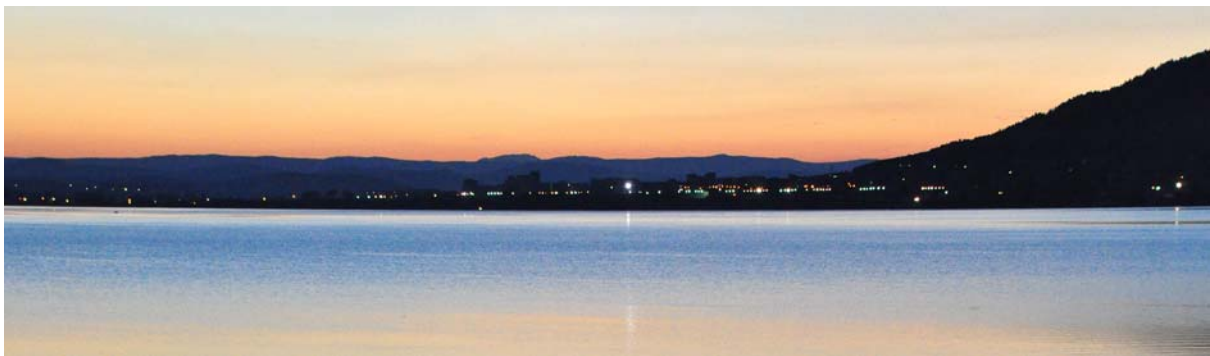


Сборник тезисов

**X Международная научная Школа
по наукам о Земле
имени профессора Л.Л. Перчука
(I.S.E.S.-2015)**



Миасс, 2015

Граниты и гранулиты

Сафонов О.Г.

ИЭМ РАН, oleg@iem.ac.ru
МГУ им. М.В.Ломоносова

Современные модели континентальной коры (напр. Rudnick, Fountain, 1995), основанные на сейсмических характеристиках пород и петрологических исследованиях ксенолитов коровых пород в изверженных магмах, выделяют в коре нижний, средний и верхний уровни. При этом указывается, что нижняя кора, обогащенная Al_2O_3 , FeO, MgO, CaO и обедненная легкими РЗЭ, сложена преимущественно породами основного-среднего состава, испытанными высокотемпературный или даже ультравысокотемпературный ($> 900^\circ C$) метаморфизм (гранулитами). Между уровнями коры осуществляется активное перераспределение вещества. В неоархейское – неопротерозойское время яркой репрезентацией этого процесса являлся подъем гарполитоподобных гранулитовых поясов между стабильными участками коры – кратонами. Примерами таких комплексов могут служить пояс Лимпопо (ЮАР) с возрастом 2.72-2.69 млрд. лет (напр. van Reenen et al., 2011), Лапландский пояс (Россия-Финляндия) с возрастом 1.95-1.87 млрд. лет (напр. Mints et al., 2007), Мозамбикский пояс (Танзания) с возрастом 0.64-0.62 млрд. лет (напр. Fritz et al., 2009) и другие. Еще один способ перераспределения вещества между уровнями коры - это гранитоидный магматизм, обуславливающий благодаря которому происходит внутрикоровая дифференциация и гравитационная стабилизация коры.

Доминирующая с 1990-х годов модель указывает на определяющую связь нижнекоровых гранулитов и гранитных интрузий, проникающих в среднюю («амфиболитовую») кору. Согласно этой модели гранулиты представляют собой реститы после частичного плавления пород (анатексиса) и отделения недосыщенных водой гранитоидных расплавов (Clemens, 1990; Vielzeuf et al., 1990; Brown, 2006; Sawyer et al., 2011). Экспериментальные данные при давлениях 5-15 кбар (см. обзор в Weinberg, Hasalová, 2015) показывают, что кордиерит, гранат, орто- и клинопироксены, шпинель, силлиманит – характерные минералы гранулитов, появляются в ходе перитектических реакций дегидратационного (без участия внешнего флюида) плавления двуслюдяных и амфиболитовых ассоциаций на фоне прогрессивного метаморфизма при температурах $> 650-700^\circ C$. Уже при температурах $800-900^\circ C$ в ходе этого процесса генерируются значительные объемы гранитных расплавов (до 50 об. %), а нижняя кора становится более тугоплавкой и обедняется легкими РЗЭ.

Дегидратационное плавление высокоглиноземистых пород, таких как метapelиты или метаграувакки адекватно моделирует возникновение гранитоидных расплавов типа S. Однако дегидратационное плавление не всегда способно объяснить появление гранитоидных расплавов в таких субстратах, как тоналит-трондьмитовые гнейсы (ТТГ), являющиеся источниками гранитоидов типа I или A. В отличие от пелитовых пород, дегидратационное плавление ТТГ начинается лишь при температурах $> 800-850^\circ C$ в зависимости от состава. Для производства значительных объемов расплавов необходимо участие внешних водных или более сложных по составу (водно-углекисло-солевых) флюидов (напр. Safonov et al., 2014a). В мигматитовых комплексах, возникших как в ходе дегидратационного, так и флюидного плавления, гранитоидные расплавы термодинамически равновесны с окружающим гранулитовым реститом.

