

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.45-49

УДК 551.2.08(470.21)

ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУБЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ КЕЙВСКОГО МЕГАБЛОКА*

В. Р. Ветрин

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Изучен вещественный состав и условия кристаллизации щелочных и субщелочных гранитов Кейвского мегаблока с целью определения их геохимического типа. В результате выполненных работ показана возможность отнести к восстановленному A_2 -типу рассматриваемые граниты, кристаллизовавшиеся при $T = 965\text{--}920$ °С, $P = 1,8\text{--}1,9$ до $0,5\text{--}0,6$ кбар и незначительных вариациях активности кислорода ($\log fO_2$ от $-11,92$ до $-10,62$). Эти данные находятся в соответствии с минералогией субщелочных и щелочных гранитов, среди которых выделены как существенно ильменитовые, так и магнетитовые типы пород. Результаты проведенных исследований показывают зависимость образования магнетитовых и ильменитовых типов гранитоидов как от интенсивных, так и экстенсивных параметров кристаллизации.

Ключевые слова:

щелочные граниты, геохимия, условия кристаллизации, A_2 -тип гранитов, Кейвский мегаблок, Кольский п-ов.

GEOCHEMISTRY AND CONDITIONS OF THE CRYSTALLIZATION OF SUBALKALINE AND PERALKALINE GRANITES OF THE KEIVY MEGABLOCK

Valeriy R. Vetrin

Geological Institute of KSC RAS

Abstract

The composition and crystallization conditions of peralkaline and subalkaline granites of the Keivy megablock have been studied in order to determine their geochemical type. As a result of the work performed, we showed the possibility of assigning the considered granites to the restored A_2 -type crystallized at $T = 965\text{--}920$ °C, $P = 1,8\text{--}1,9$ to $0,5\text{--}0,6$ kbar and minor variations in the oxygen activity ($\log fO_2$ from $-11,92$ to $-10,62$). These data are in accordance with the mineralogy of subalkaline and peralkaline granites, among which both ilmenite and magnetite types of rocks have been distinguished. The results of the studies conducted show the dependence of the formation of magnetite and ilmenite types of granitoids on both intensive and extensive crystallization parameters.

Keywords:

peralkaline granites, geochemistry, crystallization conditions, A_2 -type granites, Keivy megablock, Kola Peninsula.



В центральной части Кольского п-ова субщелочными и щелочными гранитами, граносиенитами, кварцевыми сиенитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами образована неоархейская щелочная провинция площадью более 2,5 тыс. км². Данные геологического, петрографического, петрологического геохимического изучения гранитов, а также выполненные в последние десятилетия геохронологические исследования позволяют отнести их к производным древнейшего в мире анорогенного щелочногранитного магматизма [1, 2] А-типа [3–5].

* Исследования выполнены в рамках госзадания ГИ КНЦ РАН по теме НИР 0226-2019-0052 при поддержке РФФИ (грант 16-05-00756а) и госконтракта № 13/17-1.

Граниты могут кристаллизоваться в восстановительных и окислительных условиях с образованием ильменитовых и магнетитовых серий соответственно [6]. Известно, что для магнетитовых гранитов в ряде случаев характерна специализация на полиметаллы (Au, Mo, Cu), тогда как с гранитами ильменитовой серии связаны месторождения и рудопроявления редких металлов — Y, Zr, Sn, W, Nb, Ta, Be, REE. Исходя из этого изучен вещественный состав и условия кристаллизации щелочных и субщелочных гранитов Кейвского мегаблока для определения их геохимического типа. В результате выполненных работ показана возможность отнесения к восстановленному A_2 -типу рассматриваемых гранитов, кристаллизовавшихся при $T = 965\text{--}920$ °С, $P = 1,8\text{--}1,9$ до $0,5\text{--}0,6$ кбар и незначительных вариациях активности кислорода ($\log fO_2 =$ от $-11,92$ до $-10,62$).

Геология, возраст и P - T -условия формирования гранитов

Субщелочные граниты образуют тела дайкообразной, изометричной или неправильной формы, главным образом в южной части изученного района. Наибольшую площадь выходов на поверхность имеет Кукшинский массив (~ 200 км²), представляющий собой трещинное гарполитоподобное тело, которое сложено крупнозернистыми порфиroidными, часто неравномернозернистыми пироксен-амфибол-биотитовыми гранитами. Пироксен представлен геденбергитом, амфибол — ферроэденимом и ферропаргаситом. Время кристаллизации гранитов определено U-Pb-методом по циркону в 2673 ± 10 млн лет [7]. Концентрации циркона в гранитах установлены в 303–642 ppm, и температура расплава, определенная по Zr-геотермометру [8], составляет 840–920 °С. Давление при кристаллизации расплава определялось по содержанию в породе нормативного кварца и полевых шпатов [9], оно составляет 1,8–1,9 кбар и соответствует глубине ~ 5 км, отвечающей мезоабиссальной фации глубинности.

