

СВЯЗЬ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ НЕДОСЫЩЕННЫХ КРЕМНЕЗЕМОМ КОМПЛЕКСОВ МАЙМЕЧА-КОТУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ С СИБИРСКИМИ ПЛАТОБАЗАЛЬТАМИ. НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ МАССИВА КУГДА (ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ)

© 2019 г. М. О. Аносова^{а,*}, Ю. А. Костицын^{а,**}, Л. Н. Когарко^{а,***}

^а *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
Россия, 119991 Москва, ул. Косыгина, 19*

*e-mail: *anosova@geokhi.ru, **kostitsyn@geokhi.ru, ***kogarko@geokhi.ru*

Поступила в редакцию 25.03.2019 г.

После доработки 12.04.2019 г.

Принята к публикации 13.06.2019 г.

Методом LA-ICP-MS исследовались кристаллы перовскита из рудных оливинитов и фоскоритов массива Кугда. Полученный возраст щелочных пород массива Кугда – 257 ± 6 млн лет – совпадает со временем формирования Сибирских платобазальтов и Гулинского массива – самого крупного образования Маймеча-Котуйской провинции, который представляет собой гигантскую и глубоко дифференцированную магматическую систему, составляющим 250 ± 9 млн лет. Отсюда следует, что мелилитсодержащий комплекс Кугда формировался синхронно с Сибирскими траппами и Гулинским массивом, что указывает на возможную генетическую связь этих пород.

Ключевые слова: U-Pb возраст, массив Кугда, LA-ICP-MS, перовскит

DOI: 10.31857/S0016-752564121269-1273

ВВЕДЕНИЕ

Огромная территория севера Сибирской платформы занята платобазальтами, представляющими одну из крупнейших в мире магматических провинций. По северо-восточному краю провинции развит Маймеча-Котуйский щелочно-карбонатитовый-ультраосновной комплекс, состоящий из большого объема щелочных лав, многочисленных даек и интрузивных массивов различного объема. Крупнейшим комплексом Маймеча-Котуйской провинции, представленным интрузивными и экструзивными породами, является Гулинский, площадь которого, учитывая скрытые под поздними отложениями породы, превышает 2000 км^2 (Егоров, 1991).

Менее крупный массив Кугда, расположенный в 50 км юго-восточнее Гулинского массива, представляет собой глубоко дифференцированную интрузию, которая является единственным примером развития интрузивных мелилитовых щелочных пород, обладающих ритмичной магматической расслоенностью. Генетическая связь между Сибирскими траппами и Маймеча-Котуйским комплексом продолжает оставаться

предметом активных дискуссий. Несмотря на то, что породы в обоих проявлениях, по-видимому, близки к палеозойской-мезозойской границе, остается вопрос о точном возрасте щелочных пород Маймеча-Котуйской провинции. Данные по изотопному составу свинца (Kogarko, Zartman, 2007; Когарко, Зартман, 2011) пород Гулинского массива показали их синхронное формирование с Сибирскими платобазальтами на границе перми и триаса – 250 млн лет. Однако точное определение возраста образования отдельных тел Маймеча-Котуйской провинции на сегодняшний день остается предметом для изучения.

Главной целью настоящей работы является использование современных локальных методов исследования для установления времени формирования уникальной интрузии Кугда.

Геологическое положение пород массива Кугда

Крупнейшая в мире ультраосновная щелочная Маймеча-Котуйская провинция занимает площадь около $74\,300 \text{ км}^2$ и располагается к северо-востоку от Сибирских платобазальтов. Она

включает 32 ультраосновные щелочные интрузии, крупный объем щелочных лав и даек, а также несколько карбонатитовых тел.

Массив Кугда представляет собой изометричное воронкообразное тело площадью 16 км². Вмещающие породы представлены горизонтально залегающими доломитами среднего кембрия. Центральный тип строения массива подчеркивается грубоконцентрическим расположением интрузивных фаз массива. Подробная схема представлена в работе Л.Н. Когарко «Закономерности концентрирования и рассеяния циркония и гафния в щелочно-карбонатитовых системах», опубликованной в этом же номере журнала.