Тем не менее, модели гранулитов как реститов, оставшихся после удаления больших объемов гранитных расплавов, не всегда способны объяснить соотношения гранитоидов и гранулитов в мигматитовых комплексах. К таким проблемам можно отнести несоответствие составов мигматитовых гранитоидов и вмещающих гранулитов, геохронологические взаимоотношения (гранитоиды в мигматитовых комплексах могут быть заметно моложе, чем возраст пика метаморфизма и сопровождать ретроградную стадию), несоответствие соотношений гранитоидного и «реститового» гранулитового материала модельным представлениям. Поэтому в петрологической литературе все больше появляется работ, указывающим на значительную долю инъекционного гранитоидного материала в мигматитовых комплексах (Morfin et al., 2013; Safonov et al., 2014b). В этом случае необходимо говорить о внешнем влиянии гранитоидных расплавов, изначально термодинамически и динамически неравновесными с гранулитовым окружением. Влияние гранитоидных интрузий (инъекций) на эволюцию пород гранулитовых комплексов имеет несколько аспектов. Геодинамическое

влияние проявляется в активной циркуляции отдельных блоков гранулитов вокруг интрузий и эксгумации блоков гранулитов, захваченных магмами (Perchuk et al., 2008). При этом горячие (до 1000°C) гранитоидные магмы способны прогревать и ассимилировать блоки гранулитов (Huizenga et al., 2011; Safonov et al., 2014b). Так растворение метапелитов и метаграувак в гранитных расплавах приведет к формированию гранитов, содержащих магматический гранат, силлиманит, ортопироксен. Подобные гранатсодержащие гранитоиды занимают значительные территории в некоторых гранулитовых комплексах (напр. Лапландский комплекс; Mints et al., 2007). Высокие температуры, задаваемые магмами, могут также привести к возникновению локальных зон высокотемпературного (УНТ) метаморфизма и частичного плавления во вмещающих породах. Гранитоидные магмы несут огромный объем флюидов, содержащих H₂O, CO₂ и разнообразные солевые компоненты (напр. Huizenga et al., 2011). Ассимиляция гранитоидных расплавов материалом вмещающих пород влияет не только на состав расплавов, но и на характер флюидов, растворенных в них. Например, ассимиляция расплавами богатых сульфидами метаграувак вполне может привести к восстановлению CO₂ до графита с образованием графитсодержащих гранитов. Отделение флюидов в ходе остывания магм приведет к метасоматическим преобразованиям вмещающих гранулитов. Таковы, например, процессы высокотемпературной регидратации в комплексе Лимпопо (ЮАР) и процессы чарнокитизации вокруг гранитов Клозепет в Южной Индии. В отличие от «дегидратационных» комплексов, потерявших гранитный материал, инъекционные комплексы будут характеризоваться повышенными содержаниями теплогенерирующих элементов (U, Th, K), влияя на термальную структуру коры (Morfin et al., 2013).

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 14-17-00581) и РФФИ (грант 13-05-00353).

Литература

Brown M. Melt extraction from lower continental crust of orogens: the field evidence. In: Brown, M., Rushmer, T. (Eds.), *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*. Cambridge University Press, 2006, pp. 331–383.

Clemens J.D. The granulite–granite connection // In: Vielzeuf, D., Vidal, P. (Eds.), *Granulites and Crustal Evolution*. Kluwer Academic Publ, Dordrecht, 1990, pp. 25–36.

Fritz H., Tenczer V., Hausenberger C., Wallbrecher E., Muhongo S. Hot granulite nappes — Tectonic styles and thermal evolution of the Proterozoic granulite belts in East Africa // *Tectonophysics*, V. 477, pp. 160–173.

Huizenga J. M., Perchuk L. L., van Reenen D. D., Flattery Y., Varlamov D. A., Smit C. A., Gerya T. V. Granite emplacement and the retrograde PT-fluid evolution of Neoproterozoic granulites from the Central Zone of the Limpopo Complex // *Geological Society of America Memoirs*, 2011, V. 207, pp. 125–142.

Mints M.V., Kaulina T.V., Konilov A.N., Krotov A.V., Stupak V.M. The thermal and geodynamic evolution of the Lapland granulite belt: Implications for thermal structure of the lower crust during granulite-facies metamorphism. *Gondwana Research*, 2007, V. 12, pp. 252–267.

Morfin S., Sawyer E.W., Bandyayera D. Large volumes of anatectic melt retained in granulite facies migmatites: An injection complex in northern Quebec // *Lithos*, 2013, V. 168–169, pp. 200–218.

Perchuk L. L., Van Reenen D. D., Smit C. A., Boshoff R., Belyanin G. A., Yapaskurt V. O. Role of granite intrusions for the formation of ring structures in granulite complexes: Examples from the Limpopo belt, South Africa // *Petrology*, 2008, V. 16, pp. 652–678.

Rudnick R.L., Fountain D.M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspectives // *Reviews in Geophysics*, V. 33, 267–309.

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*, 2014a, V. 55, pp. 2419–2456.

Safonov O.G., Tatarinova D.S., van Reenen D.D., Golunova M.A., Yapaskurt V.O. Fluid-assisted interaction of peraluminous metapelites with trondhjemitic magma within the Petronella shear-zone, Limpopo Complex, South Africa // *Precambrian Research*, 2014, V. 253, pp. 114–145.

Sawyer E.W., Cesare B., Brown M. Then the continental crust melts // *Elements*, V. 7, pp. 229–234.

Weinberg R.F., Hasalová P. Water-fluxed melting of the continental crust: A review // *Lithos*, 2015, V. 212–215, pp. 158–188.

Van Reenen D.D., Smit C.A., Perchuk L.L., Roering C., Boshoff R. Thrust exhumation of the Neoproterozoic ultrahigh-temperature Southern Marginal Zone, Limpopo Complex: Convergence of decompression-cooling paths in the hanging wall and prograde P-T paths in the footwall // Geological Society of America Memoirs, 2011, V. 207, pp. 189-212.

Vielzeuf D., Clemens J.D., Pin C., Moinet E. Granites, granulites, and crustal differentiation // In: Vielzeuf, D., Vidal, P. (Eds.), Granulites and Crustal Evolution. Kluwer Academic Publ., 1990, Dordrecht, pp. 59–85.