



AGE AND SOURCE CHARACTERISTICS OF THE YUZHNOE AND ULAN-UDE REE-FLUORITE OCCURRENCES ASSOCIATED WITH CARBONATITE MAGMATISM (WESTERN TRANSBAIKALIA, RUSSIA)

A.A. Redina ¹✉, A.G. Doroshkevich ^{1,2,3}, I.R. Prokopyev ^{1,3}, I.A. Izbrodin ^{1,2}, Y. Yang ⁴

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

² Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

³ Novosibirsk State University, 1 Pirogov St, Novosibirsk 630090, Russia

⁴ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 19 Beitucheng West Road, Chaoyang Dist, Beijing 100029, China

ABSTRACT. The article presents new data on the age and isotopic (Sr, Nd) characteristics of the Yuzhnoe and Ulan-Ude REE-fluorite occurrences, paragenetically related to alkaline carbonatite magmatism. Age estimates of the fluorite-containing rocks were obtained from bastnaesites using U-Th-Pb (LA-ICP-MS) method and are 130.2 ± 1.1 and 136.6 ± 1.9 Ma for the Yuzhnoe and Ulan-Ude occurrences, respectively. The $\epsilon_{Nd}(T)$ values of the bastnaesites vary from -7.41 to -6.08 for the Yuzhnoe occurrence and from -4.28 to -2.67 for the Ulan-Ude occurrence. The Yuzhnoe carbonatites are characterized by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ ratios ranging from 0.705883 to 0.706011, and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ ratios obtained for the Ulan-Ude bastnaesite-fluorite rocks are ranging from 0.70683 to 0.70687. The age estimates are consistent with the published geochronological data on alkaline carbonatite magmatism of the Central Asian orogenic belt related to Late Mesozoic intraplate magmatism and rifting. Isotopic Sr-Nd signatures of bastnaesite, as well as of the Yuzhnoe carbonatites and the Ulan-Ude bastnaesite-fluorites, indicate that their source rocks came from the enriched lithospheric mantle.

KEYWORDS: carbonatite magmatism; bastnaesite-fluorite rocks; Nd and Sr isotope composition; U-Th-Pb dating; Central Asian orogenic belt; Late Mesozoic magmatism

FUNDING: The study of the sources of substance and the age estimates were made at the expense of the RSF grant 22-17-00078. The geology of the region was studied within the basic research projects of IGM SB RAS (122041400241-5) and GIN SB RAS (AAAAA 21-121011390002-2).



RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Anna A. Redina, redina@igm.nsc.ru

Received: June 7, 2023

Revised: July 10, 2023

Accepted: July 12, 2023

FOR CITATION: Redina A.A., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Izbrodin I.A., Yang Y., 2023. Age and Source Characteristics of the Yuzhnoe and Ulan-Ude Ree-Fluorite Occurrences Associated with Carbonatite Magmatism (Western Transbaikalia, Russia). *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (6), 0728. doi:10.5800/GT-2023-14-6-0728

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНО-ФЛЮОРИТОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЮЖНОЕ И УЛАН-УДЭНСКОЕ, СВЯЗАННЫХ С КАРБОНАТИТОВЫМ МАГМАТИЗМОМ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

А.А. Редина¹, А.Г. Дорошкевич^{1,2,3}, И.Р. Прокопьев^{1,3}, И.А. Избродин^{1,2}, Ю. Ян⁴

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

³ Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

⁴ Институт геологии и геофизики Китайской академии наук, 100029, Пекин, Китай

АННОТАЦИЯ. В статье представлены новые данные о возрасте и изотопные (Sr, Nd) характеристики для редкоземельно-флюоритовых проявлений Южное и Улан-Удэнское, парагенетически связанных с щелочным карбонатитовым магматизмом. Возрастные оценки флюоритсодержащих пород были получены U-Th-Pb (LA-ICP-MS) методом по бастнезитам и составляют 130.2 ± 1.1 и 136.6 ± 1.9 млн лет для Южного и Улан-Удэнского проявлений соответственно. Значения $\epsilon_{Nd}(T)$ для бастнезита проявления Южное варьируются в диапазоне от -7.41 до -6.08 . Для бастнезитов проявления Улан-Удэнского установлены значения $\epsilon_{Nd}(T)$ от -4.28 до -2.67 . Карбонатиты проявления Южное характеризуются $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ в диапазоне от 0.705883 до 0.706011, а в бастнезит-флюоритовых породах Улан-Удэнского проявления значения $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ составляют 0.70683–0.70687. Полученные возрастные оценки согласуются с опубликованными геохронологическими данными по щелочному карбонатитовому магматизму Центрально-Азиатского складчатого пояса, связанному с позднемезозойской внутриплитной рифтогенной магматической активностью. Изотопные Sr-Nd характеристики бастнезита, а также карбонатитов проявления Южное и бастнезит-флюоритовых пород проявления Улан-Удэнское свидетельствуют в пользу генерации их источников из обогащенной литосферной мантии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: карбонатитовый магматизм; бастнезит-флюоритовые породы; Nd и Sr изотопные данные; U-Th-Pb датирование; Центрально-Азиатский складчатый пояс; позднемезозойский магматизм

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Изучение источников вещества и определение возраста проявлений выполнены по теме и за счет средств гранта РФФИ 22-17-00078. Геология региона изучена в рамках базовых проектов НИР ИГМ СО РАН (122041400241-5) и ГИН СО РАН (AAAAA21-121011390002-2).

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования щелочно-карбонатитовых комплексов в значительной степени способствуют пониманию глубинных мантийных магматических процессов, выявлению источников щелочно-карбонатитовых расплавов и установлению механизмов их обогащения рудными элементами. В настоящее время карбонатитовые комплексы являются основным источником ряда важных рудных элементов и включают крупнейшие в мире месторождения ниобия и редкоземельных элементов (РЗЭ) [Anenburg et al., 2021; Berger et al., 2009; Chakhmouradian, Wall, 2012; Nassar et al., 2015; Verplank et al., 2016; Wang et al., 2020]. Одними из наиболее специфичных и богатых полезными компонентами являются карбонатитовые комплексы с фтор-редкоземельным типом оруденения. К таким комплексам относятся известные крупные месторождения, такие как Баян Обо, Маониупинг и Далукао в Китае [Fan et al., 2016; Zheng, Liu, 2019], Амба Донгар в Индии [Dhote et al., 2021; Palmer, Williams-Jones, 1996], Барра-ду-Итапирапуан в Бразилии [Ruberti et al., 2008], Канганкунде, Тундулу и Сонгве в Малави [Chikanda et al., 2019;

Ngwenya, 1994], Окорусу в Намибии [Cangelosi et al., 2020], Fe-F-REE карбонатиты Центрально-Азиатского складчатого пояса, находящиеся на территории Тувы, Западного Забайкалья и Южной Монголии [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Prokopyev et al., 2016; Redina et al., 2020; Ripp et al., 2009; Yarmolyuk, Kovalenko, 2003], а также Ti-Nb и редкоземельные карбонатиты Кольского полуострова в России [Kozlov et al., 2020; Prokopyev et al., 2020].

В пределах Западного Забайкалья выделяют несколько типов флюоритовой минерализации: связанный с щелочно-карбонатитовым магматизмом (1-й тип), связанный с гранитным магматизмом (2-й тип) и эпитегрмальный (3-й тип). Флюоритовая минерализация, генетически связанная с щелочно-карбонатитовыми комплексами (1-й тип), сформировалась в период 140–118 млн лет назад [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikiforov et al., 2006; Nikolenko et al., 2020; Prokopyev et al., 2016; Ripp et al., 2019; Sal'nikova et al., 2010; Doroshkevich, 2013]. Примерами такой минерализации служат проявления Аршан, Южное, Улан-Удэнское и другие. Флюориты 1-го типа, как было установлено ранее

[Redina et al., 2021], образовывались как на ортомагматической, так и на гидротермальной стадии развития систем и характеризуются высоким содержанием РЗЭ и стронция. Они формировались из минералообразующих высококонцентрированных флюидов хлоридно-сульфатно-карбонатного состава, а их температура превышает 500 °С.

Другой тип флюоритовой минерализации (2-й тип) связан с триасовыми (250–220 млн лет) субщелочными гранитами (например, фтор-бериллиевые месторождения Ермаковское, Ауник и Амандак) и раннемеловыми (144–120 млн лет) лейкогранитами (например, молибден-вольфрамовое Джидинское рудное поле) [Ripp et al., 2018]. Формирование флюорита из месторождений 2-го типа происходило в постмагматическую стадию при участии среднетемпературных флюидов (температура менее 480 °С) [Bulnaev, 2006; Kosals, Dmitriyeva, 1973; Kupriyanova et al., 2009].

Эпитермальная флюоритовая минерализация (3-й тип) сформировалась в период 122–92 млн лет назад [Bulnaev, 2003]. Данный тип характеризуется низкой температурой минералообразующих флюидов (<250 °С) и отсутствием выраженной связи с процессами магматизма [Bulnaev, 1976].

Относительный возраст позднемезозойских (128–92 млн лет) месторождений флюорита Западного Забайкалья был установлен главным образом с помощью датирования пространственно сближенных с флюоритовой минерализацией магматических пород и биостратиграфическим методом [Bulnaev, 2003].

В этом исследовании представлены первые данные об абсолютных возрастных оценках (U-Th-Pb) и Nd-Sr изотопном составе бастнезит-флюоритовых пород карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья (Южное и Улан-Удэнское проявления). Геохронологические и изотопные исследования являются важными для построения генетических моделей и понимания механизмов, ответственных за формирование месторождений подобного типа.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Исследованные редкоземельно-флюоритовые проявления Южное и Улан-Удэнское относятся к поздне-мезозойской карбонатитовой провинции, расположенной в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса, и локализованы в ее Западно-Забайкальском сегменте.

По А.А. Воронцову с соавторами [Vorontsov et al., 2016], система грабенов и проявления интенсивного магматизма позднего мезозоя относятся к структурам и комплексам Западно-Забайкальской рифтовой области (рис. 1, а). Грабены этого периода создают структурный каркас района и его минерагенический фон, обусловленный производными щелочно-габброидной магматической серии раннего мела, включающей поля даек и дайкообразных тел карбонатитов халютинского комплекса.

Проявление Южное расположено в пределах Слюдянского горста (рис. 1, б), который сложен в основном палеозойскими гнейсами, гранитами и сланцами.

