

**ПИРРОТИНЫ ИЗ МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ПОРОД
СВЕРХГЛУБОКИХ СКВАЖИН**

А.А. Гараева, Т.А. Шерендо

Один из наиболее распространенных магнитных минералов – пирротин $Fe_{1-x}S$ имеет сложную атомную структуру, которая обуславливает особенности его структурных модификаций, отражающихся на электрических и маг-

нитных свойствах этого минерала. Детальные исследования пирротинов из пород, вскрытых сверхглубокими скважинами Кольской СГ – 3, Уральской СГ – 4 и Мурунтауской СГ – 10, были выполнены с целью изучения влияния условий

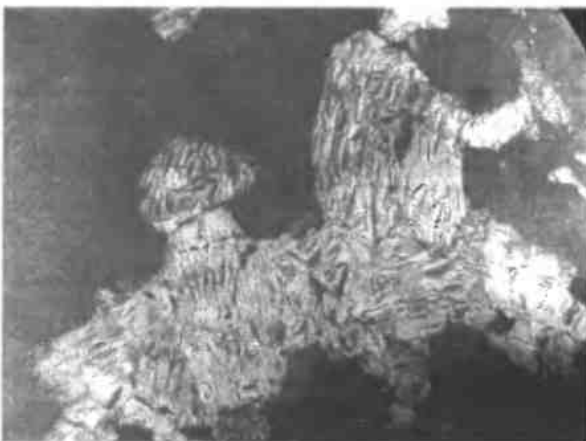
метаморфических преобразований вмещающих пород на структуру и магнитные свойства пирротина.

В данной работе использовались следующие методы исследований:

- рентгеноструктурный анализ (определение структурного типа пирротина);
- термомагнитный анализ (определение магнитных фаз по температурам Кюри);
- наблюдения доменной структуры (выявление структуры доменных границ, получаемой при нанесении магнитного коллоида на поверхность аншлифа).

Результаты изучения особенностей микроструктуры пирротиновых зерен свидетельствуют о влиянии термических и тектонических процессов на кристаллическую и магнитную структуру этого минерала.

Породы Уральской скважины СГ – 4 слабо метаморфизованы и в интервале глубин от поверхности до 5 км отвечают условиям пренит-пумпеллиитовой фации. С глубиной степень метаморфизма несколько увеличивается: температуры вторичных преобразований изменяются от 150 °С для верхних горизонтов до 330 °С для нижних [Викентьев и др., 1999]. Пирротин в виде мелких реликтовых образований ранней генерации спорадически отмечается с самых верхних горизонтов, но в заметных количествах (поздние генерации) появляется с глубины 3300 м. Ниже этой глубины количество пирротиновых зерен заметно увеличивается при соответствующем уменьшении доли пирита, что хорошо согласуется с отмеченным выше нарастанием степени метаморфизма с глубиной. В нижней пачке в интервале глубин 4860 – 5070 м сульфиды представлены в виде рассеянной вкрапленности и линзовидно-послойных выделений вдоль общей слоистости породы.



Результаты исследований пирротина из пород скважины выявили следующий характер распределения его структурных и магнитных типов по разрезу СГ – 4.

В верхней части разреза распространена только антиферромагнитная модификация гексагонального пирротина, на зернах которого не происходит осаждения магнитного коллоида из-за отсутствия доменных структур. Во флишеидной толще методом термомагнитного анализа и наблюдениями доменной структуры выявлены 2 магнитных типа пирротина, соответствующие 2-м структурным модификациям: моноклинной и гексагональной [Шерендо и др., 2002]. На рис.1 представлено большое зерно поликристалла пирротина, состоящее из крупных блоков с типичными для моноклинного типа параллельными доменными границами. Вместе с тем, в отдельных блоках наблюдаются извилистые границы, характерные для ферромагнитного гексагонального пирротина. Блоки ориентированы по отношению друг к другу без всякой закономерности, хаотично. В некоторых зернах наблюдаются доменные границы, непрерывно продолжающиеся из одного блока в другой, что свидетельствует об отсутствии на границах субзерен (блоков) значительных напряжений и дефектов. Сосуществование моноклинного и гексагонального пирротина в породах флишеидной толщи подтверждается также результатами рентгеновской дифрактометрии.

