

ИГЕМ РАН
СМУиС ИГЕМ РАН



НОВОЕ В ПОЗНАНИИ ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Сборник материалов
IX Российской молодёжной научно-практической Школы
с международным участием

Научное электронное издание

25 - 29 ноября 2019 г.
ИГЕМ РАН, Москва

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук
(ИГЕМ РАН)

Новое в познании процессов рудобразования

Девятая Российская молодёжная научно-практическая школа с
международным участием

25 – 29 ноября 2019 г.

Москва-2019

УДК 553+552+548/549+550.4+550.3+502/504+550.93

ББК 26.3

Н 74

Новое в познании процессов рудообразования: Девятая Российская молодёжная научно-практическая Школа с международным участием, Москва, 25-29 ноября 2019 г. Сборник материалов - Электрон. дан. (1 файл: 45 Мб) - М.: ИГЕМ РАН, 2019.

В сборнике представлены материалы Девятой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». Пленарные лекции и доклады посвящены изучению различных вопросов геологии, минералогии и геохимии рудных месторождений, а также вопросам геоэкологии. Задача Девятой Школы – знакомство студентов, аспирантов и молодых специалистов с новейшими достижениями в изучении процессов рудообразования.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), проект № 19-05-20149

Редакторы: В.А. Петров, Е.Е. Амплиева, С.А. Устинов, Е.В. Ковальчук, С.В. Ковригина

ISBN 978-5-88918-055-5

© Коллектив авторов, 2019
© ИГЕМ РАН, 2019
© СМУиС ИГЕМ РАН, 2019

Организаторы



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН)



Совет молодых ученых и специалистов ИГЕМ РАН (СМУиС ИГЕМ РАН)

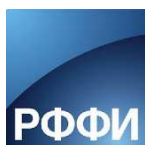
При поддержке:



Отделение наук о Земле Российской академии наук



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



Российский Фонд
Исследований (РФФИ)



Российское минералогическое общество (РМО)



The Society of Economic Geologists, Inc., (SEG)

www.segweb.org



The Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA)



ООО «Склад Для Вас», г. Москва, Россия



«РУССКАЯ ЯШМА», г. Руза, Московская область

Петрологическое и экспериментальное изучение сиенитизации тоналитовых гнейсов на примере массива Мадиапала, комплекс Лимпопо, ЮАР

Селютина Н.Е.^{1,2}, Сафонов О.Г.^{1,2}, Варламов Д.А.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, nata-me98@mail.ru, oleg@iem.ac.ru

²ИЭМ РАН, Черногловка, dima@iem.ac.ru

Сиенитовый массив Мадиапала расположен в западной части Центральной Зоны (ЦЗ) комплекса Лимпопо (ЮАР) среди серии тоналит-трондьемитовых гнейсов Олдейз с возрастом 2610-2650 млн. лет. Согласно геохронологическим данным, полученным методом SHRIMP (Rigby et al., 2011), возраст сиенитов массива составляет 2010.3 ± 4.5 млн лет. Этот возраст соответствует наиболее позднему палеопротерозойскому тектоно-термальному событию (D3/M3) в ЦЗ, которое характеризовалось мощной флюидной проработкой вдоль зон сдвигово-пластических деформаций. М. Ригби с соавторами (Rigby et al., 2008) с помощью метода псевдосечений (программный комплекс THERMOCALC) в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3$ для ассоциаций сиенитов установили, что максимальные значения P-T параметров для этих пород составляли 6 кбар и 770°C. Эти данные были интерпретированы как условия метаморфизма ранее существовавших сиенитов в ходе этапа D3/M3. Иную модель образования сиенитового массива в тоналит-трондьемитовых гнейсах Олдейз (Safonov et al., 2012, Safonov et al., 2014b) основана на экспериментах по взаимодействию биотит-амфиболового тоналитового гнейса с флюидами $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-(\text{K}, \text{Na})\text{Cl}$ при 750 и 800°C и 5.5 кбар (Safonov et al., 2012; Safonov et al., 2014a). Эти эксперименты демонстрируют, что определяющим фактором образования сиенитовой ассоциации за счет ассоциации исходных тоналитовых гнейсов является возрастание активности калия во флюиде, связанной с солевой составляющей флюида. Таким образом, сиениты этого массива могли быть продуктом процесса сиенитизации тоналитовых гнейсов с участием богатых солевой составляющей водно-углекислых флюидов.

Геохимические данные (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и атомно-эмиссионный метод) позволили выявить два типа сиенитовых пород в массиве (сиениты и сиенодиориты), подтвердить коровую природу сиенитов и их тесную генетическую связь с вмещающими тоналитовыми гнейсами. Спектры распределения РЗЭ для сиенитов указывают на активную кристаллизационную дифференциацию внутри массива.

