

**ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
АРХЕЙСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ЮЖНОГО ОБРАМЛЕНИЯ  
АЛДАНСКОГО ЩИТА (СУТАМСКИЙ БЛОК) ПО ДАННЫМ РЕКОНСТРУКЦИИ  
МАГНЕТИТ-ИЛЬМЕНИТОВЫХ РАВНОВЕСИЙ**

**Шарова О.И., Бадрединов З.Г., Авченко О.В.**

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток*

Авторы выполнили исследования по восстановлению исходного состава распавшихся титаномагнетитов и ильменитов из эндербитов сутацкого комплекса Алданского щита. Удалось восстановить составы титаномагнетитов и ильменитов, сформировавшихся в процессе гранулитового метаморфизма древних вулканогенных образований и оценить с помощью термодинамической программы QUILF [8] температуру и парциальное давление кислорода равновесного существования рудных и силикатных фаз, а также определить предельные значения парциального давления кислорода вулканогенных пород.

Исследования железо-титановых оксидов включали стандартные методы оптической диагностики, микронзондовый анализ фаз и палеточный метод подсчета процентных соотношений минералов в распавшихся кристаллах. В кристаллах с тонкими структурами распада основной акцент делался на использование растровой микронзондовой съемки. Размер участков растровой съемки варьировал от нескольких микрон до сотен микрон в зависимости от структурного состояния исследуемого минерала и качества полированной поверхности и воспроизводился несколько раз, охватывая как можно большую площадь, чтобы получить средние составы анализируемого минерала. Кроме этого, при растровой съемке с помощью микронзондового сканирования составлялись карты распределения компонентов по площади кристалла, что позволяло выявить случайные отклонения в составе исследуемых образцов, связанные с заполнением микротрещин и другими дефектами. Расчет соотношения минералов в структурах с грубым полосчатым строением производился методом наложения на изображение изучаемого кристалла электронной (компьютерной) палетки, что значительно упрощало и повышало корректность подсчетов.

Сравнение результатов реинтегрирования первичного состава титаномагнетитов, полученных методом растровой съемки и с помощью палеточного подсчета, показало их хорошую сходимость. Отличия заключаются в том, что палеточный метод не позволяет рассчитать концентрации алюминия и магния, которые при распаде входят в состав новообразованных мелких кристаллов шпинели, не всегда присутствующих в срезах изучаемых кристаллов.

Микронзондовые исследования выполнялись на рентгеновском микроанализаторе марки JXA-8100, оснащенного энергодисперсионным анализатором INCA (модель 7412) производства компании «Oxford instruments». Режим съемки - ускоряющее напряжение катода 20 kV и ток излучения  $1 \times 10^{-8}$  А. Прецизионность определений концентраций основных элементов составляла  $\pm 1$  мас.%. В качестве эталонов использовались природные ильменит и магнетит из включений в базальтах. Минимальные концентрации железа и титана, фиксируемые в исследуемых минералах, составляли 0,01 мас.%.

Изученные породы сутацкого метаморфического комплекса представлены преимущественно эндербитами, реже двупироксен-амфиболовыми кристаллосланцами и плагиогнейсами, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации ( $T = 750-810^\circ\text{C}$ ,  $P = 7-8$  кбар) [1, 3]. Основным критерием отбора образцов служило отсутствие в них признаков гранитизации и наложения вторичных низкотемпературных изменений. Возраст протолита метаморфических пород сутацкого комплекса оценивается в 3,1 млрд. лет на основании Sm-Nd [4] изотопных определений, а возраст гранулитового метаморфизма по данным Rb-Sr изотопии составляет 2,9 млрд. лет [5]. Химический состав пород соответствует первично вулканогенным породам андезито-дацитового ряда с соотношением главных петрогенных компонентов характерным для вулканитов известково-щелочной серии. [6]

Всего исследовано 10 образцов. Породы имеют преобладающую гетеробластовую структуру, наряду с гломеробластовой и порфирогранобластовой и массивную или полосчатую текстуры. Во всех образцах присутствует сквозной парагенезис ортопироксена, плагиоклаза и кварца,

к которым присоединяются иногда гранат, амфибол, клинопироксен и биотит. Рудные минералы представлены: преобладающим ильменитом с ильменит-гематитовыми структурами распада; кристаллами распавшегося титаномагнетита с ильменитовыми полосами, заключенными в магнетитовой матрице (окислительный распад [7]), и тонкими эмульсионными магнетит-шпинелевыми структурами распада твердого раствора, низкотитанистым (практически чистым) магнетитом без структур распада и мельчайшими (до пылевидных) кристаллами вторичного магнетита, структурно приуроченного к зонам спайности, микротрещинам и контактам силикатных минералов.

