

Датирование процессов метаморфизма с использованием акцессорных и породообразующих минералов: геолого-петрологический контроль результатов

Прецизионное определение времени регионального метаморфизма является весьма сложной задачей. Если для определения возраста породы используются акцессорные минералы, то неизбежно возникает проблема соотнесения возраста последних с возрастом породообразующих минералов. Еще более усложняется указанная задача при, казалось бы, логичном использовании для этой цели акцессориев непосредственно из метаморфических пород, так как при этом увеличивается риск вовлечения унаследованной («удревняющей») компоненты, связанной с дометаморфической историей развития породы. В силу этих причин изотопно-геохронологические методы датирования метаморфизма часто ограничивались, например, определением возраста син- и постметаморфических интрузивных пород или лейкосом мигматитов и жильных тел, так или иначе связанных с метаморфизмом. Но такое косвенное датирование метаморфических событий затрудняет детальную реконструкцию особенностей РТ-*t* эволюции метаморфических пород и сталкивается с неоднозначностью интерпретации изотопных данных, особенно при полистадийном и полихронном проявлении метаморфизма. Относительно недавно, благодаря разработке Pb-LS метода ступенчатого растворения [Pb-Pb step leach dating, Frei, Kamber, 1995], появилась возможность датировать и породообразующие минералы.

Породообразующие минералы обычно характеризуются низким U/Pb отношением, из чего вытекает необходимость использования для анализа сравнительно большого их количества (иногда сотни зерен минерала). Ес-

¹ ИГД РАН (Санкт-Петербург)

тественно, при этом остро встает проблема примесных, богатых U и/или Pb фаз, которые могут оказаться в монофракции минерала и существенно исказить оценку возраста. Хотя Pb-LS метод позволяет косвенно осуществить контроль наличия микропримесей в анализируемой монофракции, но точно оценить их влияние на определяемый возраст породообразующего минерала удастся не всегда. Здесь необходимо иметь в виду, что минералогические приемы очистки не могут обеспечить чистоту монофракций до необходимого уровня – примеси не должны превышать 0.001%. Таким образом, указанные сложности, возникающие при датировании породообразующих минералов, при интерпретации полученных возрастов требуют не только «внутреннего» методического контроля, но также привлечения «геологического контроля» результатов.

Ниже будут рассмотрены примеры оценки времени проявления метаморфических процессов в свекофеннидах Фенноскандии U-Pb, Pb-LS методами датирования акцессорных и породообразующих минералов. Для Pb-LS изотопного исследования использовались породообразующие метаморфогенные минералы: силлиманит, гранат, турмалин, ставролит из глиноземистых гнейсов, а U-Pb методом (TIMS), из этих же пород изучались акцессорные минералы: монацит, циркон, сфен.

При определении возраста Pb-LS методом ступенчатого выщелачивания минералы были предварительно растерты, навески валовых фракций (50–70 мг) обрабатывалась 6N HCl при температуре 90°C в течение 6 часов. Также валовая проба и остаток пробы после кислотного выщелачивания растворялись концентрированной HF с добавлением нескольких капель HNO₃ при 105°C в течение 48 часов. Выделение свинца проводилось на ионообменных смолах в HBr-форме. Анализировался изотопный состав свинца валовой пробы, выщелока и остатка пробы после кислотного выщелачивания. Уровень лабораторного загрязнения Pb не превышал 0.4 нг. Возраст монацита определялся разложением минерала и выделением Pb и U по методике Кроу [Krogh, 1973]. Уровень лабораторного загрязнения Pb не превышал 0.1 нг, а U – 0.01 нг. Изотопные измерения Pb и U выполнены на масс-спектрометре Finnigan MAT-261 (ИГГД РАН). Ошибки измерения Pb/U изотопных отношений – 0.5%. Все расчеты проводились по программам Ладвига [Ludwig, 1991].

Пример 1. Датирование силлиманита и монацита, разный возраст которых доказывается прямыми петрографическими наблюдениями в пределах образца.