Аналогичная ситуация наблюдается и для пирротинов из Кольской скважины СГ – 3, содержащихся в породах как низкотемпературной, так и высокотемпературной фаций метаморфизма (глубины 500-6000 м и около 11000 м, соответственно). Как установлено [Кольская сверхглубокая..., 1984], метаморфизм пород верхнего протерозойского комплекса (0-6842 м) увеличивается с глубиной от пренит-пумпеллиитовой до амфиболитовой фаций. Метаморфизм пород подстилающего архейского комплекса (6842-11650 м) носит полиметаморфический характер, в котором выявлены последовательно сменяющиеся эпидот-амфиболитовая, амфиболитовая и гранулитовая фации. Чем древнее

Рис. 1. Доменная структура пирротинов из Уральской скважины СГ – 4.

Глубина 5013,38 м, x130.

породы и глубже по разрезу, тем значительнее проявления высоких ступеней метаморфизма.

Особенности метаморфических преобразований пород разреза СГ – 3 находят свое отражение в фазовом составе и особенностях микроструктуры содержащихся в них пирротинов.

В верхней части разреза в слабо измененных диабазах основная часть пирротинов относится к антиферромагнитному гексагональному типу. В некоторых зернах этого минерала видны следы давления и развальцевания, за счет чего на границах блоков, испытывающих максимальные напряжения, возникают узкие участки с параллельными доменными границами (рис. 2а). Такая доменная структура характерна для моноклинной модификации пирротина. В амфиболитах верхних горизонтов архейского комплекса (гл. 7000 – 9000 м) рудные агрегаты и сростания (магнетит – ильменит – пирротин) субпараллельны сланцеватости и кристаллизовались в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. На пирротиновых зернах при нанесении на их поверхность магнитного коллоида выявляется блочное строение с чередованием блоков разного фазового состава и, соответственно, разной магнитной структуры. Блоки антиферромагнитного гексагонального пирротина, отвечающие составу Fe_9S_{10} , чередуются с блоками, содержащими ламелли моноклинного пирротина, и блоками моноклинного пирротина состава Fe_7S_8 с параллельными доменными границами (рис. 2б). В гранат-биотит-плаггиоклазовых гнейсах высокой степени метаморфизма на глубине более 11000 м преобладает гексагональный пирротин с “лабиринтообразными” и “петельчатыми” границами (рис. 2в). Такая доменная структура характерна для сверхструктурного состояния гексагонального пирротина, проявляющего магнитные свойства [Schwarz, 1968].

Вышеописанное влияние тектонических воздействий на изменение фазового состава и микроструктуры зерен пирротина (образец с гл. 556,4 м Кольской скважины СГ – 3) более подробно изучено нами для разреза Мурунтауской скважины СГ – 10 (Узбекистан). В разрезе СГ – 10 в интервале глубин 0 – 4300 м наблюдается постепенное возрастание степени динамотермального метаморфизма пород на фоне более ранних преобразований зеленосланцевой и эпидот-амфиболовой фаций. Основная часть пирротина в сланцах ассоциирует с порфирибластиками синдеформационного биотита, количе-

