

ТРУДЫ

**ВСЕРОССИЙСКОГО
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ**

(ВЕСЭМПГ -2017)



Москва, 18–19 апреля 2017 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

**Российская академия наук
Отделение наук о Земле**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина
и Ордена Октябрьской революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского
(ГЕОХИ РАН)**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экспериментальной минералогии
(ИЭМ РАН)**

**Российский фонд фундаментальных исследований
Российское минералогическое общество**

**ТРУДЫ
ВСЕРОССИЙСКОГО
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ,
ПЕТРОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
(ВЕСЭМПГ-2017)**

Москва, 18–19 апреля 2017 г.

FEDERAL AGENCY FOR SCIENTIFIC ORGANIZATIONS

**Russian Academy of Sciences
Branch of Earth Sciences**

**Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry
of the Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS)**

Institute of Experimental Mineralogy (IEM RAS)

Russian Foundation for Basic Research

Russian mineralogical society

**PROCEEDINGS
OF RUSSIAN ANNUAL SEMINAR
ON EXPERIMENTAL MINERALOGY,
PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY
(RASEMPG - 2017)**

Moscow, 18–19 April 2017



ГЕОХИ

Москва

УДК 550.4:550.4.02:550.426:550.3:552.6:523.3:502.1
ББК 26.30 26.31
Т782

Ответственный редактор
дгмн О.А. Луканин

Заместитель ответственного редактора
дхн Е.Г. Осадчий

Ответственный секретарь
Е.Л. Тихомирова

Редакционная коллегия

академик Л.Н. Когарко
чл.-корр. дхн О.Л. Кусков
чл.-корр. дгмн Ю.Б. Шаповалов
проф., дгмн А.А. Арискин
проф. дгмн А.В. Бобров
кхн Е.В. Жаркова

дгмн А.Р. Котельников
проф. дхн Ю.А. Литвин
дгмн Ю.Н. Пальянов
дхн Б.Н. Рыженко
дгмн.О.Г. Сафонов
кгмн О.И. Яковлев

Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Москва, 18–19 апреля 2017 года. /Отв. редактор О.А. Луканин, - М: ГЕОХИ РАН, 2017, 346 с. ISBN 978-5-905049-16-3.

Представлены краткие статьи по материалам докладов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2017 года с описанием результатов оригинальных научных исследований, новых методов и идей, ориентированных на практическое решение широкого спектра проблем современной экспериментальной геохимии.

Editor-in-Chief
prof. Dr of Geol.-Min. Sci. O.A.Lukanin

Deputy Editor-in-Chief
Dr of Chem.Sci. Eu.G. Osadchii

Executive Secretary
E.L. Tikhomirova

Editorial Board

Academician, Dr of Geol.-Min.Sci. L.N. Kogarko
Corr.memb, Dr of Chem.Sci. O.L. Kuskov
Corr.memb, Dr of Geol.-Min.Sci. Yu.B. Shapovalov
Prof., Dr of Geol.-Min.Sci. A.A. Ariskin
Prof. Dr of Geol.-Min. Sci. A.V. Bobrov
Cand.of Chem.Sci E.V. Zharkova

Prof., Dr of Geol.-Min.Sci. A.R. Kotel'nikov
Prof., Dr of Chem.Sci. Yu.A. Litvin
Dr of Geol.-Min.Sci. Yu.N. Pal'yanov
Dr of Chem.Sci. B.N. Ryzhenko
Dr of Geol.-Min.Sci. O.G. Safonov
Cand.of Geol.-Min.Sci. O.I. Yakovlev

Proceedings of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Moscow, 2017 April 18–19. / Ed. O.A. Lukanin, M.: GEOKHI RAS, 2017, 346 p. ISBN 978-5-905049-16-3.

The results of original research, new methods and idea focused on practicable decides of wide spectra of problems of modern experimental geochemistry are presented in short papers on materials of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology, and Geochemistry 2017.

