

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКЦЕССОРНОГО  
МАГНЕТИТА В ГРАНИТАХ КАМЕНСКОГО МАССИВА (СЗ Алтай)**

Т. И. ПОЛУЭКТОВА

(Представлена проф. А. М. Кузьминым)

Акцессорный магнетит из гранитов Каменского массива привлекает к себе внимание тем, что он в названных породах находится в сравнительно больших количествах. В предлагаемой работе рассматриваются особенности изменения содержания этого минерала в породах интрузива, а также основные закономерности распределения в нем элементов-примесей.

Каменский гранитоидный массив находится в северо-западной части Иртышской зоны смятия. Площадь его около 200 кв. км. В геологическом отношении интрузив представляет собою лакколит, полого погружающийся к юго-востоку [2]. С юго-востока и северо-востока гранитоиды контактируют с зеленокаменными сланцами девонского возраста. Юго-западный и северо-западный контакты массива перекрыты мощной толщей четвертичных отложений. Возраст плутона относится к перми.

По петрографическому составу в строении массива выделены породы пяти интрузивных фаз (в порядке становления): крупнозернистые порфиоровидные биотитовые граниты; среднезернистые двуслюдяные, аплитовидные граниты; аплиты; пегматиты. Наибольшим распространением пользуются породы первой фазы, среди которых различаются граниты центральной и эндоконтактной частей массива.

Магнетит — постоянно встречающийся минерал в породах массива, наблюдается обычно в виде вкрапленников во всех породообразующих минералах и распределяется в гранитах крайне неравномерно. Так, в гранитах первой фазы центральной части массива содержание его колеблется от 3750 до 25200 г/т; среднее — составляет 9400 г/т. В гранитах эндоконтакта количество магнетита уменьшается до 6650 г/т. Заметим, что в пробе из контакта с вмещающими породами содержание его 4350 г/т, а в 1750 м от контакта к центру тела концентрация этого минерала достигает 18280 г/т. В среднезернистых двуслюдяных гранитах (II фаза) среднее содержание магнетита составляет 77224 г/т. В породах последующих интрузивных фаз оно снижается до 5848 г/т в аплитовидных гранитах, до 3370 г/т — в аплитах и до 4410 г/т — в пегматитах. Таким образом, в целом содержание магнетита уменьшается от пород ранних интрузивных фаз к более поздним. Сделанный вывод находит подтверждение в исследованиях ряда авторов [3].

Встречается магнетит в виде кристаллов октаэдрического облика. Поверхность граней их обычно ямчатая, скульптурная. Нередко кристаллы оказываются вытянутыми в направлении [111] или, наоборот, упло-

щенными в плоскости (111). Наряду с хорошо образованными кристаллами встречаются кривогранные и шаровидные образования магнетита, подобные описанным для алмаза [4].

Размеры зерен магнетита колеблются от 0,14 до 0,33 мм. Массовые замеры величины кристаллов позволили заметить, что в гранитах первой фазы центральной части массива наиболее частые размеры кристаллов находятся в пределах 0,20—0,24 мм. В интенсивно калишпатизированных разностях пород магнетит присутствует почти исключительно в округлых зернах или близких к ним размером в 0,15—0,20 мм.

В породе магнетит обычно занимает межзерновые участки, часто встречается включенным в биотит, который в отдельных случаях замещается хлоритом, в ортоклаз, плагиоклаз и кварц. В гранитах второй фазы он, кроме того, наблюдается в виде мелкой сыпи.

При изучении минерала в полированных шлифах\*) в отраженном свете после травления в концентрированной соляной кислоте достаточно четко выявляются структуры распада твердого раствора  $n\text{FeFe}_2\text{O}_4$  ( $100-n$ )  $\text{FeTiO}_3$ , которые представляют собой обособление титанита в магнетите в виде ильменита. Форма выделений при этом оказывается весьма разнообразной. Так, в разрезах, параллельных грани отката, пластинки ильменита образуют своеобразную сетку с симметрией, отвечающей оси симметрии третьего порядка (рис. 1). Чаше пластинки

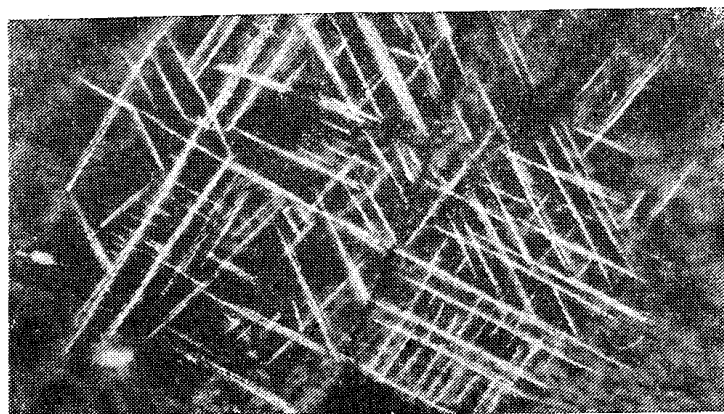


Рис. 1 а.

