ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2024, том 514, № 2, с. 246–250

ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 551.72:549.02:550.4.08

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОНДОМСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ПОЛЯ (ГОРНАЯ ШОРИЯ): РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb (ID-TIMS)-ДАТИРОВАНИЯ ГРАНАТА

© 2024 г. М. В. Стифеева[1,*], Е. Б. Сальникова[1], член-корреспондент РАН А. Б. Котов[1], Ю. Д. Гриценко[2,3]

Поступило 21.09.2023 г.
После доработки 23.10.2023 г.
Принято к публикации 24.10.2023 г.

Представлены результаты U–Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований граната из железорудных скарнов Шалымского месторождения (Кондомское рудное поле, Горная Шория). Полученные данные являются первой “прямой” оценкой возраста формирования железорудного оруденения Кондомского поля (499 ± 1 млн лет). Образование этого месторождения связано с этапом субщелочного магматизма средне-верхнекембрийского возраста, который ранее не был выделен в пределах складчатых сооружений Горной Шории (западная часть Алтае-Саянской складчатой области).

Ключевые слова: скарны, гранат, U–Pb, Горная Шория, Алтае-Саянская складчатая область, железорудные месторождения

DOI: 10.31857/S2686739724020073

Горная Шория является одним из богатейших железорудных районов России. Он расположен в западной части Алтае-Саянской складчатой области, в зоне сочленения складчатых сооружений Кузнецкого Алатау, Горного Алтая и Западного Саяна (рис. 1). Железорудные месторождения этого района объединяются в Алатауско-Горношорский марганцево-железорудный пояс, включающий рудопроявления кембрийского и раннедевонского возрастов. Месторождения железа имеют различное происхождение, но наиболее крупные и богатые из ныне разрабатываемых относятся к скарново-рудной формации. Среди всех рудных полей выделяется Кондомское железорудное поле, в состав которого входят два крупных месторождения железной руды – Таштагольское и Шерегешевское [1].

Образование контактово-метасоматических месторождений Кондомского поля связано с Шалымским магматическим комплексом, прорывающим вулканогенно-осадочные карбонатсодержащие толщи мундыбашской свиты. Входящие в состав этого комплекса массивы сложены щелочно-полевошпатовыми и кварцевыми сиенитами, гранодиоритами и габброидами. Для всех интрузивных пород массивов Шалымского комплекса характерны повышенная щелочность и обогащение фосфором.

В состав Кондомского железорудного поля входят четыре месторождения: Таштагольское, Шалымское, Шерегешевское и Кочуринское. Общей чертой всех месторождений является форма и пространственная ориентировка рудных тел. Скарново-магнетитовые тела приурочены к Кондомскому грабену и контролируются зонами разломов. Месторождения несколько отличаются минеральным парагенезисом и составом руд: для месторождений южной части Кондомского поля (Таштагольского и Кочуринского) характерна высокая степень проявленности наложенных процессов, связанная с воздействием поздних гранитоидных комплексов [3].

Шалымское месторождение расположено в зоне контакта кварцевых сиенитов Шалымского массива с вмещающими породами эффузивно-осадочной толщи мундыбашской свиты. Рудные тела имеют сложную столбообразную,

[1] *Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия*
[3] *Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана Российской Академии наук, Москва, Россия*
[*] *E-mail: stifeeva.maria@yandex.ru*

