

УДК 550.4: 553.52(1-925.16)

ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ БИТУ-ДЖИДИНСКОГО МНОГОФАЗНОГО ИНТРУЗИВНОГО МАССИВА РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ Li-F ГРАНИТОВ (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ – СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ)

Ц. Золбоо¹, С.В. Канакин²

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

²Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

На примере Биту-Джидинского интрузивного массива рассмотрены вопросы эволюции Li-F гранитоидных магм и источники редкометалльной минерализации. Приведены новые данные о составе гранитоидов различных фаз массива, об их минеральном и изотопном составе. Предложена модель формирования Li-F гранитоидных магм при плавлении нижнекоровых гранулитов.

Библиогр. 7 назв. Ил. 4. Табл. 3.

Ключевые слова: минералогия; геохимия; интрузивный массив; редкометалльные граниты; изотоп.

GEOCHEMISTRY AND MINERALOGY OF BITU-DZHIDA MULTIPHASE INTRUSIVE MASSIF OF Li-F RARE METAL GRANITES (SOUTHERN PRIBAIKALIE - NORTHERN MONGOLIA)

Ts. Zolboo, S.V. Kanakin

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 1a Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia.

Institute of Geology SB RAS, 6a Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

The evolution problems of Li-F granitoid magmas and the sources of rare metal mineralization are considered on example of Bitu-Dzhida intrusive massif. New data are given on the composition of granitoids from various phases of the massif, their mineral and isotopic signature. The model of Li-F granitoid magmas formation under melting of lower crustal granulite is proposed.

7 sources. 4 figures. 3 tables.

Key words: mineralogy; geochemistry; intrusive massif; rare-metal granites; isotope.

На границе России (Южное Прибайкалье) и Монголии в структуре хребта Хамар-Дабан локализован ряд многофазных интрузивных массивов с гранитоидами Li-F типа. Среди них известны такие, как Уругудеевский, Харагульский и Биту-Джидинский массивы [1]. Результаты новых минералогических исследований Биту-Джидинской многофазной интрузии Li-F гранитов являются содержанием данной статьи.

Биту-Джидинская многофазная интрузия Li-F гранитов расположена в южных отрогах хребта Хамар-Дабан. Она локализована в метаморфической толще кембрийского возраста (кристал-

лические сланцы биту-джидинской свиты). На территории России массив обнаружен в 1933 г. [4] и изучался позднее при проведении геолого-съёмочных и поисково-оценочных работ на Li, Rb, Ta, Nb (1954-1960 гг.), а также в ходе тематических научных исследований [2, 3]. Новые геолого-геохимические исследования массива проведены в 2004 г. на территории России и в 2008 г. на территории Монголии. Ранее на основе данных K/Ar датирования возраст массива был определен как пермотриасовый – 262-218 млн лет [3]. Согласно новым данным [5], время внедрения I-ой инициальной фазы гранитоидов Биту-Джидинской интрузии соот-

¹Золбоо Цэгмэд, аспирант, тел.: 89148746916, e-mail: zolboo.tsegmed@hdrinc.com

Zolboo Tsegmed, Postgraduate, tel.: 89148746916, e-mail: zolboo.tsegmed@hdrinc.com

²Канакин Сергей Васильевич, зав. лабораторией, кандидат геолого-минералогических наук, тел.: 89146348010, e-mail: skan_61@mail.ru

Kanakin Sergei, Head of the Laboratory, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, tel.: 89146348010, e-mail: skan_61@mail.ru

ветствует позднему карбону (C_2) и составляет 311 ± 10 млн лет (Rb/Sr метод).