ISBN 978-5-905049-16-3

© Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН), 2017

УДК 552.16:552.11

ПЛАВЛЕНИЕ БЕЗПЛАГИОКЛАЗОВОГО ГРАНАТ-ДВУСЛЮДЯНОГО МЕТАПЕЛИТА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 6, 10 И 15 КБАР. Митяев А.С.^{1,2}, Сафонов О.Г.^{2,1}, Варламов Д.А.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва, ²Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка (classic_ten@mail.ru)

MELTING OF PLAGIOCLASE-FREE GARNET-TWO-MICA SCHIST AT PRESSURES 6, 10 AND 15 KBAR. Mityaev A.S.^{1,2}, Safonov O.G.^{2,1}, Varlamov D.A.²

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Geology, Moscow, ²Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka (classic_ten@mail.ru)

Abstract. In order to study of the production of the S-type granite melts in a plagioclase-free source, experiments on partial melting of a garnet-bearing muscovite-biotite-quartz schist (with accessory ilmenite and apatite) were performed at pressures 6, 10 and 15 kbar. Solidus of the rock is determined by the dP/dT-positive reaction muscovite + quartz + (garnet, ilmenite) = biotite + sillimanite + K-feldspar + melt and is located at the P-T parameters of melting of the plagioclase-bearing assemblages. In contrast to plagioclase-bearing two-mica assemblages, melting of the plagioclase-free rock produces ultra-potassic (7-8 wt. % K₂O; K₂O/Na₂O > 8-10) alkali or alkali-calcic granitic melts (MALI > 7) with FeO/(FeO+MgO) > 0.7 and ASI > 1.2. These characteristics are close to those for alaskitic leucogranites developed within the collision zones.

Keywords: metamorphism, partial melting, two-mica schist, melting relations, S-type granites, leucogranites

подавляющая часть высокоглиноземистых (ASI > 1.1) лейкократовых гранитов типа S, включая аляскиты, являются продуктами расплавов, генерирующихся исключительно в коровых условиях, как правило, без контаминации мантийным материалом. Согласно экспериментам (напр. Vielzeuf, Holloway, 1988; Patiño Douce, Johnston, 1991; Gardien et al., 1995; Patiño Douce, Harris, 1998; Pickering, Johnston, 1998), эти расплавы являются продуктом частичного плавления субстратов, содержащих как мусковит, так и биотит. Их образование определяются реакциями плавления без участия флюида (fluid-absent melting) типа $Ms + (Bt_1) + Pl + Qtz = (Bt_2) + Kfs + (Sil) + \text{расплав}$ с довольно пологими dP/dT наклонами и охватывает интервал температур от 700 до 850° (в интервале «коровых» давлений 6-15 кбар). Условия плавления и количество расплава в таких ассоциациях определяются количественными соотношениями Ms/Bt и магнезиальностью ассоциации. Определяющим фактором является также соотношение Pl/слюда, Pl/Qtz, и состав плагиоклаза (Gardien et al., 1995), которые в расплавах фиксируют соотношения (Ab+An)/Kfs/Qtz/H₂O. Реакции, ведущие к плавлению ассоциаций, несодержащих плагиоклаз, ранее не изучались.

С целью изучения процессов образования гранитных расплавов S типа в безплагиоклазовом субстрате проведены эксперименты по плавлению гранат-двуслюдяного сланца из зеленокаменного пояса Гиани (ЮАР), сложенного мусковитом (45 %), кварцем (30 %), биотитом (12 %) и гранатом (10 %) при давлениях 6, 10 и 15 кбар. Валовый состав породы, определенный методов РФА, следующий (мас. %): SiO₂ - 56.57, TiO₂ - 1.76, Al₂O₃ - 21.51, Fe₂O₃ - 10.38, MnO - 0.285, MgO - 0.92, CaO - 1.43, Na₂O - 0.36, K₂O - 5.44, P₂O₅ - 1.05. Повышенные концентрации TiO₂, CaO, P₂O₅ обусловлены присутствием в породе ильменита и апатита. Эксперименты проводились на установке цилиндр-поршень в ИЭМ РАН с использованием ячеек из прессованного NaCl (+ пирекс для опытов выше кривой плавления NaCl) диаметром 3/4 дюйма со вставками из керамики MgO и графитовыми нагревателями. В экспериментах использовались золотые ампулы. Фугитивность кислорода в опытах специально не контролировалась, предполагая, что этот параметр буфировался фазовыми ассоциациями в продуктах опытов.

Продукты экспериментов при 6 кбар и 10 и 15 кбар различаются по фазовому составу. При 6 кбар с расплавом сосуществует герцинит-магнетитовая шпинель (Рис. 1а), но при 10 и 15 кбар устойчив гранат (Рис. 1б). Эти различия в целом согласуются с условиями стабильности альмандинового граната в условиях кислородного буфера QFM (Hsu, 1968). При 15 кбар вместо ильменита становится стабильна рутил, благодаря смещению реакции $3Ilm + Sil + 2Qtz = Grt + 3Ru$ вправо с повышением давления (напр. Bohlen et al., 1983). Солидус породы, по-видимому,

определяется реакцией $Ms + Qtz + (Grt, Ilm) = Bt + Sil + Kfs + \text{расплав}$ (Рис. 1б), которая имеет положительный dP/dT наклон. Плавление начинается между 750 и 800°C при 6 кбар, около 800°C при 10 кбар и около 850°C при 15 кбар, что находится в пределах условий плавления плагиоклаз содержащих двуслюдяных ассоциаций (напр. Patiño Douce, Harris, 1998; Pickering, Johnston, 1998), а также реакции $Mu + Qtz = Kfs + Sil + \text{расплав}$ (Storre, 1972).