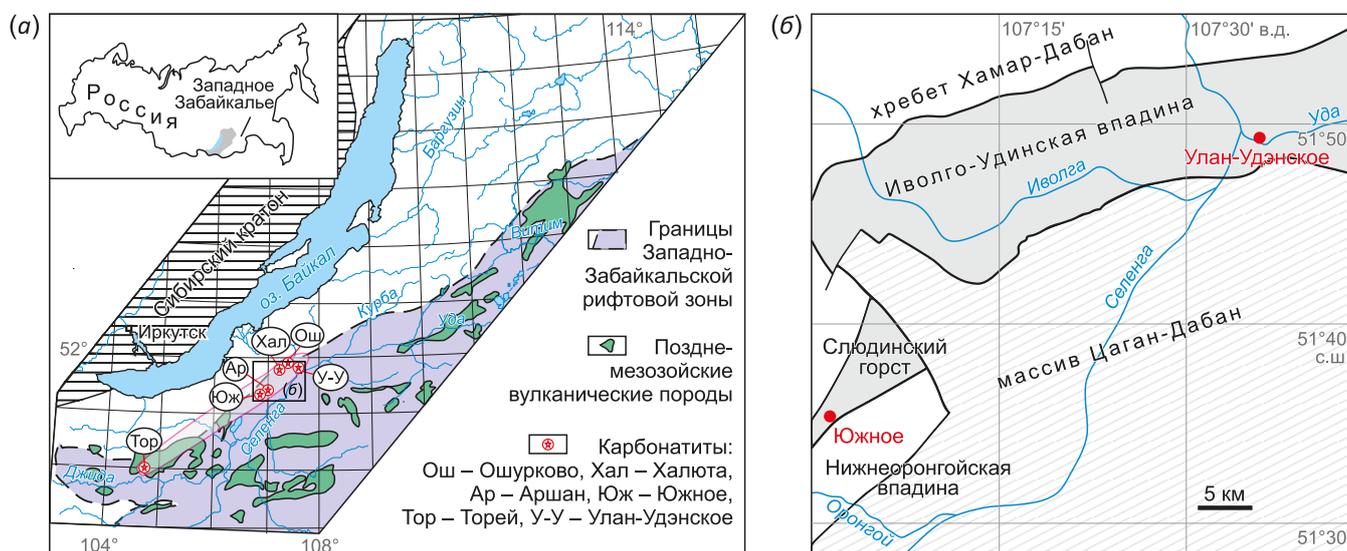


Рис. 1. Расположение рассматриваемых проявлений.

(а) – расположение позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов в пределах Западно-Забайкальской рифтовой зоны ([Nikiforov, Yarmolyuk, 2019], с дополнениями авторов); (б) – карта тектонической конфигурации региона Западного Забайкалья с указанием местоположения проявлений редкоземельных элементов и флюорита Южное и Улан-Удэнское [State Geological Map..., 2000].

Fig. 1. Location of the studied occurrences.

(а) – location of the Late Mesozoic alkaline-carbonatite complexes within the Western Transbaikalia rift zone ([Nikiforov, Yarmolyuk, 2019], with additions); (б) – tectonic configuration map of the Western Transbaikalia region, indicating the position of the Yuzhnoe and Ulan-Ude REE-fluorite occurrences [State Geological Map..., 2000].

Горст расположен в северной части рифтогенной впадины, заполненной меловыми терригенно-осадочными породами.

Проявление Южное включает в себя более 20 карбонатитовых тел (рис. 2), которые находятся в ассоциации с щелочными сиенитами. Карбонатиты образуют жилы и трубообразные брекчиевые тела. Последние в диаметре достигают 15–20 м и представлены мелкозернистыми породами с массивной брекчиевой или полосчатой текстурой. Эти трубообразные тела содержат значительное количество ксенолитов вмещающих пород (от 60 до 70 об. % породы) (рис. 3, а), а основная масса состоит из кальцита (80–90 об. %), биотита, флюорита и барита. Карбонатитовые жилы имеют видимую мощность от 1 до 10 м и длину от 100 до 300 м. Они характеризуются мелкозернистой структурой и содержат порфировые вкрапленники кальцита и барита размером до 1.5 см (рис. 3, б). Также на Южном проявлении широко выражены гидротер-

мальные изменения (окварцевание, флюоритизация и карбонатизация).

Улан-Удэнское проявление расположено в северной части мезозойской Иволга-Удинской рифтовой впадины (см. рис. 1, б), где распространены позднемеловые отложения (песчаники, алевролиты, сланцы и конгломераты, залегающие на кристаллическом фундаменте) (рис. 4). На данном проявлении были выделены три различных типа пород в соответствии с их структурными особенностями и минеральным составом: бастнезит-флюоритовые породы, формирующие линзо- и жилеобразные тела (рис. 5), и кальцитовые и альбит-кальцитовые породы, содержащие бастнезит и монацит [Ripp et al., 2019]. Бастнезит-флюоритовые породы в основном состоят непосредственно из бастнезита и флюорита, их суммарное содержание может достигать 95 об. %. Остальной объем пород слагают тетраферрифлогопит, сульфаты и фосфаты (например, глауберит, плюмбоярозит, монацит-Се, коркит), калиевый

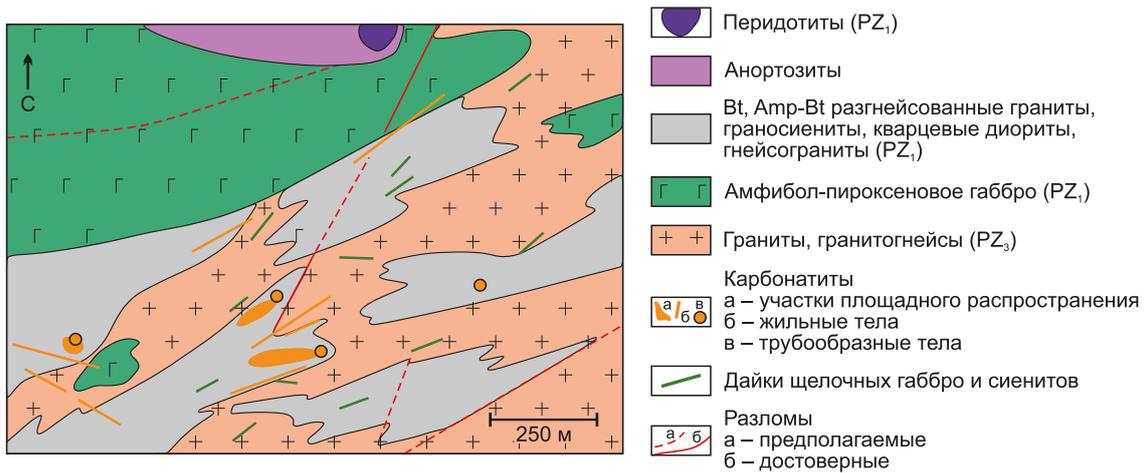


Рис. 2. Упрощенная геологическая карта проявления Южное [Doroshkevich, 2013]. Bt – биотитовые, Amp-Bt – амфибол-биотитовые.

Fig. 2. Simplified geological map of the Yuzhnoe occurrence [Doroshkevich, 2013]. Bt – biotite, Amp-Bt – amphibole-biotite.

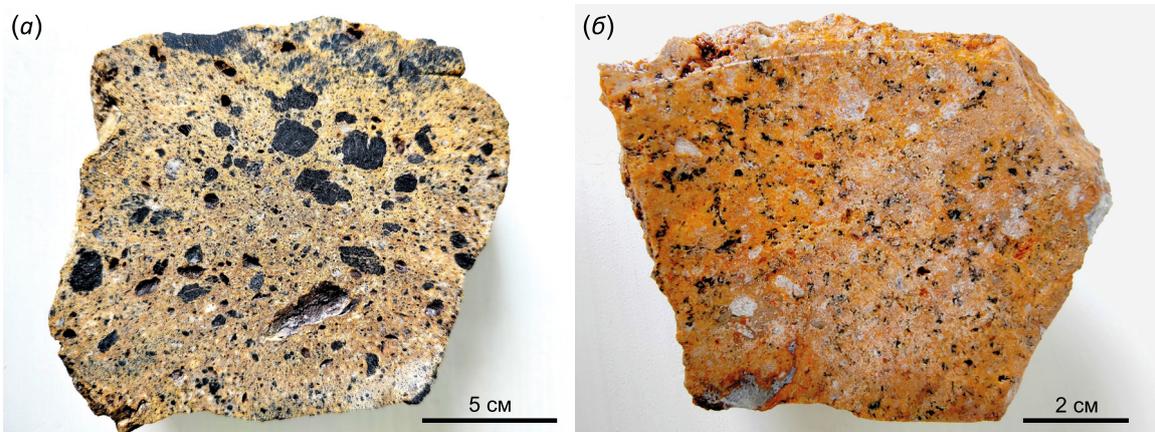


Рис. 3. Макрофотографии карбонатитов Южного проявления. (а) – карбонатиты из трубообразных тел; (б) – карбонатитовые жилы.

Fig. 3. Macrophotos of the Yuzhnoe carbonatites. (a) – carbonatites from pipe-like bodies; (b) – carbonatite veins.

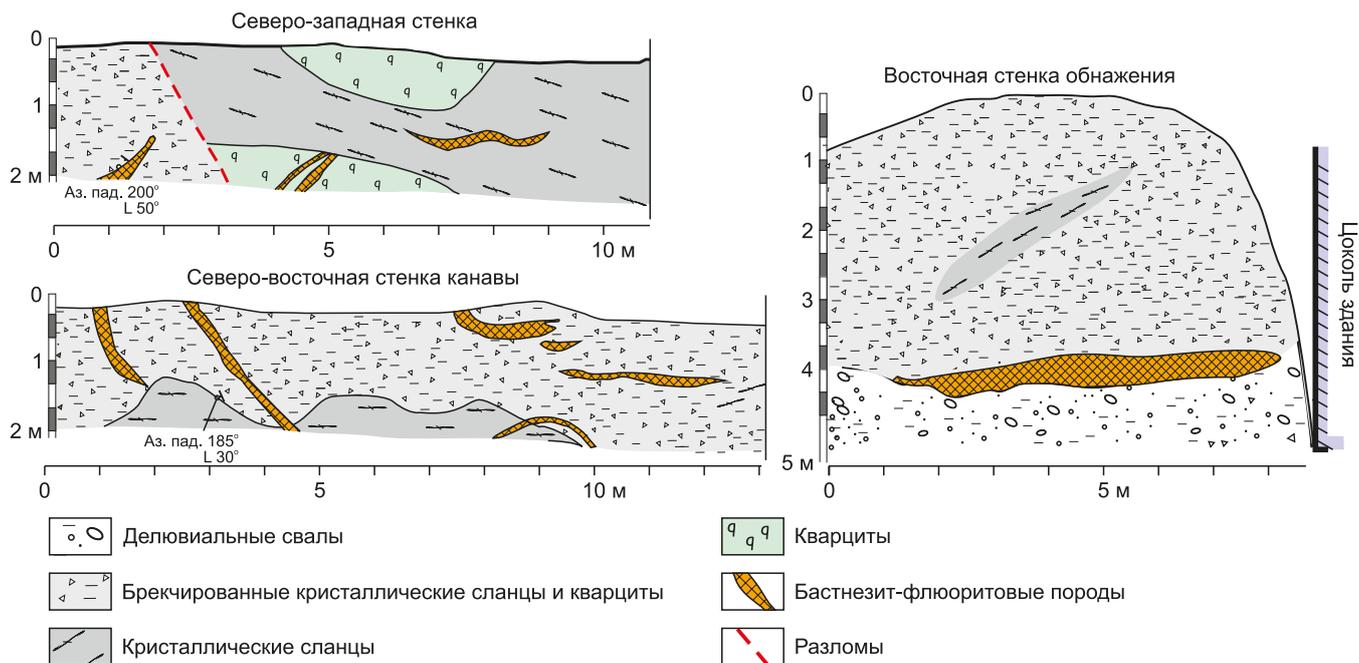


Рис. 4. Упрощенная геологическая схема проявления Улан-Удэнское [Ripp et al., 2018].
 Fig. 4. Simplified geological scheme of the Ulan-Ude REE-fluorite occurrence [Ripp et al., 2018].