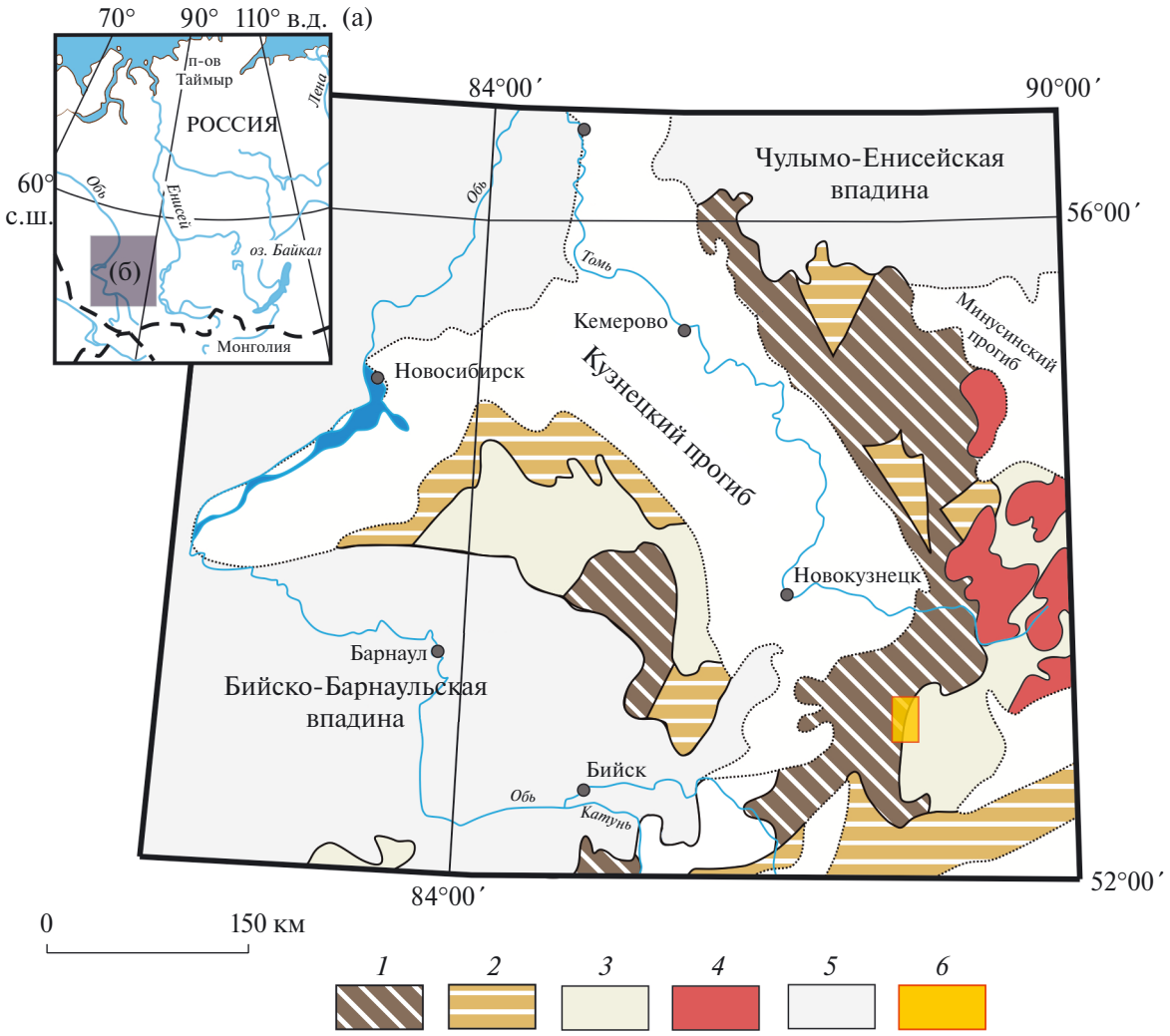

Рис. 1. Схематическая карта вулканических поясов и палеобассейнов западной части Алтае-Саянской складчатой области (составлена по [2]); (б): *1* – вулканические пояса с окраинноморскими и (или) океанскими ассоциациями; *2* – вулканические пояса с островодужными ассоциациями; *3* – венд-кембрийские палеобассейны; *4* – раннепалеозойские гранитоидные батолиты; *5* – мезозойско-кайнозойские отложения; *6* – площадь исследований.