В строении массива выделяются три главные фазы внедрения гранитных магм (рис. 1). I-я фаза представлена Pl-Kfs-Qtz-Bt-Mus порфировидными гранитами, II-я фаза – Qtz-Kfs-Pl-Bt-Mus лейкократовыми гранитами и, наконец, III-я фаза – амзонит-альбит-циннвальдитовыми (Amz-Ab) редкометалльными гранитами. В завершение формирования интрузивного массива здесь происходят пегматитообразование и грейзенизация, а в экзоконтактных зонах наблюдаются катаклаз, дробление и перекристаллизация кристаллических сланцев. Породы всех трех интрузивных фаз массива принадлежат к группе

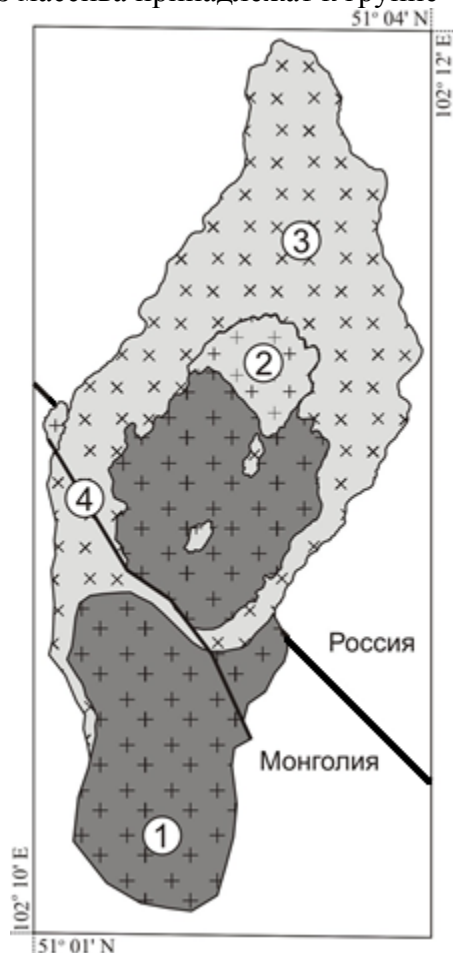


Рис. 1. Схема геологического строения Биту-Дзидинского массива Li-F гранитов:

1 – порфировидные граниты I-ой фазы; 2 – лейкократовые граниты II-ой фазы; 3 – амзонит-альбит-циннвальдитовые граниты III-й фазы (границы интрузивные); 4 – разрывные нарушения

плюмазитовых (peraluminous) гранитов Li-F геохимического типа. При этом их вещественные характеристики существенно различаются между собой (табл. 1). Общими для гранитоидов всех интрузивных фаз массива являются такие особенности их состава, как повышенные концентрации Li и F. Составы пород ранней фазы отличаются от гранитов II-ой и III-ей фаз наименьшей кремнекислотностью и наиболее низкой суммарной щелочностью. Поведение редкоземельных элементов в гранитоидах интрузивных фаз обладает рядом важных особенностей. Граниты I-ой фазы имеют наиболее дифференцированные спектры распределения REE (La_N/Yb_N 10.6-16.3), тогда как породы II-ой интрузивной фазы обнаруживают уменьшение степени фракционирования REE (La_N/Yb_N 3.6-6.6) за счет существенного обогащения их тяжелыми элементами спектра и обладают более значительным дефицитом Eu_N (Eu^* 0.11-0.29 против 0.49-0.65 для пород I-й фазы). Для Amz-Ab лейкогранитов заключительной III-ей фазы характерны резкое обеднение LREE ($La_N/Yb_N < 1$) и глубокий Eu-минимум ($Eu^* < 0.05$).

Особенностью фациального разнообразия гранитоидов III-интрузивной фазы массива является распространение в объеме пород участков их расслоенности на мелкозернистые разновидности (альбитовые микрограниты) преимущественно Qtz-Ab состава и крупнозернистые Qtz-Amz-Ab (амзонит-альбит-циннвальдитовые) граниты. Последние из них обладают высококремнистым и высококалиевым составом и наиболее значительными среди пород массива концентрациями многих редких элементов – Li (до 1300), F (9500), Sn (84), Rb (815), Ga (37), Nb (450), Ta (42), Pb (113), U (38 ppm) и HREE.