Иногда прямыми петрографическими наблюдениями удается установить возрастные соотношения между породообразующими и акцессорными минералами. Так, например, в высокотемпературных глиноземистых гнейсах (С.Приладожье) выявлено обрастание монацитом силлиманита (рис. 1). Возраст силлиманита Pb-LS методом определен как 1880±7 млн. лет, а U-Pb возраст монацита установлен как 1860±4 млн. лет [Балтыбаев и др., 2004, 2005].

Пример 2. Датирование монацитов лейкосом, разный возраст которых доказывается прямыми геологическими наблюдениями в пределах обнажения.

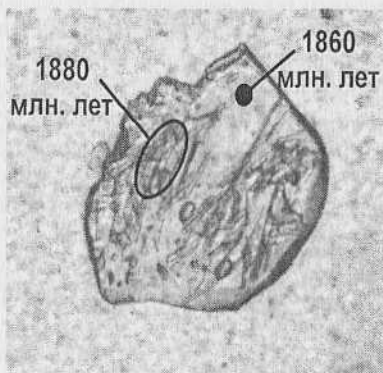


Рис. 1. Зерно монацита (ткр~1860 млн. лет, U-Pb метод), содержащего тонкие иголки силлиманита (ткр~1880 млн. лет, Pb-LS метод)

Датирование разновозрастных по геологическим соотношениям лейкосом позволяет непосредственно оценить время ультраметаморфогенных событий и деформаций, а также максимально определить продолжительность ультраметаморфизма. При геохронологическом исследовании мигматитов перспективным оказалось изучение монацита. Так, для последовательности лейкосом в свекофеннидах Приладожья удалось получить U-Pb возрастные оценки по монациту, которые находятся в согласии с геологическими наблюдениями. В тоже время, при датировании циркона из аналогичной последовательности лейкосом в Финляндии были получены [Mouhri et al., 1999] противоречивые данные, по-видимому, за счет влияния протолита. По результатам исследования монацита из лейкосом мигматитов С.Приладожья (рис. 2) можно сделать вывод, что продолжительность метаморфического события оценивается ~ 20 млн. лет [Балтыбаев и др., 2005].

Пример 3. Датирование силлиманитов, разный возраст которых доказывается прямыми структурно-геологическими наблюдениями.

В пределах одного обнажения гнейсов из силлиманитовой зоны комплекса Кемио-Мантсала (Финляндия) Pb-LS методом нами были изучены две генерации силлиманита (рис. 3), связанные соответственно с двумя этапами (D1-2, D3) деформации [Levin et al., 2005]. Для первой генерации силлиманита определен Pb-Pb возраст, равный 1840 ± 12 млн. лет, а для второй – 1810 ± 2 млн. лет. Монациты из гнейсов были предварительно подразделены на две фракции: малого размера и среднего, что позволило выявить два незначительно отличающихся друг от друга возраста: $t(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) = 1821 \pm 2$ млн. лет для мелкой фракции и $t(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) = 1824 \pm 5$ млн. лет для средней.

В настоящее время рассмотренный подход применен к значительному числу объектов в пределах Свекофеннского пояса. Полученные результаты дают возможность решать такие задачи датирования метаморфических объектов, которые раньше не поддавались решению.

