

УДК 551.72:549.02:550.4.08

ВОЗРАСТ РУДОНОСНЫХ ЖЕЛЕЗО-МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЛДАНСКОГО ЩИТА: РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb (ID-TIMS) ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАНАТА

© 2023 г. М. В. Стифеева^{1,*}, Е. Б. Сальникова¹, член-корреспондент РАН А. Б. Котов¹,
Ю. Д. Гриценко², И. Пейчева³

Поступило 30.11.2022 г.

После доработки 16.12.2022 г.

Принято к публикации 20.12.2022 г.

Проведены U–Pb (ID-TIMS) геохронологические исследования граната из железо-магнезиальных метасоматитов рудопоявления района реки Курунг-Хоонку (Леглиерская группа месторождений, Западно-Алданский мегаблок). Полученные результаты (1901 ± 5 млн лет) являются первой “прямой” оценкой возраста процессов формирования рудоносных железомagneзиальных метасоматитов Алданского щита. Это свидетельствует об их связи с заключительными этапами раннепротерозойской тектономагматической эволюцией Алданского геоблока.

Ключевые слова: гранат, скарны, U–Pb возраст, Алданский щит

DOI: 10.31857/S2686739722602708, **EDN:** FEWJAG

Согласно современным схемам тектонического районирования [1, 2], Алданский щит подразделяется на Алданский геоблок и расположенные соответственно к западу и востоку от него Чара-Олёкминский и Батомгский геоблоки (рис. 1). По геологическим и геофизическим данным в пределах Алданского геоблока выделяют Западно-Алданский и Восточно-Алданский (Учурский) мегаблоки [1, 2]. В пределах восточной части Западно-Алданского мегаблока между реками Алдан и Тимтон расположены богатейшие по запасам флогопитовые и железорудные месторождения, имеющие оценки возраста которых ($1600\text{--}2230$ млн лет; K–Ar метод, флогопит [3]) находятся в широком диапазоне. Можно только предполагать, что их образование связано с раннепротерозойским этапом геологического развития Алданского щита. Для решения этой задачи выполнены U–Pb (ID-TIMS) геохронологические исследования граната из железомagneзиальных метасоматитов района среднего течения реки

Курунг-Хоонку (Леглиерская группа железорудных месторождений).

В геологическом строении восточной части Западно-Алданского мегаблока Алданского щита принимают участие раннепротерозойские тоналит-трондьемитовые ортогнейсы тимптонского комплекса и супракрустальные образования федоровской толщи алданского гранулитогнейсового мегакомплекса, метаморфизованные в условиях гранулитовой фации [2]. В составе федоровской толщи преобладают амфиболовые, биотит-гиперстеновые, гиперстен-амфиболовые, диопсид-амфиболовые и двупироксеновые плагиогнейсы и гнейсы, основные кристаллические сланцы, кальцифиры, мраморы, известково-силикатные, диопсидовые и флогопит-диопсидовые породы. Возраст протолитов биотит-гиперстеновых плагиогнейсов (андезитов) федоровской толщи составляет 2006 ± 10 млн лет (U–Pb (ID-TIMS) метод по циркону [4]).

Рудоносные железомagneзиальные метасоматиты, с которыми связаны железорудные и флогопитовые месторождения, приурочены к карбонатсодержащим горизонтатам федоровской толщи. При этом железорудные месторождения, как правило, локализованы в карбонатных, а флогопитовые — в алюмосиликатных породах [5]. Рудные тела имеют линзообразную форму и располагаются согласно со структурными элементами вмещающих пород. Наряду с данными метасома-

¹Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Геологический институт Болгарской академии наук,
София, Болгария