В развитии комплекса Кугда выделяется шесть интрузивных фаз (Егоров, 1991), в результате которых последовательно возникли:

- 1) шток оливинитов (оливиниты, рудные оливиниты, перовскитовые магнетиты, магнетиты). Эта интрузия характеризуется магматической расслоенностью, местами переходящей в ритмичную расслоенность;
- 2) кольцевая интрузия мелилитолитов, также с проявлением магматической расслоенности — чередованием турьяитов, ункомпагри-тов и окаитов;
- 3) мощное кольцевое тело меланократовых фойдолитов и фойдитов (мельтейгиты, якупирангиты, меланефелиниты, оливиновые меланефелиниты, нефелиновые пикриты);
- 4) небольшие штокообразные тела ийолитов; главная масса этих пород, вероятно, консолидирована ниже уровня современного среза;
- 5) мелкие штоки и жилы щелочных и редко нефелиновых сиенитов;
- 6) мощное полукольцевое тело форстерититов, которые, по нашему, мнению являются кумулятами фоскоритовой интрузии, так как в отдельных зонах этой фазы преобладают фоскориты. К этому же комплексу относятся маломощные кальцитовые жилы, пересекающие форстерититы.

В процессе многофазной интрузивной деятельности и по ее завершении массив претерпел многократные блоковые подвижки, в основном по вертикали. Контактные изменения доломитов кембрия, вмещающих массив, ограничены термальной перекристаллизацией (в зоне до 300 м мощностью) с превращением вблизи контакта в форстерит-периклазовые мраморы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для U-Pb датирования исследовались кристаллы перовскита из рудных оливинитов и фоскоритов массива Кугда. Анализ зерен перовскита проводили методом LA-ICP-MS на масс-спектрометре Element XR с ионизацией в индуктивно-связанной плазме с использованием лазерной установки UP-213 (ГЕОХИ РАН), аналитический подход описан в работе (Костицын, Аносова, 2013). Анализ состоял из 14 последовательных измерений перовскитов. Каждая последовательность включала в себя измерение стандартов цирконов GJ и 91500.

Методом LA-ICP-MS были определены содержания редких и некоторых главных элементов (Mg, Al, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, REE, Hf, Ta, Th, U). Калибровку проводили по стандарту синтетического стекла NIST-610. Расчеты проводили при сопоставлении с данными микрозондового анализа образцов на главные элементы.

Были использованы следующие параметры измерений: частота импульса лазерного излучения 4 Нз, диаметр пучка 30 мкм. Измерения проводили при низком разрешении (R=300). Полученные данные обрабатывали с помощью программы Glitter (Van Achterbergh et al., 1999).

Для исследования были отобраны 62 зерна перовскитов. По результатам исследования U-Pb системы были построены диаграммы с конкордией.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перовскит является характерным минералом ультраосновных и щелочных пород, недосыщенных кремнеземом и обогащенных кальцием и титаном (рис. 1).

Часто этот минерал служит не только концентратом редкоземельных элементов, но также содержит значительные примеси урана и тория, что позволяет использовать его для изотопного датирования (Арзамасцев, Арзамасцева, 2013; Fu-Yuan Wu et al., 2013), однако, в отличие от циркона, может содержать и некоторое количество исходного свинца, захваченного кристаллической решеткой минерала при его формировании.

Анализ состава микропримесей методом LA-ICP-MS исследуемых зерен перовскита показал присутствие в составе U и Th (таблица). Усред-

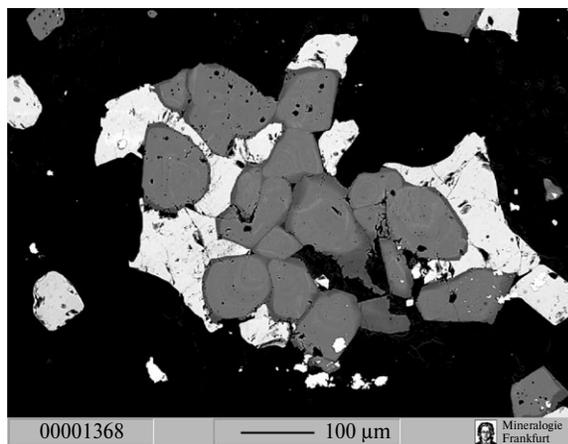


Рис. 1. Фотография в отраженных электронах (CAMECA 100). Фрагмент титаномагнетит-перовскитового прослоя, из которого исследовался перовскит (оливинит, массив Кугда): серое – перовскит, светлое – титаномагнетит.