линзовидную и гнездовую формы [1]. Скарны представлены гранат-пироксеновыми и гранат-эпидотовыми разностями, рудная минерализация представлена магнетитом в ассоциации с сульфидами. Отмечаются наложенные гидротермальные преобразования пород, выраженные в хлоритизации, частичном окварцевании и карбонатизации. Также к поздним процессам относится внедрение даек диабазов, секущих скарны и магнетитовые руды [1]. Скарновая минерализация представлена преимущественно гранатом и диопсидом, в меньшем количестве присутствуют эпидот и скаполит. Рудный этап начинается с формирования залежей железных руд и завершается образованием сульфидов.

Исследования, проведенные за последние несколько лет [4, 5], продемонстрировали высокий потенциал кальциевых гранатов как U–Pb-минералов-геохронометров, в том числе для “прямого” датирования рудных процессов. В настоящей работе представлены результаты U–Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований граната из рудоносных скарнов Шалымского месторождения.

Гранат является породообразующим минералом скарновых пород. Он слагает плотные массы в срастаниях с пироксеном и встречается в виде отдельных идиоморфных кристаллов, размер которых достигает 3 мм в диаметре. Цвет варьирует от зеленовато-коричневого в крупных кристаллах до бледно-зеленого в тонких

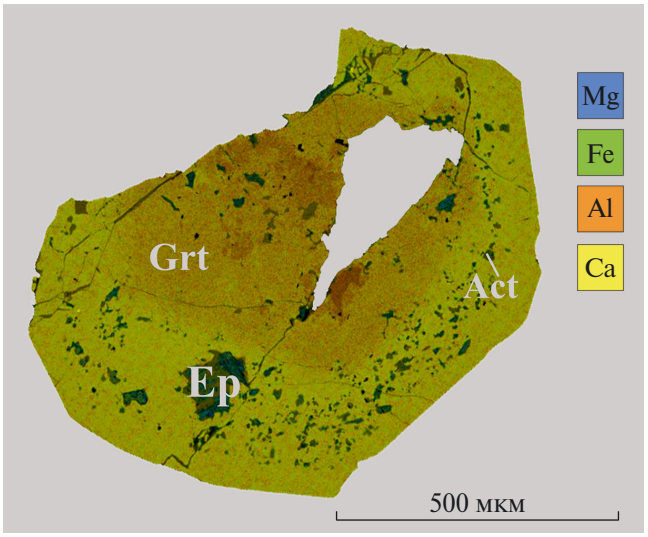

Рис. 2. Изображение карты ЭДС, показывающей распределение Mg, Fe, Al и Ca в гранате из скарнов Шалымского месторождения.

фрагментах. Химический состав граната соответствует ряду андрадит (12.32–63.71%)–гроссуляр (31.96–80.40%) с минимальным присутствием других компонентов (спессартин до 4.36%, пироп до 2.37%). Внутреннее строение зерен граната характеризуется наличием зональности, несколько отличающейся от типичной для гранатов из скарновых пород. На изображениях зерен граната в обратно отраженных электронах это выражается в отсутствии четких границ между зонами с преобладающим содержанием андрадитового или гроссулярого компонентов и неоднородности окраски отдельных участков (рис. 2).

В целом для всех зерен граната характерно преобладание гроссулярового компонента в центре зерен и постепенное увеличение содержания андрадитового минала в краевых частях. Также в периферийных зонах наблюдаются включения минералов группы эпидота (5–10 мкм) и магнетита (менее 1 мкм). Кроме того, наблюдается частичное замещение граната магнетитом во внешних зонах кристаллов. Состав включений и характер наложенных процессов (частичное замещение зерен граната магнетитом) соответствуют минеральной ассоциации рудоносных скарнов и однозначно указывают на то, что образование граната произошло в ходе контактово-реакционных процессов и связанных с ними рудогенезом.

