

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕТАМОРФИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЧАРНОКИТОВ ТРИВАНДРУМСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО БЛОКА (ЮЖНАЯ ИНДИЯ)

С. М. Пилюгин, А. Н. Конилов\*

*Воронежский государственный университет*

*\*Институт экспериментальной минералогии РАН, Черногловка, МО*

*Поступила в редакцию 1 марта 2011 г.*

**Аннотация.** Методами полевошпатовой термометрии определена пиковая температура метаморфизма чарнокитов Тривандрумского гранулитового блока Южной Индии.

**Ключевые слова:** чарнокиты, метаморфизм, структуры распада, полевые шпаты, Тривандрумский гранулитовый блок.

**Abstract.** Feldspar thermometry methods defined high-grade metamorphism of charnockites of the Trivandrum Granulite Block, Southern India.

**Key words:** the charnockites, metamorphism, exsolution textures, feldspar, Trivandrum Granulite Block

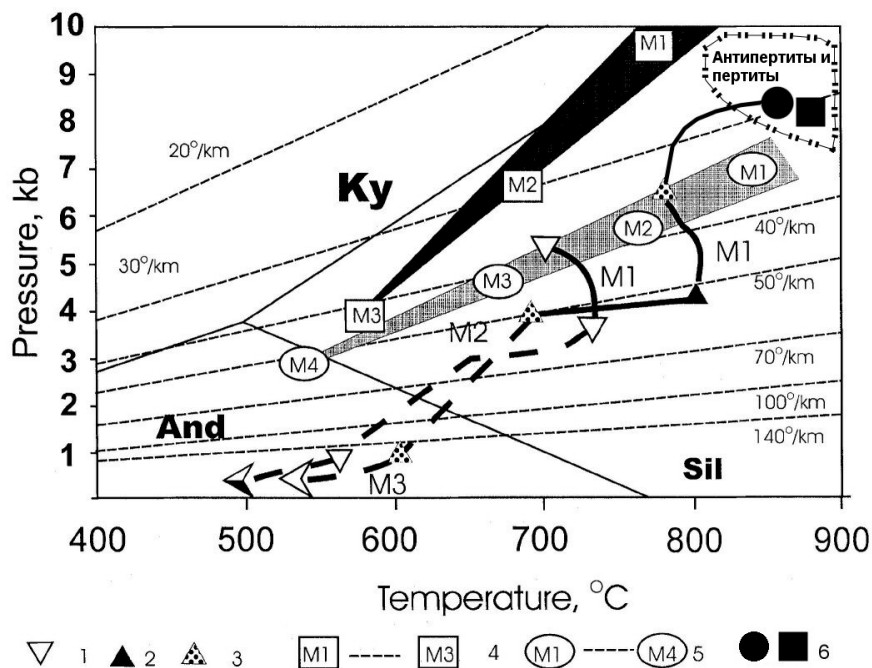
Ранее [4; 5] для Тривандрумского гранулитового блока (ТГБ) (Ю. Индия) установлен необычный P-T тренд метаморфизма (рис. 1) с длительным (по температуре) периодом субизобарического охлаждения (от 700–800 °С до 250–300 °С по данным минералогической термобарометрии) и последующим периодом повторного прогрева в условиях уникально высоких геотермических градиентов (порядка 140–180°/км). Метаморфическая история ТГБ весьма специфична: метаморфический цикл здесь, соответствующий панафриканскому времени, относительно короток, и охватывает период от 540–600 до 440–470 млн лет. Эксгумация пород региона (с глубин порядка 20 км до 13 км) явилась результатом коллизионных процессов в панафриканское время, и сопровождалась тектоническими деформациями, проникновением тепла и флюида и, как следствие, широким развитием чарнокитов.

При детальнейших электронно-микроскопических исследованиях (Jeol 6380 – LV) образцов чарнокитов ТГБ в них были обнаружены реликтовые структуры распада полевых шпатов (рис. 2). Подобные структуры встречаются в типичных гранулитовых комплексах древнейших кратонов Земли (Земля Эндерби, Антарктида; Скоури, Шотландия; Украинский щит; Воронежский кристаллический массив [1, 2, 7, 9]) и почти всегда свидетельствуют об ультравысоких температурах метаморфизма.