ильменита располагаются в магнетите в форме беспорядочно точечных, неправильно узлековых (рис. 2) и параллельно линейных обособлений (рис. 3). В последнем случае можно выделить линейно-точечные, линейно-пунктирные, линейно-кулисообразные и некоторые другие, пересекающие зерна магнетита от одного края до другого. Иногда наблюдаются дендритоподобные образования ильменита по краям зерна магнетита. Описанные виды выделений ильменита бывают характерны для того или иного зерна, но не менее часто они встречаются в комбинации в пределах одного и того же индивида. При больших увеличениях (600—800X) иногда удается наблюдать очень тонкую решетчатую структуру, которая, вероятно, соответствует структурам ульвошпинели, и черные очень мелкие включения — шпинели.

\*) Для получения препарата из тонкозернистого магнетитового шлиха была разработана методика цементации его с применением порошка этикрила (Акр-15) и этикриловой жидкости. Полученный образец после затвердевания полируется как обыкновенный аншлиф.

Зерна магнетита нередко подвергаются процессу окисления с образованием по трещинкам минерала и другим дефектам пластинчатых кристаллов гематита (рис. 4). Последний иногда полностью замещает магнетит. В этом случае на полученной дебаеграмме отмечаются линии

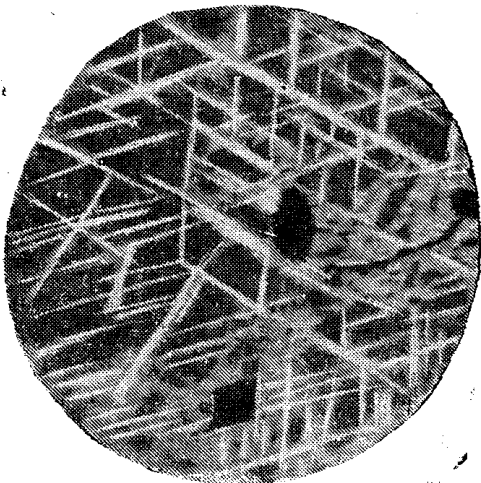


Рис. 16.

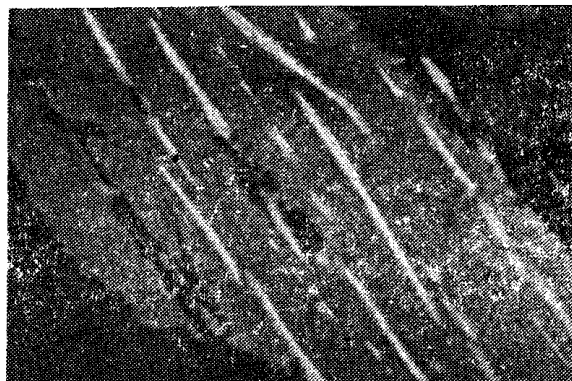


Рис. 2.



Рис. 3.

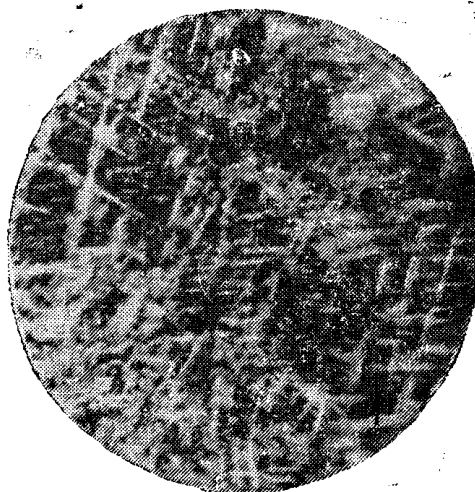


Рис. 4.

( $d/n$ ) 2,199(2), 1,688(10), 1,307(5), 1,137(4) и 1,101(6), которые типичны только для гематита.

