

**ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В
МЕТАВУЛКАНИТАХ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ**

З.Г. Бадрединов, И.А. Тарарин, О.И Шарова

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: badre9@mail.ru

Исследованы метаморфизованные железо-марганцевые рудопроявления из позднемеловых метаморфогенных отложений Хавывенской возвышенности и Ганальского хребта Камчатки. Железо-марганцевые породы (обычно описываемые как гранатиты) слагают в метаморфических отложениях редкие линзообразные тела, характеризующиеся высокими содержаниями марганцовистого граната и вкрапленников магнетита. Значительные содержания железа (20 и более мас. %) и марганца (7-10 мас. %), повышенные концентрации никеля, хрома, кобальта и меди позволяют реконструировать эти образования, как метаморфизованные гидрогенные железо-марганцевые корки океанических областей (таблица).

Таблица. Химический состав (петрогенные элементы, S и Cl - мас. %, остальные элементы - в г/т) метаморфизованных железо-марганцевых пород (магнетит-амфибол-гранатовых сланцев)

Образец	1180-1	697-Г-1	697-Г-2	Gan-4-2	Gan-4-3
SiO ₂	50.01	58.80	53.14	45.25	73.90
TiO ₂	0.47	0.79	0.41	0.70	0.18
Al ₂ O ₃	10.11	9.07	7.00	9.15	4.90
Fe ₂ O ₃ *	22.60	16.37	25.10	25.49	14.31
MnO	6.25	3.32	6.12	5.07	3.77
MgO	2.79	3.58	2.16	7.80	1.98
CaO	5.13	5.66	5.59	5.47	1.49
Na ₂ O	2.28	1.40	0.08	0.36	0.01
K ₂ O	0.08	0.44	0.02	0.05	0.03
P ₂ O ₅	0.22	0.25	0.53	0.32	0.32
Сумма	99.94	100.12**	100.15	100.17	100.89
S	0.002	0.026	0.006	0.008	0.024
Cl	0.004	0.004	0.004	0.002	0.002
Rb	3.5	9.3	2.7	1.1	2.0
Sr	269	148	63	11	3
Ba	54	837	30	22	98
Zr	144	124	138	149	85
Y	104	70	102	109	82
Ga	15	15	11	11	9
Co	82	46	68	55	30
Ni	251	137	316	311	110
Cr	30	68	20	18	21
Cu	58	455	105	54	214
V	302	298	294	366	206
Zn	260	178	249	113	89
Pb	35	13	5	2	2
Th	12	4	5	5	4
U	2.1	1.7	2.7	1.6	1.1

Примечание. Места отбора образцов: обр. 1180-1 – Хавывенская возвышенность, остальные образцы – Ганальский хребет. Высокое содержание оксида кремния в обр. Gan-4-3 обусловлено послышной импрегнацией образца кварцем. Анализы выполнены рентгенофлуоресцентным методом на автоматическом спектрометре S₄ Pioneer в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

*Все железо в форме Fe₂O₃.

**В сумму дополнительно включено 0.44 % П.п.п.

На Хавывенской возвышенности метаморфизованные железо-марганцевые образования встречаются среди эпидот-фенгит-амфиболовых зеленых сланцев верхней толщи хавывенской серии. Железо-марганцевые породы характеризуются порфиробластовой структурой и полосчатой текстурой, подчеркиваемой невыдержанными тонкими полосками альбит-амфиболового и более мощными полосками существенно гранатового состава. В гранатовых полосках преобладают мелкие изометричные кристаллы альмандин-гроссуляр-спессартинового граната с прогрессивным типом зональности, ассоциирующиеся с зеленым амфиболом, центральные части кристаллов которого сложены актинолитом, а краевые зоны – винцитом и реже барраузитом. В основной массе сланцев в ассоциации с гранатом и амфиболом распространены мелкие удлиненные кристаллы гемойльменита, размером в первые микроны. Порфиробласты (около 10-15 объем. %) представлены кристаллами магнетита размером 1-3 мм, замещаемыми по краевым зонам и вдоль микротрещин гематитом. Магнетит порфировидных выделений содержит незначительную примесь оксида марганца и не содержит оксида титана, что подтверждает метаморфогенную природу этого минерала. Основным концентратором титана в породе является гемойльменит, содержание оксида титана в котором может достигать 8 мас. %. Ильменит в описываемой породе отсутствует.

