

Первые данные о характере распределения и составе включений в кварце и цирконе лейкогранитов Баянкольского массива (Западный Сангилен, ЮВ Тува)

Шемелина О.В.^{1,2}, Владимиров В.Г.^{1,2}, Кармышева И.В.^{1,2}, Здрокова М.С.¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, Новосибирск, shem@igm.nsc.ru

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Аннотация. Становление Баянкольского массива, связанного с эволюцией Эрзинской тектонической зоны, происходило на нижних-средних уровнях земной коры в обстановках позднеколлизионной реактивации тектонической зоны. Дискуссионный вопрос уточнения условий выплавления (сегрегации) достаточно большого объема лейкосомы в гранитоидном массиве предложено рассмотреть с позиции микроструктурного анализа и изучения флюидных и расплавных включений. Рассмотрены включения преимущественно в кварце, где они представлены многочисленными мелкими одно- и двухфазными образованиями размерностью 0.1–0.5 мкм. Часть включений заполняют линейные дислокации в форме шнуровидных распределений, другая часть формируется по контуру мелких зерен плагиоклаза на начальном этапе плавления породы. В составе включений фиксируются водная и газовая фазы с содержанием CO₂ и возможным присутствием SO₄²⁻ и PO₄³⁻. В некоторых цирконах также отмечены включения в центральной зоне, в которых определяются нехарактерные для циркона спектры, в том числе указывающие на наличие ОН-групп. Характер распределения флюидных включений в кварце указывает на процессы релаксации напряжений в породе, а также на начальную стадию процесса частичного плавления. Процессы плавления и консолидации лейкогранитного расплава происходили при этом достаточно быстро.

Ключевые слова: флюидные включения, расплавные включения, лейкограниты, тектонические деформации, рамановская спектроскопия.

First data on the nature of distribution and composition of inclusions in quartz and zircon of leucogranite in the Bayankol massif (Western Sangilen, South Tuva)

Shemelina O.V.^{1,2}, Vladimirov V.G.^{1,2}, Karmysheva I.V.^{1,2}, Zdrokova M.S.¹

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, shem@igm.nsc.ru

² Novosibirsk State University, Novosibirsk

Abstract. The formation of the Bayankol massif associated with the evolution of the Erzin shear zone took place at the lower-middle part of the Earth's crust in the conditions of late collision reactivation of the tectonic zone. The debated issue of clarifying the conditions of melting (segregation) of a sufficiently large volume of leucosomes in a granitoid massif is proposed to be considered from the viewpoint of microstructural analysis and the study of fluid and melt inclusions. Inclusions are considered mainly in quartz, where they are represented by numerous small one- and two-phase formations with a dimension of 0.1–0.5 microns. Some of the inclusions are filled with linear dislocations in the form of cord-like distributions, the other part is formed along the contour of small grains of plagioclase at the initial stage of melting of the rock. The inclusions contain water and gas phases with a CO₂ content and the possible presence of SO₄²⁻ and PO₄³⁻. Some zircons also show inclusions in their central parts. Untypical spectra are determined there, including those indicating the presence of OH groups. The nature of the distribution of fluid inclusions in quartz indicates stress relaxation processes in the rock, as well as the initial stage of the partial melting process. The processes of melting and consolidation of the leucogranite melt occurred at the same time quite quickly.

Keywords: fluid inclusions, leucogranite, tectonic deformation, Raman spectroscopy.

Введение

Баянкольский массив расположен в пределах Западно-Сангиленского фрагмента коллизионного орогена на окраине Тувино-Монгольского микроконтинента. Это сложно построенный плутон, включающий в себя интрузивные тела различного состава — от габбро-монцодиоритов до гранодиоритов и лейкогранитов. Становление массива происходило на нижних-средних уровнях зем-

ной коры ($T = 790^\circ\text{C}$, $P = 5.4$ кбар) в обстановках позднеколлизийной реактивации Эрзинской сдвиговой зоны на рубеже 495 млн. лет (Владимиров и др., 2017). Баянкольский массив достаточно хорошо изучен, однако до сих пор остаются дискуссионными вопросы о протолите, тепловых источниках, степени плавления разных по составу гранитов, объединенных в единый небольшой (30 км^2) массив, и о роли тектонических деформаций при образовании гранитов.

Объектом исследования данной работы являются лейкограниты, занимающие апикальную часть массива и представляющие автохтонные жильные тела мощностью до 300 метров во вмещающих гранат-кордиерит-силлиманитовых мигматитах. На контакте с лейкогранитами отсутствуют явные следы термального прогрева или срезания метаморфических структур. В шлифах отмечаются реликтовые структуры мигматитов (кордиерит-шпинелевые реститы), которые характеризуются обломочным, угловатым обликом со следами частичного плавления и сетью трещин. Залегание жил лейкогранитов совпадает с направлением минеральной линейности в мигматитах. В данной работе особое внимание уделялось флюидным и расплавленным включениям в кварце и аксессуарных минералах лейкогранитов и микроструктурному анализу деформаций лейкогранитов.