Микрограниты зон «фациальной расслоенности», напротив, отличаются высокой натровостью и обеднены многими редкими элементами. При этом особенности относительного распреде-

Таблица 1

Средние составы гранитов интрузивных фаз Биту-Джидинского массива

Фазы n*	ФР*					Фазы n*	ФР**				
	I	II	III	1	1		I	II	III	1	1
SiO ₂	71.63	73.06	73.50	70.42	78.08	Sr	173.9	100.0	0.95	2.00	2.0
TiO ₂	0.30	0.21	0.01	0.02	0.01	Y	9.6	43.3	6.1	2.0	26.3
Al ₂ O ₃	14.82	14.07	15.66	18.6	11.66	Zr	123.5	163.4	252.4	241.6	88.8
FeO*	2.14	1.98	0.69	0.56	1.25	Nb	17.4	41.3	226.9	20.7	450.4
MnO	0.04	0.09	0.07	0.02	0.14	Ba	550	354	<0,5	<0,5	3.2
MgO	0.54	0.10	0.05	0.05	0.05	La	17.81	30.61	0.81	0.22	5.4
CaO	1.89	0.80	0.05	0.08	0.08	Ce	37.97	67.52	3.95	1.35	24.0
Na ₂ O	3.91	4.11	6.14	9.58	2.64	Nd	14.04	26.64	1.81	0.64	11.6
K ₂ O	3.29	4.18	3.23	0.35	5.54	Sm	2.90	7.04	0.77	0.58	4.4
P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.01	0.01	0.01	Eu	0.53	0.54	0.01	0.00	0.02
LOI	1.17	1.20	0.41	0.3	0.52	Gd	2.45	6.85	0.66	0.30	4.7
Total	99.88	99.87	99.96	99.98	100.04	Dy	1.90	7.34	1.91	0.97	9.5
Li	189	141	636	210	1300	Yb	1.08	4.28	3.18	0.19	12.3
B	21	20	13	18	8	Lu	0.15	0.68	0.53	0.72	1.7
Be	4.9	7.1	3.2	1.8	4.5	Hf	3.73	5.84	13.02	11.50	8.6
F	3500	3633	3325	1800	9500	Ta	3.04	5.00	18.77	4.24	41.6
Sn	7.6	12.3	59.0	11	84	Pb	25.5	37.2	71.3	44.4	113.0
Ga	13.9	19.3	40.8	48.9	36.5	Th	11.29	23.05	55.75	42.60	31.0
Rb	132	205	545	41	815	U	3.72	7.83	12.84	16.61	38.1

Примечание: n* – количество анализов для подсчета среднего, ФР** – составы гранитов зон «фациальной расслоенности» (III-я фаза).

Методы определения содержания компонентов: петрогенные окислы – RFA (мас.%); Li – фотометрия пламени; B, Be, F, Sn – оптический спектральный метод; другие редкие элементы (ppm) – ICP-MS.

Анализы выполнены в ИГХ СО РАН.

ления всех элементов в породах таких зон остаются сходными между собой.

Составы сланцев вмещающей метаморфической толщи варьируют в широких пределах. На удалении от массива они представлены низкокремнистыми и глиноземистыми разностями с умеренными содержаниями многих редких элементов, тогда как в экзоконтактовых зонах интрузии обнаруживается увеличение их кремнекислотности и обогащение такими элементами, как Li (до 1890), F (18500), B (135), Pb (166 ppm). Распределение REE в сланцах отличается относительно низкой степенью фракционирования (La/Yb 15.7) и, за исключением слабовыраженного Еu-минимума, имеет сходство с составами гранитов II-ой интрузивной фазы.

Геохимическая специфика гранитов Биту-Джидинского интрузивного массива отчетливо выражается при сравнении их редкоэлементных соста-

вов со средним составом континентальной коры (рис. 2). При этом для гранитов всех интрузивных фаз обнаруживается обогащенность пород не только Li, но и Sn, а для гранитов II-ой и III-ей фаз массива устанавливается специализация и на Ta, Nb и Rb. Следует отметить, что наиболее близки к составу континентальной коры граниты ранней интрузивной фазы, тогда как породы второй и заключительной фаз демонстрируют резкую дифференциацию в распределении многих редких элементов. Кроме того, важно отметить, что составы сланцев биту-джидинской свиты близки к составу континентальной коры с небольшими положительными аномалиями Cs, B и Li.

Микрозондовыми исследованиями в породах Биту-Джидинского массива установлены составы породообразующих минералов и минералов-концентраторов (см. табл. 2) Nb, Ta, LREE, HREE, Th, U, Pb,

Sn, Li – алланит, колумбит, танталит, синхизит, монацит, касситерит, ксенотим,

фурдит, чангбаит, циннвальдит, протолютионит, Li-мусковит.

