

УДК 551.72+551.21(470.22)

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ МИГМАТИТООБРАЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ГРАНУЛИТОВОЙ ФАЦИИ МЕТАМОРФИЗМА СВЕКОФЕННИД ПРИЛАДОЖЬЯ (ЮГО-ВОСТОК БАЛТИЙСКОГО ЩИТА)

© 2006 г. Ш. К. Балтыбаев, О. А. Левченков, член-корреспондент РАН В. А. Глебовицкий, Л. К. Левский, Е. В. Кузьмина, А. Ф. Макеев, С. З. Яковлева

Поступило 17.10.2005 г.

Область высокотемпературного метаморфизма характеризуется парциальным плавлением толщ и возникновением разнообразных лейкосом мигматитов на фоне деформаций пород, что обуславливает их структурное и морфологическое разнообразие. Это обстоятельство делает полимigmatиты чуть ли не единственным породным ансамблем, где члены эволюционного ряда в виде последовательной генерации/кристаллизации лейкосом сохраняют, хотя и в разной мере, характеристики меняющейся среды минералообразования. Изотопное датирование разновозрастных по геологическим соотношениям лейкосом позволяет непосредственно оценить время ультраметаморфогенных событий и соответствующих деформаций, а также максимально точно определить продолжительность ультраметаморфизма. Подобная задача решалась в зоне развития полимigmatитов Северного Приладожья, слагающих значительную часть раннепротерозойского метаморфического комплекса региона.

Свекофеннский полимigmatитовый комплекс Приладожья входит в состав Свекофеннского аккреционного орогена, занимающего южную, юго-западную часть Балтийского щита. В полимigmatитах содержится до 7–8 генераций жильного материала. Разнообразная петролого-геохимическая характеристика их приводится в ряде работ [1–3].

Изученная группа лейкосом выделена в толще гранат-биотитовых, гранат-гиперстеновых и гранат-кордиерит-силлиманит-калишпатовых гнейсов на небольшом острове в пределах акватории Ладожского озера. Мигматизированные гнейсы занимают значительную часть острова, простирая гнейсовидности и полосчатости в них субмеридиональное или северо-западное, а падение субвертикальное. В восточной части острова гнейсы секутся небольшой интрузией розово-

красных двуполевошпатовых гранитов. Контакты последних с гнейсовой толщей отчетливо интрузивные, что обуславливает появление мигматитов интрузивного типа в маломощной экзоконтактной части.

По взаимному соотношению и относительному возрасту на обнажении выделяются пять генераций лейкократовых жил (рис. 1), которые также отличаются друг от друга составом, морфологией и структурными формами. Наиболее ранними в гнейсах являются тонкие фрагменты гранитных жил и прожилков до 1–2 см мощностью. По некоторым их фрагментам удается установить, что в эту раннюю группу входит не менее двух генераций лейкосом (1 и 2). Суммарный объем лейкосом первых двух генераций не превышает 10–15% объема всей мигматизированной породы. Следующую генерацию лейкосом (3) составляют жилы

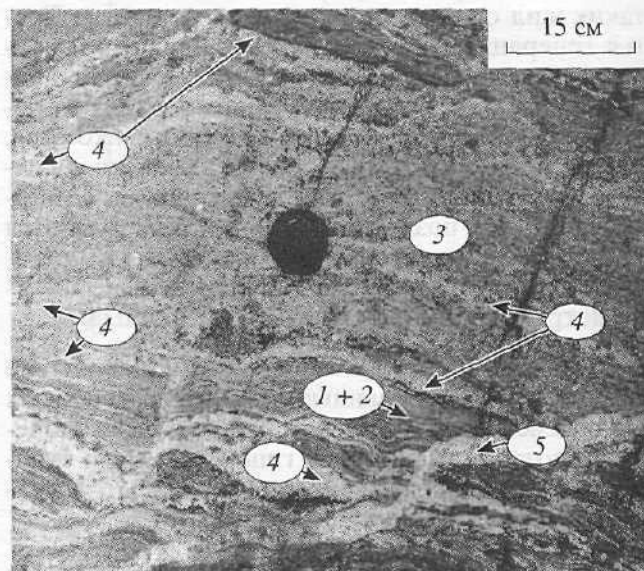


Рис. 1. Фотография фрагмента обнажения изученных полимigmatитов. В гнейсах выделяется не менее пяти генераций жильного материала (номера генераций обозначены цифрами в эллипсах).