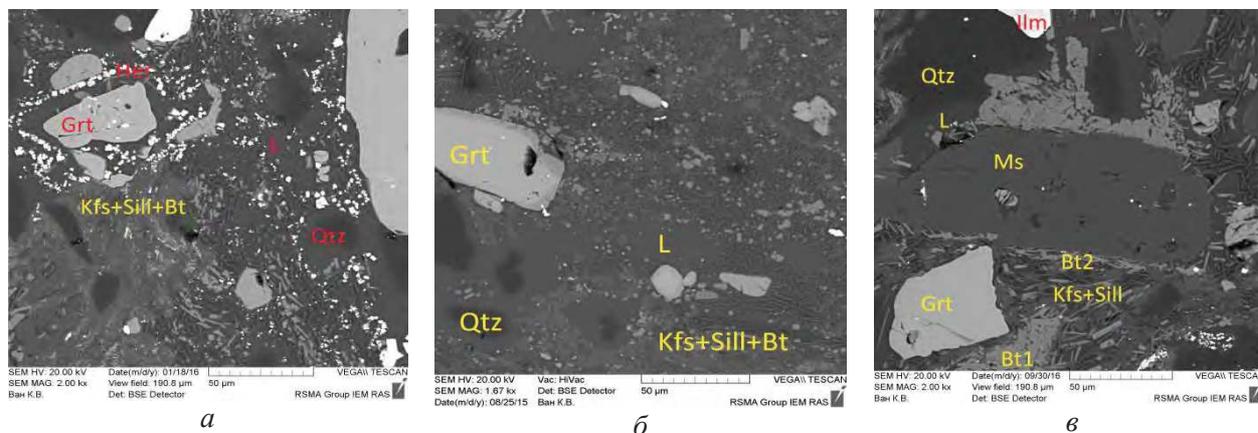


Рис. 1. Фазовые ассоциации при плавлении безплагиоклазового гранат-двуслюдяного сланца. (а) Цепочки зерен герцинит-магнетитовой шпинели, сосуществующие с расплавом, вокруг граната в продуктах опыта при 6 кбар и 800°C. (б) Каймы новообразованного граната, силлиманит, калиевый полево шпат и расплав в продуктах опыта при 10 кбар и 900°C. (в) Реакция $Ms + (Grt + Ilm) + Qtz = Bt + Kfs + Sil + L$ в продуктах опыта при 10 кбар и 800°C.

В отличие от плагиоклаз содержащих двуслюдяных ассоциаций (Vielzeuf, Holloway, 1988; Patiño Douce, Johnston, 1991; Gardien et al., 1995; Patiño Douce, Harris, 1998; Pickering, Johnston, 1998), плавление ассоциации без плагиоклаза приводит к образованию ультракалиевых (7-8 мас. % K_2O и $K_2O/Na_2O > 8-10$) щелочных или щелочно-известковых расплавов ($MAL1 > 7$) с отношением $FeO/(FeO+MgO) > 0.7$ и $ASI > 1.2$, характерным для гранитов типа S. Нормативный состав (Kfs, Pl, Qtz) расплавов близок к калиевым гранитам и аляскитам (Рис. 2). При 6 кбар образуются расплавы, более богатые SiO_2 (75 – 77 мас. %), но более бедные Al_2O_3 (12 – 14 мас. %), чем при 10 и 15 кбар (71 – 73 мас. % SiO_2 ; 14 – 15 мас. % Al_2O_3). При этом суммарное содержание K_2O+Na_2O остается близким при всех давлениях. Такие вариации состава могут быть объяснены тем, что при 6 кбар в равновесии с расплавами стабильна шпинель, тогда как при 10 и 15 кбар - гранат. С повышением температуры в расплавах возрастают концентрации CaO и TiO_2 , что определяется поведением аксессуарных минералов – ильменита и апатита. Так увеличение содержания TiO_2 в расплавах с температурой при всех давлениях обуславливается большей степенью участия как Ti -содержащего биотита, так и ильменита в реакциях. Однако содержание TiO_2 в расплавах при 900°C и 10 кбар заметно выше, чем в расплавах при 15 кбар, что определено связано с появлением рутила при 15 кбар за счет ильменита. Содержание P_2O_5 возрастает с увеличением давления от < 0.1 мас. % при 6 кбар (900°C) до 1.1 мас. % при 10 кбар (900°C), однако при 15 кбар оно понижается до 0.4-0.6 мас. %. Высокие содержания P_2O_5 в полученных расплавах согласуется с данными по растворимости апатита в высокоглиноземистых гранитных расплавах (напр. Pichavant et al., 1992).

