

В. С. ГРУЗДЕВ, И. А. БРЫЗГАЛОВ, Н. М. ЧЕРНИЦОВА, Н. Г. ШУМКОВА

## ГРЕЙГИТ ИЗ ЯКУТИИ И ЕГО ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

(Представлено академиком В. И. Смирновым 21 XII 1970)

Магнитный сульфид железа, отличный от пирротина, был обнаружен, охарактеризован и назван Б. Доссом <sup>(1)</sup> мельниковитом в дорентгеновский период. В последующее время, вплоть до шестидесятых годов, под названием мельниковит описывались самые различные образования, не имеющие к нему отношения. Все это наряду с отсутствием рентгеновской характеристики, точного химического состава и структурной формулы поставило под сомнение существование мельниковита в качестве определенного минерального вида. Лишь сравнительно недавно <sup>(2, 3)</sup> были получены рентгеновские данные для кубического сульфида железа, идентичного мельниковиту Б. Досса. Оказалось, что по кристаллической структуре он является сульфидным аналогом магнетита. В 1964 г. появилось сообщение <sup>(4)</sup>, в котором магнитный сульфид железа со структурой обращенной шпинели был ошибочно отнесен к новому минеральному виду, названному грейгитом. Международная минералогическая ассоциация рассмотрела вопрос о приоритете открытия и наименования кубического сульфида железа и сочла целесообразным взамен дискредитированного названия мельниковит именовать его грейгитом <sup>(5)</sup>.

До последних лет была известна лишь одна находка грейгита в гидротермальных месторождениях <sup>(6)</sup>, тогда как остальные относились к осадочным породам <sup>(1-4)</sup>. Нами грейгит обнаружен в рудах мышьяково-сурьмяно-ртутного месторождения Гал-Хая (северо-восточная Якутия) в ассоциации с сульфидами мышьяка и сурьмы. Примечательно, что грейгит из Югославии и Америки также ассоциирует с антимонитом, реальгаром и аурипигментом.

Месторождение Гал-Хая локализовано в палеозойских карбонатных породах и расположено в северной части Лево-Сакинджинского рудного узла, на западной окраине Колымского срединного массива. Месторождение представляет собой крутопадающую минерализованную зону дробления коралловых известняков ландоверийского яруса нижнего силура, прослеженную разведочными работами на несколько сот метров. В геохимическом отношении руды характеризуются наличием примеси таллия, серебра и золота, а также отсутствием селена и теллура. Оруденение имеет послемеловой возраст, поскольку установленные в рудоносной зоне дайки диабазов ( $\text{Si}_2 - \text{Pg}$ ) являются дорудными образованиями. Минеральный состав руд месторождения довольно разнообразен. К настоящему времени здесь установлено более 50 минеральных видов, причем некоторые из них обнаружены на сурьмяно-ртутных месторождениях впервые, и в их числе два новых сложных сульфида ртути <sup>(7)</sup>.

Грейгит встречается преимущественно на флангах месторождения среди минералов жильной ассоциации, включающей кальцит, кварц, аурипигмент, вакабаяшилит <sup>(11)</sup>, реальгер, антимонит, киноварь и пирит. В тех жилах, где аурипигмент и реальгар отсутствуют, грейгит и игольчатый антимонит выполняют небольшие полости в кальците.

Выделения грейгита обладают мелкозернистым строением, неправильной формой и ксеноморфны по отношению к ассоциирующим с ним мине-

