

Н. В. ПАВЛОВ

О МАГГЕМИТЕ В МАГНЕТИТОВЫХ РУДАХ  
КЕЖЕМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Впервые на присутствие в природе двух модификаций окиси железа и на магнитные свойства некоторых гематитов указал В. И. Вернадский (1910).

Позднее Сосман и Позняк (Sosmann. а. Posnjak, 1925) получили вначале искусственным путем ферромагнитную кубическую окись железа, а вскоре в месторождении Айрон-Маунтен (Калифорния) ими была обнаружена природная кубическая  $Fe_2O_3$ .

Кубическая окись железа, получившая название маггемит (Wagner, 1927), и до настоящего времени известна в незначительном числе месторождений.

Из числа зарубежных месторождений можно отметить следующие: Айрон-Маунтен, округ Шапта — Калифорния, округ Аламеда — Калифорния, рудник Виндпасс — Британская Колумбия, бушвельдский норитовый комплекс — Южная Африка, гора Эльгон — Восточная Африка, Катценбуккел — Западная Германия, Дюранте — Оклахома, о. Эльба, о. Мадейра и некоторые другие.

В СССР маггемит указывался исследователями в месторождениях: г. Магнитная — Южный Урал (Заварицкий, 1929), Шапты — Средний Урал (Кротов, 1936), Кривой Рог (Бойко, Сафонова, 1938), Пышминско-Ключевское и Меднорудянское месторождения — Средний Урал (Вахрамеев, 1942), Караджал и Большой Ктай — Центральный Казахстан (Вейц, 1944) и Первый северный рудник — Северный Урал, Ивдельский район (Овчинников, 1953).

Внимательное знакомство с литературой по маггемиту убедило нас в том, что этот минерал еще недостаточно изучен, а приводимые о нем сведения часто неточны и разноречивы.

В перечисленных месторождениях СССР маггемит, как правило, определялся лишь минералогическим путем, иногда предположительно, без приведения необходимых диагностических данных, и только А. Н. Овчинниковым (1953) был подвергнут всестороннему и весьма тщательному изучению маггемит из месторождения Первый северный рудник (Ивдельский район, Северный Урал).

Наряду со сведениями по искусственному получению маггемита этим исследователем приводятся достаточно полные данные по диагностике природного маггемита, включая рентгеноструктурный анализ, кривые дисперсии отражения, магнитной восприимчивости и т. д.

А. Н. Овчинников справедливо отмечает, что «вполне вероятно более широкое распространение маггемита в природе, чем это установлено до настоящего времени, и только трудность диагностики препятствует его обнаружению» (Овчинников, 1953, стр. 11). Автор убедительно показывает, что маггемит образуется в зоне окисления при мартитизации магнетита, отражая стадию в процессе перехода магнетита в гематит. Здесь же высказывается мысль о возможности возникновения маггемита в гидротермальных условиях при обратной реакции — мушкетовитизации гематита, хотя приводимая им зарисовка взаимоотношения гематита, маггемита и магнетита надостаточно убедительна.

Маггемит был обнаружен нами в Кежемском железорудном месторождении Ангаро-Илимского района, относящемся к гидротермальному типу, где не наблюдается сколько-нибудь заметной зоны окисления, равно как и развития процесса мушкетовитизации; его скопления представлены в форме натечных образований и приурочены к крустификационно-полосчатым и оолитовым магнетитовым рудам.

Натечные образования имеют мощность до 3—4 мм в поперечнике, дают темнокоричневую черту и обладают магнитными свойствами.

Позже в ассоциации с оолитовыми магнетитовыми рудами были обнаружены и бобовины неправильно-округлой формы размером до 5 мм в поперечнике.

Магнетитовые руды на этом месторождении представлены, как известно, круто- и пологопадающими жилами мощностью от 0,5 до 3,5 м.

Вмещающие породы — мергели, аргиллиты, песчаники и туфы в различной степени минерализованы и содержат в своем составе гранат, пироксен, хлорит, серпентин, кальцит, магнетит, гематит и другие минералы.

