

УДК 550.93

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ТАНТАЛО-НИОБАТОВ ИЗ РЕДКОМЕТАЛЬНО-ГРАНИТНОГО УКСИНСКОГО ДАЙКОВОГО КОМПЛЕКСА (САЛМИНСКИЙ БАТОЛИТ, КАРЕЛИЯ)

© 2024 г. А. А. Коньшев^{1,*}, Н. Г. Ризванова², Н. А. Сергеева²

Представлено академиком РАН Ю.А. Костицыным 02.08.2024 г.

Поступило 02.08.2024 г.

После доработки 04.08.2024 г.

Принято к публикации 05.08.2024 г.

В работе приводятся новые данные о дайках редкометальных топаз-“циннвальдитовых” гранитов Салминского анортозит-рапакивигранитного комплекса пород. U–Pb изотопным методом (ID-TIMS) определен возраст тантало-ниобатов ряда колумбит-(Fe) – танталит-(Fe) и тапиолита 1541 ± 2.5 млн лет. Приведены выводы о возрастных ограничениях ассоциирующих пород, секущихся аналогичными дайками, дискретности проявления редкометального магматизма в изучаемом районе.

Ключевые слова: редкометальные граниты, U–Pb-изотопный возраст, анортозит-рапакивигранитный комплекс, колумбит, танталит, тапиолит, дайковый комплекс, Салминский батолит, Карелия

DOI: 10.31857/S2686739724120024

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее высокодифференцированные кислые породы, входящие в анортозит-рапакивигранитные комплексы пород (далее АРГК), представляют собой редкометальные граниты (Li–F-граниты). Они богаты F, Li, Rb, Ta, их образование происходит при низкой температуре в богатых флюидом условиях [1]. Редкометальные граниты в районе г. Питкяранта ранее выделялись многими авторами, наиболее полное и актуальное обобщение по породам данного комплекса дано в [2]. Однако в рассматриваемом районе присутствуют два типа редкометальных гранитов: массивные интрузивные Li-сидерофиллитовые топазсодержащие граниты и дайки топаз-“циннвальдитовых” (полилитонит-сидерофиллит) гранитов [3].

С Li-сидерофиллитовыми гранитами связан дайковый комплекс, идентичный им геохимически и имеющий разнонаправленное простираие тел. Дайки топаз-“циннвальдитовых” гранитов более эволюционно развиты чем

граниты предыдущего типа по индикатору степени кристаллизационной дифференциации Zr/Hf, они также обеднены по всем REE и имеют одинаковое простираие СЗ 300–330°, совпадающее с ориентировкой главных разломов в регионе. Установление временного диапазона функционирования магматических систем связанных с Салминским АРГК важно для интерпретации их участия в образовании метасоматитов, рудопроявлений и месторождений Питкярантского рудного района [2].

Определение возраста редкометально-гранитного Уксинского дайкового комплекса U–Pb-изотопным методом и относительных временных взаимоотношений пород, входящих в АРГК, является главной целью работы.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Салминский АРГК расположен на стыке Карельского кратона и Свекофеннского орогена, его породы прорывают вмещающие породы: гнейсогранитные купола AR₂–PR₁ и обрамляющие их метаосадочные породы Сортавальской и Ладожской серий.

Топаз-“циннвальдитовые” дайки редкометальных гранитов наиболее распространены в районе деревни Уксу, расположенной в 8 км к ЮВ от г. Питкяранта. Выход топазсодержащих

¹Институт геологии Карельского научного центра Российской Академии Наук, Петрозаводск, Россия

²Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии Наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: icelopa@gmail.com

Li-сидерофиллитовых гранитов отмечается к востоку от гнейсогранитного купола Люпикко, а также в его пределах 2–7 км на восток от г. Питкяранта. Главные различия между этими типами пород: количество топаза — от аксессуарного в массивных гранитах, до породообразующего в топаз-“циннвальдитовых” дайках; различный состав слюд; отличие в значении индикатора степени магматической дифференциации — Zr/Hf : менее 7.9 в топаз-“циннвальдитовых” дайках и 8.5–13.2 в массивных гранитах [3].

