

ПРИМЕНЕНИЕ СКВАЖИННОЙ МАГНИТОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГРАНИЦ ПИРИТ-ПИРРОТИНОВОГО ПЕРЕХОДА В МУРУНТАУСКОЙ СГ-10

Иголкина Г.В., Астраханцев Ю.Г., Мезенина З.С. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Применение метода скважинной магнитометрии и метода электронных потенциалов (МЭП) способствовало оценке границы пирит-пирротинового перехода, что важно для установления границ золоторудного оруденения в Мурунтауском рудном поле.

Скважинная магнитометрия, магнитные характеристики, скважина, пирротиновая минерализация, границы пирит-пирротинового перехода.

APPLICATION IN THE STUDY OF BOREHOLE MAGNETOMETRY PYRITE-PYRRHOTITE BORDER CROSSING IN MURUNTAU SG-10

Igolkina G.V., Astrakhansev Y.G., Mezenina Z.S. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. Application of the borehole and magnetometry method electronic potentials (MEP) contributed to the assessment of the boundaries of pyrite-pyrrhotite transition that is important to establish the boundaries of gold mineralization in Muruntau ore field.

Borehole magnetometry, magnetic characteristics, borehole, pyrrhotite mineralization, boundaries of pyrite-pyrrhotite transition.

Введение

Мурунтауская сверхглубокая скважина СГ-10 пробурена в Центральном-Кызылкумском рудном районе, в терригенно-осадочной толще нижне-палеозойского возраста.

Основная цель исследований скважины СГ-10 – реконструкция физико-химических условий формирования рудной минерализации на основе комплексного изотопно-геохимического изучения различных стадий процесса (Заири, Курбанов, 1991).

В результате исследований Мурунтауской скважины существенно расширены перспективы золотоносности района (Кременецкий и др., 1990; Заири, Курбанов, 1991). Промышленная золоторудная минерализация выявлена на глубине 2400 м, и это самое глубокое подсечение балансовых руд в регионе. На глубине 3000 м обнаружены комплексные уран-молибден-ванадиевые руды с повышенной платиновостью в черносланцевых породах. Выявленные различия в развитии флюидных систем обусловлены некоторыми отличиями в геолого-геохимических обстановках локализации оруденения. К наиболее важным, определяющим особенностям физи-

ко-химического режима развития флюида относятся: увеличение содержания $C_{орг}$ во вмещающих породах, прилегающих к зоне развития рудоконтролирующего Южного разлома, испытавшего интенсивные рудные подвижки; изменение давления во флюидных системах от 100 (при отложении золотосульфидной минерализации) до 200 МПа (кварц-золото-сульфидной), что находит отражение в пирит-пирротиновом переходе (изменение соотношений пирит-пирротиновых и магнитных-немагнитных модификаций пирротина и т. д.). Это послужило основанием для утверждения о наличии новой кулисы оруденения и потенциальной золотоносности ее в участках развития продуктивных изотопно-геохимической ассоциации (ИГА2а₂) ниже глубины 1640 м. Последнее подтверждается вскрытием на одном из участков развития ИГА2а₂ на глубине 2397–2404 м пород с содержанием золота (Заири, Курбанов, 1991).

Скважиной СГ-10 вскрыты метатерригенно-сланцевые толщи бесапанской и тазказганской свит, ритмичность строения которых подчеркивается распределением углеродистого вещества с максимальным

содержанием последнего в углеродистослюдистых сланцах. Золоторудная зона представлена дроблеными метасоматитами и окварцованными породами с прожилками кварца. В аншлифе жильного кварца и окварцованной породы описаны пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, марказит и самородное золото в виде мельчайших выделений в кварце. В отмытых шлихах из дубликата проб и шлама установлены: самородное золото, арсенопирит, пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит (Шаякубов и др., 1991).

В работах (Кременецкий и др., 1990; Алексеева, Кременецкий, 2000) было проведено изучение вопросов рудообразования, метаморфизма, оценки границ между геологическими образованиями в районе Мурунтауской скважины, что связано с определением зональности распределения пирита и пирротина по глубине.