Материалы и методы

Проанализированы морфология и состав газовой-жидких (флюидных) и расплавленных включений в структурно-ориентированных пластинках лейкогранитов. Пластинки пород, распилены перпендикулярно плоскостям скалывания и параллельно минеральной линейности растяжения породы. Изучение включений проводилось на приборной базе ИГМ СО РАН (Новосибирск) при помощи микроскопа Zeiss AxioScore A1 при увеличениях от 50х до 100х, КР-спектроскопия отдельных включений с помощью спектрометра Horiba Scientific LabRam HR 800 system. В качестве источника возбуждения использовался твердотельный лазер с длиной волны 532 нм. Спектры измерены со спектральным разрешением 2.5 см^{-1} при щели 200 мкм. Спектры записывались в диапазоне от 50 до 3800 см^{-1} , время накопления составило от 7 сек для твердых включений до 15 сек для газовых, число накоплений 6-8.

Результаты и обсуждение

В структурно-ориентированных пластинках лейкограниты характеризуются массивной текстурой со слабовыраженной субгоризонтальной минеральной директивностью, которая фиксируется по лейстам биотита. На микроуровне, как правило, определяются два, иногда три доминирующих направления плоскостей скалывания. Существенная часть кварцевых зерен характеризуется внутрикристаллическими деформациями, выраженными линейными дислокациями, «волнистым» погасанием, движением границ и искажением форм зерен.

Кварцевые зерна с включениями расположены равномерно относительно текстуры породы. Флюидные включения представлены многочисленными мелкими одно- и двухфазными образованиями. Размеры включений редко достигают 0.5–1 мкм, чаще всего до 0.1 мкм (рис. 1 а). Положение флюидных включений в породе не случайно. Они трассируют и заполняют линейные дислокации в форме шнуровидных распределений (рис. 1 б). Также включения приурочены к зонам растяжения и областям пониженного давления на границах зерен кварца и полевых шпатов, претерпевших вращение при релаксации напряжений в породе.

Обращают на себя внимание газовой-жидкие включения, образующие криволинейные, иногда винтовые, нередко замкнутые контуры (рис. 1 в). Они характеризуются очертаниями с выраженными кристаллографическими формами пинакоидов и призм (?), характерных для кристаллов плагиоклаза, однако по петрографическим наблюдениям эти агрегаты сложены кварцем. Формирование подобных образований возможно на начальных степенях плавления породы, когда мелкие зерна плагиоклаза (до 5–10 мкм) переходят в расплав с одновременным образованием эвтектического кварца на его месте. Окружающий жесткий каркас минералов позволяет сохранить прежнюю форму кристалла. Флюидные включения, насыщающие новообразованный расплав, распределяются на краях зерен за счет сил поверхностного натяжения на границе жидкой и твердой сред. Следует отметить, что в кварце, оконтуренном флюидными включениями, не наблюдается зон скалыва-