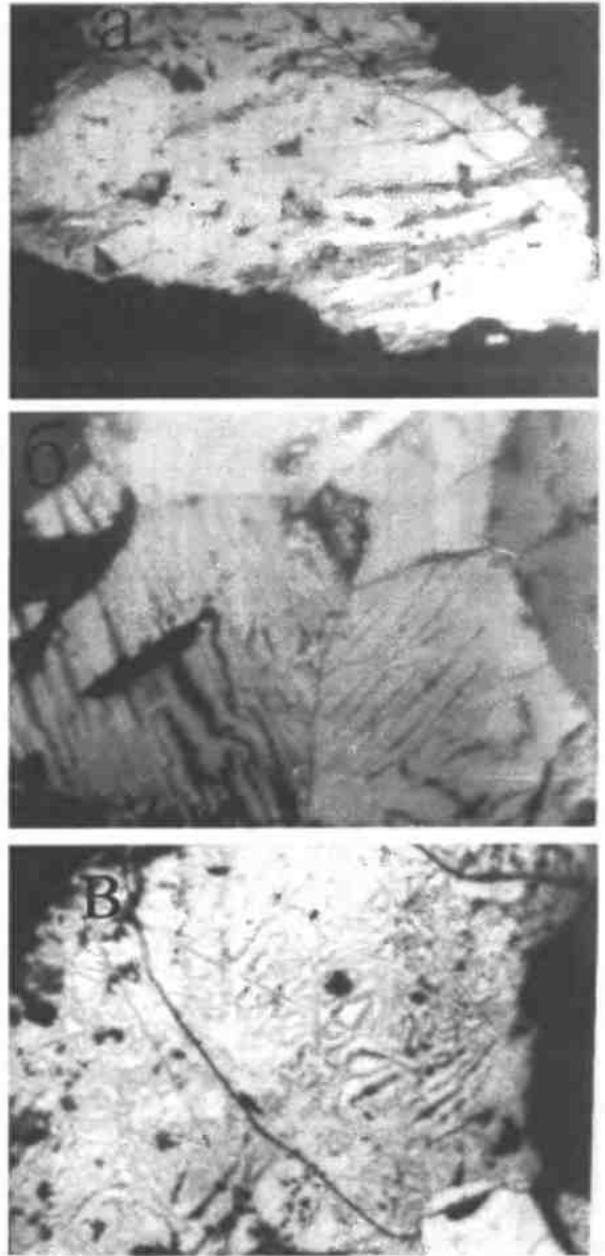


Рис. 2. Доменная структура пирротинов из Кольской скважины СГ-3.

Глубина образцов: а – 556,4 м, х350; б – 8711,5 м, х500; в – 11418,2 м, х500. Белое зерно – халькопирит.

ство которого сверху вниз по разрезу возрастает соответственно с усилением динамотермальных преобразований пород. Концентрация биотита и сульфидной минерализации идет в зонах интенсивного кливажирования, рассланцевания, в участках флексурных перегибов, осевых зон складок, в зонах повышенной трещиноватости.

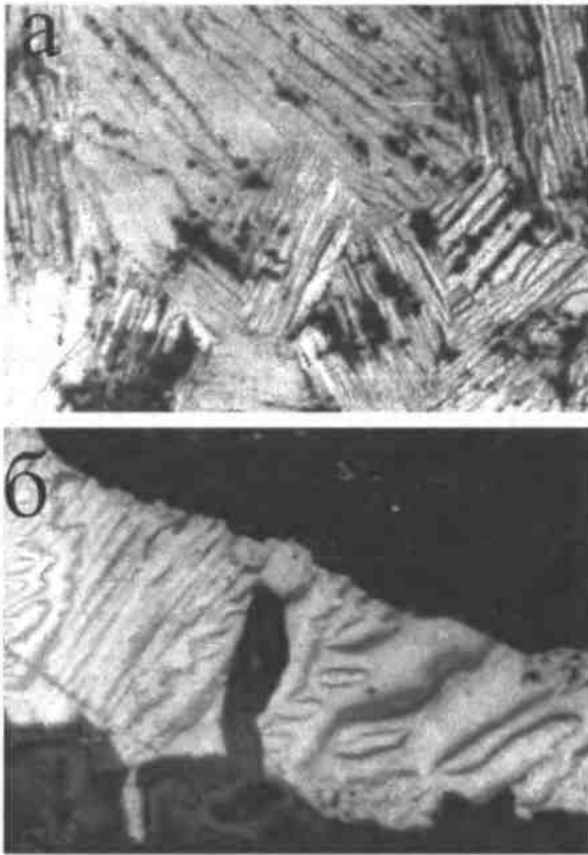


Рис. 3. Доменная структура пирротинов из Мурунтауской скважины СГ – 10.

Глубина образцов: а – 1227,14 м, $\times 350$; б – 3032,4 м, $\times 200$.

пература минералообразования в этом интервале глубин по пирит – пирротиновому и пирротин – сфалеритовому геотермометрам соответствует 400 – 470 °С [Гараева и др. 1995].