Цель исследований

Применение метода скважинной магнитометрии при изучении границ пирит-пирротинового перехода в Мурунтауской СГ-10.

Методика

Скважинная магнитометрия в Мурунтауской СГ-10 проводилась в интервале 20–4220 м (Иголкина, 2002). Аппаратурно-программный комплекс для исследования сверхглубоких скважин наиболее подробно рассмотрен в работах Ю.Г. Астраханцева (Астраханцев, 2003; Астраханцев, Белоглазова, 2012). Для изучения разрезов сверхглубоких скважин требуется аппаратура и методика, обладающая повышенной чувствительностью и точностью измерений составляющих вектора геомагнитного поля и величины магнитной восприимчивости.

Методика интерпретации результатов скважинной магнитометрии при исследовании сверхглубоких скважин рассмотрена в работе Иголкиной Г.В. (Иголкина, 2002).

Исследования керна включали измерения магнитной восприимчивости χ , естественной остаточной намагниченности J_n , остаточной коэрцитивной силы H_{cr} , определение модуля и знака палеомагнитного

наклонения I и вычисление фактора Кенигсбергера Q . При изучении состава магнитной фракции пород использовались методы термомагнитного анализа остаточной намагниченности насыщения J_{rs} и J_n с контролем поведения векторов в процессе терморазмагничивания, а также метод параметров насыщения – J_{rs} и разрушающего ее поля H_{crs} (Петрова, 1977; Свяжина и др., 1996).

Результаты исследований

Подсеченные горные породы в интервале 30–480 м, представленные переслаиванием углистых и серицитовых сланцев, алевросланцев с прожилками кварца и вкрапленностью пирита, практически немагнитны. Магнитная восприимчивость χ и величина магнитного поля близки к нулю и характеризуются постоянством значений, за исключением интервала 380–407 м, где χ меняется от $250 \cdot 10^{-5}$ до $1250 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Аномалия Z изменяется от минус 3000 до 2000 нТл. Ниже с глубины 482 и до 585 м встречены магнитные породы (χ до $2250 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), разделенные пластами немагнитных пород (502–510 и 532–538 м). Немагнитны породы и в интервалах 665–712, 843–855 м, а с глубины 712 и до 805 м, с 854 до 896 м слабо магнитны. В интервале 1260–2260 м породы слабомагнитны, величина χ не превышает $600 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, за исключением пород в интервалах 1250–1326, 1378–1389, 1408–1428, 1553–1598 м, где магнитная восприимчивость достигает $1600 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

Характерна сильная изрезанность кривой Z_a , причем значения в среднем составляют ± 12000 нТл для магнитных пород в интервале 896–946 м. Аномалия магнитной восприимчивости достигает $2000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, кривая сильно дифференцирована, что говорит о неоднородности магнитных свойств пород в этом интервале глубин. Магнитны породы и в интервале 1000–1038 м. С глубины 1038 и до глубины 1260 м отмечается чередование магнитных и немагнитных пород. Неоднородность магнитной восприимчивости, возможно, связана с гнездовыми включениями пирротина. Там, где на-

блюдается аномалия на кривых χ и Z_a и они сильно изрезаны, отмечается и аномальное поведение кривой МЭП, подтверждающее наличие сульфидной минерализации в породах.

Скважиной СГ-10 на глубине 2436 и до 2490 м встречены тонкослоистые темно-серые до черного слюдисто-кварцевые алевролиты с прослоями углеродисто-слюдистых сланцев и метапесчаников до кварцитов. Породы смяты, наблюдается интенсивное окварцевание в интервалах магнитных пород на глубинах 2490–2507, 2513–2727, 2735–2790, 2802–2911 м. Величина аномалии Z меняется от 22000 до 30000 нТл, достигая в максимуме 50000 нТл. Значения магнитной восприимчивости до $5000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Следует отметить, что величина ее возрастает с глубиной, что свидетельствует либо об увеличении содержания магнитных минералов, либо о присутствии нескольких типов магнитной минерализации. Для выделенных интервалов магнитных пород, представленных по геологическому описанию слюдисто-кварцевыми алевролитами, рассланцованными, полосчатыми с прослоями углеродисто-слюдистых сланцев, слюдисто-кварцевыми метапесчаниками с тонкими прослоями углеродисто-слюдистых сланцев, а также переслаиванием этих пород, характерна неоднородность магнитных свойств. Такие вариации магнитных свойств характерны для метаморфических пород, особенно для тех, которые подвержены гидротермально-метасоматическим процессам.