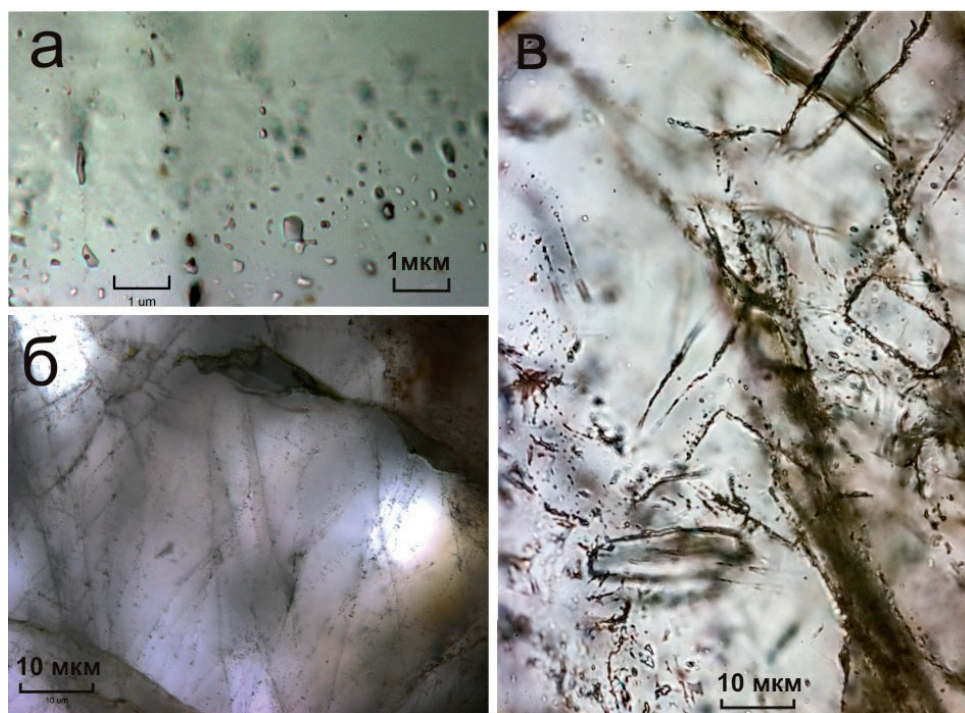


Рис. 1. Положение газово-флюидных включений в кварце лейкогранитов Баянкольского массива. а) типичная размерность включений (увел. 100 х), б) включения, выполняющие трещины (увел. 20 х), в) флюидные включения по контуру ранее образованных минералов (увел. 20 х).

Fig. 1. Position of fluid inclusions in quartz of leucogranites of the Bayankol massif. a) typical dimension of inclusions (magn. 100 x), b) inclusions along cracks (magn. 20x), c) fluid inclusions along the contour of previously formed minerals (magn. 20x).

ния со шнуровидными включениями и «облачного» погасания зерен, что указывает на кристаллизацию агрегатов кварца в отсутствии стрессового давления, то есть подтверждает предположение о частичном плавлении породы.

В шлифах зачастую отмечают более поздние хрупкие трещины, осложняющие внутрикристаллические деформации, но в этих случаях флюидные включения в породе не отмечают.

Размерность включений не позволяет применить термо- и криометрические подходы к их изучению. В наиболее крупных включениях сделана попытка проанализировать фазовый состав методом рамановской спектроскопии. В газовой фазе преимущественно обнаруживаются ОН-группа (пик на 3420 см^{-1}) и водяной пар (пики на 3645 и 3760 см^{-1}). В некоторых включениях определяется присутствие CO_2 (два характерных пика на 1280 и 1387 см^{-1}), а также возможно присутствие SO_4^{2-} (1160 см^{-1}) и PO_4^{3-} (1230 см^{-1}) (Frezzotti et al., 2012) (рис. 2). Часть значений пиков в спектре не удалось сопоставить с общедоступными базами данных. Это пики на 2250 (2252) и 2548 (2550 см^{-1}).

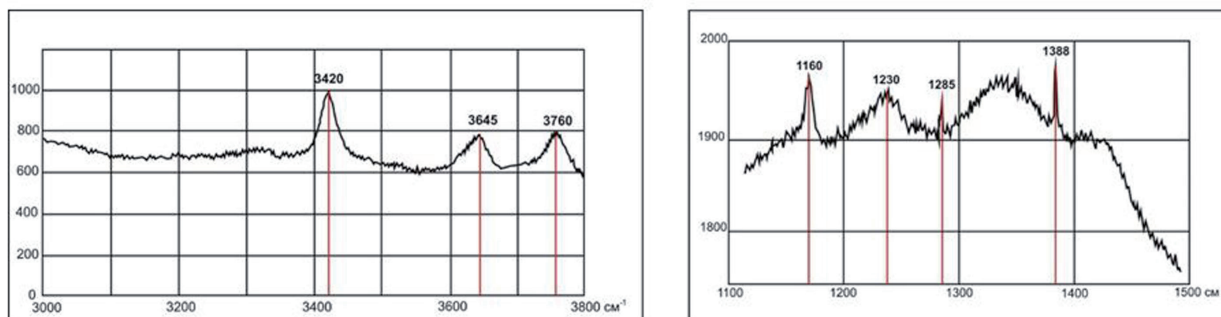


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния в газово-жидких включениях.

Fig. 2. Raman scattering spectra in gas-fluid inclusions.