*E-mail: stifeeva.maria@yandex.ru

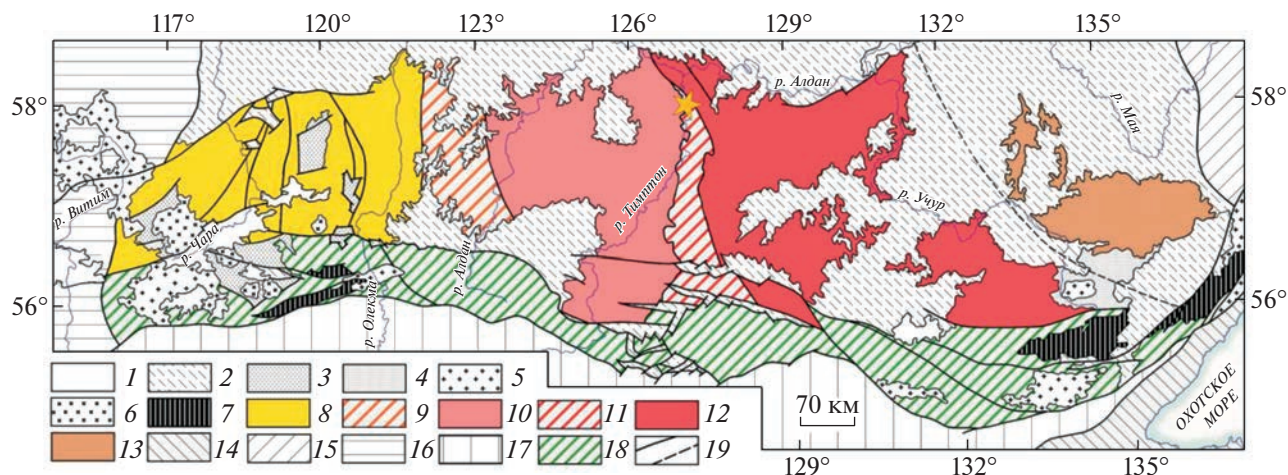


Рис. 1. Схематическая карта блокового строения Алданского щита и зоны сочленения с Джугджуро-Становой складчатой областью. 1 – кайнозойские отложения; 2 – мезозойские, палеозойские и верхнепротерозойские платформенные отложения; 3 – удоканский комплекс; 4 – улканский комплекс; 5 – фанерозойские гранитоиды; 6 – гранитоиды кодарского комплекса; 7 – анортозиты; 8–13 – Алданский щит: 8 – Чаро-Олёкминский геоблок, 9 – зона сочленения Чаро-Олёкминского и Алданского геоблока, 10 – Западно-Алданский мегаблок Алданского геоблока, 11 – зона сочленения Западно- и Восточно-Алданского мегаблоков Алданского геоблока, 12 – Восточно-Алданский (Учурский) мегаблок Алданского геоблока, 13 – Батомгский геоблок; 14 – Монголо-Охотская складчатая область; 15 – Верхоянско-Чукотская складчатая область; 16 – Байкальская складчатая область; 17 – Джугджуро-Становая складчатая область; 18 – зона сочленения Алданского щита и Джугджуро-Становой складчатой области; 19 – разрывные нарушения.

титам на изученной территории встречаются редкие пространственно обособленные линзы и жильные тела скарноподобных пород известкового состава. Они описаны в пределах Тимптонской группы флогопитовых месторождений и железорудных месторождений Леглиерского рудного поля [6, 7].

Характерным пороодообразующим минералом этих пород является кальциевый гранат, который может выступать в качестве надежного U–Pb минерала-геохронометра для оценки возраста процессов скарнообразования.

Нами изучен гранат из рудопроявления р. Курунг-Хоонку, относящегося к Леглиерской группе месторождений. Породы диопсид-андрадитового состава слагают жильные тела, которые пересекают наиболее поздние структурные элементы, проявленные в породах федоровской толщи.

Цвет граната изменяется от коричнево-черного в крупных фрагментах, до зеленовато-коричневого в тонких сколах. По химическому составу он соответствует андрадиту (75–90%) с незначительной долей альмандина (до 2.44%), хатчеонита (1.26–3.61%), гроссуляра (до 20%) и Mg-моримонита (до 4%). Для этого граната характерны обогащение HREE ((Sm/Yb) = 0.61–0.68), резкое обеднение LREE ((La/Yb) = 0.06–0.07) и ярко выраженная отрицательная европиевая аномалия (Eu/Eu* = 0.43) (рис. 2).

