

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ МЕТАИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАК ИНДИКАТОРЫ РТ РЕЖИМА МЕТАМОРФИЗМА (ЗАПАДНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)

Одной из важнейших задач изучения метаморфизма является оценка режима температуры (T), давления (P) и выявление эволюционных трендов. Использование для этой цели флюидных включений в минералах позволяет провести такие оценки практически для всех пород, в которых удастся обнаружить включения, соответствующие изучаемому процессу [1, 9]. По сравнению с твердофазным методом РТ оценок на основе реакций обменного и смещенного равновесия сосуществующих минералов данная методика имеет ряд преимуществ. В первую очередь, это обусловлено широкой распространенностью флюидных включений, что делает возможным использование методики практически вне зависимости от состава пород и степени их ретроградных изменений. Основная сложность при реставрации эволюционных трендов заключается, по видимому, в соотношении выявленных РТ характеристик с конкретной стадией эндогенного развития. С этой точки зрения наибольший интерес представляет исследование РТ режимов с использованием объектов, отражающих определенную временную последовательность проявления эндогенных событий. В качестве таких объектов в данной работе выбраны интрузивные комплексы, становление которых происходило на разных временных уровнях на всем протяжении метаморфических процессов. Рассмотрим применимость указанной методики для оценки РТ параметров метаморфизма интрузивных комплексов в пределах гнейсо-гранулитовой части приладожского метаморфического комплекса.

Краткий очерк геологии района

Приладожский зонально-метаморфический комплекс находится на юго-востоке Раахе-Ладожской зоны, расположенной в южной части Балтийского щита. Его исследованию посвящен ряд работ [2, 5, 6 и др.]. В пределах изучаемой площади основную часть разреза составляют флишеидные толщи раннепротерозойского возраста, относимые к ладожской серии [4]. Зональность метаморфизма ладожской серии проявлена в смене минеральных фаций метаморфизма с севера-востока на юго-запад от фации зеленых сланцев до гранулитовой [6 и др.]. С использованием петрогенетической сетки и с учетом валового химического состава сосуществующих минера-

лов условия кульминации метаморфизма для гранулитовой части ореола оценивались в $T = 780\text{--}800^\circ\text{C}$ и $P = 5\text{--}6$ кбар [5, 6]. Предполагалось, что эволюция РТ на регрессивной ветви метаморфизма параметров идет по пути изотермической декомпрессии [5]. К сожалению, пока отсутствуют надежные оценки РТ тренда метаморфизма, основанные на современной аналитической базе.

По современным представлениям, в гнейсо-гранулитовой части Приладожья выделяются пять разновозрастных интрузивных комплексов: 1) куркиекский норит-эндербитовый; 2) лауватсарско-импиниеский диорит-тоналитовый; 3) лавиярвинский дайковый; 4) пелтолский трондьемит-гранитный; 5) тервуский гранитный [11]. Первые два комплекса относятся к раннескладчатым интрузиям I формационного типа, по Г.М.Саранчиной [8]. Более поздние комплексы, за исключением дайкового, соответствуют гранитоидам II формационного типа, формирование которых происходит на позднекинematicкой стадии.

Практически все интрузивные породы в той или иной степени метаморфизованы, имеют гранобластовые структуры, местами сильно рассланцованы. Породы куркиекского комплекса тесно ассоциируют с выходами гранулитов, что позволяет говорить об их изофаціальности с гранулитовым метаморфизмом. Породы лауватсарско-импиниеского комплекса, по данным А.Б.Котова и др. [3], имеют более молодой возраст по сравнению с эндербитоидами куркиекского комплекса, становление их происходит в условиях амфиболитовой фации. Новые данные по биминеральной термометрии (И.В.Козырева, устное сообщение) позволяют определить приближительные температурные диапазоны метаморфизма пород, вмещающих названные интрузивные комплексы. На основе гранат-кордиеритовых, гранат-биотитовых термометров температуры метаморфизма пород куркиекского комплекса оцениваются в $800\text{--}850^\circ\text{C}$, лауватсарско-импиниеского — $650\text{--}780^\circ$. Более поздние комплексы метаморфизованы при температурах порядка $500\text{--}660^\circ\text{C}$.