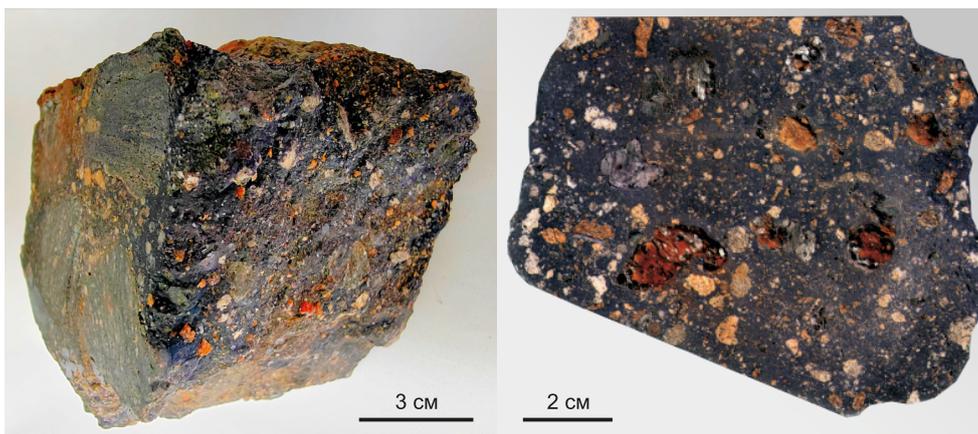


Рис. 5. Макрофотографии бастнезит-флюоритовых пород Улан-Удэнского проявления.
 Fig. 5. Macrophotos of the Ulan-Ude bastnaesite-fluorite rocks.

полевой шпат, альбит, циркон, манганоильменит и ниобийсодержащий рутил.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Определение изотопного состава Nd и U-Th-Pb изотопно-геохронологические исследования бастнезита выполнены в Государственной главной лаборатории эволюции литосферы Института геологии и геофизики, Китайская академия наук (State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics of the Chinese Academy of Sciences). Зерна бастнезита-Се были вмонтированы в шашки из эпоксидной смолы и выведены на их поверхность в процессе полировки. LA-ICP-MS геохронологическое исследование бастнезита проводилось с использованием Agilent

7500a Q-ICP-MS в сочетании с системой абляции эксимерным лазером ArF с длиной волны 193 нм. Для коррекции и верификации получаемых результатов использовали подобранный по матрице собственный эталонный материал, представленный кристаллом бастнезита К-9. В этом исследовании для Pb был применен метод коррекции на ²⁰⁷Pb, согласно составу Pb по [Stacey, Kramers, 1975]. С учетом более низкого содержания U в большинстве бастнезитов был также проведен расчет возраста ²⁰⁸Pb/²³²Th после обычной поправки на ²⁰⁷Pb [Yang Y. et al., 2019].

Для определения изотопного состава Nd бастнезита использовали Neptune MC-ICP-MS в сочетании с системами абляции эксимерным лазером ArF с длиной волны 193 нм. Применяли лазер размером 16–32 мкм

с частотой повторения 6–8 Гц в зависимости от концентрации Nd в образцах [Yang Y. et al., 2008]. В этом исследовании были приняты и учтены при корректировке отношения $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ недавно пересмотренные значения содержания изотопов Sm ($^{147}\text{Sm}/^{149}\text{Sm}=1.08680$ и $^{144}\text{Sm}/^{149}\text{Sm}=0.22332$) [Dubois et al., 1992; Isnard et al., 2005]. Соотношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ были нормализованы с использованием экспоненциального закона. Отношение $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ было определено по экспоненциальному методу, затем было откалибровано по отношению к значениям $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ эталонного материала K-9.

Изотопный состав Nd и Sr пород определяли с помощью 7-канального твердофазного масс-спектрометра Finnigan-MAT 262 (RPQ) в Центре коллективного пользования «Кольский центр геохронологических и изотопно-геохимических исследований» (г. Апатиты, Россия). Точность определения Sm, Nd, Rb и Sr составляет 0.5 %. Воспроизводимость исследования оценивалась в соответствии со стандартами JNdi-1 и SRM-987. $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ и $T_{\text{DM}}(\text{Nd})$ были рассчитаны с использованием значения CHUR [Bouvier et al., 2008] и значения DM [Goldstein, Jacobsen, 1988] соответственно.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Флюоритсодержащие породы

Флюоритовая минерализация на проявлении Южное представлена двумя типами. Первый тип (ранняя генерация) встречается в шлировых обособлениях с бастнезитом-Ce и альбитом в карбонатитах (рис. 6, а). Флюорит здесь наблюдается в виде отдельных вкрапленников или небольших гнезд. Зерна характеризуются размером до 0.1 мм и зональной окраской: бесцветные по краям и интенсивно окрашенные (темно-фиолетовые) в центральной части. Второй тип (поздняя генерация) флюорита представляет собой бесцветные или слабоокрашенные зональные изометрические зерна и кубические кристаллы, которые формируют вкрапленники в карбонатной матрице (рис. 6, б). Исследова-

ние флюидных включений позднего флюорита показало, что он формировался из высокотемпературных (~350–450 °C) концентрированных сульфатно-карбонатно-хлоридных флюидов [Redina et al., 2021].

Исследованный бастнезит характеризуется содержанием Ce_2O_3 36.79–37.16 мас. %, La_2O_3 21.95–22.45 мас. %, Nd_2O_3 9.96–11.56 мас. % и F 7.84–9.52 мас. % и соотношением Ce/La от 1.6 до 1.7 и Ce/Nd от 3.2 до 3.7 [Doroshkevich, 2013].

Бастнезит-флюоритовые породы Улан-Удэнского проявления примерно на 70–95 % состоят из бастнезита-(Ce) и флюорита. Для бастнезита-(Ce) и флюорита было выявлено две генерации. Первая (ранняя) генерация бастнезита-(Ce) представлена вкрапленниками размером до 1.0–1.5 см (рис. 7, а). Зерна ранней генерации секутся прожилками мелкозернистого флюорита и позднего плюмбоарозита. В виде минеральных включений в бастнезите-(Ce) встречается тетраферрифлогопит, плюмбоарозит и глауберит. Поздний бастнезит-(Ce) чаще всего содержит минеральные включения калиевого полевого шпата, альбита, минералов титана и циркона (рис. 7, б). Флюорит первой (ранней) генерации Улан-Удэнского проявления представлен зернами размером до 1.5 мм. Внешняя зона (<1 мм) раннего флюорита из Улан-Удэнского проявления имеет темно-фиолетовый (до черного) цвет.

Основная масса флюорита Улан-Удэнского проявления относится ко второй (поздней) генерации и представлена мелкими (1–2 мм) изометричными зернами, слагающими тонкозернистую массу. Минерал имеет темно-фиолетовый цвет. Поздний флюорит ассоциирует с бастнезитом, монацитом и флогопитом. Данный флюорит кристаллизовался из более высокотемпературных (<500 °C), относительно флюорита проявления Южного, высококонцентрированных карбонатно-сульфатных флюидов [Redina et al., 2021].

Бастнезиты Улан-Удэнского проявления имеют более разнообразный состав по сравнению с бастнезитами карбонатитов Южного: содержание Ce_2O_3 34.25–

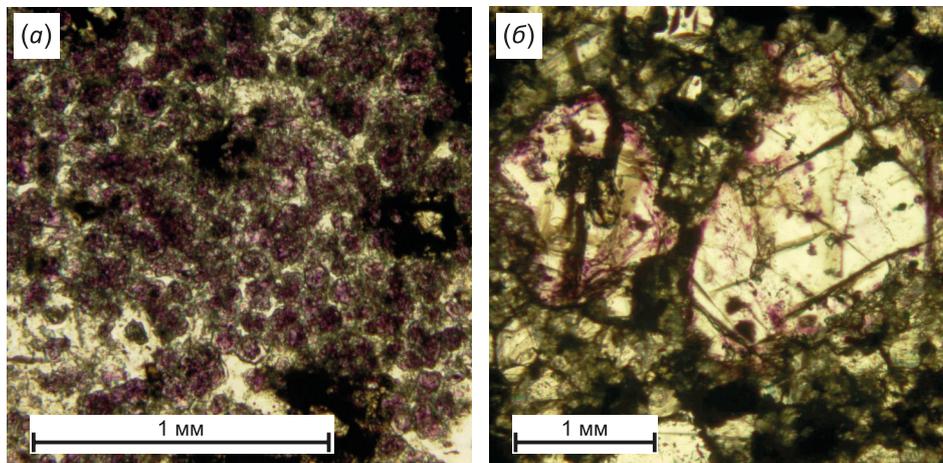


Рис. 6. Микрофотографии карбонатитов проявления Южное (а) – первый тип флюорита, (б) – второй тип флюорита.
Fig. 6. Micrographs of carbonatites of the Yuzhnoe occurrence. (a) – first fluorite type, (b) – second fluorite type.

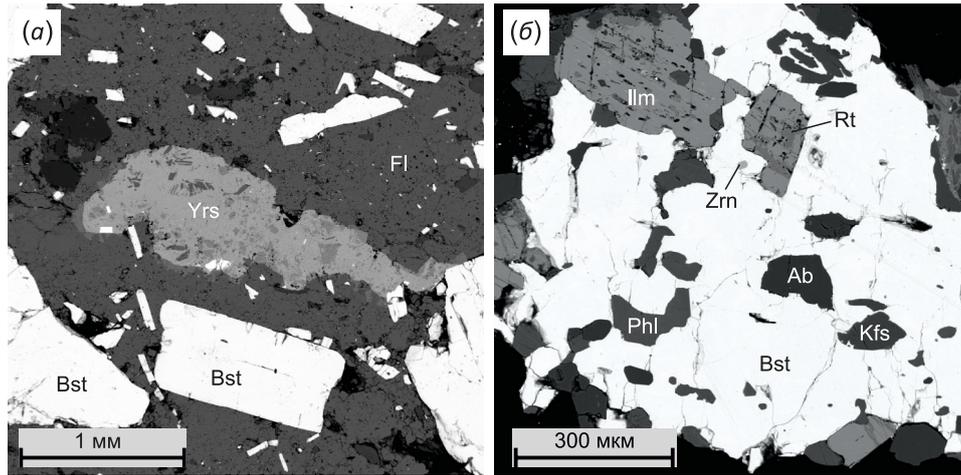


Рис. 7. Микрофотографии бастнезита Улан-Удэнского проявления. (а) – ранняя генерация; (б) – поздняя генерация. Bst – бастнезит, Phl – флогопит, Zrn – циркон, Ab – альбит, Rt – рутил, Kfs – калиевый полевой шпат, Fl – флюорит, Yrs – плюмбоjarозит, Ilm – ильменит.

Fig. 7. Microphotographs of the bastnaesite of the Ulan-Ude occurrence. (a) – early generation; (б) – late generation. Bst – bastnaesite, Phl – phlogopite, Zrn – zircon, Ab – albite, Rt – rutile, Kfs – K-feldspar, Fl – fluorite, Yrs – plumbojarosite, Ilm – ilmenite.