На глубине 3300 м и ниже скважина подсекала темно-серые массивные слюдисто-кварцевые породы с прослоями углеродисто-слюдистых сланцев с тонкими полосами биотита. С глубины 3484 м больше становится доля углеродисто-слюдистых сланцев, отмечается слабое окварцевание и брекчирование. В интервалах 3310–3334, 3551–3566, 3571–3581 м породы характеризуются величиной χ до $2500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и величиной Z_a до 3000 нТл. Понижение магнитных свойств связано с уменьшением содержания магнитной минерализации

и, возможно, другим видом пирротина. Магнитные свойства характеризуются сильной дифференцированностью. Аномалия Z меняется от минус 13000 до 18000 нТл, аномалия H составляет ± 23000 нТл, величина магнитной восприимчивости χ достигает $5000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

Кроме того, с глубины 3795 и до глубины 3905 м отмечается изменение характера кривых Z_a и H , которые становятся менее дифференцированными. Для магнитных интервалов 3905–3910 и 3912–3930 м характерно присутствие пирротина по трещинам слюдисто-кварцевых пород. С глубины 4002,2 и до 4184 м для вскрытых пород характерна однородность магнитных параметров, значения которых значительно меньше, чем у вышеописанных пород. Значения Z_a составляют 400 нТл и лишь на глубинах 4048, 4054, 4164 м отмечаются отдельные пики до 900 нТл. Величина магнитной восприимчивости χ в среднем составляет $900 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

На глубинах 4184–4217, 4241–4243, 4245–4249, 4250–4254, 4260–4276 м магнитные свойства пород обусловлены неравномерно распределенным магнитным пирротинном в обломках светлых гранитов. Светлые мелкозернистые аплитоидные граниты с глубины 4276 м до забоя скважины на глубине 4290 м практически немагнитны.

Определение элементов залегания зон пирротиновой минерализации проведено по измерениям вертикальной составляющей магнитного поля Z , модуля горизонтальной составляющей магнитного поля H и аномалии магнитного склонения D_a . Падение пород во вскрытом разрезе меняется в широких пределах. Интерпретация «скачков» магнитного поля для зон пирротиновой минерализации очень сложна вследствие сильной дифференцированности магнитных характеристик и слоистости среды. Для подсеченных скважиной пород характерно чередование прослоев пород мощностью от десятков сантиметров до нескольких метров. По Мурунтауской скважине определение элементов залегания пород проведено в следующих интер-

валах глубин: 1005–1045, 2080–2190, 2410–2470, 3854–3862, 3904–3930, 3962–3980 м (Иголкина, 2002).

В интервале 2175–2240 м скважина, возможно, пересекла свод антиклинальной структуры, и пласты приобрели южное и юго-западное падение. Это предположение подтверждается замерами азимута падения по ориентированному керну (Алексеева, Кременецкий, 2000) и определением элементов залегания по данным скважинной магнитометрии (Иголкина и др., 1990).

На Мурунтауской скважине изучение искусственного намагничивания зон сульфидной минерализации стало возможным из-за технологических причин (частое использование при буровых работах фрезера, магнитное поле которого на расстоянии 1 м составляет около 100 Э). Исследования искусственного намагничивания зон сульфидной минерализации были предложены Г.В. Иголкиной при исследованиях сверхглубоких скважин с целью решения геологической задачи по определению границ пирит-пирротинового перехода (Иголкина, 1998; Igolkina, 1995).

При подмагничивании в магнитном поле до 100 Э моноклиная модификация пирротина приобретает значительную изотермическую намагниченность. Изучение изотермической намагниченности в лабораторных и скважинных условиях позволили В.П. Кальварской (Кальварской и др., 1978) предложить новую методику расчленения и минералогической диагностики в естественных условиях типов магнитной минерализации.

