

ЗОНАЛЬНОСТЬ ГРАНАТА, P - T - t ТРАЕКТОРИИ И КИНЕТИЧЕСКИЕ
МОДЕЛИ ПОРФИРОБЛАСТЕЗАГульбин Ю.Л. (gulbin@spmi.ru)

Санкт-Петербургское отделение. Горный университет

GARNET ZONING, P - T - t PATHS AND KINETIC MODELS OF
PORPHYROBLAST GROWTHGulbin Yu.L. (gulbin@spmi.ru)

Saint Petersburg branch. Mining University

В докладе рассматриваются результаты моделирования ростовой зональности в гранате из образца гранат-ставролит-биотитового сланца, отобранного в пределах нижнепротерозойской метаморфической толщи Северного Приладожья. Детальная характеристика образца давалась ранее (Гульбин, 2011). Он содержит идиоморфные порфиробласты граната размером от 0.5 до 4 мм, особенности зональности которых указывают на прогрессивную нуклеацию и достижение минеральной системой локального равновесия. Отправной точкой моделирования стала реконструкция термально-барической эволюции изучаемой породы в ходе метаморфизма. Расчеты выполнялись с помощью программы THERMOCALC (Powell et. al., 1998) на основе данных химического анализа образца и учитывали фракционирование химических элементов в процессе порфиробластеза. В качестве модельной использовалась система KMnFMASH. Итогом расчетов выступали P - T псевдосечения и графики изоплет минеральных мод и содержаний компонентов твердого раствора граната. С их помощью, а так же с учетом состава центральных и краевых зон порфиробластов: 1) оценивались температура и давление начала и конца кристаллизации граната, 2) для предполагаемой P - T траектории, при условии постоянства скорости нагрева пород рассчитывалась зависимость «продолжительность кристаллизации – равновесное содержание Mn в гранате». На базе этой зависимости путем задания кинетического уравнения роста кристаллических зародышей моделировались концентрационные профили Mn в гранате.

Показано, что данным микронзондового анализа разноразмерных кристаллов граната лучше всего удовлетворяют модельные профили, построенные в предположении, что скорость роста зародышей лимитировалась межзерновой диффузией и описывается уравнением $dr_i/dt = k_i/r_i$, где r_i – радиус i -го зародыша, t – время, k_i – кинетический коэффициент, величина которого уменьшается в ряду последовательных зарождений $i = 1, 2, \dots$. Форма профилей тесно связана с последовательностью фазовых реакций, сопровождающих порфиробластез. В центральных частях наиболее крупных порфиробластов она характеризуется осцилляциями, вызванными наличием у кристаллов симметричной каемки, в наибольшей

степени обогащенной Mn и окружающей внутреннее, также марганцовистое ядро. Возникновение подобной каемки ранее объяснялось релаксацией системы после неравновесной нуклеации (Meth, Carlson, 2005). В нашем случае ее появление обусловлено кристаллизацией первых по времени возникновения зародышей граната в поле устойчивости Grt–St–Bt–Chl–Ms парагенезиса на фоне быстрого разложения хлорита. Благодаря этому на ранних стадиях роста межзерновая среда обогащалась марганцем и кристаллизация сопровождалась увеличением содержаний Mn в краевых зонах зародышей.

С уменьшением размера порфиробластов плосковершинная форма профилей сменяется островершинной; одновременно ширина инверсионных каемок Mn, Mg и Fe, наблюдаемых на краях профилей, увеличивается от 10–20 до 80–100 мкм. Из-за этого некоторые профили становятся Ω - или V-образными, что свидетельствует о полной инверсии зональности. В докладе обсуждаются причины и механизмы формирования подобных каемок, в том числе с привлечением данных моделирования диффузионных профилей в гранате. В основу моделирования положено упрощенное описание внутрикристаллической диффузии, как бинарного процесса, протекающего в идеальном твердом растворе Fe–Mg граната, образующего сферический кристалл, краевая зона которого находится в равновесии с биотитом (Robl et al., 2007), при равномерном охлаждении породы от 600 до 500 °C с заданной скоростью (10 °C/Ma и 1 °C/Ma). Показано, что в первом случае ширина диффузионной каемки Mg не превышает 20 мкм, во втором – 50 мкм, что заметно меньше наблюдаемых значений. Полученный результат, с одной стороны накладывает ограничения на продолжительность ретроградных изменений, с другой – служит дополнительным аргументом в пользу предположения о ростовой природе инверсионных каемок. Из построенных псевдосечений и графиков изоплет следует, что гипотетически эти каемки могли образоваться в поле устойчивости Grt–Sill–Crd–Bt парагенезиса, предположительно, за счет Mn, который высвобождался в ходе разложения ставролита. Если эта реакция имела место, то должна была сопровождаться увеличением температуры и уменьшением давления.

По ряду причин сделанный вывод является условным. В частности, он не подтверждается показаниями гранат-биотитового геотермометра, свидетельствующими о понижении температуры при формировании инверсионных каемок, не учитывает возможную неравновесность парагенезисов и присутствие в их составе минеральных фаз, содержащих Ca и Ti (плагиоклаза, ильменита и др.). Предварительный характер имеет и модельная *P–T–t* траектория. Она представляет собой закрученный по часовой стрелке тренд метаморфической эволюции, демонстрирующий увеличение температуры и давления от 530 C и 3.1 кбар до пика давления (585 °C; 4.2 кбар), затем - продолжающийся на фоне декомпрессии нагрев до термального пика (605 °C; 3.8 кбар), продолжительностью около 1 Ma. Последняя оценка характеризует длительность порфиробластеза; отсюда, с учетом времени, затраченного на охлаждение породы (не более 10 Ma), продолжительность

метаморфического события, в ходе которого образовалась изученная порода, укладывается во временные рамки синорогенного (1870-1860 Ma) этапа развития территории (Геология..., 2000).

Геология и петрология свекофеннид Приладожья / Ш.К.Балтыбаев, В.А.Глебовицкий и др. Под ред. В.А. Глебовицкого. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 200 с.

Гульбин Ю.Л. Гранат-биотитовый геотермометр и оценка температур кристаллизации зональных гранатов метапелитов. I. Реконструкция термальной истории порфиробластеза // Записки РМО. 2011. Вып. 6. С. 1–19.

Meth C.E., Carlson W.D. Diffusion-controlled synkinematic growth of garnet from a heterogeneous precursor at Passo del Sole, Switzerland // *Canad. Miner.* 2005. V. 43. P. 157–182.

Powell R., Holland T.J.B., Worley B. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC // *J. Metamorph. Geol.* 1998. V. 16. P. 577–588.

Robl J., Hergarten S., Stüwe K., Hauzenberger C. THERMAL HISTORY: A new software to interpret diffusive zoning profiles in garnet // *Comput. Geosci.* 2007. V. 33. P. 760–722.