Жилы сложены преимущественно полосчатыми и крустификационно-полосчатыми сплошными рудами, состоящими из магнетита, хлорита, серпентина и гематита.

К центральному частям жил приурочены оолитовые обособления, которые образуют удлинённые линзообразные тела мощностью от 0,1 до 0,5—0,7 м при длине линз от 0,5 до 3—4 м. Бобовинки маггемита слагают доски в полосчатых рудах близ обособлений оолитовых линзовидных тел. Натечные образования в виде корочек встречаются как в полосчатых и крустификационно-полосчатых рудах, так и в ассоциации с обособлениями оолитов.

Такие образования нашего минерала имеют поперечно-волокнистое сложение. Отделение кусков по натечным плоскостям обнаруживает ячеистое строение поверхности, а из каждой ячейки можно извлечь небольшое (1,5—2×4—5 мм) тело, напоминающее боб (рис. 1). Цвет таких бобовин и корочек темнокоричневый до почти черного.

Минерал найден в количествах, достаточных для всестороннего изучения, и нам удалось провести оптическое, химическое, рентгеноструктурное и термическое исследование.

Изучение прозрачных шлифов показало, что минерал в срезах толщиной более 0,01 мм непрозрачен и только в самых тонких краях клиновидных сколов просвечивает густым желто-бурым цветом. Такую же окраску дает минерал, измельченный в тонкий порошок, при рассмотрении препаратов в иммерсионной жидкости. Исследование полированных шлифов в отраженном свете дало следующие результаты.

Цвет светлосерый с голубоватым оттенком. При сравнении маггемита и магнетита в одном поле зрения последний имеет ясно выраженный коричневый оттенок.



Рис. 1. Бобовидные скопления маггемита в натечной корочке, на-  
росшей на тонкозернистые магнетитовые руды. Кежемское место-  
рождение Ангаро-Илимского района. Штуф. увеличен в 2 раза.

Таблица 1

## Химический состав маггемита

Окислы	Вес. %	Молекул. колич.	Магнети- альный хлорит	Остаток за вычетом хлорита	Шпинель	Магнетит	Маггемит
SiO <sub>2</sub> . . .	1,03	17	17	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	3,30	32	—	32	32	—	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	86,37	539	—	539	—	58	481
FeO . . . .	4,21	58	—	58	—	58	—
MgO . . .	2,15	54	22	32	32	—	—
Сумма . . .	97,06	700	39	661	64	116	481
Молекул. %	—	—	—	100	10	17	73

Аналитик О. В. Крутецкая

Таблица 2

## Результаты рентгеноструктурного анализа маггемита

№ линии	I	$d_{\alpha}$	$d_{\beta}$	hkl	$\sqrt{eh^2}$	a
1	3	3,72	3,37	210; 211	2,236	833; 824
2	1	3,38	—	211	2,449	8,30
3	1	(3,23)	2,93	220	2,828	9,30
4	8	2,94	—	220	2,828	8,34
5	7	2,77	2,50	221; 300; 311	3,000	831; 830
6	10	2,49	—	311	3,317	8,29
7	3	(2,28)	2,07	400	4000	8,30
8	8	2,07	—	400	4000	8,30
9	4	1,766	1,601	332; 333; 511	4,690; 5,196	8,29; 8,33
10	7	1,699	—	422	4,899	8,34
11	9	1,598	—	333; 511	5,196	8,30
12	3	1,517	—	521	5,477	8,33
13	10	1,468	—	440	5,657	8,32
14	3	1,316	—	620	6,325	8,30
15	5	1,269	—	533	6,557	8,32
16	4	1,200	—	444; 731	6,928	8,31
17	5	1,113	—	642	7,483	8,33
18	8	1,083	—	731	7,681	8,32
19	5	1,041	—	800	8,000	8,34

a ср. = 8,31

Примечание. Анализы, приведенные в табл. 2 и 3, выполнены в рентгено-структурной лаборатории ИГЕМ АН СССР научным сотрудником Н. Н. Слудской.

Условия съемки: излучение — FeK<sub>α</sub>; диаметр камеры 57,9 мм; диаметр образца (столбика)  $d = 0,6$  мм.