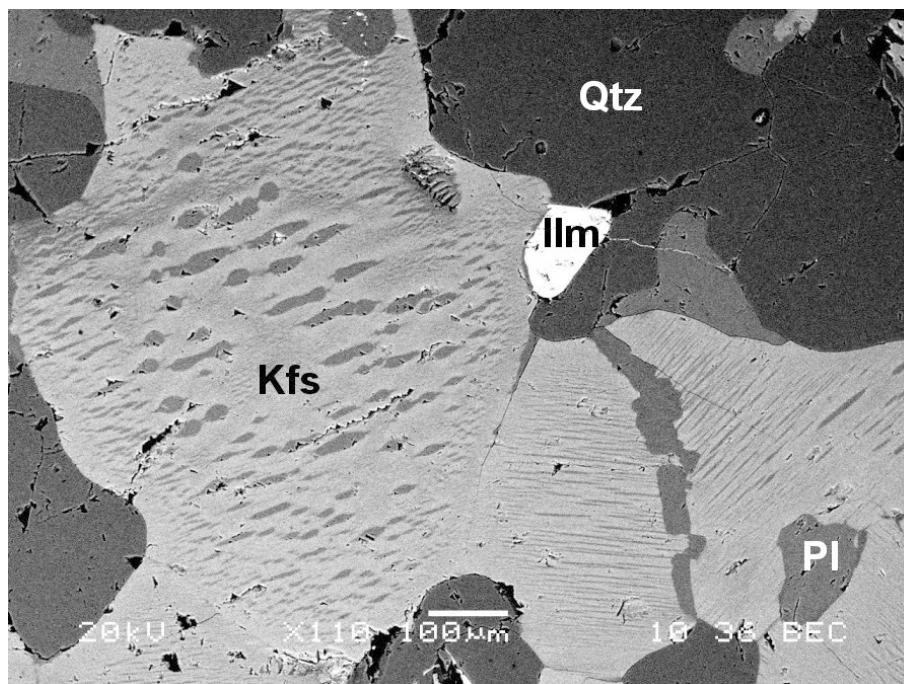
Изученные чарнокиты содержат главным образом гранат-ортопироксен-кварц-полевошпатовую ассоциацию; из аксессуарных минералов встреча-

ются – ильменит, апатит, монацит, циркон. Структуры распада наблюдаются только в полевых шпатах. Они представлены двумя основными типами: 1) антипертиты (ламели калиевого полевого шпата в матрице плагиоклаза) (рис. 3а); 2) пертиты (ламели плагиоклаза разнообразной формы в матрице калиевого полевого шпата) (рис. 3б). Ламели часто протяженные (> 100 мкм) в одном четко выраженном направлении, толщиной от 0,1 мкм до 50 реже 100 мкм. В большинстве случаев ламели плагиоклаза имеют овально-вытянутую, гантель – образную (из-за пережимов в центральных частях) форму (прожилково-игльчатые и четкообразные типы пертитов по Оллингу [3]). Ламели калиевого полевого шпата (антипертиты) характеризуются, как правило, овальной, изометричной формой. Нередко наблюдается изменение морфологии и уменьшение количества ламелей распада в краевых частях зерен полевых шпатов (рис. 2).

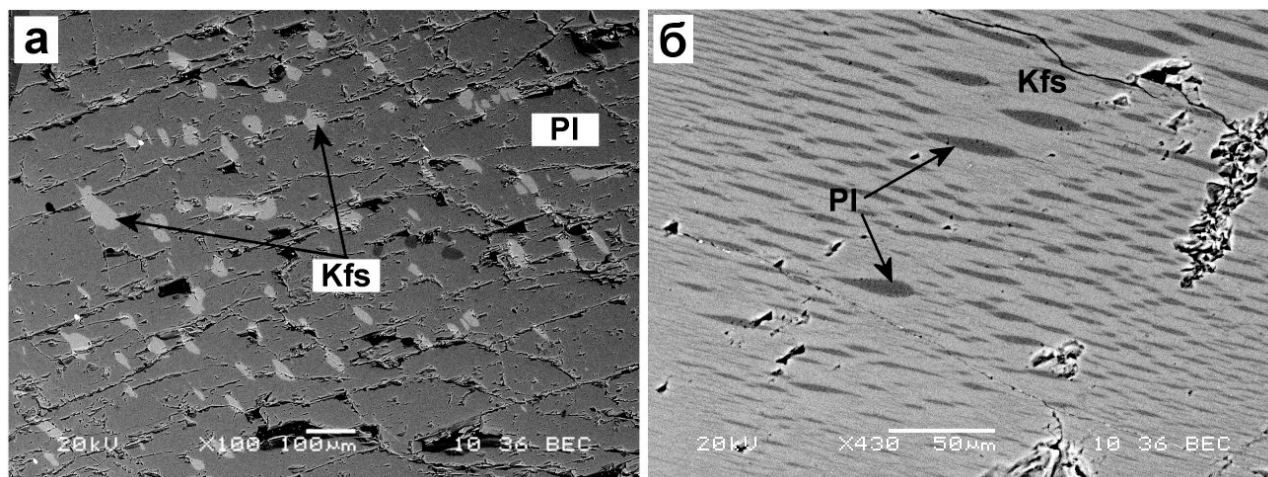
Для определения состава первичного полевого шпата (реинтегрирования) был использован метод подсчета в каждом зерне соотношения площадей (и составов по данным точечного энергодисперсионного анализа) минерала – хозяина и ламелей распада. Выявлено, что продукты распада полевых шпатов (как ламели, так и матрица) гомогенны по составу – максимальные различия в минеральном составе не превышают 1–2 моль.%; усредненные реинтегрированные составы соответствуют –  $Ab_{37}An_5Or_{58}$  для пертитовых и  $Ab_{63}An_{23}Or_{14}$  для антипертитовых зерен. В калиевом полевошпате обычно фиксируется незначительная ( $\leq 1$  мас. %) примесь ВаО.