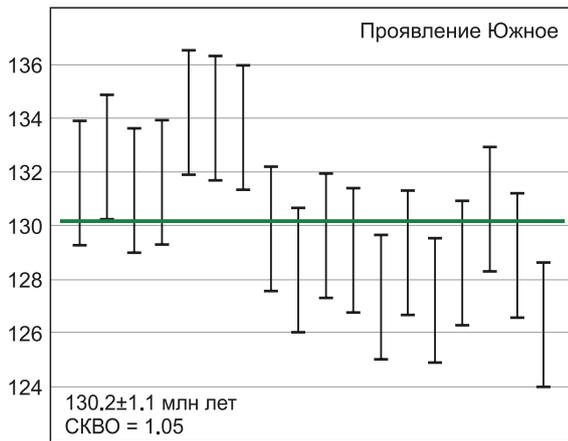


Рис. 8. Средневзвешенный $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ возраст по бастнезитам проявления Южное.

Fig. 8. Weighted mean $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ age of bastnaesites from the Yuzhnoe occurrence.

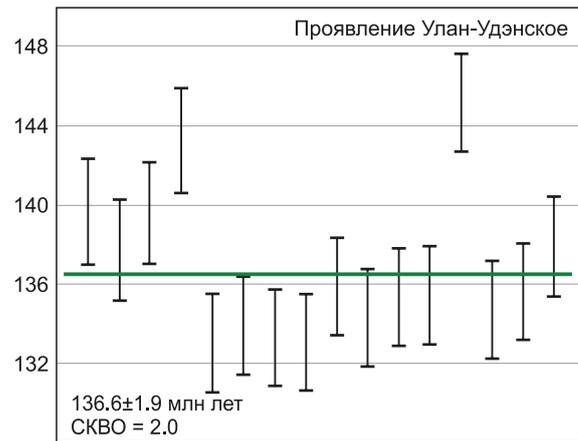


Рис. 9. Средневзвешенный $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ возраст по бастнезитам проявления Улан-Удэнское.

Fig. 9. Weighted mean $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ age of bastnaesites from the Ulan-Ude occurrence.

38.28 мас. %, La_2O_3 24.55–33.53 мас. %, Nd_2O_3 4.40–8.63 мас. % и F 5.98–7.29 мас. %. Отношения Ce/La и Ce/Nd варьируются от 1.04 до 1.50 и от 4.27 до 7.93 соответственно [Ripp et al., 2019].

4.2. U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирование бастнезита

С помощью микрофотографий и BSE изображений были выбраны места для U-Th-Pb (LA-ICP-MS) изотопного датирования бастнезита. Выбирались только неизмененные участки зерен без минеральных или флюидных включений и трещин. Результаты датирования приведены в Прил. 1, табл. 1.1.

Всего было выполнено 18 анализов бастнезита из карбонатитов Южного проявления. Бастнезит имеет низкое содержание урана, около 2–3 г/т, содержание

тория колеблется от 3096 до 4584 г/т. Для определения возраста оруденения применялось отношение $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$. Полученный средневзвешенный возраст $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ равен 130.2 ± 1.1 млн лет ($n=18$; СКВО=1.05) (рис. 8).

Для Улан-Удэнского проявления проведено 16 измерений в бастнезите поздней генерации. Установлено содержание U от 3 до 11 г/т и Th от 1331 до 4037 г/т соответственно. Как показано на рис. 9 и в Прил. 1, табл. 1.1, анализы бастнезита дают средневзвешенный возраст $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 136.6 ± 1.9 млн лет ($n=16$; СКВО=2.0).

4.3. Nd изотопный состав бастнезита

Данные по изотопам Nd для образцов бастнезита из Улан-Удэнского и Южного проявлений представлены

в Прил. 1, табл. 1.2, а также показаны на рис. 10. Измеренные отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в бастнезите Улан-Удэнского проявления варьируются от 0.512269 до 0.512348. Рассчитанные значения $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ при значениях возраста 137 млн лет относительно низкие и находятся в диапазоне от -4.28 до -2.67 , тогда как отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в бастнезитах Южного проявления менее вариативны и изменяются от 0.512122 до 0.512188. Рассчитанные значения $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ (для 130 млн лет) менее радиогенны по сравнению с бастнезитом Улан-Удэнского проявления и варьируются от -6.08 до -7.41 . На рис. 10 показана зависимость $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ от возраста

(млн лет) для обоих рассматриваемых проявлений, а также значения $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ для позднемезозойских щелочных карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Doroshkevich, 2013; Vladykin, 2005], Тувы [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019] и Южной Монголии [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005]. Как видно из рис. 10, исследованные бастнезиты, как и карбонатиты Западного Забайкалья, характеризуются менее радиогенным Nd изотопным составом по сравнению с тувинскими и южно-монгольскими щелочными карбонатитовыми комплексами.

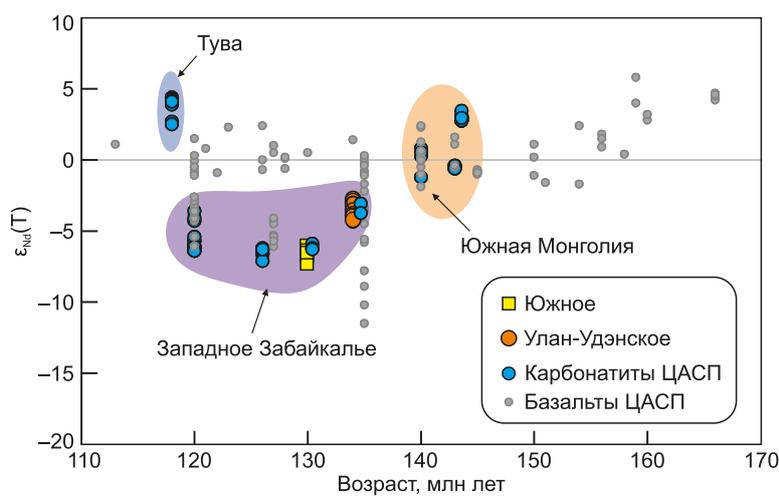


Рис. 10. $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ для бастнезитов из проявлений Южное и Улан-Удэнское. Также даны точки щелочно-карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Vladykin, 2005; Doroshkevich, 2013], Тувы [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019] и Южной Монголии [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005].

Fig. 10. $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ values for bastnaesites from the Ulan-Ude and Yuzhnoe occurrences. Also shown are the sites of the alkaline-carbonatite complexes in Western Transbaikalia [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Vladykin, 2005; Doroshkevich, 2013], Tuva [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019] and Southern Mongolia [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005].

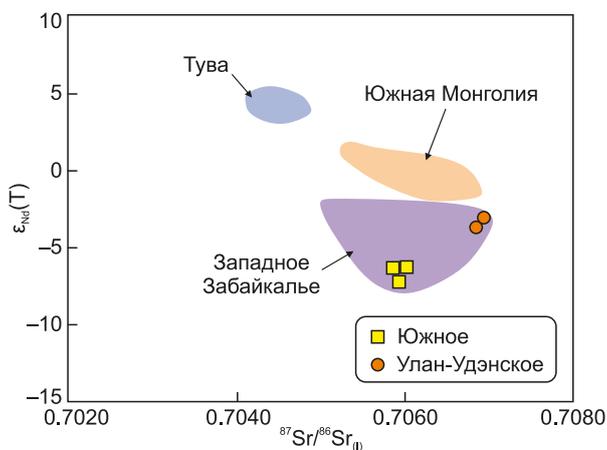


Рис. 11. График в координатах $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ для проявлений Южное и Улан-Удэнское, а также позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005; Doroshkevich, 2013].

Fig. 11. $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ plot for the Yuzhnoe and Ulan-Ude occurrences and for the Late Mesozoic alkaline-carbonatite complexes in the Central Asian orogenic belt [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005; Doroshkevich, 2013].

4.4. Sr и Nd изотопный состав пород

Данные по Sr и Nd изотопному составу карбонатитов Южного проявления и бабнезит-флюоритовых пород Улан-Удэнского проявления приведены в Прил. 1, табл. 1.3, и на рис. 11. Расчеты первичного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения и значений $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ выполнены на возраст 130 и 136 млн лет для образцов Южного и Улан-Удэнского проявлений соответственно. Для образцов карбонатитов Южного проявления получены вариации значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ в диапазоне от 0.705883 до 0.706011, а также диапазон значений $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ от -7.1 до -6.3 (рис. 11). Бабнезиты Улан-Удэнского проявления характеризуются более высокими значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ (0.70683–0.70687) и $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ (от -1.3 до -3.7). На рис. 11 видно, что полученные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ и $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ для Южного и Улан-Удэнского проявлений аналогичны другим карбонатитам и ассоциирующим щелочным силикатным породам Западного Забайкалья (Ошурково, Халюта, Аршан) [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019; Doroshkevich, 2013; Vladykin, 2005]. Раннемеловые щелочные породы Южной Монголии (Мушугай-Худук, Баян-Хошу) характеризуются близкими значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$, но более высокими $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ [Nikolenko et al., 2020; Vladykin, 2005]. Карбонатиты Тувы отличаются более низким отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$, и более высокими значениями $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019].

5. ОБСУЖДЕНИЕ

5.1. Интерпретация данных по U-Th-Pb датированию бабнезита

Определенный U-Th-Pb (LA-ICP-MS) методом возраст бабнезитов Улан-Удэнского проявления (136.6 ± 1.9 млн лет) соответствует времени формирования бабнезит-флюоритовых пород, что согласуется с ранее установленным Ar-Ar методом возрастом 134.2 ± 2.6 млн лет по флогопиту бабнезит-флюоритовых пород [Ripp et al., 2019]. Установленный U-Th-Pb (LA-ICP-MS) методом возраст для бабнезита из карбонатитов Южного проявления (130.2 ± 1.1 млн лет) интерпретируется как время формирования карбонатитов. Данная возрастная оценка несколько отличается от ранее полученной Rb-Sr методом для карбонатитов 122 ± 4 млн лет. Однако возрастная оценка по сиенитам проявления Южного составляет 130 ± 5 млн лет (Rb-Sr метод) и совпадает с новой в пределах ошибки [Ripp et al., 2009]. Незначительные расхождения в оценках возраста для карбонатитов и сиенитов проявления Южного могут быть вызваны процессами вторичного изменения образцов пород [Villa et al., 2015]. В целом, имеющаяся небольшая разница в возрастных оценках не противоречит тому, что породы образовались в период около 130 млн лет назад. Полученные новые оценки возраста бабнезитов Южного и Улан-Удэнского проявлений находятся в интервале значений возраста для щелочно-карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья (рис. 12) и свидетельствуют в пользу связи флюоритовой минерализации с процессом карбонатитообразования в Западном Забайкалье.