Щелочные граниты изучены в массивах Белые Тундры и Понойский. Массив Белые Тундры (БТ) имеет неправильную удлинённую форму, близкое к субширотному простирание и представляет собой трещинную пластообразную однофазную интрузию площадью около 240 км² [10]. Массив образован массивными порфиroidными эгирин-арфведсонитовыми гранитами с возрастом в 2674 ± 10 [7]. Концентрации Zr в гранитах установлены в 547–1090 ppm, и температура расплава определена в 870–965 °С. Давление при кристаллизации расплава составляет 1,1–1,2 кбар, оно соответствует глубине 3,0–3,2 км и отвечает нижней части гипабиссальной фации глубинности.

Понойский массив площадью около 700 км² имеет форму неправильного треугольника, образован среднезернистыми эгирин-арфведсонитовыми гранитами и разделен на несколько обособленных участков полосами вмещающих массив гнейсов и амфиболитов [3, 7]. При датировании центральных частей кристаллов циркона возраст кристаллизации гранитов определен в 2666 ± 10 млн лет, время кристаллизации оболочек кристаллов, образованных при палеопротерозойском метаморфизме, установлено в 1802 ± 22 [7]. Граниты содержат 480–860 ppm циркония, температура расплава определена в 880–950 °С, давление — в 0,5–0,6 кбар (1,5–1,6 км), что соответствует верхней части гипабиссальной фации глубинности.

Химический состав пород определен в Геологическом институте ФИЦ КНЦ РАН (г. Апатиты), концентрации элементов-примесей — в ИМГРЭ (г. Москва) методом ICP-MS на приборе Elan 6100 DRC с ошибками определения редких и редкоземельных элементов не более 5–7 %.

Субщелочные граниты Кукшинского массива (КМ), щелочные граниты БТ и Понойского массива (ПМ) содержат умеренное или повышенное количество щелочей (средние — 8,0, 8,2, 8,5 % соответственно) с преобладанием калия над натрием. Увеличение концентраций щелочей от гранитов КМ к породам БТ и ПМ сопровождается уменьшением в них концентраций глинозема (средние — 12,9, 11,3 и 10,8 % соответственно). Обусловленный этим рост величины коэффициента алкаитности ($K_{\text{алт}}$) до $\geq 0,9$ является индикатором появления в гранитах КМ и ПМ щелочных пироксенов и амфиболов (рис. 1, а). Концентрации железа и величина отношения FeO/Fe_2O_3

уменьшаются от субщелочных гранитов КМ к щелочным гранитам БТ и ПМ (рис. 1, б). На диаграммах соотношения концентраций SiO₂ и породообразующих окислов точки составов гранитов образуют единые тренды с уменьшением содержаний TiO₂, Al₂O₃, FeO*, MgO, CaO и увеличением концентраций щелочей по мере роста SiO₂.

Граниты всех массивов содержат повышенное количество K, Rb, Cs, Th, U, Zr, Hf, REE, что в сочетании с низкими концентрациями Ba, Sr, P, Ti определяет резкие минимумы последних на мультиэлементных спектрах и характеризует существенно коровый источник расплавов. Значения отношений Y/Nb (1,9–2,5) и Yb/Ta (3,4–3,7) также характерны для гранитов, образованных за счет коровых источников [11]. Наблюдаемые тренды изменения главных и второстепенных элементов обусловлены, вероятно, различной степенью кристаллизационной дифференциации близких по составу исходных расплавов с удалением Fe-Mg-силикатов, магнетита, Ti- и P-содержащих фаз (ильменит, титанит и апатит), а также фракционированием плагиоклаза, вызывающего уменьшение в расплаве концентраций Ca и Al. Моделирование минерального баланса с использованием составов минералов из образцов щелочных гранитов массива БТ показывает, что изменение состава главных элементов при увеличении концентрации SiO₂ от 70,65 до 75,6 % согласуется с фракционированием минеральных ассоциаций, включающих 48 % амфибола, 38 % эгирина, 12 % альбита, 2 % ильменита. Количество рестита, по химическому составу отвечавшего субщелочному габбро, оценивается в 18 %.