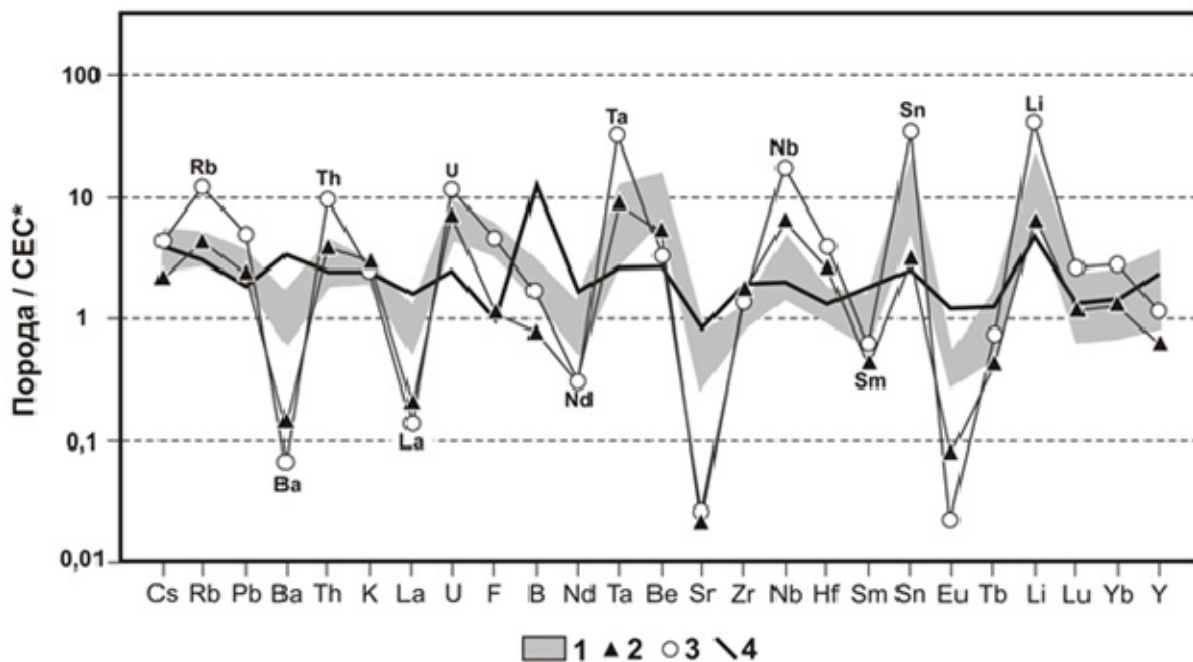


Рис. 2. Распределение редких элементов в гранитоидах интрузивных фаз Биту-Джидинского массива и в сланцах вмещающей метаморфической толщи:
 1, 2, 3 – составы гранитов I-ой, II-ой и III-ей интрузивных фаз соответственно; 4 – составы сланцев вмещающих толщ. Содержания редких элементов нормированы к среднему составу континентальной коры Восточного Китая, СЕС* (Central East China) по [6]

Таблица 2

Химический состав акцессорных минералов Биту-Джидинских гранитов

Компоненты	Минерал (№ обр.), %					
	Алланит (2421)	Рутил (2421)	Паризит (2421)	Апатит (2438)	Та-Nb (2425)	Касситерит (2406/2*)
SiO ₂	31.83		1.65			2.14
TiO ₂		97.23				
Al ₂ O ₃	14.62		0.76			0.72
Fe ₂ O ₃			8.59			
FeO	14.29	1.40	7.68		8.16	1.07
MnO					13.36	1.16
CaO	11.46		14.43	51.45		
P ₂ O ₅				40.03		
BaO	1.27					
PbO	1.10					
SnO ₂						82.96
Nb ₂ O ₅		1.70			72.27	8.74
Ta ₂ O ₅					7.27	
Ce ₂ O ₃ *	17.67		39.98			
SrO			0.97			
ThO ₂			2.00			
Y ₂ O ₃			1.31			
F			6.04	5.93		
Total	93.06	100.34	83.36	97.41	101.06	96.78

Примечание. Ce₂O₃* – суммарное содержание REE элементов Ce-группы: Ce, La, Pr, Nd, Sm.