Отбор микроанализов граната для U–Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований осуществлялся вручную с визуальным контролем

однородности выбранных фрагментов кристаллов. Предварительная подготовка микроанализов граната для геохронологических исследований включала два этапа. На первом этапе проводилась ультразвуковая очистка микроанализов граната в 1N HCl, а на втором – их промывание в 6–8N HCl при температуре около 110°C, согласно модифицированной методике [9]. Для изотопных исследований использовался изотопный индикатор ^{235}U – ^{202}Pb . Разложение граната и химическое выделение Pb и U осуществлялись в соответствии с модифицированными методиками [10–12]. Определение изотопного состава Pb и U в гранате выполнено на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в статическом или динамическом режимах (при помощи счетчика ионов). Точность определения U/Pb отношений и содержаний U и Pb составила 0.5%. Холостое загрязнение не превышало 10 пг для Pb и 1 пг для U. Обработка экспериментальных данных осуществлялась в программах “PbDat” [13] и “ISOPLOT” [14]. При расчете возрастов использованы общепринятые значения констант распада урана [15]. Поправки на обычный Pb введены в соответствии с модельными величинами [16]. Все ошибки приведены на уровне 2σ.

Для геохронологических исследований использованы три микроанализа граната (табл. 1). Содержание U в изученном гранате достигает 58 мкг/г, а доля обыкновенного свинца не превышает 0.2 нг. Они характеризуются незначительной (1–2%) возрастной дискордантностью. Как

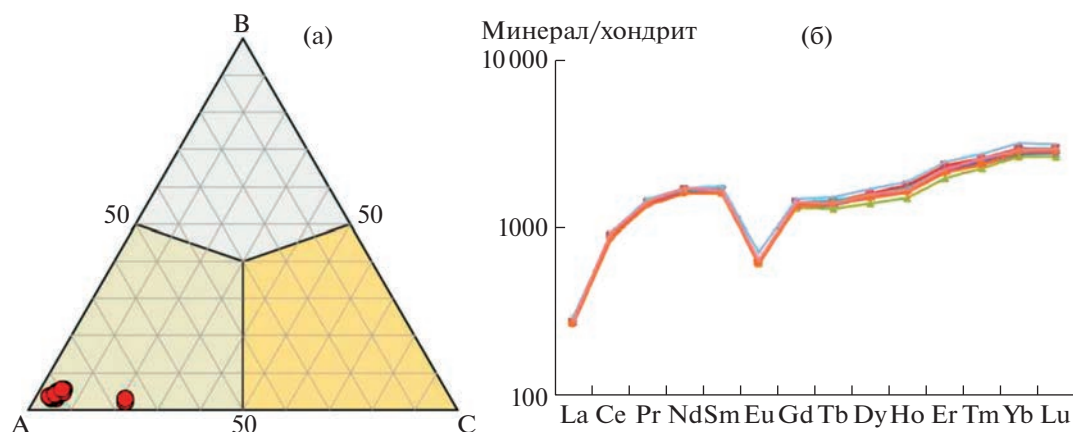


Рис. 2. а – состав граната из пород диопсид-андрадитового состава рудопоявления р. Курунг-Хоонку. А – андрадит ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3$), В – спессартин ($\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$), альмандин ($\text{Fe}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$),grossуляр ($\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$), С – мори-мотоит ($\text{Ca}_3(\text{Ti}, \text{Fe}^{2+})(\text{SiO}_4)_3$) + Mg-моримотоит ($\text{Ca}_3(\text{Ti}, \text{Mg})_2(\text{SiO}_4)_3$) + хатчеонит ($\text{Ca}_3\text{Ti}_2(\text{Si}, \text{Al}_2)_3\text{O}_{12}$). б – график распределения редкоземельных элементов в гранатах из пород диопсид-андрадитового состава рудопоявления р. Курунг-Хоонку. Нормировано по [8].

видно на рис. 3, точки изотопного состава граната располагаются на дискордии, верхнее пересечение которой с конкордией составляет 1901 ± 5 млн лет ($\text{СКВО} = 0.46$); нижнее пересечение отвечает 119 ± 430 млн лет.

Полученная оценка возраста граната из рудоносных железо-магнезиальных метасоматитов восточной части Западно-Алданского мегаблока Алданского щита свидетельствует о том, что их формирование произошло не на ранних, как это предполагалось ранее [17], а на заключительных этапах его раннепротерозойской эволюции – после формирования Тимтонской системы глубинных надвигов, обусловленной столкновением Олёкмо-Алданской континентальной микроплиты и пассивной окраины Учурской континентальной микроплиты [2].

