

Е. Г. РЯБЕВА, Н. В. ДОБРОВОЛЬСКАЯ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ СОДЕРЖАНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В СФАЛЕРИТЕ ПО МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ

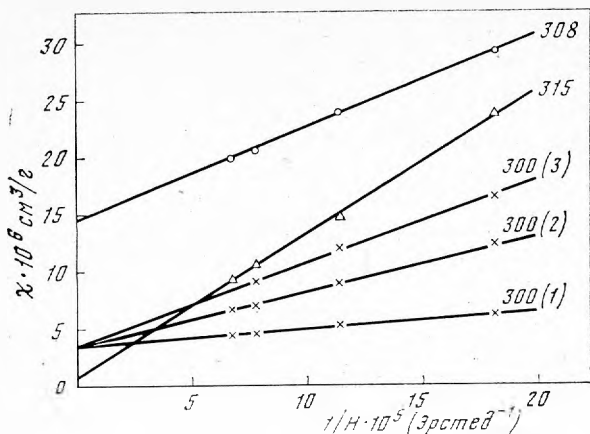
Зависимость измеренных значений магнитной восприимчивости сфалеритов от содержания в них железа впервые установлена Г. И. Кругляковой и А. А. Ясинской [1] на примерах ряда химически охарактеризованных образцов [8]. Это исследование проводилось при одной напряженности магнитного поля, в связи с чем авторы не смогли учесть влияние возможных примесей пирротина.

На магнитную восприимчивость влияют находящиеся в минерале элементы-магнитофоры, к которым в случае сфалерита относится не только железо, но и марганец, поэтому более правильно сопоставлять измеренные значения с суммарным содержанием железа и марганца.

Измерение удельной магнитной восприимчивости сфалеритов проводилось методом Фарадея на навесках от 10 до 100 мг при комнатной температуре в полях различной напряженности от 5,5 до 15 килоэрстед. Чувствительность метода  $10^{-3}$  CGSE, точность относительных измерений величины магнитной восприимчивости составляет 1%.

Магнитные свойства сфалерита изучались на коллекции из 40 образцов из месторождений различных генетических типов. Измеренные значения колебались от  $1,58 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г до  $464 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г при содержании железа и марганца от 0,3 до 14,51 вес.%. Для большей части образцов  $\chi$  находится в интервале от  $4 \cdot 10^{-6}$  до  $12 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г, лишь один образец оказался диамагнитным ( $\chi = -0,288$  см<sup>3</sup>/г). Для большей части образцов  $\chi$  не зависит от напряженности магнитного поля, ее величина заметно возрастает с увеличением суммы содержаний железа и марганца. Выявлено, что включения минералов сильно влияют на магнитную восприимчивость. В сфалерите в качестве микровключений чаще всего присутствуют три минерала — пирротин, пирит и халькопирит, реже наблюдается станнин, более характерный для сфалеритов оловорудных месторождений.

Присутствие включений минералов, например пирротина, вызывает зависимость измеренных значений от напряженности магнитного поля, в этом случае для получения истинного значения магнитной восприимчивости вводится поправка [5]. При введении поправки исходили из того, что в области насыщения у сильномагнитных веществ с увеличением напряженности поля уменьшается магнитная восприимчивость (рисунок). Метод введения такой поправки состоит в многократном измерении  $\chi$  в сильных магнитных полях различной напряженности — от 5,5 до 15 кЭ. В бесконечно больших полях путем экстраполяции прямой  $\chi f(1/H)$  на ось  $\chi$  определялось истинное значение магнитной восприимчивости, обусловленное только его парамагнетизмом (диамагнетизмом), так как  $\chi$  парамагнетика (диамагнетика) является величиной постоянной и не зависит от напряженности поля, а ферромагнитная составляющая магнитной восприимчивости при данных условиях приблизится к нулю. В образцах 300 и 308 (см. рис.) большая часть железа входит в сфалерит изоморфно, истинное значение  $\chi$  соответственно равно  $3,5 \cdot 10^{-6}$  и  $16,0 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г, а завышенные эффективные значения — до  $16,4 \cdot 10^{-6}$  для обр. 300 и  $29,0 \cdot 10^{-6}$  для обр. 308 — обусловлены примесью магнитного минерала.



Графическое определение истинной магнитной восприимчивости сфалерита, содержащего микропримеси пирротина. Обр. 300, месторождение Тетюхе, обр. 308 — месторождение Савинское № 5, обр. 315 — месторождение Сардоб

В обр. 315 магнитная восприимчивость в основном определяется сильномагнитной примесью.

Приводимые на рисунке прямые 1, 2, 3 показывают зависимость  $\chi$  от  $1/H$  для трех навесок одного и того же обр. 300. Обнаруживается, что в каждой навеске содержится разное количество сильномагнитной примеси — чем ее больше, тем выше угол наклона прямой. Однако все три прямые при экстраполяции  $1/H \rightarrow 0$  сходятся в одной точке, давая истинное значение  $\chi$  минерала. Увеличение угла наклона обусловлено только сильномагнитной примесью, которой в третьей навеске значительно больше, чем в первой. В первой навеске содержание сильномагнитной примеси в расчете на ферримагнитный пирротин, у которого удельная намагниченность  $\sigma$  равна  $\approx 50$  гаусс/см<sup>3</sup>/г, в 1 г минерала составляет  $2 \cdot 10^{-5}$  г. Такое количество примеси невозможно обнаружить при приготовлении мономинеральных фракций.

Присутствие в сфалерите тонкодисперсных включений пирита и халькопирита несколько увеличит абсолютное значение  $\chi$ .