Наблюдаемые в породах структурные соотношения силикатных (зональность гранатов и амфиболов) и рудных минералов (последовательная смена оксидов железа более окисленными формами, обрастание магнетита гематитом) указывают на прогрессивный рост температуры метаморфогенного минералообразования, происходившего на фоне увеличения летучести кислорода, значения которого превосходили уровень магнетит-гематитового буфера, судя по смене магнетита гематитом и процессам замещения актинолита щелочным амфиболом (винцитом и барраузитом). Уровень метаморфизма пород соответствовал зеленосланцевой фации ($T=300-400^{\circ}\text{C}$, $P=3.3-4.4$ кбар) [Бадрединов З.Г. и др., 1989]. При таких значениях температуры и давления летучесть кислорода ($\lg fO_2$) в описываемом минеральном парагенезисе должна была быть не ниже -23.

В Ганальском хребте метаморфизованные железо-марганцевые породы наблюдаются в виде небольших линзовидных обособлений среди амфиболитов и амфиболовых сланцев вахталкинской толщи ганальской серии, метаморфизм которых отвечал условиям амфиболитовой фации ($T=600^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$, $P=3,2-4.8$ кбар) [Тарарин И.А., Чубаров В.М., 2009]. Железо-марганцевые породы, как и на Хавывенской возвышенности, имеют порфиробластовую структуру и полосчатую текстуру. Полосчатость выражена чередованием полос, состоящих преимущественно из зонального граната (альмандин-спессартинового состава с подчиненным количеством гроссуляра и пироба) с полосками магнезиальной роговой обманки. Преобладающим рудным минералом является магнетит (кристаллы размером до 5 мм), характеризующийся структурами распада в виде тонких ламелей марганцовистого ильменита (до 10-17 мас. % MnO), окруженных мелкими кристаллами шпинели. Магнетит в породах Ганальского хребта не имеет гематитовой оторочки, как это наблюдалось в железо-марганцевых сланцах Хавывенской возвышенности. Расчет термодинамических условий равновесного существования магнетитовой матрицы и ламелей ильменита, выполненный по программе QUILF [Авченко, 1996], позволяет оценить значения температуры и летучести кислорода, соответствующие моменту прекращения внутрикристаллической диффузии ($T=254^{\circ}\text{C}$, $\lg fO_2 = -28.941$).

Марганцовистый ильменит, помимо ламелей, слагает в железо-марганцевых сланцах Ганальского хребта самостоятельные кристаллы и образует сростки с магнетитом. Это дает возможность рассчитать температуру и парциальное давление кислорода на момент метаморфогенной кристаллизации рудных минералов. Состав магнетита для расчетов брался по данным микронзондового сканирования поверхности распавшегося кристалла. Давление метаморфизма принималось равным 4.5 кбар. Полученные в результате расчетов значения температуры и летучести кислорода ($T=525^{\circ}\text{C}$, $\lg fO_2 = -18.619$) соответствуют кривой кварц-магнетит-фаялитового буфера.

Сопоставление железо-титановых оксидов близких по химизму гранатовых марганцовистых сланцев Хавывенской возвышенности и Ганальского хребта позволяет заключить, что метаморфизм этих структур отличался не только значениями температуры и давления, но и летучестью кислорода. Метаморфогенное минералообразование в сланцах Хавывенской возвышенности происходило в более окислительных условиях, высокий

окислительный уровень которого, вероятно, поддерживался процессами дегидратации метаморфогенных минералов на фоне прогрессивного роста температуры.

Список литературы

Авченко О.В. Компьютерная программа QUILF для петрологов // Тихоокеанская геология, 1996. Т. 15. № 2. С. 150-153.

Бадрединов З.Г., Тарарин И.А., Литвинов А.Ф. и др. О природе метаморфизма пород Хавывенской возвышенности Камчатки // ДАН СССР, 1989. Т. 309. № 2. С. 405-409.

Тарарин И.А., Чубаров В.М. Гранитизация и магматическое замещение в контактовом ореоле Юрчикского габбро-норитового массива Ганальского хребта Камчатки // Тихоокеанская геология, 2009. Т. 28. № 1. С. 44-65.