В пределах ошибки она совпадает с возрастом постколлизийных интрузий гранитоидов амутского комплекса и его возрастных и структурно-возрастных аналогов ($1899 \pm 6 - 1901 \pm 1$ млн лет, U–Pb (ID-TIMS) метод по циркону [18]) западной части Западно-Алданского мегаблока, а также чарнокитов Усть-Иджеского массива (1916 ± 10 млн лет, U–Pb (ID-TIMS) метод по циркону [19]) зоны сочленения Западно- и Восточно-Алданского мегаблоков Алданского щита.

Представленные в статье геохронологические данные являются первой “прямой” оценкой возраста процессов формирования рудоносных железомагнезиальных метасоматитов Алданского щита и свидетельствуют о высокой устойчивости

Таблица 1. Результаты U–Pb геохронологических исследований граната из пород диопсид-андрадитового состава рудопоявления р. Курунг-Хоонку

Номер п/п	Навеска, мг	Pb, мкг/г	U, мкг/г	Pbc/Pbt	Изотопные отношения					Rho	Возраст, млн. лет		
					$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^a$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^a$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	1.12	20.03	58.35	0.01	4777	0.1163 ± 0.4	0.5112 ± 1	5.428 ± 76	0.3385 ± 5	0.97	1889 ± 3	1880 ± 3	1900 ± 1
2	0.41	16.84	48.70	0.03	1593	0.1163 ± 0.4	0.5083 ± 1	5.366 ± 149	0.3347 ± 9	0.99	1879 ± 5	1861 ± 5	1900 ± 1
3	1.00	11.55	33.44	0.001	1990	0.1163 ± 0.4	0.5124 ± 1	5.383 ± 70	0.3356 ± 4	0.97	1882 ± 2	1866 ± 2	1901 ± 1

^a – изотопные отношения, скорректированные на бланк и обычный Pb; Rho – коэффициент корреляции ошибок $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; Pbc – обычный Pb; Pbt – общий Pb. Величины ошибок (2σ) соответствуют последним значащим цифрам после запятой.

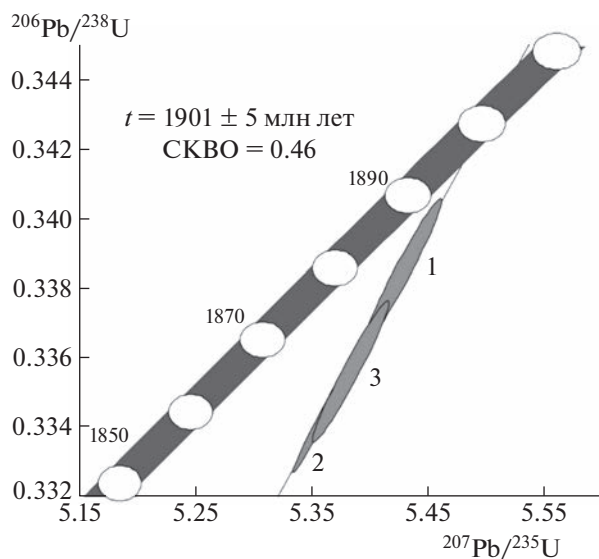


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для граната из пород андрадит-диопсидового состава рудопоявления р. Курунг-Хоонку. Номера точек соответствуют порядковым номерам в табл. 1.