ненный химический состав и распределение микроэлементов исследованных зерен перовскита из образцов оливинита и фоскорита представлены в таблице.

Результаты U-Pb анализа единичных зерен перовскита представлены на рис. 2.

Применение метода LA-ICP-MS для изучения U-Pb системы отдельных зерен перовскита с различным содержанием свинца дало возможность построить дискордию (рис. 2). На графике видно, что результаты анализа не попадают на конкордию. U-Pb система исследуемых зерен перовскита нарушена за счет присутствия обыкновенного (нерадиогенного) свинца. На это определенно указывает верхнее пересечение дискордии с конкордией, которое оказалось больше возраста Земли, т.е. лишенное геологического смысла. Для перовскита обычно присутствие обыкновенного свинца (Арзамасцев, Арзамасцева, 2013; Fu-Yuan et al., 2013) так же, как и других двухвалентных катионов (Sr, Ba), замещающих в структуре минерала кальций (табл.).

По нижнему пересечению получено значение возраста 257 ± 6 млн лет, СКВО=11, которое близко к полученным ранее значениям возраста ряда магматических пород этого региона.

Полученный возраст щелочных пород массива Кугда – 257 ± 6 млн лет – совпадает с временем формирования Сибирских платобазальтов (Kato et al., 2003) и Гулинского массива (Kogarko, Zartman, 2007) – самого крупного образования Маймеча-Котуйской провинции, который представляет собой гигантскую и глубоко

Таблица. Средний химический состав перовскита из образцов оливинита и фоскорита (мас. %, микрозонд CAMECA SX100) и содержание микроэлементов (ppm, LA-ICP-MS) в перовските из образцов оливинита и фоскорита массива Кугда

Компонент	Перовскит (фоскорит) N=8	Перовскит (оливинит) N=4
SiO ₂	0.22	0.25
TiO ₂	56.71	57.39
Al ₂ O ₃	0.33	0.08
FeO	1.26	1.32
MgO	0.10	-
CaO	38.45	38.12
Na ₂ O	0.31	0.42
ZrO ₂	0.18	0.18
сумма	97.56	97.76
Sc	7.7	2.5
Cr	86	2.6
Mn	62	76
Co	0.57	0.35
Sr	1847	3365
Y	289	202
Zr	3111	243
Nb	4321	4124
Ba	1.5	7.6
La	5409	6093
Ce	9832	13483
Pr	982	1418
Nd	3533	5118
Sm	430	539
Eu	99	114
Gd	236	236
Tb	25	24
Dy	109	92
Ho	16	12
Er	28	19
Tm	2.7	1.6
Yb	12	7.1
Lu	1.1	0.6
Hf	99	11
Ta	274	514
Th	454	1428
U	129	56