Минерал изотропен. Стальная игла, твердостью около 5, чертит минерал; при этом на полированной поверхности остаются вмятины в виде бороздок; иногда по такой бороздке наблюдается небольшое выкрашивание порошка. Магнетит и гематит той же иглой не чертятся. Отражательная способность маггемита выше, чем у магнетита, но заметно уступает гематиту. В то время как магнетит и магномагнетит с содержанием магнезиоферритовой молекулы до 30% сравнительно легко поддаются травлению HCl, исследуемый минерал противостоит HCl и прочим реактивам в течение 5 минут.

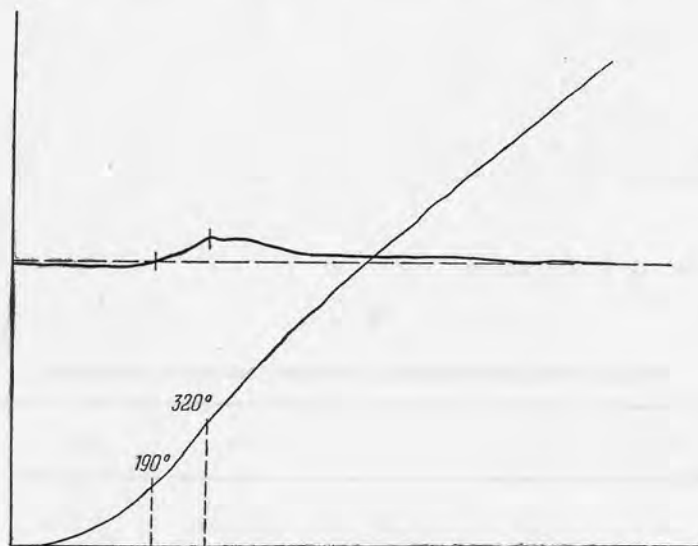


Рис. 2. Кривая нагрева маггемита.

Химический анализ минерала, произведенный в Центральной химической лаборатории ИГЕМ АН СССР, приведен в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что маггемит составляет 73 молекул. %, шпинель — 10 и магнетит — 17. Вследствие весьма тонкозернистого сложения вещества, минераграфическим методом не удается установить, являются ли шпинелевая и магнетитовая частицы в виде индивидуализированных минералов или входят в маггемит изоморфно. Весьма интересно отметить, что бобовины и обломки корочек, сложенные маггемитом, после обработки в течение нескольких часов концентрированной соляной кислотой и последующей промывки водой становятся зеленовато-белыми, сохраняя свою форму, размер и структуру. На воздухе это вещество несколько усыхает, становясь весьма пористым.

Такие же «скелетные» формы дают обломки из оолитовых и крустификационно-полосчатых руд, сложенных магнетитом. Иммерсионным методом зеленовато-белое вещество было определено как хлорит ( $N = 1,587$ ).

Судя по данным химических анализов таких магнетитов, содержание в них  $SiO_2$  не превышает 2,5—3,5%. В бобовинах нашего минерала  $SiO_2$  составляет 1,03%.

Возможно, приведенные данные указывают на сингенетичное образование маггемита и магнетита из гипогенных коллоидальных растворов.



Маггемит был подвергнут рентгеноструктурному анализу. Полученные данные приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наш минерал имеет решетку магнетита с размером ребра элементарной ячейки, равным  $a = 8,31 \text{ \AA}$ .

Такой размер ребра ячейки совпадает с данными, указываемыми Ньюхаузом (Newhaus a. Glass, 1936), но несколько ниже размера ребра магнетита ( $8,37 \text{ \AA}$ ), приводимого в справочниках.

Для магнетита из того же месторождения  $a = 8,36 \text{ \AA}$ .

В результате термического анализа маггемита Кежемского месторождения получена кривая (рис. 2), указывающая на экзотермическую реакцию в интервале температур  $190-320^\circ$ , которая отражает, по-видимому, переход маггемита в гематит.