Изучалось изменение магнитного поля и магнитной восприимчивости, а также проводилось вычисление намагниченности пород, оценивалось влияние магнитного фрезера на магнитные характеристики. Разработанное устройство для измерения магнитной восприимчивости использовалось при исследовании скважин и позволило выполнить измерения χ на глубинах до 12 км при высоких температурах (Астраханцев, 2003). Преимущество устройства дает полную независимость выходного сигнала датчика магнитной восприимчивости от

электропроводности горных пород, что достаточно важно при исследовании пород, содержащих сульфиды железа (например, пирита и пирротина).

Эффект намагничивания $\Delta Z = Z_{a2} - Z_{a1}$ достигает 20000 нТл, а величина аномалии поля связана с количественным содержанием пирротина и зависит от его типа: моноклинного, гексагонального или промежуточного – сростания первых двух типов.

Сопоставление результатов скважинных магнитных измерений до и после подмагничивания сделано для нескольких интервалов глубин: 1160–1240, 2080–2180, 2380–2480, 3170–3220, 3340–3400, 3440–3480, 3550–3590, 3680–3720, 3960–3980 м.

Анализ диаграмм магнитной восприимчивости χ показывает в интервале глубин 1160–1240 м, что характер кривых и величина χ после намагничивания практически не изменяется. Величина $\Delta\chi = \chi_2 - \chi_1$ не превышает $\pm 200 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Характер распределения магнитной восприимчивости в том и другом случае одинаков. Среднее значение χ (измерения октября 1986 г.) составляет $245 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, среднее значение χ (июнь 1987 г.) около $230 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Коэффициент корреляции между χ_1 и χ_2 равен 0,89. Величина аномалии вертикальной составляющей Z , измеренная в октябре 1986 г., в отдельных интервалах отличается от измерений 1987 г. Так, например, в интервалах 1168,2–1193,6 и 1219,4–1240 м аномалия Z_a до намагничивания составляла ± 500 нТл, а после намагничивания Z_a стала равна ± 1500 нТл. Для интервала глубин 1193,8–1208 м значение Z_a практически не изменилось.

В интервале 2080–2180 м выполнено сопоставление результатов скважинных магнитных измерений июня и декабря 1987 г. В этом интервале работа с магнитным фрезером проводилась в три этапа в октябре 1987 г. до глубины 2426 м, т. е. как раз между каротажными. Эффект изотермического намагничивания одинаков для всех магнитных участков в этом интервале, что говорит о присутствии здесь одного типа пирротинной минерализации – моноклин-

ного ферромагнитного пирротина. Различие в магнитных свойствах интервалов 2100–2120 и 2120–2180 м обусловлено разным содержанием моноклинного пирротина во вскрытых породах.

Корреляционные зависимости между магнитной восприимчивостью и аномалией магнитного поля Z для разных типов пирротина до и после намагничивания сильно отличаются друг от друга (Иголкина, 1998; Igolkina, 1994). Коэффициенты корреляции в том и другом случае не превышают 0,2. Такие коэффициенты

характерны для мелкой вкрапленной пирротиновой минерализации промежуточного типа. Для моноклинного пирротина характер зависимости практически одинаков.

Результаты скважинной магнитометрии в интервале 3170–3220 м до подмагничивания (октябрь 1989 г.) и после подмагничивания (март 1990 г.) приведены на рис. 1а. Породы, подсеченные скважиной в этом интервале, сильно дифференцированы по своим магнитным характеристикам за счет неравномерного распределения магнитного пирротина в углеродисто-сланцевых сланцах с прожилками кварц-карбонатного состава. Величина аномалии Z_{a2} , измеренная в октябре, превышает аномалию Z_{a1} (март) в три раза. Величина ΔZ составляет 5000–10000 нТл. Интересен тот факт, что для различных зон этот эффект подмагничивания различен. Кривая МЭП подтверждает наличие сульфидов, но по ней сделать разделение сульфидной минерализации на пирит и пирротин в естественном залегании невозможно. Изменение аномалии магнитного поля после подмагничивания дает, в основном пирротин, пирит же не является магнитным минералом.