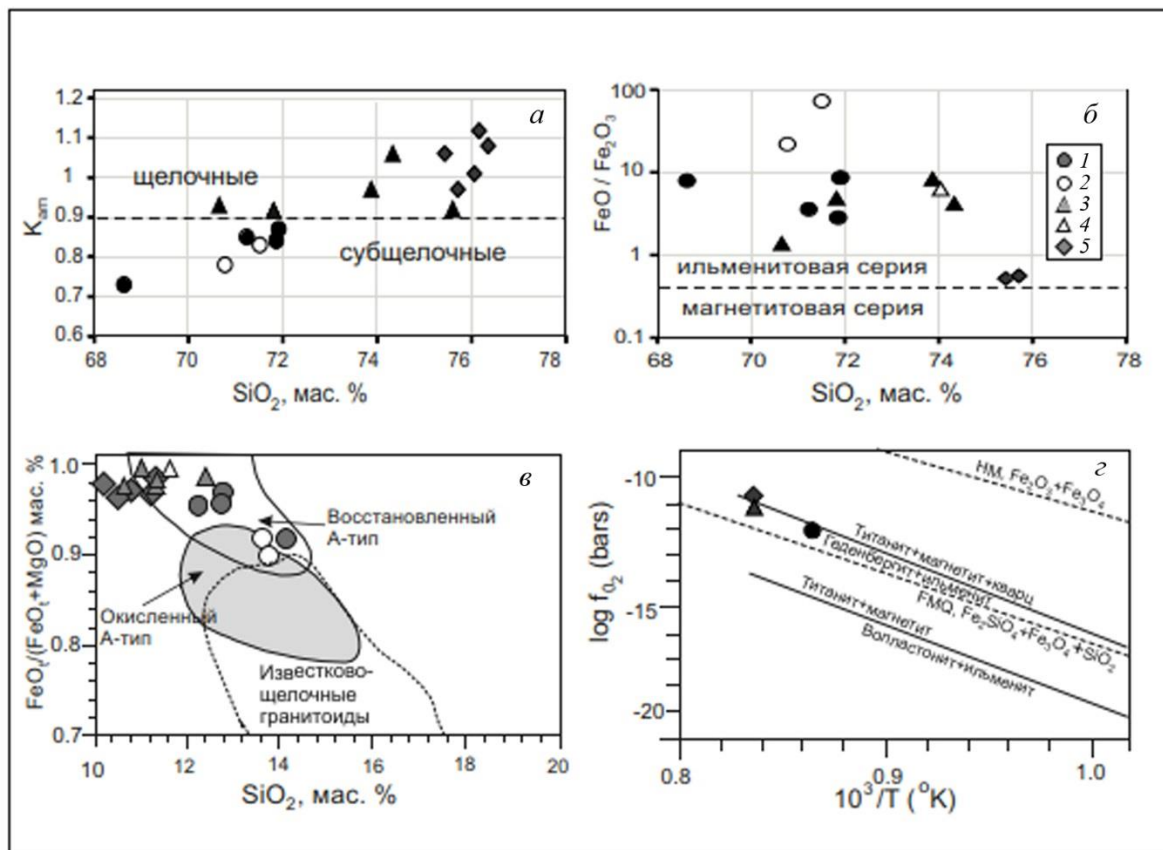


Рис. 1. Диаграммы соотношения компонентов в субщелочных и щелочных гранитах: а — SiO₂-K_{app}(Na+K)/Al); б — SiO₂-FeO/Fe₂O₃; граница между ильменитовой и магнетитовой сериями приведена по [6]; в — диаграмма классификации гранитоидов [12]; з — диаграмма зависимости минеральных ассоциаций от температуры и фугитивности кислорода; 1 — субщелочные граниты КМ; 2 — жильные граниты КМ; 3, 4 — щелочные и жильные граниты БТ; 5 — щелочные граниты ПМ

Fig. 1. Diagrams of a ratio of components in subalkaline and alkaline granites: а — SiO₂-K_{app}(Na+K)/Al); б — SiO₂-FeO/Fe₂O₃; the border between ilmenite and magnetite series is given on [6]; в — diagram of classification of granitoids [12]; з — diagram of dependence of mineral associations on temperature and fugacity of oxygen; 1 — KM subalkaline granites; 2 — KM vein granites; 3, 4 — alkaline and BT vein granites; 5 — PM alkaline granites