По петрографическим данным, ранней ассоциацией в сиенитах является калиевый полевошпат + клинопироксен + титанит $\pm$ апатит, а более поздняя ассоциация – амфибол + альбит. Для того, чтобы оценить условия образования первичной ассоциации с помощью программного комплекса PERPLE_X (версия 6.7.7 для Windows) (Connolly, 2005) для валовых химических составов сиенитов были рассчитаны диаграммы в координатах P-T и изоплеты магнетиальности и содержания Na в клинопироксене в ассоциации с щелочным полевым шпатом и сфеном. Условия образования первичной магматической сиенитовой ассоциации соответствуют температурному интервалу 850 - 950°C и давлениям 5.6 - 7.4 кбар. Оценки влияния активности K_2O на гнейсы Олдейз посредством расчета диаграмм (псевдосечений) в координатах $\lg(a\text{H}_2\text{O}) - \lg(a\text{K}_2\text{O})$ показали, что преобразование ассоциации гнейса в сиенитовую ассоциацию возможно при постоянных P и T только за счет увеличения активности K_2O (рис. 1, переход из поля 1 в поле 2).

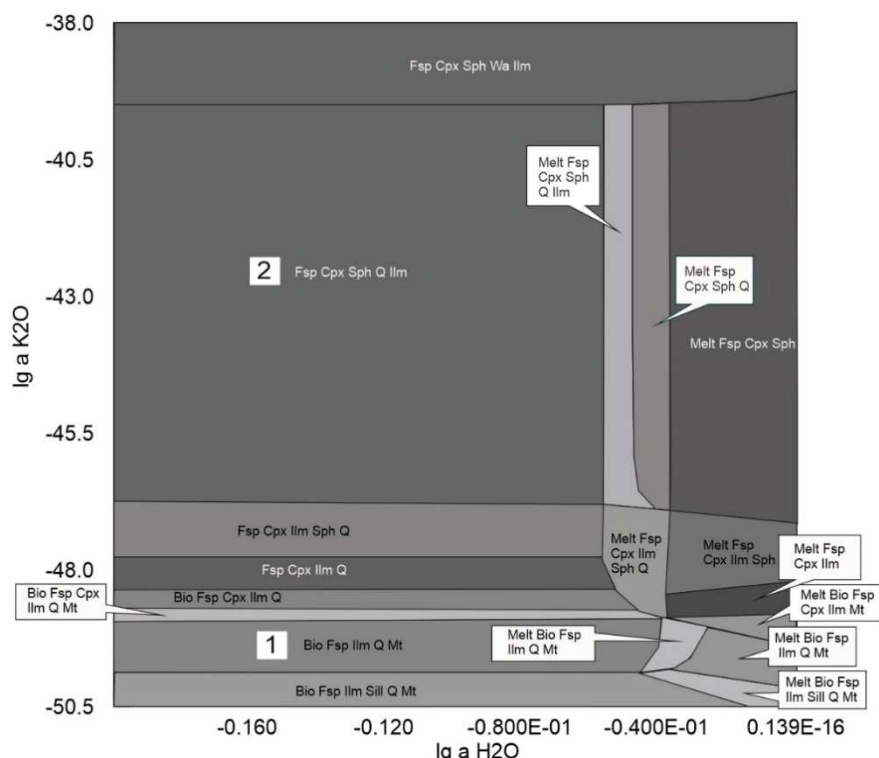


Рисунок 1. Диаграмма в координатах $\lg a \text{H}_2\text{O}$ - $\lg a \text{K}_2\text{O}$, для состава гнейса Авоса, температура 700°C.

С целью воспроизвести минеральную ассоциацию сиенитов массива Мадиапала были проведены эксперименты по взаимодействию биотитового тоналитового гнейса Олдейз с флюидом H_2O - CO_2 -(K, Na)Cl при температуре 850°C и давлении 6 кбар на установке высокого газового давления с внешним нагревом в ИЭМ РАН. В результате экспериментов удалось воспроизвести ассоциацию клинопироксен + титанит в ходе реакций титансодержащего биотита с кварцем и плагиоклазом (Рис. 2), инициированных флюидом.

Эта ассоциация сосуществует с расплавом сиенитового состава, обогащенного F, Cl, H_2O , что подтверждено исследованиями закаленных стекол с помощью КР-спектроскопии (Табл. 1). Этот результат согласуется с предлагаемой моделью формирования массива.

Таблица 1. Средние составы стекол, полученные в экспериментах (НПО – ниже пределов обнаружения).

Образец	F	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	Cl	K_2O	CaO	H_2O
1	0,11	2,67	12,07	70,55	0,04	6,26	0,90	1,57
3	0,25	3,79	15,87	64,96	0,04	4,85	1,56	4,27
4	0,03	5,79	20,69	61,08	0,03	5,47	2,63	2,94
5	0,26	4,59	12,23	68,15	0,34	3,35	0,92	1,87
6	НПО	3,95	15,5	62,2	0,04	4,81	1,25	2,36
7	0,26	2,86	15,46	66,93	0,04	7,11	0,70	3,95
8	НПО	2,67	12,78	67,10	НПО	5,37	0,65	2,82

Таким образом, породы массива являются продуктом процесса сиенитизации тоналитовых гнейсов, по своей сути схожим с гранитизацией. Формирование сиенитов массива Мадиапала происходило при давлениях 6 – 7 кбар и температурах более 900°C в ходе активной проработки тоналитовых гнейсов Олдейз водно-углекисло-солевым флюидом, в котором ведущую роль играл калиевый солевой компонент. Определяющим фактором образования сиенитовой ассоциации являлась повышенная активность калия во флюиде. Образование более поздних амфиболсодержащих ассоциаций происходило на фоне остывания сиенитовой магмы. Этой стадии соответствовала смена режима щелочных компонентов во флюиде, так что рост активности Na_2O приводил к замещению ассоциации клинопироксен + калиевый полевой шпат ассоциацией амфибол + альбит.