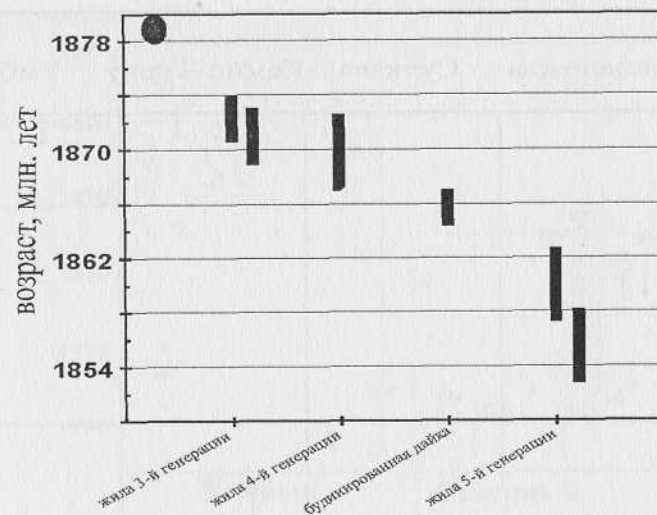


Рис. 2. U-Pb монацитовый возраст лейкосом мигматитов и гранитных жил. Овал соответствует пику метаморфизма и формированию мигматитовых лейкосом 1-ой и 2-ой генераций. Область развития гранулитового метаморфизма, Северное Приладожье

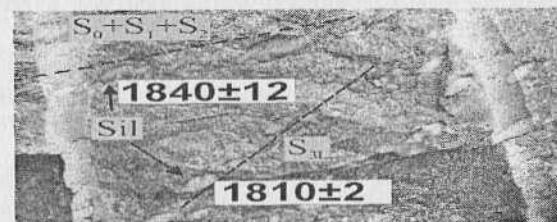
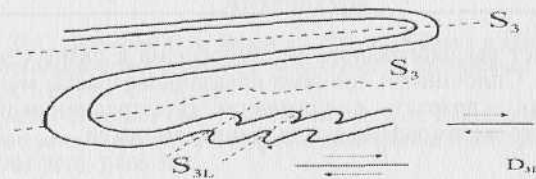


Рис. 3. Две генерации силлиманита (1840 ± 12 и 1810 ± 2 млн. лет), связанные с этапами деформаций D1-2 и D3. Комплекс Кемио-Мантсала, Южная Финляндия

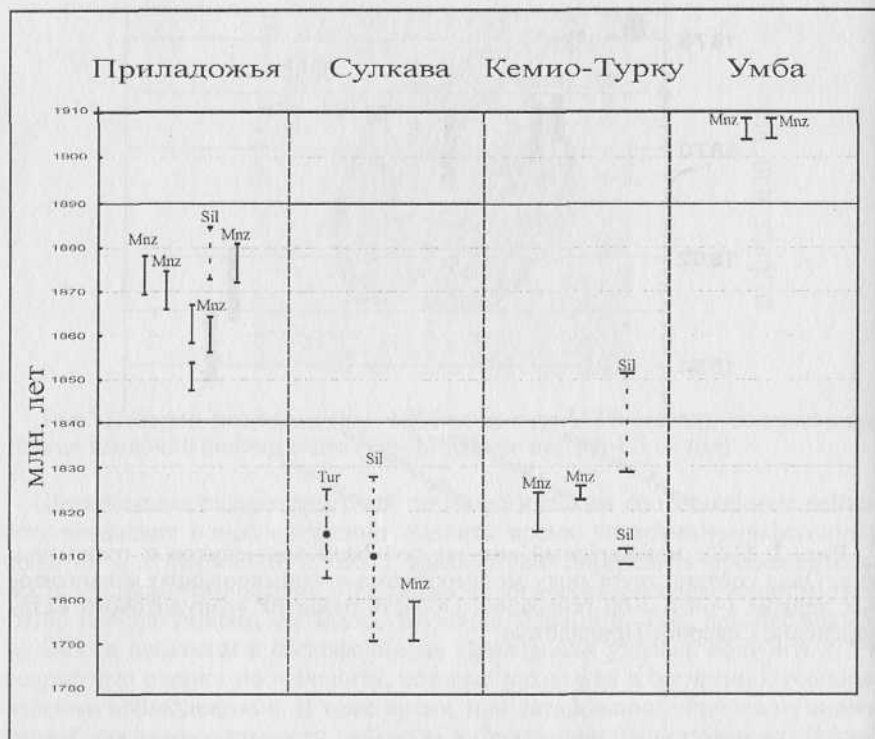


Рис. 4. Возраст высокоградного метаморфизма в разных частях Свеккофеннского пояса. Сплошными линиями показаны возрасты монацита, пунктирными линиями – возрасты силлиманита. Для сравнения приведен возраст гранулитового метаморфизма в Лапландском поясе

Изучение монацитов и силлиманитов в гранулитовых комплексах районов Приладожья, Сулкава и Турку (рис. 4) позволяет сделать вывод о разновозрастности высокоградного метаморфизма в разных частях Свеккофеннского пояса [Балтыбаев и др., 2006].