В целом проявляется тенденция к тому, что наименее «мафические» расплавы, т.е. содержащие меньшие концентрации $MgO+FeO (< 1.5$ мас. %), появляются при снижении как давления, так и температуры. Такие расплавы по главным компонентам схожи с расплавами, появляющимися при плавлении плагиоклаз содержащих субстратов, отличаясь от них более высоким нормативным содержанием калиевого полевого шпата (Рис. 2). Таким образом, полученные данные подтверждают вывод (напр. Patiño Douce, Harris, 1998), что лейкократовые граниты типа S (включая аляскиты), характерные для коллизионных обстановок, являются продуктами плавления без участия флюида метаосадочных богатых мусковитом субстратов при достаточно низких температурах (менее 800°C) в малоглубинных условиях (< 30 км.).

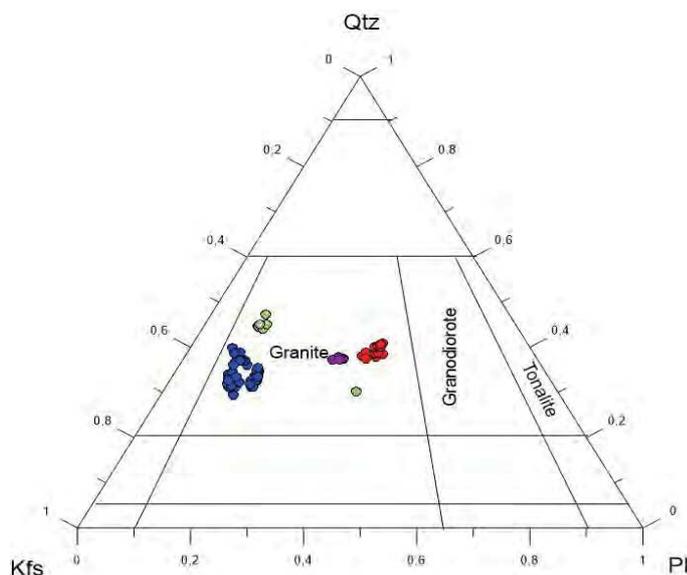


Рис. 2. Сопоставление модальных составов расплавов, образованных при плавлении безплаггиоказового гранат-двуслюдяного сланца при давлениях 6, 10 и 15 кбар (синие точки), с модальными составами расплавов, полученных при плавлении плаггиоказ содержащих пород (Patiño Douce, Johnston, 1991 – зеленые точки; Patiño Douce, Harris, 1998 – красные точки; Pickering, Johnston, 1998 – фиолетовые точки).

Литература

- Bohlen S. R., Wall V. J., Boettcher A. L. (1983). Experimental investigations and geological applications of equilibria in the system FeO-TiO₂-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *Am. Mineral.*, 68, 1049-1058.
- Gardien V., Thompson A. B., Grujic D., Ulmer P. (1995). Experimental melting of biotite plus plagioclase plus quartz plus or minus muscovite assemblages and implications for crustal melting. *J. Geophys. Res.*, 100, 15581-15591.
- Hsu L. C. (1968). Selected phase relationships in the system Al-Mn-Fe-Si-OH: A model for garnet equilibria. *J. Petrol.*, 9, 40-83.
- Patiño Douce A. E., Harris N. (1998). Experimental constraints on Himalayan anatexis. *J. Petrol.*, 39, 689-710.
- Patiño Douce A. E., Johnston A. D. (1991). Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 107, 202-218.
- Pichavant M., Montel J. M., Richard L. R. (1992). Apatite solubility in peraluminous liquids: Experimental data and an extension of the Harrison-Watson model. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 3855-3861.
- Pickering J. M., Johnston D. A. (1998). Fluid-absent melting behavior of a two-mica metapelite: experimental constraints on the origin of Black Hills granite. *J. Petrol.*, 39, 1787-1804.
- Vielzeuf D., Holloway J. R. (1988). Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 257-276.
- Storre B. (1972). Dry melting of muscovite+quartz in the range P_S=7 kb to P_S=20 kb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 37, 87-89.