——— ГЕОХИМИЯ ——

УДК 552.16:550.93:551.71:551.24(470.22)

АРХЕЙСКАЯ И ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКАЯ МИГМАТИЗАЦИИ ПОРОД БЕЛОМОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА: ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

© 2016 г. А. И. Слабунов^{1,2}, П. Я. Азимов³, член-корреспондент РАН В. А. Глебовицкий³, Л. Жанг⁴, В. И. Кевлич¹

Поступило 18.05.2015 г.

Неоднократное проявление мигматизации – один из важных индикаторов полихронности развития докембрийских подвижных поясов, в том числе Беломорского. В Беломорской провинции Фенноскандинавского щита обосновано новыми данными проявление двух эпизодов плавления земной коры в условиях повышенных (до 8–14 кбар) давлений. Ранний эпизод формирования мигматитов и связанных с ними лейкогранитов – неоархейский (2710 ± 15 и 2706 ± 14 млн лет – U–Pbвозраст по цирконам), поздний – палеопротерозойский (1944 ± 12 и 1882 ± 9 млн лет – U–Pbвозраст лейкосом по цирконам). Ранний эпизод плавления земной коры связан с формированием Беломорского неоархейского коллизионного орогена, а поздний – со становлением палеопротерозойского ского Лапландско-Кольского орогена.

DOI: 10.7868/S0869565216070239

Полициклическое развитие докембрийских полвижных поясов. в том числе Беломорской провинции Фенноскандинавского щита, - весьма характерная особенность их эволюции [1-4]. Один из индикаторов полихронности – неоднократное проявление парциального плавления пород. Разновозрастные мигматиты по гранитогнейсам, парагнейсам, амфиболитам описаны в [2, 5]. Позже стало возможным их детальное геохронологическое изучение [4, 6]. В рамках нашего исследования произведены оценки параметров метаморфизма, приведшего к плавлению гнейсов и амфиболитов в Беломорской провинции, а также впервые выполнено локальное изотопное датирование цирконов из лейкосом мигматитов. Полученные ланные в сочетании с анализом новых геологических данных по эволюции земной коры региона позволяют понять геодинамический контекст формирования разновозрастных мигматитов.

Беломорский подвижный пояс расположен между Кольской и Карельской провинциями и сложен преимущественно мезо- и неоархейскими гнейсами, амфиболитами, среди которых широко распространены палеопротерозойские габброиды и пегматиты [2, 3–9]. Пояс – система полого погружающихся на северо-восток тектонических архейских и протерозойских покровов [10–12], осложненных куполами.

Проблема изучения полициклических структур, вообще, и Беломорской провинции, в частности, заключается в идентификации разновозрастных метаморфических процессов, что особенно сложно при сходных условиях их появления. Для нашего исследования выбраны мигматизированные парагнейсы и связанные с ними лейкограниты Чупинского парагнейсового пояса и мигматизированные амфиболиты Центрально-Беломорского зеленокаменного пояса [3, 4, 7–9].

Чупинские парагнейсы, отобранные в карьере оз. Долгое (район пос. Чупа), представлены двумя наиболее характерными типами [2, 3]: немигматизированными гранат-биотитовыми гнейсами ("сухарями") и мигматизированными гранат-кианит-биотит-ортоклазовыми гнейсами (рис. 1А). Среди гнейсов обычны субсогласные с гнейсовидностью линзовидные тела крупнозернистых гранат-микроклиновых лейкогранитов, связанных с лейкосомами мигматитов. Эти лейкограниты по составу сопоставимы с неоархейскими (2700 ± 10 млн лет) S-гранитами района [4, 8].

P–*T*-условия образования кианитсодержащих гнейсов (около 9–11 кбар и около 700–780°С) определены методом мультиравновесной термобарометрии [13] в программе TWQ с базой данных (БД) ВА96 по трем независимым реакциям (рис. 1Б). Метаморфизм гнейсов сопровождается

¹ Институт геологии

Карельского научного центра

Российской Академии наук, Петрозаводск

E-mail: slabunov@krc.karelia.ru

² Петрозаводский государственный университет

³ Институт геологии и геохронологии докембрия

Российской Академии наук, Санкт-Петербург

⁴ School of Earth and Space Sciences, Beijing University, China



Рис. 1. А – интенсивно мигматизированный гранат-кианит-биотит-ортоклазовый гнейс (оз. Долгое, проба NK12-147/10); Б – пример TWQ-диаграммы для гнейсов с кианит-ортоклазовым парагенезисом.