Для Li-сидерофиллитовых гранитов ранее был определён изотопный возраст U–Pb-методом по монациту и ксенотиму: 1538.1 ± 0.9 млн лет. [4]. Для одной из даек топаз-“циннвальдитовых” гранитов определено, что она сечет дайку гранит-порфиров в пределах купола гнейсо-гранитов Люпикко [5]. В этой дайке гранит-порфиров определен изотопный U–Pb-возраст циркона 1541 ± 9 млн лет. [6].

ОПИСАНИЕ ИЗУЧАЕМОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Изучаемая дайка топаз-“циннвальдитовых” гранитов сечет амфиболиты Сортавальской серии в западном обрамлении Уксинского гнейсо-гранитного купола: 61.52089° с. ш., 31.58984° в. д. (WGS84), простирание дайки СЗ 332° , падение 60° СВ, совокупная средняя мощность 1.6–2 м. Дайка сложносоставная, не выдержана по мощности, с многочисленными апофизами, внутреннее строение не выдержано по структурно-текстурным особенностям. Наблюдаются переходы от аплитовых разностей к пегматоидным, текстурные разности обусловлены параллельно-полосчатым распределением зерен слюды (цветное число в различных слоях от 1–2 до 10–15). Более меланократовые равномерно-мелкозернистые разности (обр. АК310820-3) выполняют промежутки мощностью до 10–15 см. между пегматоидными разностями. Пегматоидные разности обусловлены, главным образом, субперпендикулярно ориентированными к простиранию дайки кристаллами калишпата с зеленоватым оттенком (амазонитоподобный), длина до 5–7 см. Также, более мелкозернистые меланократовые равномерно-зернистые разности формируют отдельные жилы мощностью до 1–2 см и секут более ранние текстурно-структурные взаимоотношения в дайках, иногда со смещением. Вероятно, дайка была сформирована в результате неоднократного внедрения вещества в периодически раскрывающуюся

трещину, что отразилось на ее текстурно-структурных особенностях.

МЕТОДИКА

Из изучаемой породы (обр. АК310820-3) были изготовлены шлифы, аншлифы, протоочки, истертые пробы. При изучении породы и составляющих ее минеральных фаз использовались методы: XRF (ARL ADVANT'X); ICP-MS (Agilent 7900, “Agilent technologies”), аналитики М. В. Эхова, В. Л. Утицина, А. С. Парамонов; оптической и сканирующей электронной микроскопии (Tescan VEGA II LSH, с ЭДС Vega “INCA” Energy-350), аналитик А. Н. Терновой.

U–Pb-изотопное исследование тантало-ниобатов проводилось в ИГГД РАН (Санкт-Петербург). Отобранные из протоочки зёрна танталита и тапиолита выщелачивали последовательно в 20% HF 30 минут, 7N HNO₃ 1 час и 6N HCl 2 часа на плитке при температуре 80°C [7], многократно отмывали ультрачистой водой. Для анализа отбирали хорошо огранённые зёрна с металлическим блеском без сростков. Отобранные кристаллы растворяли в концентрированной HF в тефлоновых бюксах при температуре 110°C в течение 16 часов. Ta и Nb образуют нерастворимые комплексы с HCl, поэтому деление на алиquotы выполняли из раствора HF [8]. Для определения содержания Pb и U использовали смешанный индикатор $^{235}\text{U} + ^{208}\text{Pb}$. Свинец выделяли методом ионно-обменной хроматографии с использованием смолы Bio–Rad AG 1–X8 по HBr–HCl методике [9] с последующим выделением урана на смоле UTEVA. Измерения изотопного состава Pb и содержаний Pb и U выполняли на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в статическом режиме. Загрязнение в опыте не превышало 25 пг для Pb и 1 пг для U. Первичную обработку результатов изотопного анализа Pb и U, вычисление возраста выполняли по программам Людвиг [10, 11]. Расчет возраста по одной навеске колумбита-(Fe) — танталита-(Fe) и четырем навескам тапиолита выполняли с учетом погрешности U/Pb-отношений 0.5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Образец АК310820–3 имеет содержания компонентов в: 6.98 Na₂O+K₂O, 72.04 SiO₂, 15.57 Al₂O₃, 2.55 Fe₂O₃_{общ.}, 1.23 F; содержания элементов в г/т: 2494 Li, 1596 Rb, 65.5 Nb, 55.92 Ta; элементные отношения: K/Rb = 16.6, Zr/Hf = 2.6, Nb/Ta 1.2, Y/Ho = 9.32, La_N/Lu_N = 1.27,

$Gd_N/Lu_N = 0.21$; а также тетраэдрэффект ($TE_{1,3,4}$) = 1.46. Нормирование на хондрит проводилось по [12], расчет тетраэдрэффекта по [13]. На основе представленных данных, изучаемый образец может быть охарактеризован как онгонитоподобная порода, близкая по содержанию некоторых элементов и их отношениям к “дайке амазонитовой” из работы “Онгониты” [14].