Полученные возрастные оценки проявлений соответствуют позднему этапу развития Западно-Забайкальского сегмента рифтовой системы Центрально-Азиатского складчатого пояса. Для данной рифтовой системы установлена следующая последовательность ассоциаций магматических пород. Ранняя магматическая активность в средней и поздней юре ($J_{2,3}$) в Западном Забайкалье характеризуется трахибазальт-трахириодацитовыми вулканогенными ассоциациями (рис. 13). В начале раннемеловой эпохи (K_1) сформировалась региональная структура грабенов, с которой синхронно проявилась базальт-трахибазальтовая ассоциация магматических пород [Yarmolyuk et al., 2001]. Кроме того, режим растяжения способствовал формированию метаморфических ядер в Западном Забайкалье [Izbrodin et al., 2010; Mazukabzov et al., 2011]. По имеющимся данным можно отметить постепенное увеличение щелочности магматических пород в процессе развития рифтовой системы, крайними разностями которых являются карбонатиты [Ripp et al., 2000, 2009; Doroshkevich et al., 2008, 2010; Samoilov, Kovalenko, 1983]. Магматическая активность второй половины раннего и позднего мела сохраняет отличительные черты рифтогенного магматизма, однако масштабы его проявления сильно снижены и состав более однороден (базальт-трахибазальты) [Yarmolyuk et al., 1998, 2015, 2019; Samoilov, Kovalenko, 1983].

Основываясь на составе магматических пород и их возрастных оценках, можно проследить следующую зависимость: на более поздних этапах развития рифтовой структуры и в ее краевых частях повышается щелочность магматических пород. Вероятно, данная смена состава магматических пород связана с разной степенью частичного плавления литосферной мантии. Магмы осевой части рифта генерируются на меньших глубинах, характеризующихся более высокой температурой и высокой степенью частичного плавления [Parnachev, 2014]. К краю рифта увеличивается глубина магнообразования, следовательно, температура магм ниже при такой же степени частичного плавления [Chalot-Prat et al., 2007]. Таким образом, толеитовые породы в центральной части рифта сменяются субщелочными и щелочными разностями по краям.

Магматизм континентальных рифтовых зон, в целом, отличается разнообразием состава магм, но для всех зон выявлена общая особенность – обогащенность летучими компонентами и крупноионными литофильными элементами [Bailey, 1983]. На примере Африканского континента прослеживается закономерность: увеличение доли астеносферного источника магм (при уменьшении доли субконтинентальной литосферы) в процессе раскрытия рифта [Wilson, 2007]. Д.К. Бэйли [Bailey, 1983] отмечал, что континентальные рифтовые зоны характеризуются двумя различными магматическими сериями. К первой серии относятся базальты (до умеренно щелочных базальтов и базанитов). Вторая – щелочные и недосыщенные кремнеземом магмы, включающие нефелиниты, мелилититы и лейцититы. Это,

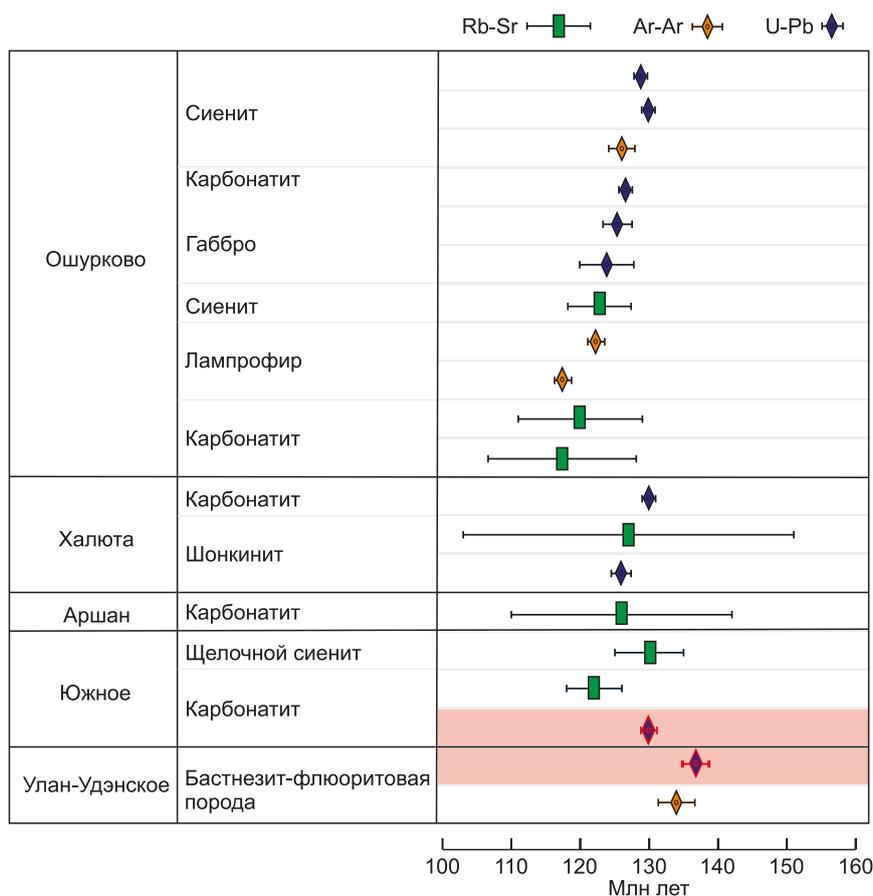


Рис. 12. Возрастные оценки щелочно-карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья, полученные различными методами датирования [Doroshkevich et al., 2011; Ripp et al., 2009, 2011].

Fig. 12. Age estimates of the alkaline-carbonatite complexes of Western Transbaikalia obtained by different dating methods [Doroshkevich et al., 2011; Ripp et al., 2009, 2011].

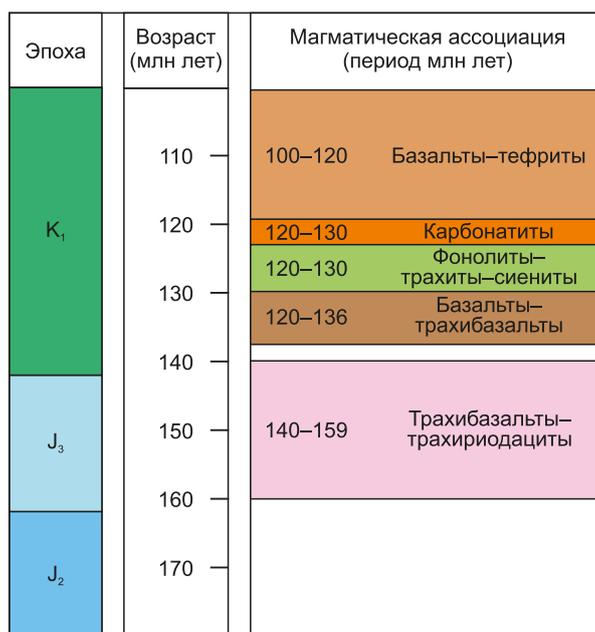


Рис. 13. Этапы геохронологической эволюции вулканитов Западно-Забайкальского сегмента рифтовой зоны. J₂ – средняя юра, J₃ – поздняя юра, K₁ – ранний мел [Vorontsov et al., 2002, 2007, 2016].

Fig. 13. Stages of geochronological evolution of volcanic rocks from the Western Transbaikalia rift zone. J₂ – Middle Jurassic, J₃ – Late Jurassic, K₁ – Early Cretaceous [Vorontsov et al., 2002, 2007, 2016].

в целом, согласуется с данными о позднемезозойском рифтогенном магматизме Западного Забайкалья. При этом флюоритовая минерализация Западного Забайкалья пространственно и во времени близка как к щелочно-карбонатитовым комплексам, так и к базальтам.

Юрские и меловые основные эффузивные породы Западного Забайкалья характеризуются высоким содержанием фтора (до ~0.3 мас. %, отмечено присутствие флюорита) [Lastochkin et al., 2021; Bulnaev, 2003]. Однако различия петрохимических и геохимических характеристик базальтов и флюоритосодержащих проявлений не позволяют связать оруденение с их конкретными фазами. Так, например, для базальтов установлены отличающиеся значения $\epsilon_{Nd}(T)$ от -1.3 до +3.6 и $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ от 0.703 до 0.705, а также иной состав редкоземельных элементов [Lastochkin et al., 2021].

По ранее опубликованным [Redina et al., 2021] и представленным в статье данным Южное и Улан-Удэнское проявления генетически связаны с щелочно-карбонатитовым магматизмом, который на территории Западного Забайкалья развивался синхронно с базальтовым. Его проявления приурочены к периферическим частям рифтовых зон [Nikiforov, Yarmolyuk, 2019]. К флюоритоносным проявлениям этой системы средне- и позднемезозойских рифтов также относятся щелочно-карбонатитовые комплексы Центральной Тувы и Южной Монголии. Карбонатиты Центральной Тувы (Карасуг, Чайлаг-Хем и Улатай-Чоза) формировались в очень узком временном интервале 119–117 млн лет [Nikiforov et al., 2006; Prokopyev et al., 2016; Sal'nikova et al., 2010], тогда как для карбонатитовых комплексов Южной Монголии (Мушугай-Худук, Баян-Хошу, Улугей, Хотогор, Хетсу-Тег) получены более разрозненные оценки возраста – 140–130 млн лет [Baatar et al., 2013; Nikolenko et al., 2020; Yang F. et al., 2021].

5.2. Характеристика источников

Изотопный состав Nd бастнезита, а также изотопный состав Nd и Sr бастнезит-флюоритовых пород Улан-Удэнского проявления и карбонатитов проявления Южное схожи с таковыми других позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья (Ошурково, Аршан, Халюта). Данные анализов показывают значительное истощение радиогенным Nd и обогащение радиогенным Sr, что указывает на изотопно обогащенный источник [Vladykin, 2005]. Связать полученные характеристики с образованием расплавов непосредственно из корового источника либо с процессом коровой контаминации весьма сложно из-за аномально высокого содержания РЗЭ и Sr как в карбонатитах, так и в бастнезит-флюоритовых породах. Полученные значения можно объяснить тем, что исследуемые породы являются продуктом плавления обогащенной литосферной мантии. Длительная неопротерозойско-палеозойская субдукция на южной (относительно современных координат) окраине Сибирского кратона, примыкающей к Палеоазиатскому океану, сыграла важную роль в консолидации Центрально-Ази-

атского складчатого пояса. В результате в этот период литосферная мантия региона подверглась процессам интенсивного метасоматоза. Последующие закрытие Палеоазиатского океана, коллизия Сибирского и Северо-Китайского кратонов и достаточно масштабное плюмлитосферное взаимодействие в позднем мезозое спровоцировали образование серии рифтовых зон (Западно-Забайкальская, Центрально-Тувинская, Гоби-Алтайская) и рифтогенный магматизм, в том числе щелочно-карбонатитовый [Yarmolyuk et al., 2013].