Обсуждение результатов и выводы

Изученные граниты по составу относятся к калиевым, известково-щелочным, высокожелезистым породам, недосыщенным алюминием и содержащим повышенные концентрации крупноионных, высокозарядных и редкоземельных элементов. По этим критериям они отвечают гранитам А-типа и на диаграммах тектонической дискриминации пород точки их состава располагаются в полях составов внутриплитных гранитов (рис. 2). На диаграмме в координатах Y-Nb-Ce породы локализованы в поле А₂-гранитов вблизи границы А₁-А₂. Образование гранитов А₂-типа предполагается в условиях растяжения при плавлении континентальной коры или из источника, близкого к базальтам островных дуг и континентальных окраин [13].

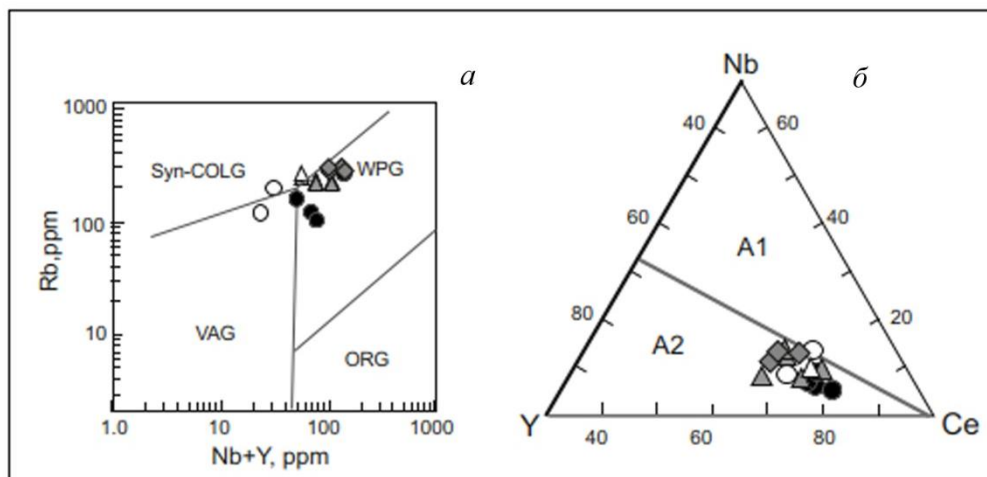


Рис. 2. Диаграммы тектонической дискриминации гранитоидов Y+Nb-Rb (а) [15] и Y-Nb-Ce (б) [13]: VAG — граниты островных дуг; sin-COLG — синколлизионные граниты; ORG — граниты океанических хребтов; WPG — внутриплитные граниты; А₁ — гранитоиды А-типа анорогенных обстановок; А₂ — пост-и анорогенные гранитоиды А-типа. Условные обозначения см. рис. 1

Fig. 2. Diagrams of tectonic discrimination of granitoids Y+Nb-Rb (a) [15] and Y-Nb-Ce (b) [13]: VAG — volcanic granites; sin-collisional granites; ORG — oceanic ridges granites; WPG — within plate granites; А₁ — A-type anorogeny granitoids; А₂ — post-and anorogeny granitoids of A-type. Legend see in Fig. 1

Как было показано [14], по составу граниты А-типа образуют продолжительный тренд от постколлизионных гранитов А₂-типа к посторогенным гранитам вблизи А₂-А₁ границы и далее в направлении к анорогенным гранитам А₁-типа. В геохимическом плане эта тенденция определяется увеличением вклада мафического источника с внутриплитными характеристиками при уменьшении вклада корового силикатического вещества в состав гранитов. А-граниты могут кристаллизоваться в восстановительных ($FeO/Fe_2O_3 > 0,5$) и окислительных ($FeO/Fe_2O_3 < 0,5$) условиях с образованием ильменитовой или магнетитовой серий гранитоидов [6]. Величина отношения FeO/Fe_2O_3 в гранитах всех массивов варьирует в пределах 0,52–8,64, достигая 72,4 в жильных породах. Это позволяет отнести граниты к производным ильменитовой серии (рис. 1, б), кристаллизовавшимся в условиях пониженной фугитивности кислорода. На диаграмме в координатах $SiO_2 - FeO_t/(FeO_t + MgO)$ [12] точки состава гранитов также располагаются в поле гранитоидов восстановленного А-типа (рис. 1, в). Оценка активности кислорода при кристаллизации гранитов выполнена по методу Д. Уонса [16] с использованием значений P и T , приведенных выше. Точки состава гранитов локализованы на линии равновесия ассоциации *титанит* + *магнетит* + *кварц* – *геденбергит* + *ильменит* (рис. 1, г), чем объясняется совместное нахождение ильменита, магнетита и титанита в изученных гранитах. Эти данные находятся в соответствии с минералогией субщелочных и щелочных гранитов, среди которых выделены как существенно ильменитовые, так и магнетитовые типы пород [10]. Результаты проведенных исследований показывают зависимость образования магнетитовых и ильменитовых типов гранитоидов как