Интервал 3340–3400 м (рис. 1б) характеризуется тем, что до подмагничивания аномалия Z практически отсутствовала, а после намагничивания аномалия Z_a составила ± 10000 нТл, т. е. стала такой же, как и у выше- и нижележащих пород. Кривая МЭП подтверждает наличие сульфидов. Поскольку кривая МЭП непосредственно связана с проводимостью пород, то следует четкая корреляция между электрической проводимостью, магнитной восприимчивостью и намагниченностью зон пирротиновой минерализации.

Такое поведение магнитного поля Z_a , вероятно, вызвано тем фактом, что до подмагничивания остаточная намагниченность пирротина была обратной и совпадала по величине с индуцированной, за счет этого и происходило компенсирование их друг другом. После прохождения магнитного фрезера пирротин перемагнитился, полярность остаточной намагниченности стала прямой, а их сумма с индуцирован-

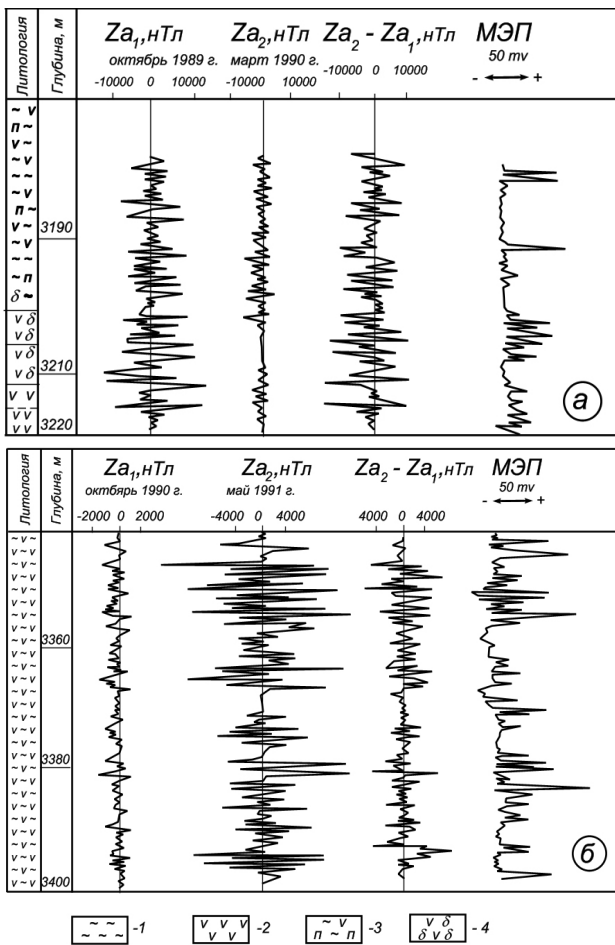


Рис. 1. Сопоставление результатов скважинной магнитометрии по Мурунтауской сверхглубокой скважине СГ-10: а – до (октябрь 1989 г.) и после (март 1990 г.) искусственного подмагничивания пород в интервале 3170–3220 м; б – до (октябрь 1990 г.) и после (май 1991 г.) искусственного намагничивания пород в интервале 336–3400 м; 1 – металаевролиты; 2 – алевролиты; 3 – углеродисто-сланцевые сланцы; 4 – биотит-плагиоклазовые породы; χ и Z_a – магнитная восприимчивость и аномальная вертикальная составляющая магнитного поля; МЭП – результаты каротажа методом электродных потенциалов

ной вызвала такое изменение магнитного поля. Проявленная на глубинах более 3,4 км тенденция к смене вкрапленности гексагонального пирротина ильменитом отразилась в смене характера вертикальной составляющей магнитного поля.