Исследование морфологии, зональности и состава тантало-ниобатов из образца АК310820-3 показало, что они представлены минералами ряда колумбит-(Fe) – танталит-(Fe) и тапиолит. Колумбит представлен удлиненными (длина до 80–100 мкм, ширина до 30–40 мкм), часто зональными в близкраевой части зернами (рис. 1 а). Внешние зоны роста обогащены танталом вплоть до возможности отнесения состава этих зон к танталиту. Тапиолит представлен незональными изометричными кристаллами до 130 мкм в поперечнике (рис. 1 б).

Все полученные при помощи СЭМ составы изученных зерен различных разновидностей тантало-ниобатов, используемых в дальнейшем для датирования, были нанесены на дискриминационную диаграмму (рис. 2).

Результаты изотопных исследований зерен тантало-ниобатов представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Отношения $^{206}Pb/^{204}Pb$ в пяти проанализированных навесках колумбита-(Fe) – танталита-(Fe) и тапиолита находятся в пределах от 105 до 6683. Фигуративные точки располагаются на конкордии и вблизи нее. Рассчитанная по пяти точкам дискордия определяет возраст 1541 ± 2.5 млн лет (СКВО = 0.9).

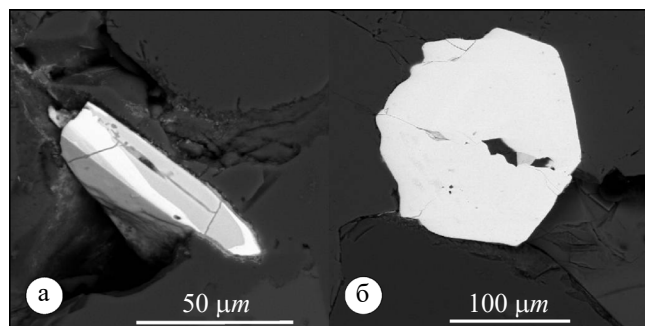


Рис. 1. Изображения типичных зерен ряда колумбит-(Fe) – танталит-(Fe) (а) и тапиолита (б), обратно-отраженные электроны.

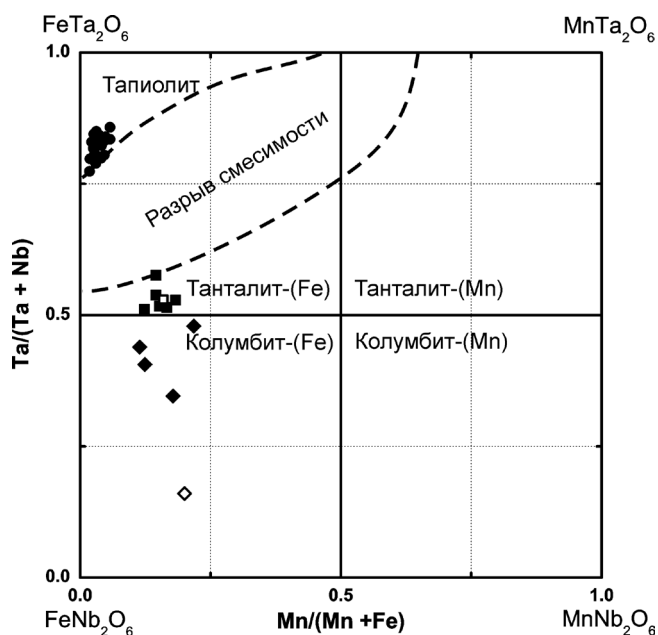


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма для минералов ряда колумбит–танталит–тапиолит по [15]. Круги – тапиолит, квадраты – танталит, ромбы – колумбит. Незакрашенные значки – усредненные составы, полученные для внутренней и внешней зоны зерна на рис. 1 а.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Судя по зональности зерен минералов ряда колумбит-(Fe) – танталит-(Fe) активность тантала в системе нарастала по мере роста его кристаллов, или на стадии аутометасоматических преобразований.