Межплоскостные расстояния грейгита

| №№<br>п. п. | hkl      | Грейгит из Якутии *<br>$a_0 = 9,874 \text{ \AA}$ |                             | Грейгит с хутора Мельникова (°) $a_0 = 9,877 \text{ \AA}$ |                             | Грейгит из Америки (°)<br>$a_0 = 9,876 \text{ \AA}$ |                             |
|-------------|----------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
|             |          | <i>I</i>                                         | $d_{\alpha}/n, \text{ \AA}$ | <i>I</i>                                                  | $d_{\alpha}/n, \text{ \AA}$ | <i>I</i>                                            | $d_{\alpha}/n, \text{ \AA}$ |
| 1           | 111      | 2                                                | 5,70                        | 4                                                         | 5,69                        | 8,0                                                 | 5,720                       |
| 2 **        |          | 1                                                | 4,12                        |                                                           |                             |                                                     |                             |
| 3           | 220      | 4                                                | 3,49                        | 7                                                         | 3,48                        | 31,5                                                | 3,498                       |
| 4           | 310      | <1                                               | 3,14                        | 1                                                         | 3,13                        |                                                     |                             |
| 5           | 311      | 10                                               | 2,98                        | 10                                                        | 2,97                        | 100                                                 | 2,980                       |
| 6           | 222      | <1                                               | 2,85                        | 2                                                         | 2,84                        | 3,9                                                 | 2,855                       |
| 7 **        |          | <1                                               | 2,554                       |                                                           |                             |                                                     |                             |
| 8           | 400      | 6                                                | 2,469                       | 8                                                         | 2,47                        | 54,8                                                | 2,470                       |
| 9           | 331      |                                                  |                             |                                                           |                             | 1,2                                                 | 2,260                       |
| 10          | 422      | 2                                                | 2,015                       | 4                                                         | 2,01                        | 9,2                                                 | 2,017                       |
| 11          | 511; 333 | 3                                                | 1,902                       | 7                                                         | 1,900                       | 28,6                                                | 1,901                       |
| 12          | 440      | 7                                                | 1,744                       | 9                                                         | 1,743                       | 76,8                                                | 1,746                       |
| 13          | 531      |                                                  |                             |                                                           |                             | 0,9                                                 | 1,671                       |
| 14          | 620      | <1                                               | 1,567                       | 1                                                         | 1,570                       | 4,2                                                 | 1,5625                      |
| 15          | 533      | 1                                                | 1,505                       | 2                                                         | 1,507                       | 9,8                                                 | 1,5058                      |
| 16          | 622      |                                                  |                             |                                                           |                             | 1,5                                                 | 1,4883                      |
| 17          | 444      | 2                                                | 1,425                       | 2                                                         | 1,428                       | 8,6                                                 | 1,4253                      |
| 18          | 711; 551 |                                                  |                             |                                                           |                             | 0,7                                                 | 1,3826                      |
| 19          | 642      | <1                                               | 1,322                       | 1                                                         | 1,318                       | 3,6                                                 | 1,3204                      |
| 20          | 553; 731 | 1                                                | 1,289                       | 3                                                         | 1,287                       | 12,8                                                | 1,2859                      |
| 21          | 800      | 1                                                | 1,237                       | 3                                                         | 1,235                       | 9,2                                                 | 1,2349                      |
| 22          | 733      |                                                  |                             |                                                           |                             | 0,3                                                 | 1,2097                      |
| 23          | 644      |                                                  |                             |                                                           |                             | 0,2                                                 | 1,1975                      |
| 24          | 600; 822 |                                                  |                             | 1                                                         | 1,163                       | 0,3                                                 | 1,1640                      |
| 25          | 751; 555 | 1                                                | 1,141                       | 4                                                         | 1,140                       | 1,8                                                 | 1,4010                      |
| 26          | 840      | 2                                                | 1,103                       | 4                                                         | 1,105                       | 16,4                                                | 1,1051                      |
| 27          | 753; 911 |                                                  |                             |                                                           |                             | 0,6                                                 | 1,0844                      |
| 28          | 842      |                                                  |                             |                                                           |                             | 2,1                                                 | 1,0544                      |
| 29          | 931      | <1                                               | 1,037                       | 3                                                         | 1,035                       | 7,1                                                 | 1,0351                      |
| 30          | 844      | 3                                                | 1,009                       | 4                                                         | 1,008                       | 30,9                                                | 1,0080                      |

\* Камера РКУ,  $D = 114,6 \text{ мм}$ ,  $\text{FeK}_{\alpha}$ , без фильтра, 10 кв, 10 час., стандарт NaCl.

\*\* Избыточные линии не индексируются.

ралам. Размер их в отдельных случаях достигает в поперечнике 1 см. По цвету грейгит напоминает мелкозернистый пирротин с той лишь разницей, что он заметно темнее последнего и у него слабее выражен бронзовый оттенок. На воздухе обычно покрывается буровой и синеватой патиной. Минерал обладает металлическим блеском и чертой черного цвета. В отраженном свете грейгит имеет светло-серый цвет с желтовато-коричнево-розоватым оттенком. По сравнению с пирротинном кажется темнее за счет более густого розоватого оттенка. Твердость по шкале Мооса достигает 4, 5. Микротвердость вдавливания, по 23 замерам на ПМТ-3 с нагрузкой 100 г, колеблется от 314 до 342, составляя в среднем  $330 \text{ кг/мм}^2$ . Грейгит хорошо проводит электрический ток и является ферромагнетиком. Удельный вес минерала равен  $3,98 \text{ г/см}^3$ .