На глубине около 3500 м пересечена граница, ранее отбивавшаяся при наземных сейсморазведочных и гравитационно-магнитных исследованиях. Граница выражена сменой состава пород, появлением новых литологических разновидностей, возрастанием степени метаморфических преобразований (до эпидот-амфиболитовой фации). Устанавливаются новые типы изменений пород (амфиболитизация), прожилковое окварцевание с амфиболом и гранатом (гроссуляр), прожилки пегматитов с турмалином. Заметней становится смена в породах вкрапленного пирротина ильменитом, что, по данным Г.В. Иголкиной и др., отразилось в изменении характера кривых магнитного каротажа (Иголкина и др., 1990). В углеродисто-сланцевых сланцах очень часто присутствуют кристаллы и овалы выделения серицитизированного андалузита (хиастолит). Широко развита сульфидная и биотитовая минерализация. Отмечаются зоны интенсивного прожилково-метасоматического окварцевания, карбонатизации и прожилково-метасоматической альбитизации (Шаякубов, 1991).

Минералогическими исследованиями установлено, что рудная минерализация в исследуемых образцах зерна представлена, главным образом, пирротин, рутилом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом и магнетитом. Основной рудный минерал – пирротин – представлен преимущественно двумя морфологическими типами: крупнозернистым, изометрической формы, размеры до 1–2 мм и мелкозернистым (0,01–0,05 мм), подчеркивающим сланцеватость породы (Алексеева, Кременецкий, 2000). Это свидетельствует о том, что в скважине СГ-10 встречены промежуточный и моноклинные типы пирротина, что соответствует геологическому описанию метаалевролитов и углеродистого вещества в угле-

родисто-сланцевых сланцах (там же).

Переходы от пиррита к моноклинному пирротину, а последнего к гексагональному, хорошо выражены на графиках магнитной восприимчивости и магнитного поля (Иголкина и др., 1990).

Комплексный анализ данных магнитометрии и МЭП позволил установить границу пирит-пирротинового перехода в интервале глубин 480–1200 м, а по данным (Алексеева, Кременецкий, 2000) эта граница находится на глубинах от 0 до 1000 м.

Результаты определения полной J_z , индуцированной J_{iz} , естественной остаточной J_{iz} вертикальных составляющих намагниченности и фактора Q_z подтверждают сделанные выше выводы по искусственному намагничиванию зон сульфидной минерализации (Иголкина, 2007).

Существующий палеомагнитный метод изучения индуцированной и остаточной намагниченности зерна трудоемок и длителен, хотя и является основным при изучении эволюции магнитного поля Земли. Например, в результате размагничивания в переменном поле у образца можно снять вторичную вязкую намагниченность, чтобы изучить первичную жесткую остаточную намагниченность, чего нельзя сделать по измерениям в скважине. Но в любом случае эти виды определения намагниченности (по керну и по скважинной магнитометрии) должны дополнять друг друга. Исследование зерна уточняют результаты скважинной магнитометрии и, таким образом, расширяют возможности метода при изучении Мурунтауской сверхглубокой скважины (Igolkina, Svyazhina, 1995).

Поэтому был проведен сопоставительный анализ результатов скважинной магнитометрии с лабораторными исследованиями зерна скважины СГ-10, выполненными Свяжиной И.А. (Свяжина и др., 1996; Igolkina, Svyazhina, 1995). Этот анализ подтверждает значительную неоднородность распределения пирротина в породах, что оказывает влияние на форму диаграмм χ , Z_a , H .

Палеомагнитные наклонения большинства образцов изменяются в пределах

от минус 45 до +45°. Для бесапанской свиты в целом характерна отрицательная, обратная полярность остаточной намагниченности, так как векторы J_n направлены вверх, противоположно современному полю. Полярности магнитных зон совпадают, в том и другом случае породы обладают как прямой, так и обратной намагниченностью (таблица). Оба метода показывают обратную полярность остаточной намагниченности толщи бесапанской свиты, связанную с присутствием моноклинного пирротина, и положительную намагниченность пород из зон мощных тектонических нарушений этой свиты. Магнетизм последних обусловлен присутствием карбидов железа.

Для углеродисто-сланцевых сланцев разреза характерны большие значения фактора Q : естественная остаточная намагниченность в десятки раз (максимум 159) превышает индуцированную $J_i = kH$, т. е. намагниченность пород обусловлена остаточной намагниченностью.