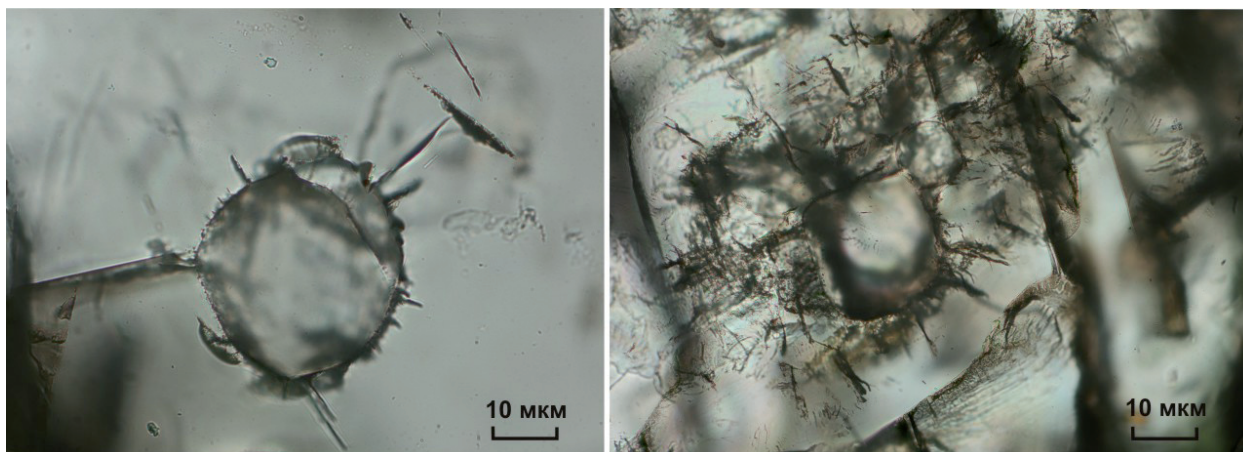


Рис. 3. Расплавные включения в кварце лейкогранитов Баянкольского массива (увел. 50 х).

Fig. 3. Melt inclusions in quartz of leucogranites of the Bayankol massif (magn. 50 x).

Также интересно отметить присутствие силлиманита в породе. Это небольшие до 8-10 мкм в длину зерна силлиманита, встречающиеся в породе в незначительных количествах. Чаще всего они приурочены к границам зерен биотита и кварца. Минерал определяется оптически и верифицирован рамановской спектроскопией.

Помимо кварца предпринята попытка рассмотреть включения в цирконе. Зерна циркона удлиненные и имеют размеры от 2–3 до 5–7 мкм. Методом рамановской спектроскопии в центральной зоне зерен определяются кроме спектра циркона нехарактерные для него дополнительные пики на 400, 509, 820, 1182, 1277 см^{-1} , а также вибрации, характерные для ОН⁻ группы (Frezzotti et al., 2012; <http://www.geologie-lyon.fr/Raman/index.php>).

Расплавные включения в кварце имеют большие размеры, чем флюидные и отличаются наличием растрескивания минерала-хозяина вокруг включений (рис. 3). Трещины являются результатом сжатия кварца в момент перехода в процессе остывания при температуре 573 °С его высокотемпературной β -формы в низкотемпературную α -форму (Реддер, 1987). Включения представлены стеклом силикатного состава.

Характерно, что в зернах кварца с расплавными включениями не встречаются трещины, трассирующие газово-жидкими включениями.

Заключение

Проведенные исследования характера пространственного распределения и морфологии газово-жидких включений в деформированном кварце лейкогранитов Баянкольского массива позволили выделить две группы. Положение первой группы включений со шнуровидным и линейным распределением контролировалось процессами релаксации напряжений в породе. Вторая группа, маркирующая контуры реликтовых минералов, характеризует начальную стадию процесса частичного плавления. Таким образом, флюидные включения отвечают синтетектоническому характеру нижнекорового плавления, отражая процесс приноса тепла с началом эвтектического плавления наиболее мелких агрегатов и одновременное образование трещин скалывания и зон пониженного давления. Процессы плавления и консолидации лейкогранитного расплава происходили относительно достаточно быстро, что не позволило объединиться мелким флюидным включениям. Расплавные включения в агрегатах кварца с отсутствием деформаций отвечают этапу становления лейкогранитного расплава уже в условиях отсутствия стрессовых напряжений.

Наличие ксеногенных агрегатов кордиерита и граната в лейкогранитах, а также наблюдаемые микроагрегаты силлиманита позволяют утверждать, что протолитом для образования расплава являлись вмещающие мигматиты. Поскольку тела лейкогранитов представляют собой жильные образования с признаками деформаций, то их образование связано с синкинематическим плавлением вмещающих пород на позднеколлизийной стадии эволюции региона.

Исследования выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН.

Литература

1. Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А., Травин А.В., Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н. Термохронология минглинг-даек Западного Сангилен (ЮВ Тува): свидетельства развала коллизийной системы на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. V. 8. I.2. P. 283–310.
2. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2-х т. Изд-во: Мир. 1987. 560 с.
3. Frezzotti ML, Tesce F, Casagli A. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *Journal of Geochemical Exploration*. V. 112. 2012. P. 1–20. DOI:10.1016/j.gexplo.2011.09.009.
4. Handbook of Raman Spectra for geology <http://www.geologie-lyon.fr/Raman/index.php>.