Химический анализ выполнен Н. Г. Шумковой из навески 150 мг и дал результаты, близкие теоретическому составу грейгита:

| Элемент            | Fe    | S     | Cu   | As Sb Zn    | Н. о. | Сумма  |
|--------------------|-------|-------|------|-------------|-------|--------|
| Содержание, вес. % | 56,88 | 43,22 | 0,03 | Не обнаруж. | 0,11  | 100,24 |

Рассчитанная на основании химического анализа формула  $\text{Fe}_{3,02}\text{S}_{4,00}$  свидетельствует о стехиометричности соединения  $\text{FeS}$   $\text{Fe}_3\text{S}_4$ . По данным полуколичественного спектрального анализа, навеска для химического анализа кроме железа содержала примеси следующих элементов: в сотых и десятых долях процента As, Sb, Na, Si, Al, Ca, Cu; в тысячных и десятитысячных долях процента Mg, Mn, Ti, Zr и Sr.

Дисперсия оптических констант грейгита

| $\text{NbNb}$<br>п. п. | $\lambda$ , м $\mu$ | $n$  | $\kappa$ | $R$ , % | $\text{NbNb}$<br>п. п. | $\lambda$ , м $\mu$ | $n$  | $\kappa$ | $R$ , % |
|------------------------|---------------------|------|----------|---------|------------------------|---------------------|------|----------|---------|
| 1                      | 1010                | 3,30 | 0,76     | 46,7    | 10                     | 670                 | 2,45 | 0,82     | 38,4    |
| 2                      | 970                 | 3,20 | 0,79     | 46,7    | 11                     | 640                 | 2,42 | 0,81     | 37,8    |
| 3                      | 930                 | 3,06 | 0,79     | 45,2    | 12                     | 608                 | 2,39 | 0,81     | 37,2    |
| 4                      | 890                 | 2,97 | 0,76     | 43,0    | 13                     | 579                 | 2,36 | 0,81     | 36,8    |
| 5                      | 850                 | 2,82 | 0,79     | 42,3    | 14                     | 546                 | 2,31 | 0,81     | 36,3    |
| 6                      | 810                 | 2,70 | 0,82     | 42,0    | 15                     | 527                 | 2,28 | 0,80     | 35,2    |
| 7                      | 770                 | 2,60 | 0,84     | 41,5    | 16                     | 496                 | 2,22 | 0,79     | 34,1    |
| 8                      | 730                 | 2,51 | 0,85     | 39,0    | 17                     | 472                 | 2,19 | 0,80     | 33,8    |
| 9                      | 691                 | 2,46 | 0,82     | 38,5    | 18                     | 450                 | 2,12 | 0,80     | 32,7    |

Рентгенометрические данные получены Н. М. Черницовой и приводятся в табл. 1 в сравнении с данными для грейгита с хутора Мельникова <sup>(3)</sup> и из Америки <sup>(4)</sup>.

Оптические свойства грейгита до настоящего времени практически не исследовались, хотя их изучение интересно не только в целях диагностики, но также и потому, что по химическому составу он находится как бы на продолжении ряда пирротинов, для которого установлена определенная зависимость оптических свойств от состава <sup>(8, 9)</sup>.

Исходные оптические характеристики минералов — главный угол ( $\varphi$ ) и главный азимут ( $2\bar{\varphi}$ ) — измерялись на установке специальной конструкции. По значениям углов  $\varphi$  и  $2\bar{\varphi}$ , измеренным в интервале спектра от 450 до 1010 м $\mu$ , были определены показатели преломления ( $n$ ) и поглощения ( $\kappa$ ), а затем по формуле Бера рассчитана отражательная способность ( $R$ ) минералов.

Дисперсия оптических констант грейгита приведена в табл. 2 и показана графически (рис. 1) в сопоставлении с аналогичными дисперсионными кривыми троилита ( $\text{FeS}$ ), гексагонального ( $\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$ ) и моноклинного ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ) пирротинов и пирита ( $\text{FeS}_2$ ). В целях большей наглядности для анизотропных фаз сульфидов железа на графиках не показаны кривые дисперсии оптических констант, измеренных в направлении, перпендикулярном оси  $c$  кристаллов. Они достаточно схожи со спектральными кривыми, характеризующими минералы по оси  $c$ , и лишь смещены на 150—200 м $\mu$  в длинноволновую часть спектра.

На графиках отчетливо видно, что в исследованном спектральном интервале грейгит оказался близок к пирротинам по величине и характеру дисперсии оптических постоянных. Так же как и пирротины, грейгит обладает аномальной дисперсией показателя преломления и отражательной способности, а по особенностям спектральной кривой показателя поглощения сходен с моноклинным пирротинном. То же, по данным <sup>(10)</sup>, наблюдается и в более длинноволновой и-к. части спектра (от 2,5 до 40  $\mu$ ), где на кривой поглощения грейгита, как и у пирротина, отсутствуют характерные максимумы.