U–Pb геохронологические исследования проведены для четырех микронавесок граната из рудоносных скарнов Шалымского месторождения из коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (ММФ № 53457). Для изучения отбирались преимущественно отдельные однородные, свободные от включений зерна граната (размер до 100 мкм), реже фрагменты зерен. Отбор микронавесок осуществлялся вручную под бинокуляром с визуальным контролем внутреннего строения. Предварительная подготовка проб, а также процедуры выделения свинца и урана проводились по методике, описанной в [5]. Определение изотопного состава Pb и U выполнено на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в статическом или динамическом (с помощью счетчика ионов) режимах. Точность определения U/Pb-отношений, а также содержаний урана и свинца составила 0.5%. Верхняя граница холостого загрязнения для U составляло 1 пг U и 15 пг Pb. Последующая обработка полученных экспериментальных данных проводилась в программах “PbDat” [6] и “ISOPLOT” [7]. Расчет возрастов осуществлялся с использованием общепринятых констант распада U [8]. Поправки

Таблица 1. Результаты U–Pb геохронологических исследований граната из рудоносных скарнов Шалымского месторождения

Номер п/п	Навеска, мг	Pb, мкг/г	U, мкг/г	Pbc/Pbt	Изотопные отношения					Rho	Возраст, млн лет		
					$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb^{a}$	$^{208}Pb/^{206}Pb^{a}$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1	0.59	3.52	39.43	0.15	329.27	0.0573±1	0.0371±1	0.6354±12	0.0804±1	0.81	499±1	498±1	504±2
2	0.31	6.93	78.07	0.15	335.98	0.0571±1	0.0406±1	0.6331±12	0.0804±1	0.81	498±1	499±1	496±3
3	0.24	3.61	37.53	0.21	211.8	0.0572±1	0.0334±1	0.6373±20	0.0808±1	0.60	501±1	501±1	498±5
4	0.54	7.23	67.14	0.10	136.22	0.0568±1	0.0311±1	0.5854±21	0.0747±2	0.79	468±2	464±1	485±5

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

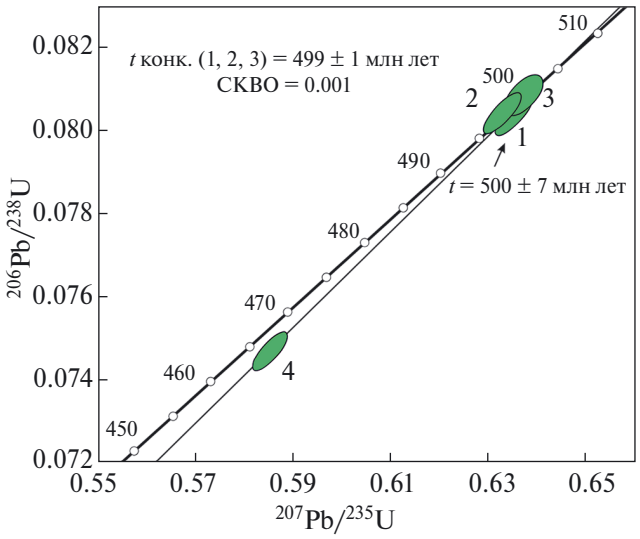

Рис. 3. Диаграмма с конкордией для граната из рудоносных скарнов Шалымского месторождения. Номера точек на диаграмме соответствуют порядковым номерам в табл. 1.

на обычный Pb вводились в соответствии с модельными величинами [9]. Все ошибки приведены на уровне 2σ.

Гранаты из рудоносных скарнов Шалымского месторождения характеризуются высоким уровнем содержания урана (37–78 мкг/г) и низкой долей обыкновенного свинца (Pbc/Pbt = 0.10–0.21) (табл. 1). Конкордантный возраст, полученный по трем микронавескам граната (1–3, табл. 1), составляет 499 ± 1 млн лет (СКВО = 0.001) (рис. 3). Микронавеска № 4 характеризуется незначительной дискордантностью (4%), однако, возраст по верхнему пересечению дискордии, рассчитанный для всех четырех микронавесок, отвечает 500 ± 7 млн лет (нижнее пересечение соответствует 212 ± 120, СКВО = 2), что хорошо согласуется с полученным конкордантным возрастом (рис. 3).