Таблица 3

## Результаты рентгеноструктурного анализа маггемита

Маггемит, прогретый до темпер. $340^\circ$			Естественный маггемит (Н. В. Павлов)		Гематит (Ром)	
№ линии	I	$d_\alpha$	I	$d_\alpha$	I	$d_\alpha$
1	5	3,66	3	3,72	4	3,68
2	1	3,39	1	3,38	—	—
3	2	3,22	1	3,23	—	—
4	7	2,95	8	2,84	3	2,98
5	6	2,77	7	2,77	2	2,768
6	7	2,70	—	—	10	2,696
7	10	2,52	10	2,49	10	2,518
8	1	2,43	—	—	2	2,43
9	3	2,29	3	2,28	—	—
10	4	2,21	—	—	6	2,199
11	6	2,09	8	2,07	—	—
12	1	2,03	—	—	2	2,021
13	2	1,875	—	—	2	1,860
14	5	1,848	—	—	10	1,834
15	3	1,778	4	1,766	—	—
16	8	1,669	7	1,699	10	1,688
17	3	1,629	—	—	3	1,633
18	8	1,610	9	1,598	5	1,595
19	9	1,478	10	1,468	9	1,483
20	5	1,454	—	—	9	1,448
20-a	1	1,351	—	—	2	1,344
21	4	1,318	3	1,316	5	1,307
22	4	1,276	5	1,269	—	—
23	1	1,261	—	—	3	1,257
24	1	1,165	—	—	2	1,187
25	1	1,143	—	—	4	1,137
26	2	1,116	5	1,113	—	—
27	1	1,104	—	—	6	1,101
28	7	1,088	8	1,083	—	—
29	3	1,058	—	—	4	1,053
30	3	1,043	5	1,041	—	—

По мере прокаливания заметно изменяются некоторые его свойства. Как видно из табл. 3, маггемит после прогревания в течение 8 часов при температуре 340° частично переходит в гематит. Неполный переход объясняется, по-видимому, с одной стороны, тем, что прогревался довольно грубый порошок минерала, с другой — недостаточной продолжительностью прогревания.

Таблица 4

## Химический состав и свойства маггемитов из различных месторождений

Состав и свойства	М-ние Кежда, Ангаро-Алимский р-н	Первый се- верный руд- ник, Урал	Округ Ала- меда, Кали- форния	Айрон-Маун- тен округ Шафта, Кали- форния
Нерастворимый остаток . . . . .	—	2,17	—	1,80
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1,03	—	1,15	—
TiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	1,37	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,30	—	0,04	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	86,37	87,80	89,15	85,30
FeO . . . . .	4,21	7,60	8,67	2,40
MgO . . . . .	2,15	—	Следы	—
CaO . . . . .	—	—	»	—
Потеря при прок. . . . .	—	0,75	—	2,50
+H <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	3,10
Сумма . . . . .	97,06	98,32	100,38	95,10
Размер ребра элементарной ячейки — $a(\text{Å})$ . . . . .	8,31	8,42	8,31±	8,31±
Удельный вес . . . . .	4,51	4,95	Вычислен 4,74	Вычислен 4,74
Твердость по Моосу . . . . .	5	6	5	5
Цвет . . . . .	Темнокорич- невый	Темносталь- носерый	Коричневый	Коричневый
Черта . . . . .	Темнокорич- невая	Коричневая	Коричневая	Коричневая
Окраска в проходящем свете	Желто-корич- невая	—	Коричневая	Коричневая
Цвет в отраженном свете . . . . .	Голубовато- серый до свет- лосерого	Серовато- белый	Белый до серовато- синего	до желтой Белый до серовато- синего
Отношение к поляризованно- му свету . . . . .	Изотропен	Слабо анизотро- пен	Изотропен	Изотропен
Магнитность . . . . .	Сильно магни- тен	Магнитен	Сильно маг- нитен	Сильно маг- нитен
Автор . . . . .	Н. В. Павлов (1952)	Л. Н. Ов- чинников (1953)	Newhouse a. Glass (1936)	Sosman a. Posnjak (1925)

В табл. 4 нами сведены данные химических анализов и некоторых свойств маггемитов из четырех различных месторождений.