**Рис. 1.** Эволюция метаморфизма Тривандрумского гранулитового блока (ТГБ), Ю. Индия по данным В. И. Фонарева [4, 5]: 1–3 – рассчитанные термобарометрические данные для чарнокитов и метасоматических пород Nuliyam-Kunnapara, а также вмещающих гнейсов и чарнокитов Nellikkala; 4, 5 – тренд метаморфической эволюции кратона Karnataka и восточного подвижного пояса Индии; 6 – полученные данные для восстановленных составов полевых шпатов из чарнокитов ТГБ. М1–М3 – метаморфические события. Тонкие точечные линии – соотношение T/D (температура/глубина) в °/км.



**Рис. 2.** Зерна калиевого полевого шпата (Kfs) со структурами распада твердых растворов. Символы минералов по [8]



**Рис. 3.** Типы структур распада полевых шпатов из чарнокитов Тривандрумского гранулитового блока (Южная Индия): а – антипертиты – ламели ортоклаза в матричном олигоклазе; б – пертиты – ламели олигоклаза в матричном ортоклазе

Для оценки температур кристаллизации полевых шпатов использовался двуполюшпатовый термометр Фурман и Линдсли [6]. На диаграмме (рис. 4) для давлений 8 кбар показаны составы реинтегрированных полевых шпатов и продуктов их распада. Из диаграммы следует, что оценки температур устойчивости первичных полевых шпатов, в целом близки для антипертитов ( $\geq 880 \pm 10$  °С) и пертитов ( $\geq 910 \pm 10$  °С). Эффект давления не очень значителен для положения кривых устойчивости полевых шпатов на диаграмме Фурман и Линдсли [6] и найденные температуры (рис. 4) практически не требуют соответствующей коррекции в интервале 8–15 кбар. Поскольку в каждом из исследованных образцов присутствует только один из полевых шпатов с пертитовым, антипертитовым типом распада, то полученные значения отражают минимально возможные температуры кристаллизации первичных минералов [7]. Полученные температуры соответствуют пиковым условиям метаморфизма чарнокитов ТГБ (стадия метаморфизма М1) (рис. 1).