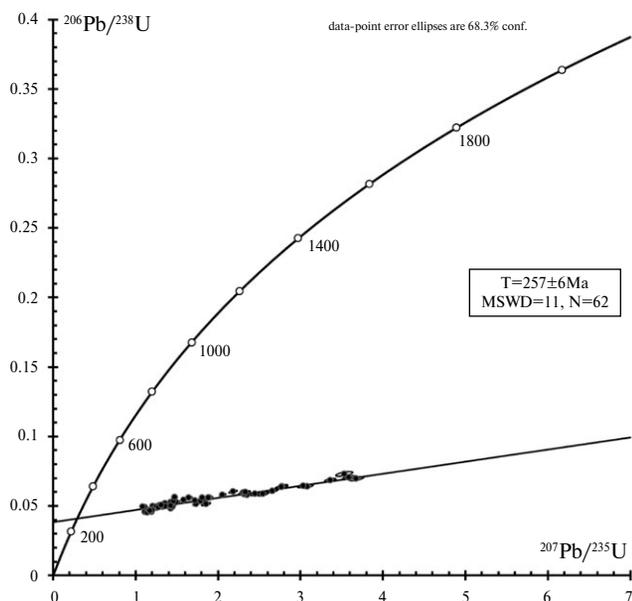


Рис. 2. Результаты U-Pb изотопного датирования зерен перовскита на диаграмме с конкордией.

дифференцированную магматическую систему, — 250 ± 9 млн лет. Отсюда следует, что мелилитсодержащий комплекс Кугда формировался синхронно с Сибирскими траппами и Гулинским массивом, что указывает на возможную генетическую связь этих пород. Появление высококальциевых, недосыщенных кремнеземом мелилитсодержащих магм, а также карбонатитов в процессах эволюции базальтовых и ультраосновных щелочных расплавов представляет большой интерес. Обобщение экспериментальных данных по фазовым равновесиям в ходе плавления мантийного субстрата с участием летучих компонентов (система лерцолит- H_2O - CO_2) показывает, что появление карбонатсодержащих ультраосновных щелочных магм в процессах частичного плавления мантии происходило в условиях повышенных давлений углекислоты (Brey, 1978; Niu, 2008). Чрезвычайно высокие содержания редких литофильных элементов в этих породах, несомненно, свидетельствует о подтоке в зоны магмаобразования расплав-флюидов, обогащенных несовместимыми элементами (Kogarko et al., 2001). По данным Вайли и Рябчикова (Wyllie, Ryabchikov, 2000), в карбонат-силикатных системах критические явления отмечались уже при температурах порядка 1250 – 1350 °C и давлении 7 – 8 ГПа, что соответствует глубине около 210 – 250 км. Растворимость редких элементов, например, таких как легкие редкие земли, ниобий, радиоактивные элементы, чрезвычайно высока в подобных ус-

ловиях (Hamilton et al., 1989; Haggerty, 1989; Brey et al., 2015).

На основе проведенных исследований можно предполагать генетическую связь процессов крупномасштабного метасоматоза мантии севера Сибирской платформы в триасе с формированием ультраосновного щелочно-карбонатитового магматизма Полярной Сибири.

Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы РАН № 0137-2019-0014 и гранта РФФИ 17-05-01163

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арзамасцев А. А., Арзамасцева Л. В. (2013) Геохимические индикаторы эволюции щелочно-ультраосновных серий палеозойских массивов Фенноскандинавского щита. *Петрология* **21** (3), 277–308.
- Егоров Л.С. (1991) Ийолит-карбонатитовый плутонизм. Ленинград: Недр. 260 с.
- Когарко Л.Н., Зартман Р.Э. (2011) Новые данные о возрасте Гулинской интрузии и проблема связи щелочного магматизма Маймеча-Котуйской провинции с сибирским суперплюмом (данные по изотопии U–Th–Pb системы). *Геохимия* (5), 462–472.
- Kogarko L.N., Zartman R.E. (2011) New data on the age of the Guli intrusion and implications for the relationships between alkaline magmatism in the Maymecha-Kotuy province and the Siberian superplume: U-Th-Pb isotopic systematics. *Geochem. Int.* **49** (5), 439–448.
- Костицын Ю.А., Аносова М.О. (2013) U-Pb возраст экструзивных пород кальдеры Уксичан в Срединном хребте Камчатки – применение лазерной абляции к датированию молодых цирконов. *Геохимия* (2), 171–179.
- Kostitsyn Y.A., Anosova M.O. (2013) U-Pb age of extrusive rocks in the Uxichan caldera, Sredinnyi Range, Kamchatka: Application of laser ablation in dating young zircons. *Geochem. Int.* **51** (2), 155–163.
- Brey G. (1978). Origin of olivine melilitites—chemical and experimental constraints. *J. Volcan. Geotherm. Research* (3), 61–88.
- Brey G. P., Girnisa V., Bulatov V. K., Höfer H. E., Gerdes A. (2015) Reduced sediment melting at 7.5 – 12 GPa: phase relations, geochemical signals and diamond nucleation. *Contrib. Mineral. Petrol.* **170**, 18.
- Niu Yaoling (2008) The Origin of Alkaline Lavas. *Science* **320** (5878), 883–884.
- Fu-Yuan Wu, Roger H. Mitchell, Qiu-Li Li, Jing Sun, Chuan-Zhou Liu, Yue-Heng Yang. (2013) In situ U-Pb age determination and Sr-Nd isotopic analysis of perovskite from the Premier (Cullinan) kimberlite, South Africa. *Chem. Geol.* **353**, 83–95.