Установленное чередование фазовых и структурных модификаций пирротина по разрезу СГ – 10 согласуется с чередованием изотопно-геохимических ассоциаций, выявленных для минералов золотосульфидной стадии минерализации Мурунтауского рудного поля [Заири и др., 1991]. Выявленное нами в породах потенциально продуктивных участков разреза преобладание ферримагнитного гексагонального пирротина с упорядоченной структурой вакансий состава Fe_9S_{10} позволяет использовать эту магнитную модификацию пирротина, соответствующую продуктивным зонам оруденения, в качестве одного из поисковых признаков на золото на данном месторождении [Шерендо и др. 1994].

Таким образом, проведенные исследования пирротиновой минерализации в породах разрезов сверхглубоких скважин Кольской СГ – 3, Уральской СГ – 4 и Мурунтауской СГ – 10 показали, что процессы метаморфических преобразований пород оказывают большое влияние на структуру и свойства содержащихся в них пирротинов. Воздействия температуры и тектонических напряжений (тектонические подвижки, стрессовые нагрузки) вызывают перестройку атомной структуры пирротина с изменением его структурного типа и, вследствие этого, магнитного состояния, а также ведут к изменению микроструктуры его зерен и распределения их в породе. С увеличением степени метаморфизма увеличивается доля магнитных типов пирротинов: моноклинного и гексагонального с упорядоченной структурой вакансий. Частичное замещение немагнитного гексагонального пирротина магнитным моноклинным типом, наблюдаемое по границам зерен и по трещинам, обусловлено, скорее всего, проработкой гидротермальными растворами и выносом ими при этом части железа [Генкин и др. 1965].

В верхней части разреза скважины преобладает моноклинный пирротин, который имеет классическую доменную структуру с ровными параллельными доменными границами. Строение зерен блоковое, чаще всего с различающимися направлениями доменных границ (рис. 3а). Этот тип пирротина также хорошо регистрируется на термомагнитных кривых как фаза с температурой Кюри около 335°С. По нашим определениям температура кристаллизации минерала менее 300 °С [Гараева и др. 1995]. На глубинах более 1670 м происходит укрупнение порфиробласт биотита, развитие кливажа и милонитизации. Результаты рентгеноструктурного и микронзондового анализов указывают на преобладание в этой части разреза СГ – 10 гексагонального пирротина, а картины доменной структуры на зернах минерала показывают присутствие ферримагнитной модификации с преобладанием извилистых и лабиринтообразных границ (рис. 3б). По результатам термомагнитного анализа также в пирротинах этой части разреза выявлен нестабильный ферримагнитный пирротин, проявляющийся на термомагнитных кривых в области температур 240 – 280 °С, наряду с моноклинной фазой пирротина. Тем-

Отражение в особенностях структуры и свойствах пирротинов метаморфических преобразований вмещающих пород позволяет решать практические геологические задачи.

Список литературы

Викентьев И.В., Русинов В.Л., Лапутина И.П. и др. Метаморфизм в разрезе Уральской сверхглубокой скважины: минеральные парагенезисы и эволюция флюидного режима / Ярославль: "Недра", 1999. С. 185-236.

Гараева А.А. Нечкин Г.С. Шерендо Т.А. Влияние условий метаморфизма на структурно-магнитные особенности пирротинов по разрезу Мурунтауской сверхглубокой скважины // Ежегодник-1994 ИГиГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. С. 117-119

Генкин А.Д., Логинов В.П., Органова Н.И. О взаимоотношениях и особенностях размещения гексагональных и моноклинных пирротинов в ру-

дах // Геология рудных месторождений. 1965. Т. 7. № 3. С. 3-24.

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

Кольская сверхглубокая / Под ред. Е.А. Козловского. М.: "Недра", 1984. С. 490.

Шерендо Т.А., Гараева А.А. Отчет о научно-исследовательской работе "Петромагнитные исследования пирротиновой минерализации в породах разреза сверхглубокой скважины СГ - 10 (Мурунтауское золоторудное поле)". Екатеринбург. 1994. С. 120.

Шерендо Т.А., Гараева А.А., Докучаев А.Я. Магнитная минерализация из флишоидной толщи разреза СГ - 4 (интервал глубин 3487-5070 м) // Ежегодник 2001. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. С. 91-94.

Schwarz E.J. The magnetic bases in the natural pyrrhotite $Fe_{0.91}S$ and $Fe_{0.89}S$ // J.Geomagn. Geoelectr. 1968. V. 20. P. 557-567.