от интенсивных (P , T , fO_2 , рис. 1, ε), так и экстенсивных (рис. 1, δ) параметров кристаллизации. Отнесение субщелочных и щелочных гранитов Кейвского мегаблока к восстановленному A_2 -типу свидетельствует об их перспективности на редкие элементы, что подтверждается приуроченностью к массивам этих пород ряда рудопроявлений Zr, REE, Nb, U, Th [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Древнейший в мире анорогенный щелочногранитный магматизм в Кейвской структуре Балтийского щита / Ф. П. Митрофанов [и др.] // Доклады РАН. 2000. Т. 374, № 2. С. 238–241.
2. Zozulya D. R., Bayanova N. B., Eby G. N. Geology and Age of the Late Archean Keivy Alkaline Province, Northeastern Baltic Shield // J. Geol. 2005. Vol. 113. P. 601–608.
3. Меланократовые включения и петрогенезис щелочных гранитов Понойского массива (Кольский п-ов) / В. Р. Ветрин [и др.] // Геохимия. 1999. Vol. 11. С. 1178–1190.
4. Zozulya D. R., Eby G. N. Trace-element study of Kola A-granite complex: evidence for OIB-type magmatism in Early Precambrian // Precambrian rift formation, magmatism, metallogeny. Petrosavodsk, Correlation of Geological Complexes in Fennoscandia. 1999. P. 51–53.
5. Зозуля Д. Р., Баянова Т. Б., Серов П. Н. Возраст и изотопно-геохимические характеристики архейских карбонатитов и щелочных пород Балтийского щита // Доклады АН. 2007. Т. 415, № 3. С. 383–388.
6. Ishihara S. The granitoid series and mineralization // Economic Geology. 75th Anniversary volume. 1981. P. 458–484.
7. Ветрин В. Р., Родионов Н. В. Геология и геохронология неоархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // Петрология. 2009. Т. 17, № 6. С. 578–600.
8. Hancher J. M., Watson E. B. Zircon Saturation Thermometry // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2003. Vol. 53. P. 89–112.
9. Yang X.-M. Estimation of crystallization pressure of granite intrusions // Lithos. 2017. Vol. 286–287. P. 324–329.
10. Бамуева И. Д. Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука. 1976. 224 с.
11. Eby G. N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // Lithos. 1990. Vol. 26. P. 115–134.
12. Dall'Agnol R., Oliveira D. C. Oxidized, magnetite- series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites // Lithos. 2007. Vol. 93. P. 215–233.
13. Eby G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implication // Geology. 1992. Vol. 20. P. 641–644.
14. Bonin B. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects // Lithos. 2007. Vol. 97, № 1–2. P. 1–29.
15. Pearce J. A., Harris N. B., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956–983.
16. Wones D. R. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks // Amer. Mineral. 1989. Vol. 74. P. 744–749.
17. REE mineralogy and geochemistry of the Western Keivy peralkaline granite massiv, Kola Peninsula, Russia / J. A. Mikhailova [et al.] // Ore Geol. Reviews. 2017. Vol. 82. P. 181–197.

Сведения об авторе

Ветрин Валерий Романович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Valeriy R. Vetrin — PhD (Geology & Mineralogy), Leading Researcher of the Geological Institute of KSC RAS

E-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Ветрин, В. Р. Геохимия и условия кристаллизации субщелочных и щелочных гранитов Кейвского мегаблока / В. Р. Ветрин // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 45–49.

Reference

Vetrin Valery R. Geochemistry and Conditions of the Crystallization of Subalkaline and Peralkaline Granites of the Keivy Megablock. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), p. 45–49. (In Russ.).