Выше отмечалось, что тонкие частицы минерала в иммерсионном препарате имеют желто-бурую окраску. После нагревания до 325° зерна порошка в том же препарате просвечивают красным цветом. С нагреванием до 500° окраска остается густокрасной.

В естественном состоянии маггемит сильно магнитен. Прокаливание на простой горелке в течение 10—12 минут до малиново-красного цвета значительно снижает его магнитные свойства, в то время как магнетит остается по-прежнему магнитным.

Прогретый до 340° в течение 8 часов наш образец маггемита был подвергнут рентгеноструктурному анализу. В табл. 3 приведены полученные данные, а также для сравнения — цифры рентгеноструктурного анализа маггемита в естественном состоянии и гематита.

Данные по химическому составу указывают на наличие в пробах примесей таких минералов, как кварц, хлорит, серпентин, магнетит, шпинель и различных минералов — водных окислов железа, хотя материал для анализов тщательно отбирался под биноклем.

Остается не выясненным, являются ли магнетит и шпинель механической смесью с маггемитом или изоморфно входят в пространственную решетку этого минерала. Во всяком случае, примеси других минералов в пробах маггемита сказались на тех расхождениях в физических свойствах, которые приводятся различными авторами.

Так, удельные веса, твердость, черта, цвет в отраженном свете, отношение к поляризованному свету и магнитность, как это видно из приведенных данных, имеют свои специфические особенности для каждого из проанализированных образцов.

В заключение необходимо подчеркнуть, что колломорфные текстуры магнетитовых руд Кежемского месторождения, в которых находятся натечные и бобовидные образования маггемита, как это доказано рядом исследователей, относятся к образованиям гидротермального генезиса. Поскольку в рудных жилах на месторождении отсутствуют минералы зоны окисления, кроме очень незначительных прожилков и налетов железных охр, образование маггемита надо считать также гидротермальным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А. Г. О влиянии режима серы и кислорода на парагенетические соотношения минералов в рудах. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, 1949.
- Бойко К. А. и Сафонова М. Ф. Характеристика железистых кварцитов юга Кривбасса по химическому составу. Геол. журн. АН УССР, 5, вып. 3, 1938.
- Вахрамеев С. А. О новых минералах в рудах колчеданных месторождений Урала. Зап. Всеросс. минер. общ., ч. 71, вып. 3—4, 1942.
- Вахрамеев С. А. Минералогический состав и структура руд колчеданных месторождений. Зап. Уральск. геол. общ., вып. 1, 1948.
- Вейц Б. И. Минералогический состав Атасуйских железных руд. Изв. Каз. фил. АН СССР, сер. геол., вып. 2—3, 1944.
- Вернадский В. И. Минералогия. М., т-во «Печатня С. П. Яковлева», изд. 3, 1, 1910.
- Заварицкий А. Н. О мартите вообще и о мартитовых рудах горы Магнитной. Геол. вестн., 7, № 1—3, 1929.
- Кротов Б. П. Классификация и номенклатура минералов группы окиси и гидратов окислов железа. Железорудные месторождения Алапаевского типа, т. II. Тр. СОПС, сер. Уральск. вып. 4, 1936.
- Овчинников Л. Н. О маггемите. Тр. Горно-геол. инст. Уральск. фил. АН СССР. Минер. сб., вып. 20, № 2, 1953.



Покровская И. В. О некоторых структурах распада твердых растворов сульфидов. Изв. АН Казах. ССР, сер. геол., вып. 15, № 119, 1952.

Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд. АН СССР, М., 1951.

Шубникова О.М. и Юферов Д.С. Справочник по новым минералам 1922—1932 гг. Горгеофтеиздат, М., 1934.

Newhouse W. H. a. Glass I. P. Some physicale properties of certain iron oxides. Econ. Geol., 31, No 7, 1936.

Sosman R. a. Posnjak E. Ferromagnetic ferric oxide, artificial and natural. Journ. Wash. Acad. Sci., 15, 1925.

Wagner P. A. Changes in the oxidation of iron in magnetite. Econ. Geol., 22, No 8, 1927.