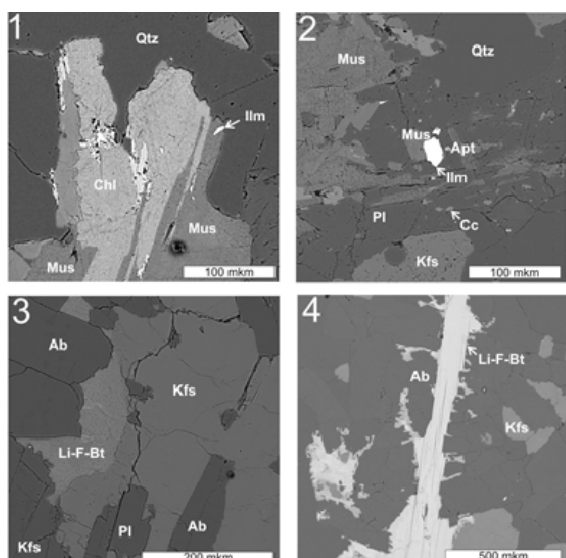


Рис. 3. Минеральные парагенезисы гранитоидов Биту-Джидинского массива:
 1–3 – граниты: 1 – I-й фазы, 2 – II-ой фазы, 3 – III-ей фазы; 4 – породы зон грейзенизации.
 Изображение в обратно-рассеянных электронах (BSE). Исследования выполнены с использованием электронного микроскопа LEO 1430VP и анализатора Inca Energy 300 при ускоряющем напряжении 20 kV при токе ~ 0,5 нА, размер зонда < 1 мк, набор спектра 50 сек

Породообразующие минералы гранитов массива представлены полевыми шпатами, кварцем и слюдами (рис. 3, 4). Эволюция их составов указывает на генетическое родство пород различных интрузивных фаз массива и на значительную роль в процессе их формирования флюидной F-содержащей фазы. Полевые шпаты гранитов I-ой и II-ой интрузивных фаз представлены в основном альбитом и микроклином, а также редким олигоклазом (An₁₁₋₁₇). В гранитах III-ей интрузивной фазы распространены исключительно альбит и микроклин.

Другой группой породообразующих минералов в гранитоидах Биту-Джидинского массива являются слюды. Типы слюд и эволюция их составов в породах различных интрузивных фаз существенно различаются. В гранитах I-ой и II-ой фаз слюды представлены железистыми биотитами и мусковитами (рис. 4). Значимых содержаний в биотитах и мусковитах F и Li не обнаружено.

Напротив, в гранитах III-ей интрузивной фазы слюды отвечают по составам исключительно Li-F разновидностям. Содержания F в Li-слюдах интрузии варьируют в диапазоне 2–8 мас. %, содержание Li в таких слюдах химическими методами не определено, но установлено по эмпирическим формулам [7] в зависимости от содержаний F и Si. Среди Li-слюд определены протолитиониты (табл. 3, рис. 4).

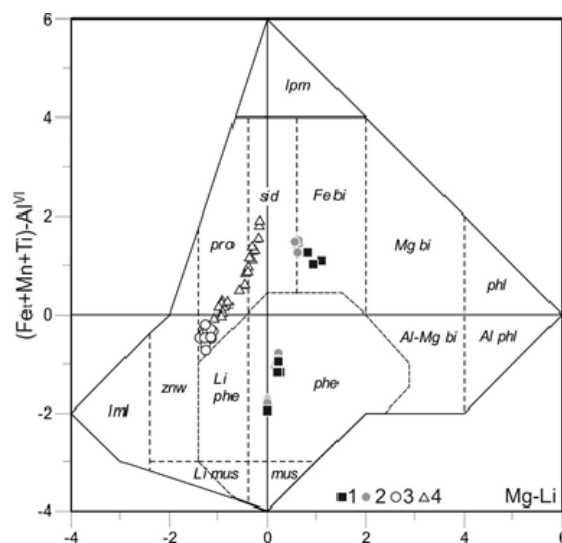


Рис. 4. Классификационная диаграмма слюд гранитоидов (no Tischendorf, 1997):
 1–2 – I-й фазы; 3 – III-ей фазы; 4 – II-ой фазы