Химический состав магнетита изучен по данным спектрального полуколичественного и количественного анализов, а также определения его радиоактивности. В составе минерала установлены следующие элементы-примеси: Si, Ca, Mg, Al, Na, K, P, Ti, Mn, Ba, Sr, Cr, V, Ni, Co, Zr, Nb, Li, La, Ga, Sn, Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, As. Присутствие таких элементов-примесей, как Si, Ca, Al, Na, K, объясняется наличием вростков породообразующих минералов [1], поэтому на особенностях распределения этих элементов мы не останавливаемся. Относительно Mg можно заметить, что его наличие частично обязано вросткам биотита, частично он изоморфно может заместить ионы  $Fe^{2+}$  и образовывать ряд минералов шпинелевой группы, включенных в магнетит (шпинель, магнезиоферрит, магноякобсид и др.).

Титан в магнетите пород интрузива присутствует постоянно.

Содержание его в пробах гранитов первой фазы центральной части массива колеблется от 0,06 до 0,2%; наиболее часты пробы с содержанием титана 0,1%. В магнетите из гранитов эндоконтактовой фации концентрация этого элемента повышается и находится в пределах 0,3—0,5%. В породах более поздних дифференциатов количество титана в магнетите уменьшается до 0,06%, лишь в единичных пробах из гранитов второй фазы оно составляет 0,1%.

Ванадий в магнетите гранитов первой фазы находится в пределах от 0,0017 до 0,01%; в эндоконтактовой зоне интрузива — уменьшается так, что максимальное содержание его составляет не выше 0,006%. В породах второй, третьей, четвертой и пятой фаз он фиксируется не во всех пробах, и количество его обычно не превышает 0,001—0,003%.

Марганец — постоянный элемент всех пород массива. Его количество в них определяется цифрами 0,1—0,3%.

Никель устанавливается в магнетите только в гранитах первой фазы центральной части массива в количестве 0,0003—0,002%.

Содержание цинка в магнетите всех пород массива довольно постоянно и находится в пределах 0,002—0,04%.

Олово фиксируется в пробах сравнительно редко, и концентрация его варьирует в широких пределах: 0,0003—0,3%. С некоторым приближением можно отметить увеличение содержания этого элемента в магнетите поздних дифференциатов.

Количество свинца колеблется в пределах 0,001—0,003%; содержание его уменьшается к контакту массива с вмещающими породами. В пробах из пород последующих интрузивных фаз концентрация элемента увеличивается до 0,006%.

Медь за небольшим исключением зарегистрирована во всех пробах магнетита гранитов первой фазы центральной части массива; в эндоконтакте интрузива медь была зарегистрирована только в одной пробе. Содержание ее в магнетитах всех пород колеблется от 0,001 до 0,003%.

Цирконий фиксируется в магнетите в количестве от 0,003 до 0,02%. Какой-либо определенной закономерности поведения циркония в магнетите пород той или иной интрузивной фазы не подмечено.

Галлий, барий и стронций присутствуют в описываемом минерале постоянно в количествах от тысячных до сотых долей процента. Другие элементы — фосфор, ниобий, литий, иттрий, итербий, бор и мышьяк были обнаружены в единичных пробах.

Относительно формы вхождения охарактеризованных выше элементов-примесей в кристаллическую структуру магнетита можно заметить, что  $Ti^{3+}$  (0,76),  $Ti^{4+}$  (0,68),  $V^{3+}$  (0,74),  $V^{4+}$  (0,63),  $Cr^{3+}$  (0,63),  $Mn^{2+}$  (0,80),  $Mn^{3+}$  (0,66),  $Zn^{2+}$  (0,74),  $Sn^{4+}$  (0,71),  $Ni^{2+}$  (0,69),  $Pb^{4+}$  (0,84),  $Zr^{4+}$  (0,79),  $Nb^{4+}$  (0,74),  $Ga^{3+}$  (0,62),  $Li^{+}$  (0,68),  $Cu^{2+}$  (0,72)\*). Вследствие близости ионных радиусов, а также сходства строения атомов изоморфно замещают в кристаллической решетке магнетита ионы  $Fe^{2+}$  (0,82) или  $Fe^{3+}$  (0,67). Присутствие  $Y^{3+}$  (0,92),  $Yb^{3+}$  (0,85),  $La^{3+}$  (1,14),  $Cu^{+}$  (0,96) объясняется, видимо, нахождением их в форме молекулярного рассеяния.  $Ba^{2+}$  и  $Sr^{2+}$  как элементы-примеси в магнетитах отмечаются в литературе часто [3]. Однако природа их вхождения в кристаллическую постройку не ясна.