Методика исследования

Флюидные включения изучались под микроскопом в прозрачно-полированных пластинках толщиной $0,2\text{--}0,3$ мм с использованием термо- и криокамеры. Для каждого интрузивного комплекса, за исключением лавиярвинского дайкового комплекса, исследовались по 3–5 пластинок по стандартной методике [7]. Плотность углекислотных включений определялась по данным П.Брауна [12]. При оценке давления использовались РVT свойства CO_2 по данным К.И.Шмуловича [10] и П.Брауна [12].

Флюидные включения изучались в пределах кварцевых зерен и реже в полевых шпатах (табл.). Всего обнаружено 7 типов флюидных включений: 1) H_2O ; 2) $\text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$; 3) $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} (+\text{KCl})$; 4) CO_2 ; 5) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$; 6) $\text{CH}_4 + \text{N}_2$; 7) $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$. Преимущественно развиты включения чисто водные и чисто углекислотные, распространенность других типов включений весьма ограничена и в изученных комплексах примерно одинаковая. Размеры большинства включений лежат в пределах $5\text{--}15$ мк, редко достигая $15\text{--}25$ мк. Форма нахождения включений самая разнообразная: единичные включения, кластерные, планарные. Локализованы генерации включений чаще внутри зерен, реже они секут межзерновые границы. Почти всегда в пределах пластинки удается выделить несколько разновозрастных генераций включений одного состава по их взаимным пересечениям и особенностям внутри- и межзерновой локализации. Как правило, внутри одной генерации включений (H_2O или CO_2) наблюдается незначительный разброс значений температур частичной (T_{hom}) и полной (T_{h}) гомогенизации. Несмотря на общее сходство составов включений в разных комплексах, следует отметить одно существенное различие: породы куркиекского и лауватсарско-импиниеского комплексов содержат водные включения, минерализованные солями CaCl_2 , что не характерно для более молодых комплексов, в которых преимущественно развита минерализация солями NaCl , иногда с примесью KCl . Кроме того, особенностью ранних интрузий (куркиекского комплекса и ранних фаз лауватсарско-импиниеского комплекса) является низкое содержание оптически видимых флюидных включений по сравнению с более поздними комплексами.

Мелкие размеры, морфология, характер распределения, локализация включений в бластированных зернах свидетельствуют о преимущественно метаморфогенной природе большинства из них. Наблюдаемая в некоторых комплексах специфичность составов включений (например, минерализация солями CaCl_2 в ранних интрузиях) может быть обусловлена первично-магматической природой этих включений, не исключено, что они впоследствии были переуравновешены. Необходимо отметить, что в метаморфических породах не встречено включений подобного состава.

Для барометрии использовались данные по чистым углекислотным включениям, которые благодаря пологому положению изохор в РVT пространстве являются наиболее благоприятными для подобного применения. На гистограммах (рис. 1) приведены температу-

Сводная характеристика данных микротермометрического изучения флюидных включений в метантрузивных породах, °С

Тип включения	T_h (n)	T_{mi} (n)	T_e	Вес. % в NaCl эвт	T_{mc}	T_{hom} (n)
H ₂ O	90–340 (139)	0/–0,5 (216)				
H ₂ O+NaCl (КС1)	250–370 (15)	–1/–5,5 (166)	–21,2 –22,9	1,7–8,6		
H ₂ O+CaCl ₂	280–340 (16)	–1,5/–4 (16)	–48,9			
H ₂ O+CO ₂	250–300 (8)	0/–1 (8)		0–1,5	–56,5/–57,6	10/26 (7)
CO ₂					–56,4–56,9	–12/28 (303)
CO ₂ +CH ₄ +N ₂					–57/–63	–13/6 (36)
CH ₄ +N ₂	–163/–98 (18)					

Примечание. Температура: T_h – общей гомогенизации включения, T_{mi} – плавления льда, T_e – эвтектическая, T_{mc} – плавления углекислоты, T_{hom} – гомогенизации углекислоты; (n) – количество наблюдений.

ры гомогенизации (T_{hom}) углекислотных включений в четырех изученных комплексах. Включения с наименьшими T_{hom} (соответственно с наибольшей плотностью) рассматриваются как наиболее ранние. Изучение соотношений между разными генерациями включений в пределах зерен минералов подтверждает правильность такого допущения. На рис. 2 (а) приведены изохоры для наиболее плотных (в пределах комплекса) включений CO₂, а также изохоры для наиболее ранних водных включений (пунктирные линии). По пересечению изохор включений H₂O и CO₂, при допущении их одновременного захвата, можно оценить P и T во время образования этих включений. Для пород лауватсарско-импиниеского комплекса P и T соответственно равны 4,7 кбар и 780°С, для пород пелтольского комплекса – 4,5 кбар и 600°С. В двух других комплексах отсутствуют надежные данные для проведения подобных оценок методом пересечения изохор.