Наблюдаемые вариации изотопного состава Nd и Sr пород исследуемых комплексов могут быть связаны с участием не только обогащенного, но и деплетированного источника при формировании исходных расплавов. При этом роль последнего, согласно изотопным данным, была незначительна. Стоит отметить, что базальты, образующиеся почти одновременно с щелочно-карбонатитовыми комплексами, характеризуются преобладанием деплетированного мантийного источника и небольшой долей изотопно-обогащенного компонента [Vorontsov et al., 2007].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Редкоземельно-флюоритовые проявления Южное и Улан-Удэнское расположены на периферии позднемезозойской рифтовой зоны Западного Забайкалья. Полученные оценки абсолютного возраста указывают на то, что формирование исследуемых объектов происходило в раннемеловую эпоху одновременно с проявлением щелочно-карбонатитового магматизма Центрально-Азиатского складчатого пояса. Проявление магматизма синхронно с развитием внутриплитных рифтогенных процессов, связанных с воздействием мантийных плюмов [Dobretsov et al., 2010]. Измеренные значения изотопов Nd для бастнезита, а также изотопов Nd и Sr для бастнезит-флюоритовых пород проявления Улан-Удэнского и карбонатитов проявления Южного говорят об изотопно-обогащенном источнике расплавов, формирующих объекты исследования.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Anenburg M., Broom-Fendley S., Chen W., 2021. Formation of Rare Earth Deposits in Carbonatites. *Elements* 17 (5), 327–332. <https://doi.org/10.2138/gselements.17.5.327>.

- Baatar M., Ochir G., Kynicky J., Iizumi S., Comin-Chiaromonti P., 2013. Some Notes on the Lugiin Gol, Mushgai Khudag and Bayan Khoshuu Alkaline Complexes, Southern Mongolia. *International Journal of Geosciences* 4 (8), 1200–1214. <https://doi.org/10.4236/ijg.2013.48114>.
- Bailey D.K., 1983. The Chemical and Thermal Evolution of Rifts. *Tectonophysics* 94, 585–597. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42198-2.50037-7>.
- Berger V.I., Singer D.A., Orris G.J., 2009. Carbonatites of the World, Explored Deposits of Nb and REE-Database and Grade and Tonnage Models. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1139, 17 p.
- Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J., 2008. The Lu-Hf and Sm-Nd Isotopic Composition of CHUR: Constraints from Unequilibrated Chondrites and Implications for the Bulk Composition of Terrestrial Planets. *Earth and Planetary Science Letters* 273 (1–2), 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.06.010>.
- Bulnaev K.B., 1976. Fluorite Deposits in Western Transbaikalia. Nauka, Novosibirsk, 128 p. (in Russian) [Булнаев К.Б. Флюоритовые месторождения Западного Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1976. 128 с.].
- Bulnaev K.B., 2003. Late Mesozoic Volcanics and Fluorite Deposits in the Transbaikal Region and Mongolia: Age and Genetic Relationships Relations. *Russian Journal of Pacific Geology* 22 (5), 103–110 (in Russian) [Булнаев К.Б. Позднемезозойские вулканы и флюоритовые месторождения Забайкалья и Монголии: возрастные и генетические соотношения // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 5. С. 103–110].
- Bulnaev K.B., 2006. Fluorine-Beryllium Deposits of the Vitim Highland (Western Transbaikalia Region): Mineral Types, Localization Conditions, Magmatism, and Age. *Geology of Ore Deposits* 48, 277–289. <https://doi.org/10.1134/S1075701506040039>.
- Cangelosi D., Broom-Fendley S., Banks D., Morgan D., Yardley B., 2020. Light Rare Earth Element Redistribution during Hydrothermal Alteration at the Okorusu Carbonatite Complex, Namibia. *Mineralogical Magazine* 84, 49–64. <https://doi.org/10.1180/mgm.2019.54>.
- Chakhmouradian A.R., Wall F., 2012. Rare Earth Elements: Minerals, Mines, Magnets (and More). *Elements* 8 (5), 333–340. <https://doi.org/10.2113/gselements.8.5.333>.
- Chalot-Prat F., Tikhomirov P., Saintot A., 2007. Late Devonian and Triassic Basalts from the Southern Continental Margin of the East European Platform, Tracers of a Single Heterogeneous Lithospheric Mantle Source. *Journal of Earth System Science* 116, 469–495. <https://doi.org/10.1007/s12040-007-0045-z>.
- Chikanda F., Tsubasa O., Ohtomo Y., Ito A., Yokoyama T.D., Sato T., 2019. Magmatic-Hydrothermal Processes Associated with Rare Earth Element Enrichment in the Kangankunde Carbonatite Complex, Malawi. *Minerals* 9 (7), 442. <https://doi.org/10.3390/min9070442>.
- Dhote P., Bhan U., Verma D., 2021. Genetic Model of Carbonatite Hosted Rare Earth Elements Mineralization from Ambadongar Carbonatite Complex, Deccan Volcanic Province, India. *Ore Geology Reviews* 135, 104215. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104215>.
- Dobretsov N.L., Borisenko A.S., Izokh A.E., Zhmodik S.M., 2010. A Thermochemical Model of Eurasian Permo-Triassic Mantle Plumes as a Basis for Prediction and Exploration for Cu-Ni-Pge and Rare-Metal Ore Deposits. *Russian Geology and Geophysics* 51 (9), 903–924. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.002>.
- Doroshkevich A.G., 2013. Petrology of Carbonatite and Carbonate-Containing Alkaline Complexes in Western Transbaikalia. PhD Thesis (Doctor of Geology and Mineralogy). Ulan-Ude, 352 p. (in Russian) [Дорошкевич А.Г. Петрология карбонатитовых и карбонатсодержащих щелочных комплексов Западного Забайкалья: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Улан-Удэ, 2013. 352 с.].
- Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Moore K.R., 2010. Genesis of the Khaluta Alkaline-Basic Ba-Sr Carbonatite Complex (West Transbaikalia, Russia). *Mineralogy and Petrology* 98, 245–268. <https://doi.org/10.1007/s00710-009-0063-4>.
- Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Viladkar S.G., Vladykin N.V., 2008. The Arshan REE Carbonatites, Southwestern Transbaikalia, Russia: Mineralogy, Paragenesis and Evolution. *The Canadian Mineralogist* 46 (4), 807–823. <https://doi.org/10.3749/canmin.46.4.807>.
- Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Vladykin N.V., Savatenkov V.M., 2011. Sources of the Late Riphean Carbonatite Magmatism of Northern Transbaikalia: Geochemical and Isotope-Geochemical Data. *Geochemistry International* 49, 1195–1207. <https://doi.org/10.1134/S0016702911100028>.
- Dubois J.C., Retali G., Cesario J., 1992. Isotopic Analysis of Rare Earth Elements by Total Vaporization of Samples in Thermal Ionization Mass Spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes* 120 (3), 163–177. [https://doi.org/10.1016/0168-1176\(92\)85046-3](https://doi.org/10.1016/0168-1176(92)85046-3).
- Fan H.-R., Yang K.-F., Hu F.-F., Liu S., Wang K.-Y., 2016. The Giant Bayan Obo REE-Nb-Fe Deposit China: Controversy and Ore Genesis. *Geoscience Frontiers* 7 (3), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.11.005>.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B., 1988. Nd and Sr Isotopic Systematics of River Water Suspended Material Implications for Crystal Evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 87 (3), 249–265. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90013-1).
- Isnard H., Brennetot R., Caussignac C., Caussignac N., Chartier F., 2005. Investigations for Determination of Gd and Sm Isotopic Compositions in Spent Nuclear Fuels Samples by MC ICPMS. *International Journal of Mass Spectrometry* 246 (1–3), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2005.08.008>.
- Izbrodin I.A., Ripp G.S., Doroshkevich A.G., Sergeev S.A., Matukov D.I., Posokhov V.F., 2010. The Age of Metamorphism of Sillimanite-Bearing Schists at the Kyakhtinskoe Deposit (Southwestern Transbaikalia). *Russian Geology and Geophysics* 51 (2), 186–189. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.015>.
- Kosals Ya.A., Dmitriyeva A.N., 1973. Sequences and Temperatures in Formation of the Buluktay Molybdenum-Tungsten Deposit (Southwestern Transbaykal). *International*

Geology Review 15 (1), 25–30. <https://doi.org/10.1080/00206817309475849>.

Kozlov E., Fomina E., Sidorov M., Shilovskikh V., Bocharov V., Chernyavsky A., Huber M., 2020. The Petyayan-Vara Carbonatite-Hosted Rare Earth Deposit (Vuoriyarvi, NW Russia): Mineralogy and Geochemistry. *Minerals* 10 (1), 73. <https://doi.org/10.3390/min10010073>.

Kupriyanova I.I., Shpanov E.P., Galchenko V.I., 2009. The Ermakovskoe Fluorite-Beryllium Deposit (Western Transbaikalia, Russia). VIMS, Moscow, 308 p. (in Russian) [Куприянова И.И., Шпанов Е.П., Гальченко В.И. Ермаковское флюорит-бериллиевое месторождение (Западное Забайкалье, Россия). М.: ВИМС, 2009. 308 с.].

Lastochkin E.I., Ripp G.S., Tsydenova D.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E., 2021. Epithermal Fluorite Deposits in Transbaikalia (Geochemical Features, Sources of Matter and Fluids, and Genesis). *Russian Geology and Geophysics* 62 (4), 415–426. <https://doi.org/10.2113/RGG20194128>.

Mazukabzov A.M., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Sklyarov E.V., Ripp G.S., Izbrodin I.A., Tao V., Zeng L., 2011. The Selenga Metamorphic Core Complex (Western Transbaikalian Region). *Doklady Earth Sciences* 440, 1212–1215. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11090066>.

Nassar N.T., Du X., Graedel T.E., 2015. Criticality of the Rare Earth Elements. *Journal of Industrial Ecology* 19 (6), 1044–1054. <https://doi.org/10.1111/jiec.12237>.

Ngwenya B.T., 1994. Hydrothermal Rare Earth Mineralization in Carbonatites of the Tundulu Complex, Malawi: Processes at the Fluid/Rock Interface. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58 (9), 2061–2072. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90285-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90285-2).

Nikiforov A.V., Bolonin A.V., Pokrovsky B.G., Sugorakova A.M., Chugaev A.V., Lykhin D.A., 2006. Isotope Geo-Chemistry (O, C, S, Sr) and Rb-Sr Age of Carbonatites in Central Tuva. *Geology of Ore Deposits* 48, 256–276. <https://doi.org/10.1134/S1075701506040027>.

Nikiforov A.V., Yarmolyuk V.V., 2019. Late Mesozoic Carbonatite Provinces in Central Asia: Their Compositions, Sources and Genetic Settings. *Gondwana Research* 69, 56–72. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.11.014>.

Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Ponomarchuk A.V., Redina A.A., Prokopyev I.R., Vladykin N.V., Nikolaeva I.V., 2020. Ar-Ar Geochronology and Petrogenesis of the Mushgai-Khudag Alkaline-Carbonatite Complex (Southern Mongolia). *Lithos* 372–373, 105675. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105675>.

Palmer D.S., Williams-Jones A., 1996. Genesis of the Carbonatite-Hosted Fluorite Deposit at Amba Dongar, India: Evidence from Fluid Inclusions, Stable Isotopes, and Whole Rock-Mineral Geochemistry. *Economic Geology* 91 (5), 934–950. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.91.5.934>.

Parnachev V.P., 2014. Fundamentals of Geodynamic Analysis. Textbook. Scientific and Technical Literature Publishing House, Tomsk, 316 p. (in Russian) [Парначев В.П. Основы геодинамического анализа: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2014. 316 с.].