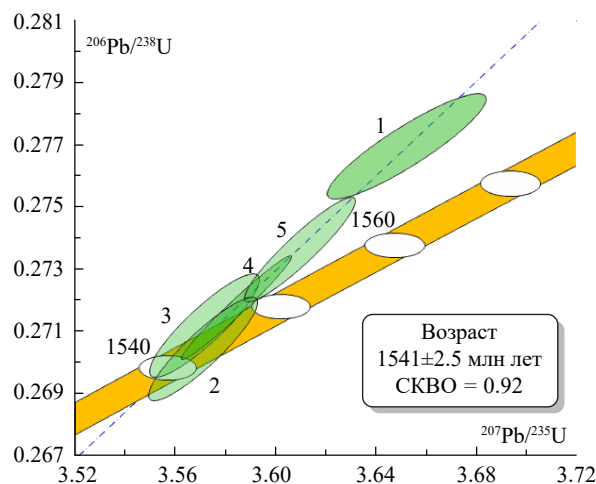


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для тантало-ниобатов из образца АК310820-3.

Таблица 1. Результаты U–Pb-изотопных исследований тантало-ниобатов из образца АК310820-3

№ п/п	Минерал	Pb_c/Pb_t	Изотопные отношения					Rho	Возраст, млн лет		
			$^{206}Pb/^{204}Pb^a$	$^{207}Pb/^{206}Pb^b$	$^{208}Pb/^{206}Pb^b$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1	Колумбит-(Fe) – танталит-(Fe)	0.409	105	0.0956±3	0.0206±5	3.652±26	0.2769±17	0.98	1576±10	1561±11	1541±5
2	Тапиолит	0.041	1476	0.0958±1	0.0025±4	3.571±8	0.2705±5	0.90	1543±3	1543±4	1543±2
3	Тапиолит	0.114	501	0.0955±1	0.0046±2	3.572±8	0.2712±5	0.89	1547±3	1543±3	1538±2
4	Тапиолит	0.169	321	0.0957±1	0.0079±3	3.610±10	0.2737±7	0.93	1559±4	1552±5	1541±2
5	Тапиолит	0.009	6683	0.0957±1	0.0010±4	3.584±11	0.2718±8	0.98	1550±5	1546±5	1541±1

Примечание. а – изотопные отношения, скорректированные на бланк и фракционирование; б – изотопные отношения, скорректированные на бланк, фракционирование и обычный Pb; Rho – коэффициент корреляции погрешностей отношений $^{207}Pb/^{235}U$ и $^{206}Pb/^{238}U$. Величины ошибок (2σ) соответствуют последним значащим цифрам. Порядковые номера в таблице соответствуют номерам точек на рисунке 3.

Полученное значение возраста совпадает с определенным ранее значением возраста для гранит-порфиров, однако имеет меньшую погрешность [5]. Так как геохимически аналогичная дайка сечет гранит-порфиры [6], это ограничивает погрешность определения возраста гранит-порфиров, уменьшая это значение в более молодую сторону с 9 до 2.5 млн лет.

Полученный нами возраст тантало-ниобатов совпадает в пределах погрешности с возрастом монацита и ксенотима из менее эволюционно-развитых редкометалльных гранитов [4], 1538.5 и 1538.9 млн лет соответственно. Вероятно, упомянутые выше, два типа редкометалльного магматизма в изучаемом районе – связаны с различными магматическими импульсами. Так, по данным [4], выделяется как минимум 6 магматических импульсов: два мафических и четыре импульса, связанных с внедрением гранитоидных магм. Каждый из этих импульсов продуцирует свою эволюционную серию пород. Подобная дискретность магматизма присуща анортозит-рапакивигранитным комплексам [2]. Однако, так как возраста двух типов редкометалльных гранитов близки, в дальнейшем необходимо дополнительно изучить вопрос их возрастного взаимоотношения.