Таблица 1. Результаты U–Pb-изотопных исследований монацита из разновозрастных лейкосом и будинированной дайки

№ п.п.	Фракция, мкм	$\frac{^{206}\text{Pb}^a}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}^b}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}^b}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Th	Rho	Возраст, млн. лет				СКВО/P	
									$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	конкор- дантный возраст		
№ Б-02-78/10 (будинированная дайка, “ортогнейс”)														
1	Валовая	3665	0.11402	6.1209	5.286	0.3362	17	0.92	1868.4	1866.5	1864.5	1865.0 ± 1.5	0.61/0.43	
2	Валовая	19050	0.11421	5.8883	5.298	0.3364	16	0.93	1869.6	1868.5	1867.4	1868.0 ± 2.9	0.13/0.72	
№ Б-02-78/11 (жила 3-й генерации)														
3	>150	11020	0.11448	4.0293	5.343	0.3385	11	0.98	1879.5	1875.8	1871.6	1872.2 ± 1.7	3.3/0.07	
4	100–150	11980	0.11440	4.3313	5.331	0.3380	12	0.97	1876.9	1873.8	1870.5	1870.9 ± 2.1	2.4/0.12	
№ Б-02-78/12 (жила 4-й генерации)														
5	Валовая	3615	0.11436	7.3601	5.304	0.3364	20	0.95	1869.1	1869.5	1869.8	1869.7 ± 2.5	0.01/0.93	
№ Б-02-78/13 (жила 5-й генерации)														
6	Крупная (>50–80)	1654	0.11366	7.9390	5.257	0.3355	22	0.94	1864.8	1861.9	1858.8	1859.9 ± 2.7	1.4/0.23	
7	Мелкая (<50)	3443	0.11354	8.2531	5.199	0.3321	23	0.94	1848.7	1852.5	1856.8	1855.4 ± 2.7	3.3/0.07	

Примечание. а – изотопные отношения, скорректированные на фракционирование и бланк Pb; б – изотопные отношения, скорректированные на фракционирование, бланк Pb и обычный Pb. P – вероятность конкордантности. Разложение минералов и выделение Pb и U проводилось по методике Кроу [10]. Уровень лабораторного загрязнения Pb не превышал 0.1 нг, а U – 0.01 нг. Изотопные измерения Pb и U выполнены на масс-спектрометре МАТ-261. Ошибки измерения Pb/U изотопных отношений – 0.5% (2σ). Все расчеты проводились по программам Ладвига [11, 12].

“пятнистого” распределения, местами выглядящие как теневые граниты. Мощность рассматриваемых жил достигает нескольких десятков сантиметров. Эта генерация лейкократового вещества наиболее распространена на обнажении и, вероятно, связана с максимумом выплавления *in situ*. Об этом свидетельствует, в частности, зависимость минерального и химического составов таких жил от состава вмещающих гнейсов. Третья генерация лейкосом сечется крупно-, грубо-зернистыми жилами (генерация 4), обогащенными гранатом. Эти жилы прослеживаются по простиранию на 3–6 м. Все предыдущие лейкосомы, так же как и описываемая, смяты в складки и в целом залегают конформно с вмещающими гнейсами. Наиболее поздними образованиями являются кососекающие пегматит-гранитные жилы (генерация 5), которые прослеживаются на первые десятки метров при мощности от 2–3 до 20–30 см.

Встречаются на обнажении также небольшие (до 1–3 м) будинированные тела меланократовых ортогнейсов, содержащие значительное количество биотита, амфибола и гиперстена. Эти будины деформированы и мигматизированы, залегают согласно с вмещающими гнейсами.

Минеральный состав всех лейкосом достаточно простой, и отличаются они друг от друга только соотношением главных минералов, в число которых входит биотит, гранат, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц.

Первые лейкосомы в полимиктитовом комплексе Приладожья сформировались, согласно термобарометрическим оценкам на основе состава сосуществующих минералов [4, 2], при температуре порядка 800–900°C и давлении около 5–6 кбар. Для этой пиковой стадии метаморфизма характерно появление* Grt–Orx ± Kfs-, Crx–Orx-, Grt + Cdr + Kfs-парагенезисов в гнейсах, вмещающих наиболее ранние лейкосомы. Более поздние лейкосомы, как это установлено петрографическими наблюдениями, формируются сопряженно с кордиеритизацией граната в субстрате. На основе перераспределения Fe–Mg между гранатом и новообразованным кордиеритом температурный интервал формирования этих лейкосом оценивается от 800 до 600°C [2]. Для момента кристаллизации самых поздних гранитных жил температуры вмещающих пород оцениваются в 650–500°C по результатам гранат-биотитовой термометрии гнейсов и самих жил [2].