Для 17 образцов сфалеритов (таблица), изоморфное вхождение в которые элементов-примесей подтверждено комплексным исследованием, отсутствие пирита проверено по инфракрасным спектрам поглощения [6]. Возможное содержание железа за счет тончайшей эмульсии халькопирита вычислено по данным химического анализа [2]. Отсутствие пирротина проверено по независимости измеренных значений  $\chi$  от напряженности магнитного поля, а изоморфизм железа и марганца подтвержден рентгенометрически [4]. Рассчитаны коэффициенты корреляции  $r$  измеренных значений магнитной восприимчивости и содержания железа  $r_{\chi-Fe}$ , а также суммы содержаний железа и марганца  $r_{\chi-Fe+Mn}$ . Характеристика образцов приведена в таблице. Расчет коэффициентов корреляции выполнен по методике П. А. Рыжова и В. М. Гудкова [3].

Коэффициент корреляции магнитной восприимчивости и содержания железа составляет 0,9770, а коэффициент корреляции магнитной восприимчивости и суммы содержаний железа и марганца составляет 0,9777. Небольшая разница в величинах коэффициентов корреляции показывает, что влияние марганца незначительное, что можно объяснить малыми его содержаниями (менее 1%) по сравнению с железом, содержание которого достигает 15%. При повышенных содержаниях марганца его влияние должно сказываться сильнее, так как магнитный момент иона  $Mn^{2+}$  больше магнитного момента иона  $Fe^{2+}$  (соответственно 5,92 и 4,90 мкВ).

Коэффициент корреляции  $\chi$  и суммарного содержания  $Fe+Mn$ , вычисленный нами для изученных нами образцов, а также для образцов, изученных ранее А. А. Ясинской и ею совместно с Г. И. Кругляковой [1, 8] составляет  $r_{\chi-Fe+Mn} = 0,98 \pm 0,01$ . Связь между признаками надежна

### Магнитная восприимчивость сфалеритов

Месторождение	Содержание, вес. %		Магнитная восприимчивость, см <sup>3</sup> /г · 10 <sup>-6</sup>	Месторождение	Содержание, вес. %		Магнитная восприимчивость, см <sup>3</sup> /г · 10 <sup>-6</sup>
	Fe	Mg			Fe	Mg	
Хапчеранга	14,24	0,27	17,4	Смирновское	3,82	0,10	5,40
Савинское № 5	13,94	0,31	12,7	Крушев Дол	3,48	0,52	5,08
Тетюхе	13,01	0,15	12,2	Ново-Ивановское	3,18	0,17	11,9
Трепча	10,94	0,41	11,3	Нагольный Кряж	2,66	Сл.	2,92
Бориева река	10,66	0,39	11,9	Шамлуг	1,90	0,01	2,89
Акатуй	9,17	0,36	10,4	Ново-Широкинское	1,51	0,03	2,07
Страшимир	8,17	0,67	8,64	Канджол	1,25	Сл.	2,72
Актюс	6,80	0,19	9,80	Хапунваара	1,20	0,03	1,58
Южурска река	6,46	0,52	7,80				

(значима), так как экспериментальный критерий значимости  $t_3$  больше  $t_{f,0,05}$  теоретического критерия при 5%-ном уровне значимости [7]  $t_3 > = t_{f,0,05} = 2,84 > 2,03$  при числе степеней свободы  $f = n - 2 = 34$ .

Уравнение регрессии имеет вид

$$\chi_1 = 0,123 \cdot 10^{-6} + 1,015 \cdot 10^{-6} C_{\text{Fe+Mn}},$$

где  $C_{\text{Fe+Mn}}$  — сумма содержаний железа и марганца. Суммарное содержание железа и марганца определяется по уравнению

$$C_{\text{Fe+Mn}} = 0,128 + 0,941 \cdot 10^6 \chi.$$

Квадратическая ошибка, допускаемая при применении этого уравнения, составляет

$$\sigma_{C_{\text{Fe+Mn}}} = \sigma \sqrt{1 - r^2} = 4,94 \sqrt{1 - 0,98^2} = \pm 0,988\%.$$

Таким образом, по предложенному уравнению по измеренной величине магнитной восприимчивости можно определить сумму содержаний железа и марганца в сфалерите с точностью до 1% без химического анализа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Круглякова Г. И., Ясинская А. А. О зависимости магнитной восприимчивости цинковых обманок от замещения в них цинка железом.— Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1953, № 3.
2. Пудовкина И. А., Рябева Е. Г., Аксенова Е. К., Дубакина Л. С. К вопросу о зависимости некоторых физических свойств сфалеритов от особенностей их химического состава.— Минеральное сырье, 1968, № 18.
3. Рыжов П. А., Гудков В. М. Применение математической статистики при разведке недр. «Недра», 1966.
4. Рябева Е. Г., Дубакина Л. С. К вопросу о влиянии примесей железа, марганца и кадмия на параметр решетки сфалерита.— Минеральное сырье, 1968, № 18.
5. Смелянская Г. А., Добровольская Н. В. О зависимости магнитных свойств касситеритов от их состава и условий образования.— В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 20, 1971.
6. Солнцева Л. С., Рябева Е. Г. Инфракрасные спектры поглощения сфалеритов.— В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 21, 1972.
7. Шаронов И. П. Применение математической статистики в геологии. «Недра», 1971.
8. Ясинская А. А. О зависимости главных физических свойств цинковых обманок от их химического состава.— Минер. сб. Львовск. геол. о-ва, № 5, 1951.