворы определяется степенью аморфизации кристаллической структуры диопсида в процессе механоактивации исходного минерального сырья. **Ключевые слова:** скандий, красные шламы, отходы мокрой магнитной сепарации, титано-железо-ванадиевые руды, карбонатное и сернокислотное выщелачивание, переработка техногенного минерального сырья.*

Stepanov S.I., Boyarintsev A.V., Htet Ye Aung, Chekmarev A.M. (Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev)

SCANDIUM EXTRACTION FROM RED SLIMES AND WASTES OF WET MAGNETIC SEPARATION OF TITANIUM-IRON-VANADIUM ORES

Red muds (RM) of aluminium production and wastes of wet magnetic separation (WMS) of titanium-iron-vanadium ores of Gusevogorsk deposit are considered as technogenic sources of scandium containing more than 120 g/t of this rare element. Carbonate leaching of scandium from RM during CO_2 pulp saturation and sulfuric acid leaching of Sc from WMS were