Prokopyev I.R., Borisenko A.S., Borovikov A.A., Pavlova G.G., 2016. Origin of REE-Rich Ferrocarnatites in Southern

Siberia (Russia): Implications Based on Melt and Fluid Inclusions. *Mineralogy and Petrology* 110, 845–859. <https://doi.org/10.1007/s00710-016-0449-z>.

Prokopyev I., Kozlov E., Fomina E., Doroshkevich A., Dyomkin M., 2020. Mineralogy and Fluid Regime of Formation of the REE-Late-Stage Hydrothermal Mineralization of Petyayan-Vara Carbonatites Vuoriyarvi, Kola Region, NW Russia. *Minerals* 10 (5), 405. <https://doi.org/10.3390/min10050405>.

Redina A.A., Doroshkevich A.G., Veksler I.V., Wohlgemuth-Ueberwasser C.C., 2021. Fluorite Mineralization Related to Carbonatitic Magmatism in the Western Transbaikalia: Insights from Fluid Inclusions and Trace Element Composition. *Minerals* 11 (11), 1183. <https://doi.org/10.3390/min11111183>.

Redina A.A., Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Vladykin N.V., 2020. Conditions for the Crystallization of Fluorite in the Mushgai-Khudag Complex (Southern Mongolia): Evidence from Trace Element Geochemistry and fluid Inclusions. *Geochemistry* 80 (4), 125666. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125666>.

Ripp G.S., Doroshkevich A.G., Posokhov V.F., 2009. Age of Carbonatite Magmatism in Transbaikalia. *Petrology* 17, 73–89. <https://doi.org/10.1134/S0869591109010044>.

Ripp G.S., Doroshkevich A.G., Posokhov V.F., Izbrodin I.A., Konopel'ko D.L., Sergeev S.A., 2011. The Age of Carbonatites and Mafic Rocks (SHRIMP II and Rb-Sr Dating) from the Oshurkovo Apatite-Bearing Pluton (Western Transbaikalia). *Russian Geology and Geophysics* 52 (5), 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.04.004>.

Ripp G.S., Kobylkina O.V., Doroshkevich A.G., Sharakhin A.O., 2000. Late Mesozoic Carbonatines in Western Transbaikalia. Buryatia Scientific Center SB RAS, Ulan-Ude, 230 p. (in Russian) [Рипп Г.С., Кобылкина О.В., Дорошквич А.Г., Шаракшинов А.О. Позднемезозойские карбонатиты Западного Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 230 с.].

Ripp G.S., Lastochkin E.I., Izbrodin I.A., Savchenko A.A., Posokhov V.F., Murzinytseva A.E., 2018. Fluorite-Containing Complexes in Transbaikalia (Relationship with Magmatism, Geochronology, Sources of Substance). In: *Petrology of Magmatic and Metamorphic Complexes. Proceedings of the X All-Russian Petrographic Conference with International Participation (November 27–30, 2018)*. Vol. 10. CSTI, Tomsk, p. 305–310 (in Russian) [Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Избродин И.А., Савченко А.А., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Флюоритоносные комплексы Забайкалья (связь с магматизмом, геохронология, источники вещества) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы X всероссийской петрографической конференции с международным участием (27–30 ноября 2018 г.). Томск: ЦНТИ, 2018. Вып. 10. С. 305–310].

Ripp G.S., Prokopyev I.R., Izbrodin I.A., Lastochkin E.I., Rampilov M.O., Doroshkevich A.G., Redina A.A., Posokhov V.F., Savchenko A.A., Khromova E.A., 2019. Bastnaesite and Fluorite Rocks of the Ulan-Ude Occurrence (Mineral Composition.

Geochemical Characteristics and Genesis Issues). *Russian Geology and Geophysics* 60 (12), 1407–1424. <https://doi.org/10.15372/RGG2019122>.

Ruberti E., Enrich G.E.R., Gomes C.B., Comin-Chiaramont P., 2008. Hydrothermal REE Fluorocarbonate Mineralization at Barra Do Itapirapuã, a Multiple Stockwork Carbonate, Southern Brazil. *The Canadian Mineralogist* 46 (4), 901–914. <https://doi.org/10.3749/canmin.46.4.901>.

Sal'nikova E.B., Yakovleva S.Z., Nikiforov A.V., Kotov A.B., Yarmolyuk V.V., Anisimova I.V., Sugorakova A.M., Plotkina Yu.V., 2010. Bastnaesite: A Promising U-Pb Geochronological Tool. *Doklady Earth Sciences* 430, 134–136. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10010290>.

Samoilov V.S., Kovalenko V.I., 1983. Alkaline and Carbonatite Complexes in Mongolia. Nauka, Moscow, 199 p. (in Russian) [Самойлов В.С., Коваленко В.И. Комплексы щелочных пород и карбонатитов Монголии. М.: Наука, 1983. 199 с.].

Stacey J.S., Kramers J.D., 1975. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two Stages Model. *Earth and Planetary Science Letters* 26 (2), 207–221. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90088-6).

State Geological Map of the Russian Federation, 2000. Scale 1:200000. Selenga Series. Sheet M-48-VI (Ulan-Ude). Explanatory Note. Moscow (Saint-Petersburg), 156 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Селенгинская. Лист М-48-VI (Улан-Удэ): Объяснительная записка. М. (СПб.), 2000. 156 с.].

Verplank P.L., Mariano A.N., Mariano A. Jr., 2016. Rare Earth Element Ore Geology of Carbonatites. *Society of Economic Geologists* 18, 5–32. <https://doi.org/10.5382/Rev.18.01>.

Villa I.M., De Bièvre P., Holden N.E., Renne P.R., 2015. IUPAC-IUGS Recommendation on the Half-Life of ⁸⁷Rb. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 164, 382–385. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.05.025>.

Vladykin N.V., 2005. Geochemistry of Sr and Nd Isotopes in Alkaline and Carbonatite Complexes of Siberia and Mongolia and Some Geodynamic Consequences. In: Deep-Seated Magmatic Source Problems and Plumes. Transactions of the V International Seminar. Vol. 2. Publishing House of Institute of Geography SB RAS, Irkutsk – Petropavlovsk-Kamchatsky, p. 13–30 (in Russian) [Владыкин Н.В. Геохимия изотопов Sr и Nd щелочных и карбонатитовых комплексов Сибири и Монголии и некоторые геодинамические следствия // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы: Труды V международного семинара. Иркутск – Петропавловск-Камчатский: Изд-во Института географии СО РАН, 2005. Вып. 2. С. 13–30].

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Nikiforov A.V., 2002. Late Mesozoic Magmatism in the Dzhida Sector of the Western Transbaikalia Rift Zone: Evolutionary Stages, Associations, and Sources. *Petrology* 10 (5), 448–468.

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Komaritsyna T.Y., 2016. Late Mesozoic – Early Cenozoic Rifting Magmatism in the Uda Sector of Western Transbaikalia. *Russian Geology and Geophysics* 57 (5), 723–744. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.09.015>.

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Lykhin D.A., Dril S.I., Tatarnikov S.A., Sandimirova G.P., 2007. Magmatic Sources and Geodynamics of the Early Mesozoic Northern Mongolia Western Transbaikalia Rift Zone. *Petrology* 15, 35–57. <https://doi.org/10.1134/S0869591107010031>.

Wang Z.-Y., Fan H.-R., Zhou L., Yang K.-F., She H.-D., 2020. Carbonatite-Related REE Deposits: an Overview. *Minerals* 10 (11), 965. <https://doi.org/10.3390/min10110965>.

Wilson M., 2007. *Igneous Petrogenesis*. Springer, Dordrecht, 466 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9388-0>.

Yang F., Chen W., Kynicky J., Ying Y., Bai T., 2021. Combined in Situ Chemical and Sr Isotopic Compositions and U-Pb Ages of the Mushgai Khudag Alkaline Complex: Implications of Immiscibility, Fractionation, and Alteration. *Minerals* 11 (5), 450. <https://doi.org/10.3390/min11050450>.

Yang Y.H., Sun J.F., Xie L.W., Fan H.R., Wu F.Y., 2008. In Situ Nd Isotopic Measurement of Natural Geological Materials by LA-MC-ICPMS. *Chinese Science Bulletin* 53, 1062–1070. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0166-z>.

Yang Y.H., Wu F.Y., Li Q.L., Rojas-Agramonte Y., Yang J.H., Li Y., Ma Q., Xie L.W., Huang C., Fan H.R., Zhao Z.F., Xu C., 2019. In Situ U-Th-Pb Dating and Sr-Nd Isotope Analysis of Bastnaesite by LA-(MC)-ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research* 43 (4), 543–565. <https://doi.org/10.1111/ggr.12297>.

Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Kovalenko V.I., 1998. Sources of Intraplate Magmatism of Western Transbaikalia in the Late Mesozoic – Cenozoic: Trace-Element and Isotope Data. *Petrology* 6 (2), 101–123.

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., 2003. Deep Geodynamics and Mantle Plumes: Their Role in the Formation of the Central Asian Fold Belt. *Petrology* 11 (6), 504–531.

Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M., Lebedev V.A., Savatenkov V.M., 2015. Late Mesozoic – Cenozoic Intraplate Magmatism in Central Asia and Its Relation with Mantle Diapirism: Evidence from the South Khangai Volcanic Region, Mongolia. *Journal of Asian Earth Sciences* 111, 604–623. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.05.008>.

Yarmolyuk V.V., Kuz'min M.I., Vorontsov A.A., 2013. West Pacific-Type Convergent Boundaries and Their Role in the Formation of the Central Asian Fold Belt. *Russian Geology and Geophysics* 54 (12), 1427–1441. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.10.012>.

Yarmolyuk V.V., Nikiforov A.V., Kovalenko V.I., Ivanov V.G., Zhuravlev D.Z., 2001. Sources of the Late Mesozoic Carbonatites of Western Transbaikalia: Trace-Element and Sr-Nd Isotopic Data. *Geochemistry International* 39 (1), 60–78.

Yarmolyuk V.V., Nikiforov A.V., Kozlovsky A.M., Kudryashova E.A., 2019. Late Mesozoic East Asian Magmatic Province: Structure, Magmatic Signature, Formation Conditions. *Geotectonics* 53, 500–516. <https://doi.org/10.1134/S0016852119040071>.

Zheng X., Liu Y., 2019. Mechanisms of Element Precipitation in Carbonatite-Related Rare-Earth Element Deposits: Evidence from Fluid Inclusions in the Maoniuping Deposit, Sichuan Province, Southwestern China. *Ore Geology Reviews* 107, 218–238. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.021>.