С учетом ранее указанных ограничений на температурные интервалы метаморфизма изученных интрузивных комплексов, существует возможность определить по PVT диаграмме максимальное флюидное давление при метаморфической перекристаллизации интрузивных пород. Следует отметить, что для полученных изохор погрешности в определении температуры захвата включения незна-

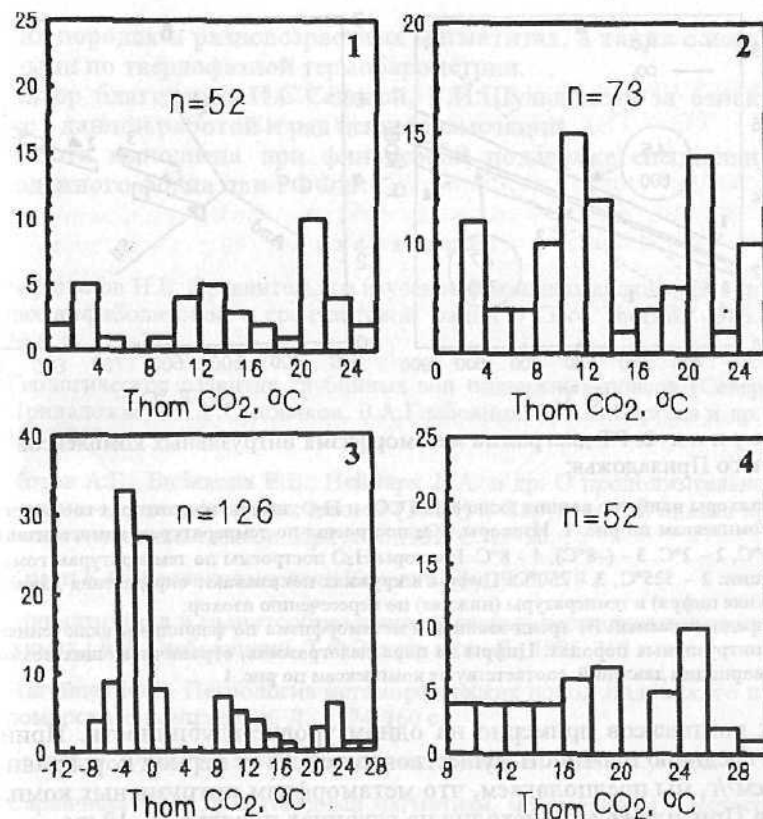


Рисунок 1. Гистограммы распределения температур гомогенизации углекислотных включений:

1 – куркиекский комплекс, 2 – лауватсарско-импиниеский комплекс, 3 – пелтольский комплекс, 4 – тервуский комплекс; n – число наблюдений

чительно влияют на оценку давления (в среднем ошибка в 100°С приведет к погрешности по давлению в 0,5 кбар). На рис. 2 (б) показаны оцененные таким способом возможные вариации давления при метаморфизме интрузивных комплексов.

На основании полученных данных определены следующие диапазоны давления при метаморфизме интрузивных комплексов Приладожья: куркиекский комплекс – 4,7–5,1, лауватсарско-импиниеский – 4,5–5, пелтольский – 4–5, тервуский – 3,1–4 кбар. Такие оценки свидетельствуют о формировании разновозрастных интрузив-

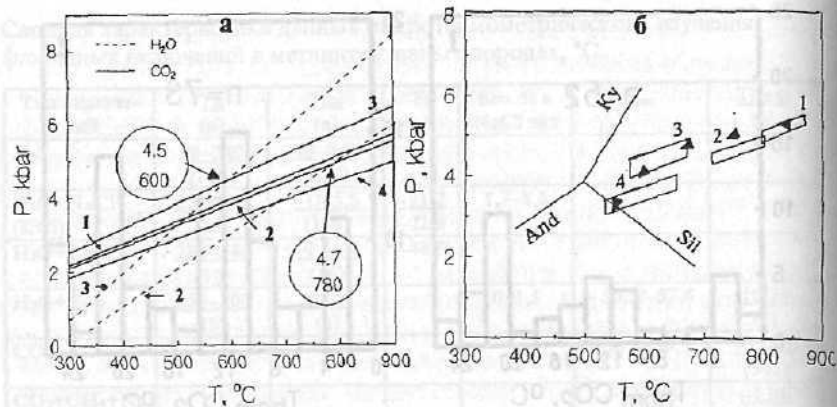


Рисунок 2. РТ диаграмма метаморфизма интрузивных комплексов Западного Приладожья:

а – изохоры наиболее ранних включений CO_2 и H_2O ; цифры на изохорах соответствуют комплексам по рис. 1. Изохоры CO_2 построены по температурам гомогенизации: 1 – 0°C , 2 – 2°C , 3 – (-8°C) , 4 – 8°C . Изохоры H_2O построены по температурам гомогенизации: 2 – 325°C , 3 – 260°C . Цифры в кружках показывают определения давления (верхняя цифра) и температуры (нижняя) по пересечению изохор;

б – предполагаемый РТ тренд эволюции метаморфизма по флюидным включениям в метантрузивных породах. Цифры на параллелограммах, ограничивающих возможные вариации давлений, соответствуют комплексам по рис. 1

ных комплексов примерно на одном уровне глубинности. Принимаемая средняя плотность существовавшей в тот период коры равной $2,7 \text{ см}^3/\text{г}$, мы предполагаем, что метаморфизм интрузивных комплексов Приладожья происходил на глубинах порядка 16–19 км.

Судя по полученным данным, в гнейсо-гранулитовой части Приладожья метаморфизм разновозрастных интрузивных комплексов происходил без существенного изменения режима давления на начальных стадиях регрессивного тренда, что характеризует тренд изобарического остывания. На заключительных стадиях метаморфизма регрессивному тренду свойственно сопряженное снижение температуры и давления.

Таким образом, эволюция РТ параметров в гранулитовой части Приладожья с момента кульминации метаморфизма характеризуется трендом изобарического остывания на начальной стадии регрессии с переходом к тренду сопряженного снижения температуры и давления на конечных его стадиях. Эти выводы хорошо согласуются с результатами изучения флюидных включений в метаморфи-

ческих породах и разновозрастных мигматитах, а также с новыми данными по твердофазной термобарометрии.

Автор благодарен И.С.Седовой, В.И.Шульдинеру за ознакомление с данной работой и ряд ценных замечаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке специального молодежного фонда при РФФИ.

Литература

1. Бердников Н.В. Сравнительное изучение флюидных включений в породах амфиболитовой и гранулитовой фаций // Geol. zbornik. 1986. 37, № 6. С. 719–727.
2. Геологическое развитие глубинных зон подвижных поясов (Северное Приладожье) / Н.Г.Судовиков, В.А.Глебовицкий, А.С.Сергеев и др. Л., 1970. 227 с.
3. Котов А.Б., Бибилова Е.В., Неймарк Л.А. и др. О продолжительности тектоно-метаморфических циклов (ТМЦ) // Структурный анализ кристаллических комплексов. Иркутск, 1992. С. 19–20.
4. Кратц К.О. Геология карелид Карелии. Л., 1963. 210 с.
5. Мигматизация и гранитообразование в разных термодинамических режимах / В.А.Глебовицкий, Т.Ф.Зингер и др. Л., 1985. 310 с.
6. Нагайцев Ю.В. Петрология метаморфических пород Ладожского и Беломорского комплексов. Л., 1974. 160 с.
7. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М., 1987. Т. 1. 557 с.
8. Саранчина Г.М. Гранитоидный магматизм, метаморфизм и метасоматоз докембрия (на примере Приладожья и других областей). Л., 1972. 128 с.
9. Томиленко А.А., Чупин В.П. Термобарогеохимия метаморфических комплексов. Новосибирск, 1983. 201 с.
10. Шмулович К.И. Двуокись углерода в высокотемпературных процессах минералообразования. М., 1988. 182 с.
11. Шульдинер В.И., Козырева И.В., Балтыбаев Ш.К. Возрастное и формационное расчленение раннедокембрийских образований Северо-Западного Приладожья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1996. Т. 4, № 3. С. 11–22.
12. Brawn P.E. FLINCOR: A fluid inclusion data reduction and exploration program Second Biennial Pan-American Conf. on Research on Fluid Inclusions Prog. with Abstr., 14. 1989.