Рис. 2. А – поздние лейкосомы (проба BM14-7/16), секущие полосчатые с ранней лейкосомой гранатовые амфиболиты (о. Сыроватка); Б – пример TWQ-диаграммы для поздней лейкосомы в полосчатых гранатовых амфиболитах, демонстрирующей пиковые условия метаморфизма.

их плавлением с образованием лейкосом мигматитов и тел лейкогранитов. Для немигматизированных гранат-биотитовых гнейсов получены несколько более высокие значения параметров метаморфизма (720–840°С, 8.5–12.5 кбар), но только по двум независимым реакциям.

Мигматизированные амфиболиты исследованы на о. Сыроватка (Белое море, к северу от д. Поньгома). Плавление амфиболитов проявляется в развитии здесь двух генераций мигматитов. По химическому составу обе лейкосомы отвечают тоналитам, темноцветные минералы в них представлены роговой обманкой, гранатом, биотитом. Поздние лейкосомы секут метаморфическую полосчатость и ранние мигматиты (рис. 2A).

Р—*Т*-условия метаморфизма и парциального плавления амфиболитов рассчитаны в программе

ТWQ с БД JUN92. Для ранней лейкосомы не удалось получить равновесные значения условий метаморфизма, а для сопряженной меланосомы они оценены 625–700°С, 9–11 кбар. Для поздней лейкосомы установлены пиковые значения около 800–830°С, 14–15 кбар (рис. 2Б), ретроградно снижающиеся до 670–700°С и 10–12 кбар. Для сопряженной меланосомы – 650–700°С, 9–11 кбар.

Таким образом, в лейкосомах амфиболитов сохранились парагенезы, отвечающие пиковым условиям гранулитовой фации высоких давлений, а их регрессивные преобразования происходят в условиях средне-высокотемпературной амфиболитовой фации тоже высоких давлений.

Для оценки времени мигматизации пород Беломорской провинции были выделены и датированы цирконы из 1) мигматизированных пара-



Рис. 3. Диаграммы с конкордией (t_c – конкордантный возраст, t_1 – изохронный возраст, t_{Pb-Pb} – ²⁰⁷Pb–²⁰⁶Pb-возраст). Врезки: графики ²⁰⁷Pb–²⁰⁶Pb-возрастов для цирконов и BSE-изображения этих цирконов с точками датирования и значениями t_{Pb-Pb} и составом (Ur – уранинит; Ab – альбит) минеральных включений в них для интенсивно мигматизированных гранат-кианит-биотит-ортоклазовых гнейсов Чупинского пояса (A); для гранат-микроклиновых лейкогранитов (Б).

гнейсов, 2) анатектических лейкогранитов, 3) двух генераций лейкосом в амфиболитах. Датирование проводили на приборе ICP-MS Agilent 7500 Се с системой лазерной абляции Complex Pro102 (LA-ICP-MS) с диаметром кратеров около 30 мкм в Пекинском университете.

Из мигматизированных гранат-кианит-биотит-ортоклазовых гнейсов (проба NK12-147/10) выделены цирконы двух морфотипов: удлиненные и изометричные (рис. 3А). Большая часть кристаллов однородная, но встречаются разности с тонкой зональностью. Конкордантный U-Pbвозраст по 9 зернам 2678 ± 31 млн лет (рис. 3А). Указанный возраст можно рассматривать как время мигматизации гнейсов в условиях амфиболитовой/гранулитовой фации повышенных давлений. Вместе с тем это значение возраста может быть суперпозицией двух событий: 2710 ± 15 (по 4 зернам) и 2657 ± 13 млн лет (по 5 зернам) (рис. 3А). Кроме того, в пробе отмечено ядро с Pb-Pb-возрастом 2803 ± 23 млн лет (рис. 3A), что сопоставимо со временем одного из ранних метаморфизмов в парагнейсах [4].

Из гранат-микроклиновых лейкогранитов (проба NK12-147/21) выделены цирконы двух морфотипов: удлиненно-призматические розовые прозрачные, часто с темными непрозрачными центральными частями, содержащие множественные минеральные включения (рис. 3Б), и гиацинтового типа со сглаженными гранями до округлой формы, в которых обычна зональность и отмечены ядра (рис. 3Б).

Большая часть измеренных изотопных значений U–Pb-возраста расположена вдоль изохроны, верхнее пересечение которой с конкордией отвечает возрасту 2706 \pm 14 млн лет, близкому к значению Pb–Pb-возраста (рис. 3Б). Конкордантный возраст этой группы цирконов – 2724 \pm 14 млн лет. Pb–Pb-возраст одного из ядер 2833 \pm \pm 13 млн лет.