По характеру дисперсии показателя поглощения ряд сульфидов железа можно разделить на две группы. С одной стороны, это крайние члены ряда — троилит и пирит, у которых в исследованном спектральном интервале есть по одному максимуму светопоглощения, с другой — пирротины и грейгит, характеризующиеся серией дополнительных максимумов и минимумов на спектральных кривых показателя поглощения (рис. 1б). На основании некоторых особенностей спектральных кривых оптических констант троилита, гексагонального и моноклинного пирротинов был сделан вывод о том, что в видимой и ближайшей и-к. части спектра у этих минералов расположена основная полоса поглощения, связанная с межзонными переходами электронов <sup>(8, 9)</sup>. Тогда же было высказано предположение, что выявление дополнительных максимумов и минимумов на кривых дис-

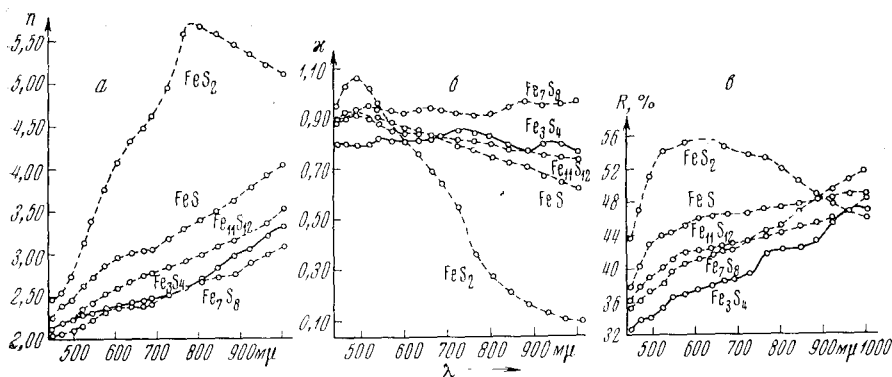


Рис. 1. Дисперсия показателей преломления (а), поглощения (б) и отражательной способности (в) сульфидов железа

персии показателя поглощения у гексагонального и моноклинного пирротинов в конечном счете обусловлено либо дефектностью их кристаллической решетки, либо вхождением в нее ионов двух- и трехвалентного железа. Сходство спектральных кривых оптических характеристик пирротинов и грейгита, а также достаточно высокие значения коэффициента поглощения последнего ( $K = 3,67 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ ) позволяют заключить, что и в случае кубического сульфида железа в изученном интервале спектра мы имеем дело с собственным поглощением вещества.

Грейгит существенно отличается от остальных сульфидов железа более низкими значениями отражательной способности практически на всем исследованном интервале спектра. В то же время, кривая дисперсии отражательной способности грейгита (рис. 1в) в целом подобна аналогичным кривым пирротинов, но осложнена перегибами, которые отражают наличие у грейгита дополнительных максимумов поглощения.

Несмотря на то, что грейгит по составу находится на продолжении ряда пирротинов и близок к ним по оптическим характеристикам, зависимость состав — свойства, установленная для троилита и пирротинов, нарушается при переходе к кубическому сульфиду железа, что, вероятнее всего, обусловлено различием кристаллических структур этих соединений.

Авторы признательны А. Д. Ракчееву за обсуждение работы и просмотр рукописи.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии  
редких элементов  
Москва

Поступило  
18 XII 1970

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Досс, Ежегодник по геологии и минералогии, **13**, в. 5—6, 129 (1911).
- <sup>2</sup> А. П. Полушкина, Г. А. Сидоренко, Зап. Всесоюз. мин. общ., **92**, в. 5, 547 (1963).
- <sup>3</sup> А. П. Полушкина, Г. А. Сидоренко, Зап. Всесоюз. мин. общ., **97**, в. 3, 321 (1968).
- <sup>4</sup> B. J. Skinner, R. C. Erd, F. S. Grimaldi, Am. Mineral., **49**, № 5—6, 543 (1964).
- <sup>5</sup> M. Fleischer, Am. Mineral., **55**, № 1—2, 328 (1969).
- <sup>6</sup> D. Radusinovic, Am. Mineral., **51**, № 1—2, 209 (1966).
- <sup>7</sup> В. С. Груздев, Р. Н. Юдин, V научная отчетная конфер. геол. фак. МГУ, 16—19 марта 1970 г., Тез. докл., М., 1970, стр. 170.
- <sup>8</sup> И. А. Брызгалов, А. Д. Ракчеев, Л. В. Чернышев, ДАН, **180**, № 4, 952 (1968).
- <sup>9</sup> И. А. Брызгалов, А. Д. Ракчеев, Вестн. Московск. ун-в., сер. геол., № 6, 82 (1970).
- <sup>10</sup> U. Masayuki, Am. Mineral., **50**, № 9, 1487 (1965).
- <sup>11</sup> Introduction to Japanese Minerals, 1970, p. 56.