Повсеместно там, где наблюдается срастание ильменитовых и магнетитовых зерен, магнетиты сложены чистыми кристаллами, без следов распада. Вероятно, «очищение» магнетита от титана произошло в процессе диффузии титана из магнетита в ильменит, проявившейся на границе сросшихся зерен. Косвенным подтверждением такой диффузии является наличие реакционной зоны в зернах ильменита на контакте с магнетитом, характеризующейся повышенными концентрациями оксида титана и отсутствием гемоильменитовых ламелей.

Конечным итогом реинтегрирования титаномагнетитов и ильменитов был расчет температуры и парциального давления кислорода гранулитового минералообразования. Этот расчет производился с помощью программы QUILF. При расчетах общее давление метаморфизма принималось равным 7.5 кбар. Полученные параметры температуры и фугитивности кислорода метаморфогенного формирования титаномагнетита и ильменита в сугамских гранулитах позволяют заключить, что кристаллизация титаномагнетита и ассоциирующего с ним ильменита в эндербитах сугамского комплекса происходила при температуре порядка 750°C-900°C и фугитивности кислорода на два порядка выше кварц-магнетит-ферросилитового буфера ( $\text{LgfO}_2$  от -14 до -12).

Полученные величины фугитивности кислорода гранулитового метаморфизма вулканических пород сугамского комплекса позволяют оценить предельный (*вероятно, заниженный*) уровень окислительного потенциала магматического этапа их формирования, учитывая тот факт, что метаморфизм вулкаников сопровождался восстановленными флюидами [2], которые могли сместить уровень окисленности протолита эндербитов только в восстановленную область. Значение летучести кислорода на 1.5-2 порядка выше кварц-магнетит ферросилитового буфера, отвечает условиям гранулитового метаморфизма метавулканических пород Алданского щита и, очевидно, является общей закономерностью состояния (*повышенной*) окисленности древней земной коры этого региона на этапе 3,1 млрд. лет и формирующихся с ее участием средних и кислых магматических расплавов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авченко О.В., Попов В.С., Мишкин М.А. Минеральная геобаротермометрия гранат-пироксеновых кристаллосланцев сугамского метаморфического комплекса // Геология и геофизика. 1994. № 12. С. 75-85.
2. Авченко О.В., Худоложкин В.О., Коновалова Н.П., Баринов Н.Н. Восстановленные, богатые углеродом флюиды Сугамского метаморфического комплекса // Геохимия. 1998. № 8. С. 831-841.
3. Александров И.А., Авченко О.В. Сравнительная термобарометрия метаморфических комплексов (Алдано-Становой щит) и геодинамическая модель взаимоотношения Алданского и Джугджуро-Станового блоков // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 5. С. 3-15.
4. Мишкин М.А., Карпенко С.Ф., Лаврик С.Н., Вовна Г.М., Октябрьский Р.А. Sm-Nd изотопная систематика метабазитов архейского сугамского гранулитового комплекса (юг Алданского щита) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. № 2. С. 3-8.
5. Мишкин М.А., Масловская М.Н., Лаврик С.Н., Вовна Г.М. Геохимия и Rb-Sr изотопия архейской метабазит-эндербитовой формации юга Алданского щита (Сугамский блок) // Геохимия. 1999. № 9. С. 931-940.
6. Мишкин М.А., Вовна Г.М., Лаврик С.Н., Октябрьский Р.А. Геохимия и происхождение глубинных архейских эндербитов юга Алданского щита (Сугамский блок) // Геохимия. 2001. № 7. С. 691-711.
7. Патнес А., Мак-Конелл Дж. Основные черты поведения минералов. М.: Мир, 1983. 299 с.
8. Andersen D.J., Lindsley D.H., Davidson P.M. QUILF: A pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz // Computers & Geosciences. 1993. V. 19. P. 1333-1350.