Ранее, другими авторами делались попытки датировки касситерита и граната, из рудных объектов района для привязки их к различным проявлениям магматизма. Касситерит из “Старого рудного поля” датировался: LA-ICP-MS U–Pb-методом – 1542.7±1.5 млн лет [16], ID-TIMS U–Pb-методом 1539.5±0.9 млн лет [17] и 1540.9±3.6 млн лет [18]. Также из Питкярантского района датированы касситериты из пород “Старого Рудного поля” и месторождения “Кителя”, в результате получены схожие возрасты [19]. U–Pb-методом из скарновой минеральной ассоциации датировался гранат: 1539±9 млн лет [20]. Все полученные возрасты в пределах погрешности совпадают с полученными нами значениями, оставаясь, в целом, несколько моложе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в составе Салминского АРГК, в Питкярантском районе были продатированы экстремально дифференцированные дайки редкометалльных гранитов. Полученный возраст 1541±2.5 млн в пределах погрешности согласуется с возрастами рудной минерализации для скарновых объектов изучаемого района. Однако

в изучаемом районе также проявлены менее эволюционно развитые редкометалльные граниты, имеющие несколько более молодой возраст [4], что нарушает общепринятое направление эволюции гранитного магматизма. Подобное несоответствие возраста и геохимии пород, вероятно, связано с проявлением дискретности магматического процесса в Салминском АРГК и отношением этих пород к различным магматическим импульсам. Проведенные исследования также позволили скорректировать вероятный нижний порог возраста гранит-порфиров, определённый ранее [5].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят АО «ВАД» за расчистки обнажений и взрывные работы, проведенные в рамках реконструкции трассы Олонец–Вяртсилья в 2020 г., Я. И. Корепанова за транспортные услуги при проведении полевых работ и А. М. Ларина за ценные замечания, высказанные в процессе обсуждения.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работы по изучению пород и минералов проведены в рамках госзадания ИГ КарНЦ РАН, тема НИР FMEN-2023-0005, работы по датированию тантало-ниобатов проведены в рамках госзадания ИГД РАН, тема НИР FMUW-2022-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shapovalov Yu. B., Chevychelov V. Yu., Korzhinskaya V. S., Kotova N. P., Redkin A. F., Konyshchev A. A.* Physical and Chemical Parameters of Processes Producing Rare-Metal Deposits in Granitoid Systems with Fluorine: Experimental Data // *Petrology*. 2019. V. 27. № 6. P. 567–584. <http://doi.org/10.1134/S0869591119060067>
2. *Ларин А. М.* Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.
3. *Konyshchev A. A., Chevychelov V. Y., Shapovalov Y. B.* Two Types of Highly Differentiated Topaz-Bearing Granites of the Salmi Batholith, Southern Karelia // *Geochemica International*. 2020. V. 58. № 1. P. 11–26. <http://doi.org/10.1134/S0016702920010073>
4. *Amelin Yu. V., Larin A. M., Tucker R. D.* (1997) Chronology of multiphase emplacement of the Salmi rapakivi granite-anorthosite complex, Baltic Shield: implications for magmatic evolution // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 127 (4). 353–368. <http://doi.org/10.1007/s004100050285>
5. *Konyshchev A.* Natural Experiment on the Extraction and Quenching of Rapakivi-like Magmas: Traces of Interaction with the Mafic Melts and Their Derivatives, Salmi Batholith (Karelia, Russia) // *Minerals*. 2023. 13. 527. <http://doi.org/10.3390/min13040527>
6. *Konyshchev A. A., Anosova M. O., Rusak A. A., Alekseev I. A., Yakushev A. I., Shapovalov Yu. B.* Dikes of quartz porphyry and their role in the formation of the salmi batholith (South Karelia) // *Doklady Earth Sciences*. 2020. V. 491. Part 1. P. 127–130. <http://doi.org/10.1134/S1028334X20030083>
7. *Romer R. L., Smeds S. A.* U–Pb columbite ages of pegmatites from Sveconorwegian terranes in southwestern Sweden // *Precambrian Research*. 1996. V. 76. Issues 1–2. P. 15–30. [http://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00023-2](http://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00023-2)
8. *Romer R. L., Wrigh J. E.* U–Pb dating of columbites: A geochronologic tool to date magmatism and ore deposits // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1992. 56. 2137–214. <http://doi.org/10.1007/s00710-016-0455-1>
9. *Manhes G., Minster J. E., Allegre C. J.* Comparative uranium–thorium lead and rubidium–strontium study of the Saint Severin amphoterite: consequences for early solar system chronology // *Earth and Planetary Science Letters*. 1978. V. 39. № 1. P. 14–27. <http://doi.org/10.1134/S0869591114040067>
10. *Ludwig K. R.* PbDat for MS-DOS, version 1.21 // U. S. Geological survey open-file report. 88–542. 1991. 35 p.
11. *Ludwig K. R.* Isoplot 3.70. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Vol. 4. // Berkeley Geochronology Center Special Publications. 2003. P. 70.
12. *McDonough W. F., Sun S. S.* The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. V. 120. Issues 3–4. P. 223–253. [http://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](http://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
13. *Irber W.* The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1999. V. 63. № 3–4. P. 489–508. <http://doi.org/10.1524/zkri.1963.119.1-2.90>
14. *Коваленко В. И., Коваленко Н. И.* Онгониты – субвулканические аналоги редкометалльных литий-фтористых гранитов. М.: Наука, 1976. 129 с.
15. *Černý P., Ercit T. S.* Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites // *Bulletin Minéralogie*. 1985. V. 108. P. 499–532.
16. *Neymark L. A., Holm-Denoma C. S., Moscati R. J.* In situ LA-ICPMS U–Pb dating of cassiterite without a known-age matrix-matched reference material: Examples from world-wide tin deposits spanning the