Таблица 1.1. Результаты U-Th-Pb (LA-ICP-MS) датирования бастнезитов проявлений Западного Забайкалья
Table 1.1. Results of U-Th-Pb (LA-ICP-MS) dating of bastnaesites from the Western Transbaikalia occurrences

№ п/п	Pb	Th	U	Th/U	U ²³⁸ /Pb ²⁰⁶	1s	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	1s	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	1s	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	1s	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²	1s	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²	1s
Южное																
1	16	4508	3	1410	31.6	0.8	0.2040	0.0072	0.891	0.028	0.03169	0.00079	0.006530	0.000110	131.6	2.3
2	18	4564	3	1449	22.2	0.5	0.3879	0.0108	2.412	0.057	0.04513	0.00107	0.006580	0.000120	132.6	2.3
3	17	4560	3	1505	28.9	0.7	0.2551	0.0081	1.217	0.033	0.03462	0.00085	0.006520	0.000110	131.3	2.3
4	16	4584	3	1407	31.7	0.8	0.2120	0.0082	0.923	0.031	0.03158	0.00083	0.006530	0.000120	131.6	2.3
5	13	3566	2	1464	31.6	0.8	0.2264	0.0086	0.988	0.032	0.03167	0.00085	0.006660	0.000120	134.2	2.4
6	11	3124	2	1317	31.1	0.8	0.2119	0.0081	0.939	0.031	0.03219	0.00084	0.006650	0.000120	134.0	2.4
7	13	3614	2	1463	31.5	0.8	0.2312	0.0087	1.010	0.033	0.03172	0.00085	0.006640	0.000120	133.7	2.4
8	11	3096	2	1313	25.9	0.7	0.2961	0.0111	1.574	0.050	0.03859	0.00107	0.006450	0.000110	129.9	2.3
9	15	4152	2	2507	25.8	0.7	0.2953	0.0112	1.574	0.050	0.03869	0.00108	0.006370	0.000110	128.4	2.3
10	15	4264	2	2619	28.4	0.8	0.2593	0.0104	1.259	0.043	0.03525	0.00099	0.006440	0.000110	129.7	2.3
11	12	3474	2	1995	27.8	0.8	0.2634	0.0106	1.307	0.045	0.03601	0.00101	0.006410	0.000110	129.1	2.3
12	14	3808	2	2245	29.9	0.8	0.2414	0.0093	1.111	0.037	0.03341	0.00091	0.006320	0.000110	127.4	2.3
13	12	3518	2	1698	21.0	0.5	0.4153	0.0124	2.722	0.068	0.04759	0.00119	0.006400	0.000110	129.0	2.3
14	12	3320	2	1551	29.0	0.8	0.2516	0.0095	1.196	0.039	0.03453	0.00094	0.006320	0.000110	127.3	2.3
15	13	3802	2	1891	29.4	0.8	0.2525	0.0095	1.181	0.038	0.03396	0.00092	0.006380	0.000110	128.6	2.3
16	14	3690	2	1701	21.0	0.5	0.3993	0.0121	2.614	0.066	0.04755	0.00120	0.006480	0.000120	130.6	2.3
17	12	3412	2	1607	29.3	0.8	0.2505	0.0098	1.176	0.040	0.03410	0.00094	0.006400	0.000110	128.9	2.3
18	13	3512	2	1655	29.4	0.7	0.2569	0.0084	1.201	0.034	0.03396	0.00085	0.006270	0.000110	126.4	2.2
Улан-Удэнское																
1	13	3268	7	469	22.0	0.5	0.4690	0.0108	2.935	0.062	0.04537	0.00096	0.006930	0.000130	139.6	2.6
2	14	3705	7	500	37.4	0.8	0.1895	0.0046	0.699	0.016	0.02676	0.00057	0.006840	0.000130	137.7	2.5
3	15	3940	8	516	18.6	0.4	0.5363	0.0122	3.978	0.084	0.05378	0.00113	0.006930	0.000130	139.6	2.6
4	16	3933	8	507	12.5	0.3	0.6448	0.0145	7.141	0.149	0.08030	0.00167	0.007110	0.000130	143.2	2.6
5	5	1331	4	341	33.3	0.7	0.3052	0.0075	1.263	0.028	0.03002	0.00065	0.006600	0.000120	133.0	2.5
6	5	1385	3	412	35.8	0.8	0.2661	0.0068	1.026	0.024	0.02797	0.00062	0.006640	0.000120	133.9	2.5
7	5	1338	3	413	35.3	0.8	0.2626	0.0067	1.026	0.024	0.02836	0.00063	0.006610	0.000120	133.3	2.5
8	5	1459	4	344	37.7	0.8	0.2306	0.0058	0.842	0.019	0.02651	0.00058	0.006600	0.000120	133.0	2.4
9	14	3747	11	353	37.8	0.8	0.2028	0.0047	0.739	0.016	0.02646	0.00056	0.006750	0.000120	135.9	2.5
10	12	3172	7	427	34.6	0.7	0.2539	0.0059	1.010	0.022	0.02890	0.00061	0.006660	0.000120	134.3	2.4
11	14	3795	11	354	36.8	0.8	0.2183	0.0050	0.816	0.017	0.02714	0.00057	0.006720	0.000120	135.3	2.5
12	14	3813	11	357	38.5	0.8	0.1931	0.0045	0.690	0.015	0.02595	0.00055	0.006720	0.000120	135.4	2.5
13	16	3857	11	357	12.8	0.3	0.6314	0.0138	6.801	0.138	0.07824	0.00162	0.007220	0.000130	145.3	2.6
14	15	3978	11	377	37.4	0.8	0.2066	0.0048	0.759	0.016	0.02672	0.00056	0.006690	0.000120	134.7	2.4
15	15	4037	11	353	36.8	0.8	0.2136	0.0049	0.799	0.017	0.02719	0.00057	0.006730	0.000120	135.6	2.4
16	544	3995	8	514	32.4	0.8	0.2952	0.0098	1.254	0.038	0.03087	0.00073	0.006850	0.000120	137.9	2.5

Примечание. Содержания Pb, U и Th указаны в г/т.

Note. The contents of Pb, U and Th are in ppm.

Таблица 1.2. Данные Nd изотопного состава бастнезитов проявлений Южное и Улан-Удэнское
Table 1.2. Nd-isotope data of bastnaesites from the Yuzhnoe and Ulan-Ude occurrences

Точка	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	2se	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2se	$^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2se	$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$	T_{DM}
Южное								
7Yu 1	0.035915	0.00002	0.512122	0.00003	0.348394	0.00004	-7.41	883
7Yu 2	0.038972	0.00003	0.512148	0.00002	0.348396	0.00003	-6.94	876
7Yu 3	0.038859	0.00003	0.512158	0.00002	0.348401	0.00003	-6.74	866
7Yu 4	0.039247	0.00003	0.512177	0.00003	0.348396	0.00004	-6.38	852
7Yu 5	0.039648	0.00005	0.512183	0.00002	0.348405	0.00002	-6.27	849
7Yu 6	0.038043	0.00003	0.512173	0.00003	0.348405	0.00004	-6.44	850
7Yu 7	0.040340	0.00013	0.512152	0.00002	0.348401	0.00004	-6.88	879
7Yu 8	0.038561	0.00002	0.512170	0.00003	0.348393	0.00004	-6.50	854
7Yu 9	0.035061	0.00007	0.512142	0.00003	0.348394	0.00004	-7.00	862
7Yu 10	0.034811	0.00003	0.512160	0.00003	0.348407	0.00004	-6.65	845
7Yu 11	0.034796	0.00002	0.512180	0.00003	0.348400	0.00004	-6.24	828
7Yu 12	0.034181	0.00008	0.512188	0.00002	0.348386	0.00005	-6.08	819
7Yu 13	0.035043	0.00018	0.512164	0.00003	0.348397	0.00004	-6.57	843
7Yu 14	0.033775	0.00002	0.512175	0.00002	0.348403	0.00005	-6.33	827
7Yu 15	0.033724	0.00002	0.512164	0.00003	0.348400	0.00004	-6.55	837
7Yu 16	0.040975	0.00004	0.512155	0.00002	0.348402	0.00004	-6.84	880
7Yu 17	0.035261	0.00002	0.512170	0.00003	0.348399	0.00004	-6.46	839
7Yu 18	0.033691	0.00002	0.512165	0.00003	0.348388	0.00004	-6.52	836
7Yu 19	0.034139	0.00002	0.512171	0.00002	0.348394	0.00004	-6.42	833
7Yu 20	0.033461	0.00002	0.512167	0.00003	0.348394	0.00004	-6.48	833
Улан-Удэнское								
UU 1	0.024797	0.00003	0.512306	0.00003	0.348397	0.00003	-3.47	683
UU 2	0.024564	0.00003	0.512317	0.00003	0.348387	0.00003	-3.25	673
UU 3	0.024821	0.00003	0.512303	0.00003	0.348386	0.00003	-3.54	686
UU 4	0.025050	0.00003	0.512336	0.00003	0.348404	0.00003	-2.90	660
UU 5	0.029771	0.00002	0.512317	0.00003	0.348384	0.00003	-3.35	692
UU 6	0.029837	0.00004	0.512304	0.00003	0.348393	0.00003	-3.60	703
UU 7	0.030278	0.00002	0.512269	0.00003	0.348396	0.00003	-4.28	734
UU 8	0.033638	0.00025	0.512301	0.00003	0.348409	0.00002	-3.72	720
UU 9	0.028417	0.00002	0.512282	0.00003	0.348386	0.00003	-4.00	716
UU 10	0.028255	0.00003	0.512287	0.00004	0.348420	0.00003	-3.90	711
UU 11	0.028395	0.00002	0.512310	0.00003	0.348388	0.00003	-3.45	693
UU 12	0.028565	0.00003	0.512318	0.00004	0.348383	0.00004	-3.31	687
UU 13	0.025067	0.00004	0.512317	0.00003	0.348385	0.00004	-3.26	675
UU 14	0.028457	0.00003	0.512313	0.00003	0.348399	0.00004	-3.41	691
UU 15	0.026330	0.00003	0.512298	0.00004	0.348402	0.00004	-3.66	695
UU 16	0.026105	0.00004	0.512317	0.00004	0.348390	0.00004	-3.28	679
UU 17	0.024609	0.00003	0.512296	0.00003	0.348397	0.00003	-3.66	690
UU 18	0.025525	0.00002	0.512307	0.00003	0.348375	0.00003	-3.47	685
UU 19	0.025404	0.00003	0.512348	0.00003	0.348403	0.00003	-2.67	651
UU 20	0.024684	0.00002	0.512300	0.00003	0.348405	0.00003	-3.58	687

Таблица 1.3. Данные Nd и Sr изотопного состава карбонатитов проявления Южное и бастнезит-флюоритовых пород проявления Улан-Удэнское

Table 1.3. Sr and Nd isotope data for carbonatites from the Yuzhnoe occurrence and for bastnaesite-fluorite rocks from the Ulan-Ude occurrence

Параметр	Южное			Улан-Удэнское		
	1	2	3	1	2	3
Возраст	130 млн лет			136 млн лет		
Sm (г/т)	4490	121	93	660	309	589
Nd (г/т)	77000	1150	880	10400	5450	11000
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.035269	0.06351	0.063937	0.038278	0.034273	0.032487
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512176	0.512165	0.512207	0.512307	0.512349	0.512426
$\pm 2\delta$	4	7	4	16	12	20
$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$	-6.4	-7.1	-6.3	-3.7	-2.8	-1.3
Rb (г/т)	1	2.5	11.9	46.9	86.8	-
Sr (г/т)	296	1608	1337	259	266	-
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.0001	0.004431	0.025754	0.510378	0.921928	-
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.705883	0.70594	0.706057	0.70782	0.70884	-
$\pm 2\sigma$	5.0000	5.0000	5.0000	0.0002	0.0002	-
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\text{I})$	0.705883	0.705932	0.706011	0.706833	0.70687	-