Составы распавшихся полевых шпатов (пертитовых и антипертитовых), отражают ретроградную историю охлаждения пород до температур  $\leq 700$  °С и хорошо согласуются с уже известными геотермобарометрическими определениями для этапа М2 (рис. 1). К еще более низким температурам (этап метаморфизма М3) относится, очевидно, процесс изменения морфологии и уменьшения количества ламелей в краевых частях полевых шпатов. Полученные данные дополняют уже известный тренд метаморфизма Тривандрумского гранулитового блока Южной Индии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-1978.2010.5)*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пилогин С. М. Ультравысокие ( $\geq 1000$  °С) температуры пикового метаморфизма метапелитов Воронежского кристаллического массива (Курско-Бесединский гранулитовый блок) по данным полевошпатовой термометрии / С. М. Пилогин, В. И. Фонарев, К. А. Савко // ДАН. – 2009. – № 5. – С. 660–663.
2. Яковлев Б. Г. Минеральные равновесия и условия метаморфизма докембрийских мафитов / Б. Г. Яковлев, С. Б. Степченко. – Киев : Наукова Думка, 1985. – 224 с.
3. Alling H. L. Plutonic perthites / H. L. Alling // Journ. Geol. – 1938. – V. 46. – P. 142.
4. Fonarev V. I. Multistage metamorphic evolution of the Trivandrum Granulite Block, Southern India / V. I. Fonarev, A. N. Konilov, M. Santosh // Gondwana Research. – 2000. – V. 3, № 3. – P. 293–314.
5. Fonarev V. I. Fluid evolution and exhumation path of the Trivandrum Granulite Block, southern India / V. I. Fonarev [et al.] // Contrib. Mineral. Petrol. – 2003. – V. 145. – P. 339–354.
6. Fuhrman M. L. Ternary-feldspar modeling and thermometry / M. L. Fuhrman, D. H. Lindsley // American Mineralogist. – 1988. – V. 73. – P. 201–215.
7. Hokada T. Feldspar thermometry in ultrahigh-temperature metamorphic rocks: Evidence of crustal metamorphism attaining  $\sim 1100$  °С in the Archean Napier Complex, East Antarctica / T. Hokada // Am. Mineral. – 2001. – V. 86. – P. 932–938.
8. Kretz R. Symbols for rock-forming minerals / R. Kretz // Amer. Miner. – 1983. – V. 68. – P. 277–279.
9. O'Hara, M. J. Thermal history of excavation of Archean gneisses from the base of the continental crust / M. J. O'Hara // J. geol. Soc. London. – 1977. – V. 134. – P. 185–200.

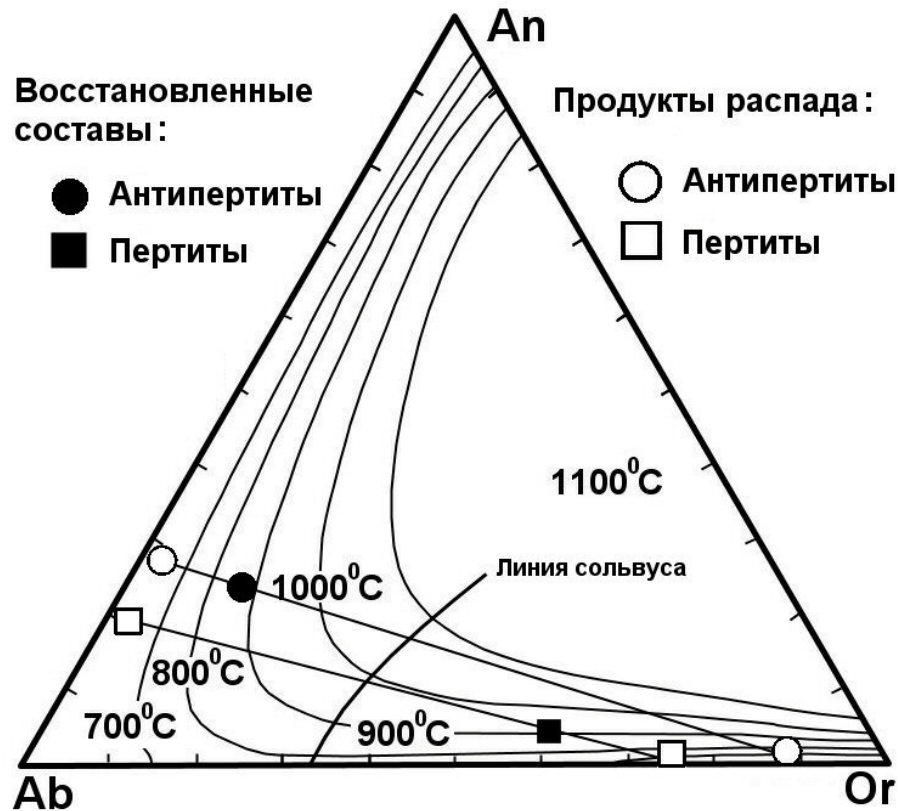


Рис. 4. Диаграмма [6] условий метаморфизма реинтегрированных полевых шпатов, а также продуктов их распада из чарнокитов Тривандрувского гранулитового блока Южной Индии

Воронежский государственный университет  
С. М. Пилюгин, старший преподаватель кафедры  
полезных ископаемых  
geoscience@yandex.ru  
Тел. 8 (473) 220-86-26

Voronezh State University  
S. M. Pilugin, senior teacher, Chair of Mineral De-  
posits  
geoscience@yandex.ru  
Tel. 8 (473) 220-86-26

Институт экспериментальной минералогии РАН  
А. Н. Конилов, научный сотрудник  
konilov@iem.ac.ru

Institute of Experimental Mineralogy RAS  
A. N. Konilov, research worker  
konilov@iem.ac.ru