Как следует из данных изучения углекислотных включений из лейкосом [5, 2], на начальных стадиях ультраметаморфизма режим давления существенно не менялся и оставался близким к 4–6 кбар. Снижение давления до 2–4 кбар фиксируется при формировании поздних жил, что говорит об остывании пород сопряженно с некоторой декомпрессией.

* Сокращения минералов: Cdr – кордиерит, Crx – клинопикроксен, Grt – гранат, Kfs – калиевый полевой шпат, Orx – ортопикроксен (гиперстен).

Чтобы максимально исключить попадание вещества протолита в анализируемую пробу, отбор проб осуществлялся из наиболее крупных и хорошо обособленных лейкосом. Такими лейкосомами оказались генерации № 3, 4 и 5 (обр. Б-02-78/11, Б-02-78/12, Б-02-78/13). Кроме них изучалась проба из мигматизированной будины ортогнейса.

В изученных лейкосомах были выделены монациты, которые иногда отличались по размерам. В последнем случае монациты анализировались с соответствующим делением на фракции – крупную (50–80 мкм и больше) и мелкую (<50 мкм).

В лейкосоме № 3 (Б-02-78/11) выделены две фракции монацита. U–Pb-возраст монацита обеих фракций оказался близким, и среднее значение по двум фракциям составляет 1871.7 ± 1.3 млн. лет, СКВО = 0.93, вероятность 0.34 (табл. 1).

Для лейкосомы № 4 (Б-02-78/12) получен конкордантный U–Pb-возраст монацита, который составляет 1869.7 ± 2.5 млн. лет, СКВО = 0.01, вероятность 0.93 (табл. 1).

Для лейкосомы № 5 (Б-02-78/13) U–Pb-возраст монацита фракций разного размера несколько отличается друг от друга: 1859.9 ± 2.7 млн. лет для крупной фракции и 1855.4 ± 2.7 млн. лет для мелкой (табл. 1).

В пробе ортогнейса (Б-02-78/10) выделены две фракции монацита разного размера, для них рассчитан средний возраст, который составил 1865.6 ± 1.3 млн. лет, СКВО = 1.4, вероятность 0.07 (табл. 1).

На диаграмме Везерилла (рис. 2) все фигуративные точки проанализированных фракций монацитов находятся на линии конкордии или близко к ней, что должно свидетельствовать о хорошей сохранности U–Pb-изотопной системы в изученном минерале. Отмечаемая небольшая, но устойчивая разница между возрастом крупной фракции монацита и мелкой хорошо интерпретируется с позиций несколько более позднего закрытия U–Pb-изотопной системы в мелких зернах монацита в соответствии с моделью объемной диффузии [6].

Как следует из приведенных данных, продолжительность формирования изученных генераций мигматитовых лейкосом, включая образование наиболее поздних гранитных жил, составляет не менее 10–15 млн. лет (рис. 3). Если принять во внимание тот факт, что самые ранние лейкосомы возникли на пике метаморфизма, который датируется возрастом ~1880 млн. лет [7], то общая продолжительность формирования лейкократовых жил в зоне ультраметаморфизма пород Приладожья составляет около 20 ± 5 млн. лет. Эта оценка находится в хорошем согласии с оценкой продолжительности главной стадии плутоно-метаморфизма в этой части свекофеннид. В частности, по результатам изотопно-геохронологичес-

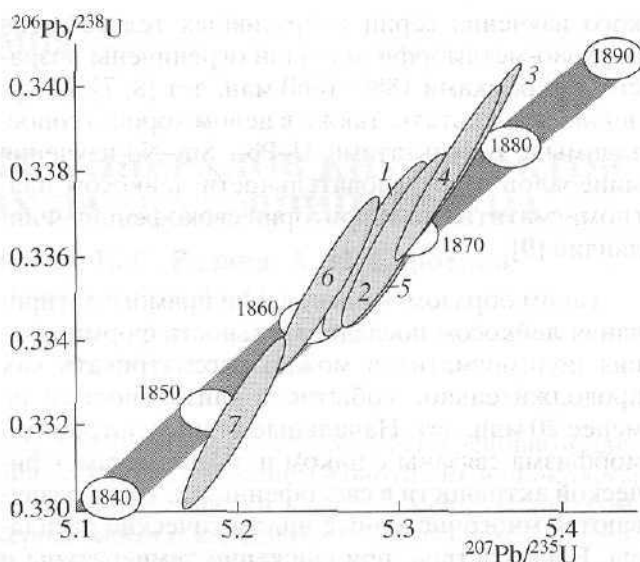


Рис. 2. Диаграмма с конкордией (Везерилла) для монацитов из лейкосом и жил разных генераций. Номера при эллипсах соответствуют номерам проанализированных проб, приведенным в табл. 1.