- Proterozoic to the Tertiary // *Chemical Geology*. 2018. V. 483. P. 410–425.
<http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.03.008>
17. *Rizvanova N. G., Kuznetsov A. B.* A new approach to ID-TIMS U–Pb dating of cassiterite by the example of the Pitkäranta tin deposit // *Doklady Earth Sciences*. 2020. V. 491. P. 146–149.
<http://doi.org/10.1134/S1028334X20030150>
 18. *Tapster S., Bright J. W. G.* High-precision ID-TIMS cassiterite U–Pb systematics using a low-contamination hydrothermal decomposition: implications for LA-ICP-MS and ore deposit geochronology // *Geochronology*. 2020. V. 2. Issue 2. P. 425–441.
 19. *Neymark L. A., Larin A. M., Moscati R. J.* Pb–Pb and U–Pb dating of cassiterite by in situ LA-ICPMS: Example spanning ≈ 1.85 Ga to ≈ 100 Ma in Russia and implications for dating Proterozoic to Phanerozoic tin deposits // *Minerals*. 2021. 11. 1166.
<http://doi.org/10.3390/min11111166>
 20. *Amelin Y., Larin A. M.* U–Pb and Sm–Nd zircon and garnet geochronology of scarn formation associated with rapakivi granite magmatism: an example of the Pitkäranta ore district, south-eastern Karelia / In: *Anorthosites, rapakivi granites and related rocks* // IGCP 290. Abstract, Montreal, Canada. 1994.

NEW DATA ON THE AGE OF Ta–Nb MINERALIZATION FROM THE UUKSU RARE-METAL-GRANITE DIKE COMPLEX (SALMI BATHOLITH, KARELIA)

A. A. Konyshov^{a, #}, N. G. Rizvanova^b, N. A. Sergeeva^b

Presented by Academician of the RAS Yu. A. Kostitsyn on August 2, 2024.

^a*Institute of Geology, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russian Federation*

^b*Institute of Geology and Geochronology of the Precambrian,
Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: icelopa@gmail.com*

This work presents new data on rare-metal topaz–“zinnwaldite” granite dikes of the Salmi anorthosite-rapakivigranite complex of rocks. The isotopic age of Ta–Nb mineralization: the columbite-(Fe) – tantalite-(Fe) series and tapiolite was determined by the U–Pb method (ID-TIMS, 1541 ± 2.5 Ma). Conclusions are given about the age limitations of the associated rocks, intersected by similar dikes, and the discreteness of the rare-metal magmatism manifestation in the studied area.

Keywords: rare-metal granites, U–Pb isotopic age, anorthosite-rapakivigranite complex, columbite, tantalite, tapiolite, dike complex, Salmi batholith, Karelia