Изохронный U—Pb-возраст цирконов из анатектических лейкогранитов (2706 ± 14 млн лет) и ранний конкордантный возраст (2710 ± 14 млн лет) из мигматизированных кианит-гранат-ортоклазовых гнейсов хорошо согласуются и, вероятно, указывают время главного этапа неоархейской мигматизации, поздние фазы которой проявляются 2657 ± 13 млн лет. В изученных гнейсах не установлены палеопротерозойские цирконы.

В ранней лейкосоме из амфиболитов (ВМ14-7/14) установлена лишь одна генерация цирконов с конкордантным возрастом (по 10 зернам) 1944 ± ± 12 млн лет (рис. 4А). В лейкосоме второй генерации мигматитов (ВМ14-7/16) также установлены цирконы только одной возрастной группы – с конкордантным возрастом 1882 ± 9 млн лет (рис. 4Б).



Рис. 4. Диаграммы с конкордией (t_1 – изохронный возраст, t_c – конкордантный возраст). Врезка: график ²⁰⁷Pb–²⁰⁶Pbвозрастов ($t_{Pb} - Pb$) для цирконов из ранней (А) и поздней (Б) лейкосом в гранатовых амфиболитах и BSE-изображения этих цирконов с точками датирования, значениями ²⁰⁷Pb–²⁰⁶Pb-возраста и составом (Q – кварц, Sph – сфен, Amf – амфибол) минеральных включений в них.

Указанные изотопные возрасты отвечают эпизодам парциального плавления амфиболитов в условиях гранулитовой фации повышенных давлений.

Плавление пород и формирование мигматитов, как и гранулитовый метаморфизм высоких давлений, — одни из важнейших атрибутов коллизионных процессов [14].

Таким образом, выявление в Беломорской провинции архейских (2.71 млрд лет) и палеопротерозойских (1.94 и 1.88 млрд лет) эпизодов мигматизации в условиях гранулитового метаморфизма повышенных давлений убедительно показывают, что комплексы региона, по крайней мере, дважды участвовали в коллизионных событиях. Архейская мигматизация парагнейсов связана со становлением неоархейского Беломорского коллизионного орогена [3, 7, 8], а частичное плавление амфиболитов обеспечено становлением палеопротерозойского (1.97–1.89 млрд лет) Лапландско-Кольского коллизионного орогена [3, 12, 15].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 13–05–91162, 15–05–09288), программ І.5П и IV.8.8 Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Глебовицкий В.А., Миллер Ю.В., Другова Г.М. и др. // Геотектоника. 1996. № 1. С. 63-75.
- 2. Володичев О.И. Беломорский комплекс Карелии (геология и петрология). Л.: Наука, 1990. 248 с.

- Ранний докембрий Балтийского щита / Под ред. В.А. Глебовицкого. СПб.: Наука, 2005. 711 с.
- 4. Бибикова Е.В., Богданова С.В., Глебовицкий В.А. и др. // Петрология. 2004. Т. 12. № 3. С. 227–244.
- 5. Седова И.С., Семёнов А.П., Кравцова Е.Н. // Петрология. 1998. Т. 6. № 2. С. 197–224.
- Седова И.С., Глебовицкий В.А. // Зап. ВМО. 2005. Т. 86. № 3. С. 1–24.
- 7. Бибикова Е.В., Слабунов А.И., Богданова С.В. и др. // Петрология. 1999. Т. 7. № 2. С. 115–140.
- Слабунов А.И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 296 с.
- 9. Слабунов А.И., Лобач-Жученко С.Б., Бибикова Е.В. и др. // Геотектоника. 2006. № 6. С. 3–32.
- 10. *Миллер Ю.В., Милькевич Р.И.* // Геотектоника. 1995. № 6. С. 80–93.
- 11. Шаров Н.В., Слабунов А.И., Исанина Э.В. и др. // Геофиз. журн. 2013. Т. 35. № 1. С. 88–99.
- 12. Balagansky V., Shchipansky A., Slabunov A.I., et al. // Intern. Geol. Rev. 2015. V. 57. № 11/12. P. 1543–1565.
- Berman R.G. // Canad. Miner. 1991. V. 29. № 4. P. 833–855.
- 14. Sawyer E.W., Cesare B., Brown M. // Elements. 2011. V. 7. № 4. P. 229–233.
- Балаганский В.В., Минц М.В., Дэйли Дж.С. // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программам EURO-PROBE. Под ред. А.Ф. Морозова, Н.И. Повленковой. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС. 2006. С. 158–171.