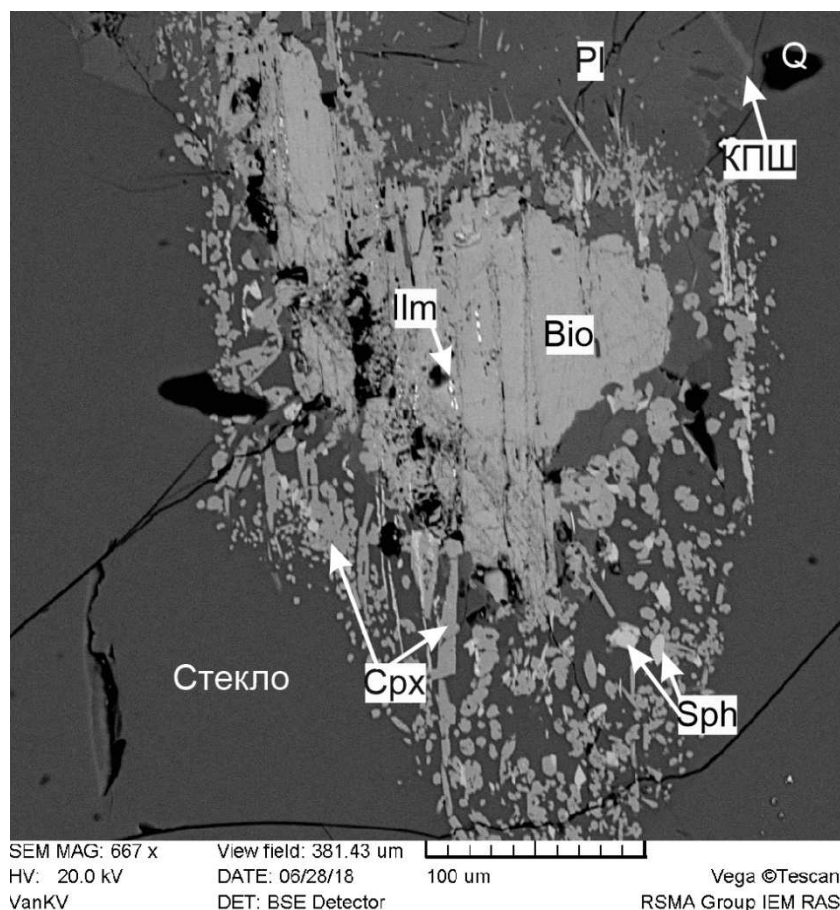


Рисунок 2. Образование ассоциации клинопироксен + титанит за счет биотита, кварца и плагиоклаза.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ №18-17-00206

Connolly J. A. D. Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation // *Earth and Planetary Science Letters*. 2005. T. 236. №. 1-2. – С. 524-541.

Rigby M., Mouri H., Brandl G. PT conditions and the origin of quartzo-feldspathic veins in metasyenites from the Central Zone of the Limpopo Belt, South Africa // *South African Journal of Geology*. 2008. T. 111. №. 2-3. С. 313-332.

Rigby M. J., Armstrong R. A. SHRIMP dating of titanite from metasyenites in the Central Zone of the Limpopo Belt, South Africa // *Journal of African Earth Sciences*. 2011. T. 59. №. 1. С. 149-154.

Safonov O. G., Kovaleva, E. I., Kosova, S. A., Rajesh, H. M., Belyanin, G. A., Golunova, M. A., & Van Reenen D. D. Experimental and petrological constraints on local-scale interaction of biotite-amphibole gneiss with H₂O-CO₂-(K, Na) Cl fluids at middle-crustal conditions: Example from the Limpopo Complex, South Africa // *Geoscience Frontiers*. 2012. T. 3. №. 6. С. 829-841.

Safonov O. G., Aranovich L. Y. Alkali control of high-grade metamorphism and granitization // *Geoscience Frontiers*. 2014a. T. 5. №. 5. С. 711-727.

Safonov O. G., Kosova S. A., Van Reenen D. D. Interaction of Biotite–Amphibole Gneiss with H₂O–CO₂–(K, Na) Cl Fluids at 550 MPa and 750 and 800° C: Experimental Study and Applications to Dehydration and Partial Melting in the Middle Crust // *Journal of Petrology*. 2014b. T. 55. №. 12. С. 2419-2456.