Цифры количественного спектрального анализа на элементы группы железа — Mn, V, Cr и Ti приведены в табл. 1.

\*) Цифры, стоящие в скобках рядом с ионом элемента отвечают его эффективному радиусу.

Как следует из таблицы, общая тенденция в содержании марганца, ванадия, хрома и титана к снижению количества их от дифференциатов первой фазы к более поздним, так же как и по данным полуколичественного спектрального анализа, сохраняется. Некоторое отклонение от этого правила намечается в содержании ванадия и хрома в магнетите пород второй фазы.

Таблица 1

Породы и их положение в Каменском интрузиве	Число проб	Элементы примеси в магнетите в %			
		Mn	V	Cr	Ti
Крупнозернистый порфири-видный биотитовый гранит первой фазы из центральной части массива.	3	0,036	0,06	0,013	0,10
Среднезернистые двуслю-дяные граниты второй фазы.	3	0,01	0,075	0,02	0,08
Аплитовидные граниты III фазы	1	0,02	0,04	0,01	0,12

Результаты изучения  $\beta$ -активности магнетитов из пород различных интрузивных фаз представлены в табл. 2.

Таблица 2

$\beta$ -активность магнетита из пород Каменского массива

Породы и их положение в Каменском интрузиве	Число проб	$\beta$ -активность магнетитов	
		средняя	пределы колебания
Граниты первой фазы из центральной ча-сти массива	7	1,4	0,3—3,7
Граниты первой фазы из эндоконтактной зоны	9	0,8	0,2—1,5
Граниты второй фазы	7	2,0	1,3—3,0
Аплитовидные граниты	1	2,0	—
Аплиты	1	2,1	—
Пегматиты	1	1,7	—

$\beta$ -активность минерала свойственна всем породам массива. В пробах из гранитов первой фазы центральной части массива колеблется от 0,3 до 3,7 усл. ед.; средняя активность — 1,4 усл. ед. В гранитах эндоконтакта она снижается до 0,8 усл. ед. при колебаниях от 0,2 до 1,5 усл. ед.,  $\beta$ -активность магнетита в породах более поздних интрузивных фаз возрастает.

Таким образом, в результате изучения магнетита из гранитов Каменского массива можно сделать следующие выводы.

1. Магнетит — постоянно присутствующий акцессорный минерал в гранитах массива и содержится в высоких количествах.

2. Распределен магнетит в породах неравномерно: содержание его в гранитах I фазы центральной части массива варьирует от 3750 до 25200 г/т, среднее — 9400 г/т; в гранитах эндоконтакта среднее количество магнетита уменьшается до 6650 г/т.

3. Содержание магнетита уменьшается от породы ранних фаз к поздним.

4. По составу магнетит неоднороден и представляет собой смесь твердого раствора ильменита и магнетита, подвергшегося в результате снижения температуры распаду.

5. В качестве элементов-примесей в минерале установлены: Si, Ca, Mg, K, Al, Na, P, Ti, Mn, Ba, Sr, Cr, V, Ni, Co, Zr, Nb, Li, La, Ga, Sn, Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, As:

а) распределены элементы-примеси в магнетите как из пород одного и того же состава, так и различных интрузивных фаз неравномерно;

б) содержание Mn, Ti, V и Cr в магнетите уменьшается от пород ранних дифференциатов к поздним, а количество Sn и Pb увеличивается в этом направлении.

6. Для магнетитов пород массива свойственна радиоактивность, которая в общем повышается от пород первой интрузивной фазы к породам последующих.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Вахрушев. Элементы-примеси акцессорного магнетита как критерии для генетического расчленения гранитоидов Алтае-Саянской области. Докл. АН СССР, т. 147, 1963.

2. В. С. Кузбный. Особенности возрастных взаимоотношений и некоторые вопросы петрологии габбро-гранодиорит-плагногранитных интрузий северо-западной части Рудного Алтая. В сб: «Магматизм, геохимия и металлогения Рудного Алтая». Тр. ИГиН АН Каз, ССР, т. 17, 1966.

3. Б. К. Львов. Петрология, минерология и геохимия гранитоидов Кочкарского района. Изд. ЛГУ, 1965.

4. И. И. Шафрановский. О генезисе округлых алмазов. Сб. кристаллографии округлых алмазов. Изд. ЛГУ, 1948.

---