Возраст, млн. лет

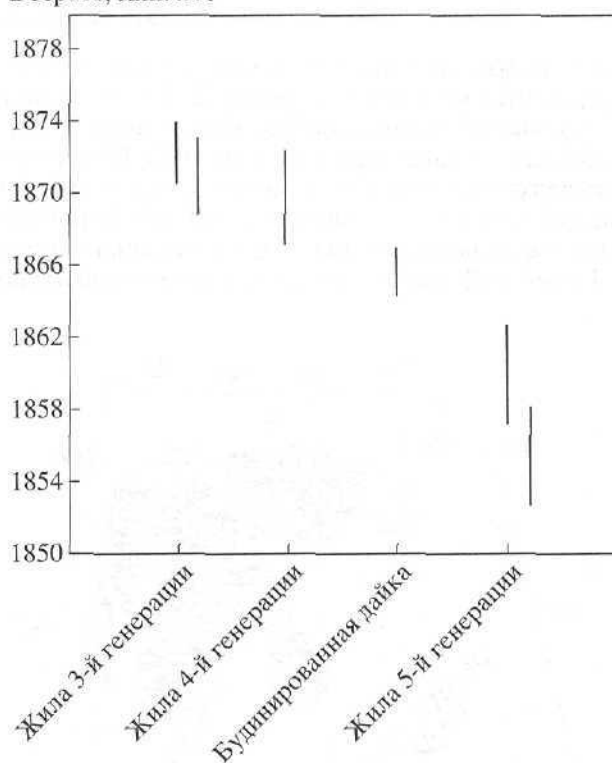


Рис. 3. Возрастная последовательность образования жильного материала в полимigmatитах по данным U–Pb-датирования монацитов. Диапазон значений возраста показан с учетом погрешности 2σ (ошибка определения периода полураспада не учитывалась).

кого изучения серии интрузивных тел события плутоно-метаморфизма были ограничены возрастными рамками 1880–1860 млн. лет [8, 7]. Полученные результаты также в целом хорошо сопоставимы с результатами U–Pb-, Sm–Nd-изучения минералов в последовательности лейкосом плагиомигматитов на территории свекофеннид Финляндии [9].

Таким образом, на основании прямого датирования лейкосом последовательность формирования полимигматитов можно рассматривать как продолжительное событие с длительностью не менее 20 млн. лет. Начальные этапы ультраметаморфизма связаны с пиком плутоно-метаморфической активности в свекофеннидах, когда развиваются многочисленные анатектические расплавы. Впоследствии, при снижении температуры и консолидации толщ с развитием в них преимущественно хрупких деформаций, формируются позднейшие гранитные жилы за счет расплавов, поступавших, вероятно, с более низких горизонтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 04–05–64856, 05–05–65308) и проекта № 7 ОНЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебовицкий В.А., Зингер Т.Ф., Козаков И.К. и др. Мигматизация и гранитообразование в различных термодинамических режимах. Л.: Наука, 1985. 310 с.
2. Балтыбаев Ш.К., Глебовицкий В.А., Козырева И.В. и др. Геология и петрология свекофеннид Приладожья. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 198 с.
3. Седова И.С., Глебовицкий В.А. // Зап. ВМО. 2002. № 2. С. 1–16.
4. Шульдинер В.И., Балтыбаев Ш.К., Козырева И.В. // Петрология. 1997. Т. 5. № 3. С. 253–277.
5. Ванник Е.А. // Зап. ВМО. 1988. № 2. С. 305–321.
6. Dodson M.H. // Contribs Mineral. and Petrol. 1973. V. 40. P. 259–274.
7. Балтыбаев Ш.К., Левченков О.А., Бережная Н.Г. и др. // Петрология. 2004. Т. 12. № 4. С. 373–392.
8. Глебовицкий В.А., Балтыбаев Ш.К., Левченков О.А. и др. // ДАН. 2001. Т. 377. № 5. С. 667–671.
9. Mouri H., Korsman K., Huhma H. // Geol. Soc. Finland Bull. 1999. V. 71. P. 31–56.
10. Krogh T.E. // Geochim. et cosmochim. acta. 1982. V. 46. P. 637–649.
11. Ludwig K.R. // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 88–542. 1991. 35 p.
12. Ludwig K.R. // Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ. 1999. № 1a. 49 p.