Величины намагниченности, рассчитанные J_{nz} и измеренные J_n на керне, одного порядка. Но полного совпадения значений намагниченности нет, т. к. J_{nz} определялась по вертикальной составляющей магнитного поля, а по керну – полная естественная составляющая J_n . Отмечается дифференцированность J_{nz} по глубинам, кото-

рая объясняется неоднородностью распределения магнитных минералов.

Частая смена полярности и низкие величины магнитного поля и J_n пород тасказганской свиты объясняются присутствием и количественным соотношением в породах положительно намагниченных карбидов железа и прямо – и обратно намагниченных высокотемпературных пирротинов. Компонента J_n , обусловленная моноклинным пирротинном, имеет направление, обратное современному геомагнитному полю и сохраняет его в процессе размагничивания. Моноклинный пирротин является основным носителем намагниченности черносланцевой толщи бесапанской свиты (Свяжина и др., 1996; Алексеева, Кременецкий, 2000).

При лабораторных исследованиях керна установлено, что основной вклад в намагниченность вносит горизонтальная составляющая намагниченности и это объясняет $2-3^x$ – кратное превышение горизонтальной составляющей магнитного поля над вертикальной Z_a составляющей поля, измеренным в скважине. Предполагается, что основными носителями намагниченности углеродисто-сланцевых зон крупных разломов нижней части бесапанской свиты и тасказганской свиты являются карбиды железа и пирротины с высоки-

Таблица. Результаты изучения магнитных свойств пород Мурунтауской СГ-10

Глубина, м	№ образца	По керну (по Свяжиной И.А.)				По результатам скважинной магнитометрии (по Иголкиной Г.В.)				
		Полярность	χ , 10^{-5} ед. СИ	J_n , сА/м	Фактор Кенигсбер- гера, Q	Полярность	χ , 10^{-5} ед. СИ	Z_a , нТл	J_{nz} , сА/м	Фактор Кенигсбер- гера, Q_z
1172,7	11201	R	150	143	1,9	R	462	175	270	-2
1203,8	11511	R	656	11153	35,1	R	1075	1000	11900	-25
1226,8	11757	R	328	2391	14,6	R	338	100	2000	8
2132	20836	R	335	5011	29	R	120	350	3420	-19
2411,6	23778	N	53	1920	72,5	N	372	-1000	794	47
3571,6	36067	N	21,7	558	21,7	N	280	-900	205	1,8
3577,6	36113	N	1004	7214	14,4	R	1330	-1600	7320	-6
3582,5	36192	N	5,2	15,3	5,84	R	1120	-100	13,7	-0,3
3597,3	36351	N	52,5	817	31,1	N	420	-600	367	0,5

ми температурами Кюри (Свяжина и др., 1996).

Подтверждается также и присутствие ферромагнитного моноклинного пирротина в породах бесапанской свиты (глубина до 3500 м), где отмечается наличие нескольких магнитных фаз, связанных с тектоникой свиты и проявляющихся наложенными процессами.

Изучение зерна установило присутствие магнитных карбидов железа, находящихся в ассоциации с пирротинном, но отличающихся от последнего магнитными свойствами, значения которых ниже на порядок. Карбиды железа в породах вскрытого разреза характеризуются стабильной остаточной намагниченностью, сохраняющей направление в ходе терморазмагничивания. Векторы остаточной намагниченности когенита и халипита направлены вниз, т. е. имеют прямую полярность. Поэтому намагниченность пород бесапанской свиты обусловлена не только моноклинным пирротинном, но и когенитом (цементинитом), карбидом Хэгга и промежуточным магнитным пирротинном (Свяжина и др., 1996).

Выявленные закономерности в направлениях векторов намагниченности пород обеих свит объясняются тем, что J_n углеродисто-слюдистых сланцев является суммой нескольких намагниченностей, каждая из которых связана с определенным магнитным минералом и имеет свое направление (Свяжина и др., 1996; Igolkina, Svyazhina, 1995).

