

## Монацит — геотермометр Монтеля

Денисова Ю.В.

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, yulden777@yandex.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты использования монацита в качестве геотермометра по методу Дж. М. Монтеля. На основе термометрии насыщения по монациту были рассчитаны температуры образования гранитов Николайшорского массива (Приполярный Урал), которые согласно представленным результатам находятся в диапазоне от 708 °С до 784 °С и в среднем составляет 738 °С. Полученные данные были сопоставлены с температурами, выявленными ранее для циркона (метод Дж.- П. Пюпена и Е.Б. Ватсона) и апатита (метод Е.Б. Ватсона).

**Ключевые слова:** монацит, гранит, Николайшорский массив, Приполярный Урал, геотермометр, Дж. М. Монтел.

## Monazite as a Montel geothermometer

Denisova Yu.V.

*Institute of geology of Komi SC UB Ras, Syktyvkar, yulden777@yandex.ru*

**Abstract.** The paper presents the results of using monazite as a geothermometer by the J. M. Montel method. On the basis of monazite saturation thermometry, the temperatures of granite formation in the Nikolayshor massif (the Subpolar Urals) were calculated, which are in the range from 708 °C to 784 °C and averages 738 °C according to the presented results. The obtained data were compared to the temperatures previously identified for zircon (J.- P. Pupin and E.B. Watson method) and apatite (E.B. Watson method).

**Key words:** monazite, granite, Nikolaishor massif, Subpolar Urals, geothermometer, J. M. Montel.

### Введение

В настоящее время все чаще используют акцессорные минералы в качестве природных геотермометров. Большинство работ по термометрии связано с цирконом, что объясняется разнообразием существующих методик: классическая эволюционно- кристалломорфологический анализ (Pupin et al., 1980), термометрия насыщения (Watson et al., 1983), термометр Ti-in-zircon (Watson et al., 2006). Однако, если термометрия насыщения Е.Б. Ватсона позволяет определять температурные режимы формирования различных пород, методика Дж.М. Монтеля (Montel, 1993), основанная так же на изучении породного уровня организации вещества, дает такую информацию только для гранитов.

Целью работы является определение температуры формирования гранитов Николайшорского массива с использованием термометрии насыщения Дж.М. Монтеля.

В юго-восточной части Приполярного Урала в бассейнах рр. Николай-Шор и Иг-Шор отмечается группа мелких изолированных тел гранитоидов, прорывающих гнейсы няртинского метаморфического комплекса раннепротерозойского возраста. Наиболее крупное из этих тел, длина которого составляет 4 км при средней ширине 1.5 км, получило название Николайшорского массива (рис. 1). Породы рассматриваемого массива, согласно А.М. Пыстину (Пыстин и др., 2008), определяются как плагиогранито- гнейсы и гранито- гнейсы. Причем гранито- гнейсы развиваются преимущественно за счет плагиогранито- гнейсов и пространственно тесно связаны с ними. По классификации Б. Чаппела (Charpeil, 1974) Николайшорский массив относится к S - типу.

Монацит в изученных гранитах встречается преимущественно в виде полупрозрачных округлых желтых и темно-желтых зерен, размер которых составляет 0.10-0.20 мм. Наиболее часто этот минерал отмечается в виде включений в биотите.

Методика Дж.М. Монтеля, позволяет рассчитать температуру кристаллизации монацита, представляющего собой фосфат лантаноидов, и монацитсодержащей породы на основе экспериментально установленной зависимости между содержаниями LREE, основных элементов и H<sub>2</sub>O в расплаве и температурой:



ту - 650-900 °С, эволюционного кристалломорфологического анализа Дж.- П. Пюпена - 634-877 °С (Денисова, 2016, 2018).

Таблица 1. Химический состав гранитов Николайшорского массива.

Table 1. Chemical composition of the Nikolaishor massif granites.

Номер пробы	Н-1	Н-2	Н-4	Н-5	Н-7
Основной компонент, масс. %					
SiO <sub>2</sub>	74.20	75.50	76.11	76.14	75.76
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.16	0.05	0.10	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.53	13.72	13.67	12.57	13.14
FeO	0.61	0.72	1.01	0.89	0.97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	1.21	0.48	0.42	0.75
MnO	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02
MgO	0.05	0.30	0.35	0.18	0.42
CaO	2.01	1.55	0.46	1.22	0.59
Na <sub>2</sub> O	4.28	3.84	3.11	3.28	3.33
K <sub>2</sub> O	2.53	3.53	4.89	4.31	5.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02
ппп	0.74	0.32	0.23	1.08	0.62
Σ	99.80	100.87	100.39	100.25	100.86
Редкие элементы, г/т					
La	18.91	15.30	16.70	24.12	14.48
Ce	28.21	22.97	33.57	43.15	21.59
Pr	3.34	2.68	3.87	4.48	2.11
Nd	9.35	7.42	11.9	14.59	6.15
Sm	2.25	1.84	4.79	6.69	3.59
Eu	0.41	0.33	0.41	0.52	0.29
Gd	2.19	1.91	2.85	3.38	1.85
Tb	0.39	0.32	0.49	0.59	0.28
Dy	2.42	1.92	2.88	3.68	1.73
Ho	0.53	0.39	0.63	0.77	0.35
Er	1.54	1.14	1.64	1.92	1.05
Tm	0.23	0.17	0.28	0.35	0.15
Yb	1.01	0.83	1.29	1.65	0.87
Lu	0.20	0.15	0.28	0.33	0.17
Температура, °С					
T <sup>С</sup>	718	720	755	785	708

Примечание. Химический состав гранитов получен с помощью силикатного метода в ЦКП «Наука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, аналитик О.В. Кокшарова). Содержания редких элементов получены с помощью ICP-MS метода в Институте геологии и геохимии (Екатеринбург, аналитик Ю.Л. Ронкин).

Исследования проведены в рамках НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН ГР № АААА-А17-117121270035-0 и при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 18-5-5-19.

#### Литература

1. Денисова Ю.В. Термометрия циркона из гранитоидов Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. № 11. 2016. С. 11–22.
2. Денисова Ю.В. Апатит Николайшорского гранитного массива (Приполярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. № 9. 2018. С. 24–29.

3. Водолазская В.П., Котов К.Н., Шергина Ю.П. О возрасте и генезисе гранитоидов Приполярного Урала // Гранитоидные вулcano- плутонические ассоциации: петрология, геодинамика, металлогения. Сыктывкар. Геопринт. 1997. С. 34–36.
4. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско- раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 11. С. 25–38.
5. Фишман М.В., Юшкин Н.П., Голдин Б.А., Калинин Е.П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана. М.- Л.: Наука. 1968. 252 с.
6. Chappell B.W., Whitte A- J. R. Two contrasting granite types // Pacif. Geol. 1974. V. 8. P. 173–174.
7. Montel J.M. A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas // Chem. Geol. V. 110. 1993. P. 127–146.
8. Pupin J.- P. Zircon and granite petrology // Contrib. Miner. Petrol. V. 73. 1980. P. 207–220.
9. Watson E.B., Harrison T.M. Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types // Earth and Planetary Science Letters. V. 64. 1983. P. 295–304.
10. Watson E.B., Wark D. A., and Thomas J.B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contributions to Mineralogy and Petrology. V. 151. 2006. P. 413–433.