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют установить с высокой точностью “прямой” возраст образования скарнов и сопутствующего железорудного оруденения Шалымского месторождения (Кондомское рудное поле), который составляет 499±1 млн лет.

Полученные данные указывают на то, что в пределах Горной Шории также был проявлен этап раннепалеозойской (500–548 млн лет; [10]) магматической активизации, ранее выделенный только в восточной части Кузнецкого Алатау (западная часть Алтае-Саянской складчатой области).

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахрушев В.А.* Вопросы минералогии, геохимии и генезиса железных руд Кондомского района Горной Шории // Отв. ред. Г.Л. Поспелов. Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР. 1959. 190 с.

2. *Бабин Г.А.* Магматизм Горной Шории (состав, районирование, геодинамическая интерпретация): Дисс. на соискание учен. степени канд. геол.-мин. наук. Новосибирск. 2003. 20 с.

3. *Кашкай М.А.* К минералогии рудных процессов Кондомской группы железорудных месторождений / Сборник статей под ред. П.И. Лебедев. Ч. 1. АН СССР. Ленинград: Изд-во Акад. Наук СССР. 1934. 208 с.

4. *Стифеева М.В., Сальникова Е.Б., Самсонов А.В., Котов А.Б., Гриценко Ю.Д.* U-Pb возраст граната из скарнов Дашкесанского месторождения (Малый Кавказ) // ДАН. 2019. Т. 487. № 5. С. 554–557.

5. *Стифеева М.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Гриценко Ю.Д., Пейчева И.* Возраст рудоносных метасоматитов центральной части Алданского щита: результаты U-Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований граната // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 25–29.

6. *Ludwig K.R.* PbDat for MS-DOS, version 1.21 U.S. Geological Survey Open-File Report 88–542. 1991. 35 p.

7. *Ludwig K.R.* Isoplot 3.70. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publications. 2003. V. 4. 70 p.

8. *Steiger R.H., Jäger E.* Subcommission 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.

9. *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.

10. *Врублевский В.В., Котельников А.Д., Изох А.Э.* Возраст, петрологические и геохимические условия формирования Когтахского габбро-монцонитового комплекса Кузнецкого Алатау // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 7. С. 900–930.

THE FIRST AGE DATA OF THE DEPOSITS OF KONDOMSKY IRON ORE FIELD (GORNAYA SHORIYA): RESULTS OF U-Pb (ID-TIMS) DATING OF GARNET

M. V. Stifeeva[a,#], E. B. Salnikova[a], Corresponding Member of the RAS A. B. Kotov[a], Yu. D. Gritsenko[b, c]

[a] *Institute of Precambrian Geology and Geochronology Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation*
[b] *Lomonosov Moscow State University, Geological Department, Moscow, Russian Federation*
[c] *A. Fersman Mineralogical Museum, Moscow, Russian Federation*
[#] *E-mail: stifeeva.maria@yandex.ru*

The results of U-Pb (ID-TIMS) geochronological studies of garnet from iron ore skarns of the Shalym deposit (Kondomskoye ore field, Gornaya Shoriya) are presented. The data obtained are the first estimate of the age of formation of the iron ore mineralization of the Kondomsky field (499 ± 1 MA). The formation of this deposit is associated with the stage of subalkaline magmatism of the Middle-Upper Cambrian age, which was not previously identified within the folded structures of the Mountain Shoria (the western part of the Altai-Sayan folded region).

Keywords: garnet, skarn, U-Pb, Gornaya Shiriya, Altai-Sayan folded district, iron ore depositits