U–Pb системы кальциевых гранатов в ходе процессов мезозойской тектономагматической активизации, проявленных в докембрийских комплексах южной части Сибирского кратона.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Геохронологические исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-17-00211), а геологические исследования — в рамках плановой темы и ИГГД РАН (№ FMUW-2022-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Докембрийская геология СССР / В.Я. Хильтова, А.Б. Вревский, С.Б. Лобач-Жученко и др.; отв. ред. Д.В. Рундквист, Ф.П. Митрофанов; АН СССР, Ин-т геологии и геохронологии докембрия. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1988. 439.
- Котов А.Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита: Дис. в виде научного доклада на соискание учен. степени докт. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург, 2003. 79 с.
- Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия) / отв. ред. А.П. Смелов и др.; ИГАБМ СО РАН, ИНГГ СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2015. 459 с.
- Великославинский С.Д., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Загорная Н.Ю., Яковлева С.З., Толмачева Е.В., Анисимова И.В., Федосеенко А.М. Первичная природа, возраст и геодинамическая обстановка формирования протолитов метаморфических пород федоровской толщи, Алданский щит // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. С. 25–43.
- Шенель А.Б. Закономерности размещения и зональность оруденения Леглиер-Тимптонского рудного пояса (Алданский Щит) // Геология рудных месторождений зоны БАМ. Новосибирск: Наука, 1983. С. 54–65.
- Лицарёв М.А. Генезис флогопитоносных месторождений Алдана. М.: Изд-во Акад. Наук СССР. 1961. 167 с.
- Шабынин Л.И. Рудные месторождения в формации магнезиальных скарнов. М.: Недра. 1974. 287 с.
- Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. V. 53. P. 197–214.
- DeWolf C., Zeissler C.J., Haliday A., Mezger K., Essene E. The role of inclusions in U–Pb and Sm–Nd garnet geochronology: stepwise dissolution experiments and trace uranium mapping by fission track analysis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1996. V. 60. P. 121–134.
- Krogh T.E. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1973. V. 37. P. 485–494.
- Horwitz E.P., Dietz M.L., Chiarizia R., Diamond H., Essling A.M., Graczyk D. Separation and preconcentration of uranium from acidic media by extraction chromatography // Analitica Chimica Acta. 1992. V. 266. P. 25–37.
- Corfu F., Andersen T.B. U–Pb ages of the Dalsfjord Complex, SW Norway and their bearing on the correlation of allochthonous crystalline segment of the Scandinavian Caledonides // Inter. Journal of Earth Science. 2002. V. 91. P. 955–963.
- Ludwig K.R. PbDat for MS-DOS, version 1.21 U.S. Geological Survey Open-File Report 88-542. 1991. 35 p.
- Ludwig K.R. Isoplot 3.70. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publications. 2003. V. 4. 70 p.
- Steiger R.H., Jäger E. Subcommittee on geochronology: 865 convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth and Planetary Science Letters. 1977. V. 36. P. 359–362.
- Stacey J.S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. 1975. V. 26. P. 207–221.
- Дук В.Л., Салье М.Е., Байкова В.С. Структурно-метаморфическая эволюция и флогопитоносность гранулитов Алдана. Ленинград: Наука. 1975. 227 с.
- Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Ковач В.П., Саватенков В.М., Яковлева С.З., Бережная Н.Г., Плоткина Ю.В. Раннепротерозойские гранитоиды зоны сочленения Олекминской гранит-зеленокаменной и Алданской гранулитогнейсовой областей, Алданский щит: возраст, источники и геодинамические обстановки формирования // Петрология. 2004. Т. 12. № 1. С. 46–67.
- Бибикова Е.В. Уран-свинцовая геохронология ранних этапов развития древних щитов. М.: Наука. 1989. 178 с.

AGE OF ORE-BEARING IRON-MAGNEZIAN METASOMATITES OF THE CENTRAL PART OF THE ALDAN SHIELD: RESULTS OF U–PB (ID-TIMS) GEOCHRONOLOGICAL STUDIES OF GARNET

**M. V. Stifeeva^{a, #}, E. B. Salnikova^a, Corresponding Member of the RAS A. B. Kotov^a,
Y. D. Gritsenko^b, and I. Peycheva^c**

^a*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation*

^b*Moscow State University, Geological Department, Moscow, Russian Federation*

^c*Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

[#]*E-mail: stifeeva.maria@yandex.ru*

U–Pb (ID-TIMS) geochronological studies of garnet from iron-magnesian metasomatites of the ore occurrence of the Kurung-Hoonku River area (Legliera group of deposits, West Aldan megablock) were carried out. The results obtained (1901 ± 5 MA) are first age determination of formation ore-bearing iron-magnesian metasomatites on the Aldan shield. It shows their connection with the final stages of the Early Proterozoic tectonic-magmatic evolution of the Aldan geoblock.

Keywords: garnet, skarn, U–Pb, Aldan shield