Заключение

Результаты скважинной магнитометрии по распределению пирротина в разрезе скважины, наличие нескольких его типов, а также значительное увеличение с глубиной промежуточного пирротина, дополняют данные петрофизических, палеомагнитных и петромагнитных исследований зерна Мурунтауской сверхглубокой скважины СГ-10.

Исследование влияния искусственного изотермического подмагничивания в зонах сульфидной минерализации Мурунтауской сверхглубокой скважины позволило уточнить глубину пирит-пирротинового перехода и дать оценку распределения типов

пирротина по скважине СГ-10.

Работа частично выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований по Отделению наук о Земле Уральского отделения РАН.

Литература

Алексеева А.К., Кременецкий А.А. Природа петрофизических неоднородностей в разрезах золоторудных черносланцевых толщ // 300 лет горно-геологической службе России: Междунар. геофиз. конф. Тез. докл. СПб., 2000. С. 212–213.

Астраханцев Ю.Г. Аппаратурно-методический комплекс для магнитометрических исследований сверхглубоких и разведочных скважин: Дис. ... докт. тех. наук Ин-т геофиз. УрО РАН. Екатеринбург, 2003. 71 с.

Астраханцев Ю. Г., Белоглазова Н.А. Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследований сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 120 с.

Иголкина Г.В. Искусственное намагничивание зон сульфидной минерализации в Мурунтауской сверхглубокой скважине // Геофизические методы изучения земной коры: Сборник. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. С. 157–162.

Иголкина Г.В. Скважинная магнитометрия при исследовании сверхглубоких и глубоких скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 215 с.

Иголкина Г.В. Изучение намагниченности горных пород в естественном залегании по данным измерений в сверхглубоких и глубоких скважинах // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2007. Т. 10. № 2. С. 244–250.

Иголкина Г.В., Астраханцев Ю.Г., Бахвалов А.Н., Бадьин Г.В. Опытнo-методические работы по повышению эффективности применения аппаратуры и методики магнитного каротажа в Мурунтауской скважине. Свердловск, 1990. 108 с. (Тр. Ин-та геофизики УрО АН СССР).

Кальварская В.П., Филиппычева Л.Г., Металлова В.В., Петров И.Н. Способ каротажа с намагничиванием пород в скважине // Вопросы геофизики. 1978. Вып. 27. С. 77–85.

Кременецкий А.А., Липидзе А.В., Скрябин В.Ю. Геолого-геохимические методы прогноза полезных ископаемых. М.: Наука, 1990. 223 с.

Заири Н.М., Курбанов Н.К. Изотопно-геохимическая модель рудогенеза на рудном поле Мурунтау // Советская геология. 1991. № 8. С. 64–69.

Петрова Г.Н. Лабораторные методы при палеомагнитных исследованиях // Геомагнитные исследования: Сборник. М.: Наука, 1997. № 19. С. 37–44.

Свяжина И.А., Контева Р.А., Лагутин М.В., Глухих И.И. Диагностика магнитных карбидов железа в углеродистослюдистых сланцах из Мурунтауской СГС // ДАН. 1996. Т. 347. № 6. С. 792–794.

Шаякубов Т.Ш., Цой Р.В., Голованов И.М., Донской В.М., Яковлев В.Г. Мурунтауская сверхглубокая скважина // Советская геология. 1991. № 10. С. 10–22.

Igolkina G.V. Magnetometry of the Muruntau super deep borehole(Uzbekistan) // Proceeding of the VIIth International Symposium on the Observation of the Continental crust Through Drilling. Santa Fe; New Mexico, USA. 1994. P. 165–167.

Igolkina G.V. The role of artificial Magnetization of evaluation of sulfide mineralization // Book of abstracts XXI General Assembly of IUGG, Scientific Program GA 5.19 «Magnetic Petrology and Magnetic Signature of Ore Deposits and Ore Environmets». Boulder; Colorad, USA. 1995. GAB51K-13. P. 13.

Igolkina G.A., Svyazhina I.A. Correlation of borehole magnetometry results with paleomagnetic investigation on cores at Muruntau SD-10 // 1995, Ibid. P. 12.