Наконец, датирование по породообразующим минералам позволяет заключить, что зоны высокоградного и относительно низкоградного метаморфизма в Приладожье достигали пиковых условий метаморфизма в разное время (рис. 5).

Таким образом, сочетание методов датирования породообразующих и аксессуарных минералов метаморфических пород позволяет на основе геолого-петрологических наблюдений установить место использованных минералов в метаморфической эволюции породы, что дает возможность обоснованно ограничить временные рамки метаморфизма.

Гранты РФФИ № 04-05-64856, 05-05-65308, ОНЗ.

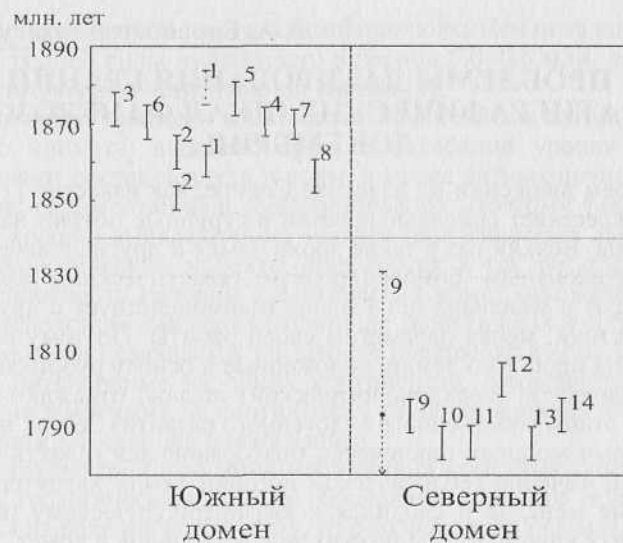


Рис. 5. Сравнение датировок, полученных по монацитам, турмалину и породообразующим минералам (гранат, силлиманит) для Северного и Южного доменов Приладожья. Возможный диапазон возрастов (в млн. лет) для минералов показан с погрешностью (2σ).

Литература

- Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А., Бережная Н.Г. и др. Время и длительность свеккофеннской плутоно-метаморфической активности на юго-востоке Балтийского щита (Приладожье) // *Петрология*. 2004. Т.12. № 4. С.374–393.
- Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А., Глебовицкий В.А. и др. Длительность мигматитообразования в зоне гранулитовой фации метаморфизма свеккофенид Приладожья (ЮВ Балтийского щита) // *Докл. РАН*. 2006. Т.406. № 6.
- Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А., Левский Л.К. и др. Два этапа метаморфизма в Свеккофенском поясе: результаты изотопно-геохронологического изучения приладожского и сулкавского метаморфических комплексов // *Петрология*. 2006. Т.14. № 3. С.268–283.
- Frei R, Kamber B. Single mineral Pb-Pb dating // *Earth Planet Sci Lett* 1995. V.129. P.261–268.
- Krogh T.E. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1973. V.37. P.485–494.
- Levin T., Engström J., Lindroos A. et al. Late-Svecofennian transpressive deformation in SW Finland – evidence from late-stage D3 structures // *GFF*. 2005. V.127. P.129–137.
- Ludwig K.R. A computer program for proceeding Pb-U-Th isotopic date. Open-File Rep // *US Geol. Surv.* 1991. P. 91–445.
- Mouri H., Korsman K., Huhma H., Tectono-metamorphic evolution and timing of the melting processes in the Svecofennian Tonalite-Trondhjemite Migmatite belt: an example from Luopioinen, Tampere area, southern Finland // *Geol. Soc. Bull.* 1999. V. 71. P. 31–56.