- Hamilton D., Bedson P., Esson J. (1989) The behavior of trace elements in the evolution of carbonatites. *In Carbonatites. Genesis and evolution Ed. by K. Bell, Unwin Hyman, London*, 405–427.
- Haggerty S. (1989) Mantle metasomatism and kinship between carbonatites and kimberlites. *In Carbonatites. Genesis and evolution Ed. by K. Bell, Unwin Hyman, London*, 546–560.
- Kamo S. L., Czamanske G. K., Amelin Y., Fedorenko V. A., Davis D. W., Trofimov V. R. (2003) Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian–Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **214**(1–2), 75–91.
- Kogarko L.N., Kurat G., Ntaflos T. (2001) Carbonate metasomatism of the oceanic mantle beneath Fernando de Noronha Island, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.* **140**, 577–587.
- Kogarko L. N., Zartman R. E. (2007) A Pb isotope investigation of the Guli massif, Maymecha-Kotuy alkaline-ultramafic complex, Siberian flood basalt province, Polar Siberia. *Mineral. and Petrol.* **89**, 113–132.
- van Achterbergh E., Ryanm C. G., Griffin W. L. (1999) GLITTER: On-line interactive data reduction for the laser ablation ICP-MS microprobe. *Proc. the 9th Goldschmidt Conf. Cambridge, Massachusetts*, 305.
- Wyllie P.J., Ryabchikov I.D. (2000) Volatile components, magmas, and critical fluids in upwelling mantle. *J. Petrol.* **41**, 1195–1206.

CORRELATION HIGH-CALC UNDERSATURATED EARTH SILICON COMPLEX OF MAYMECHA-KOTUY PROVINCE WITH SIBERIAN FLOOD BASALTS. NEW AGE DATA OF MASSIF KUGDA (POLAR SIBERIA)

© 2019 M. A. Anosova^{a,*}, Yu. A. Kostitsyn^{a,**}, L. N. Kogarko^{a,***}

^aVernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry
Russia, 119991 Moscow, Kosygin Street, 19

e-mail: *anosova@geokhi.ru, **kostitsyn@geokhi.ru, ***kogarko@geokhi.ru

Received: 25.03.2019

Received version received: 12.04.2019

Accepted: 13.06.2019

Perovskite crystals from ore-bearing olivinite and phoscorite of Kugda Massif were analyzed by LA-ICP-MS. Age obtained for alkaline rocks of Kugda Massif is 257 ± 6 Ma. It means that Kugda massif was formed simultaneously with the Siberian flood basalts and Guli Massif (250 ± 9 Ma) which is the largest pluton in the Maymecha-Kotuy Province and is highly differentiated. The melilite-bearing Kugda Complex was formed synchronously with Siberian Trapps and Guli Massif, which suggests that these rocks might be genetically related.

Keywords: U-Pb age, Kugda Massif, LA-ICP-MS, Perovskite

(For citation: Anosova M.A., Kostitsyn Yu.A., Kogarko L.N. Correlation High-Calc Undersaturated Earth Silicon Complex of Maymecha-Kotuy Province with Siberian Flood Basalts. New Age Data of Massif Kugda (Polar Siberia). *Geokhimiya*. 2019;64(12):1269–1273. DOI: 10.31857/S0016-752564121269-1273)