Присутствие в породах массива акцессорных минералов широкого ряда составов, а именно карбонатов, фосфатов, силикатов и оксидов, элементов ряда Sn, TR, Pb, Ta, Nb, Th и U свидетельствует о значительных вариациях условий кристаллизации Li-F гранитной магмы Биту-Джидинского массива и о потенциальной рудоносности его поздних интрузивных фаз.

Источники вещества гранитоидных магм Биту-Джидинского массива могут быть установлены с использованием изотопно-геохимических характеристик пород. Выяснено, что изотопные характеристики первых двух фаз близки между собой: ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(t) (0.705312-0.706187), ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd(t) (0.512153-0.512293), ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(t) (17.761-17.961), ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb(t) (15.454-15.491), ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb(t) (37.426-37.587). В то же

Таблица 3

Составы и кристаллохимические формулы слюд

Компо- ненты	I фаза		II фаза		III фаза		
	№ обр.						
	БД-2421		БД-2438		БД-2425	БД-2406/1*	БД-2406/2*
	Минерал, %						
	Bt	Mus	Bt	Mus	Pro	Pro	Pro
Si₂O	35.19	44.22	34.61	46.15	48.52	46.08	49.06
TiO₂	3.02		2.62				
Al₂O₃	15.55	35.5	14.70	35.69	19.54	19.61	18.93
Fe₂O₃	20.33	1.22	19.01	1.34	1.59	1.26	0.45
FeO	3.03	0.03	6.21	0.42	8.04	10.03	9.78
MnO	0.46				1.79	1.9	1.74
MgO	6.72		4.83				
Na₂O				0.54		0.66	
K₂O	9.61	11.62	9.48	11.25	10.99	10.81	10.94
Li₂O					4.36	3.66	4.52
F					7.41	7.43	7.86
Total	93.91	92.59	91.45	95.39	103.06	101.45	103.27
K	1.019	1.019	1.044	0.957	0.991	1.004	0.984
X₁	1.019	1.019	1.044	0.957	0.991	1.004	0.984
Ti	0.189		0.170				
Al_{VI}	0.447	1.916	0.482	1.882	1.059	1.035	1.031
Fe⁺³	1.271	0.063	1.234	0.067	0.085	0.069	0.024
Fe⁺²	0.211	0.002	0.448	0.024	0.476	0.611	0.576
Mn	0.032				0.107	0.117	0.104
Mg	0.832		0.621				
Na				0.070		0.093	
Li					1.240	1.071	1.281
Y₃	2.981	1.981	2.956	2.043	3.009	2.996	3.016
Si	2.924	3.040	2.987	3.077	3.431	3.353	3.458
Al_{IV}	1.076	0.960	1.013	0.923	0.569	0.647	0.542
Z₄	4	4	4	4	4	4	4

Примечание. Содержания Li рассчитаны по эмпирическим формулам (Tischendorf, 1997).

Bt – биотит, Mus – мусковит, Pro – протолионит.

время изотопные характеристики гранитоидов III-ей интрузивной фазы отличаются в сторону увеличения радиогенной составляющей для изотопной системы $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ (1.100426-1.135334) и в сторону снижения радиогенной составляющей для системы $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t)$ (17.208-17.480). Сделан вывод, что источник расплавов Li-F гранитоидов был относительно обогащен Rb, Th и обеднен U. Эти данные согласуются с моделью формирования инициальных Li-F гранитоидных расплавов на уровне нижних горизонтов древней докембри-

ской континентальной коры со средним модельным возрастом $T_{DM2}=1260$ млн лет и максимальным 1600 млн лет. Вещество нижней части коры имело, вероятно, состав относительно обогащенных LILE Bt-содержащих гранулитов, частичное плавление которых было обусловлено подъемом астеносферного мантийного диапира (плюма). Эти выводы согласуются с результатами предшествующих исследований Li-F гранитов Центральной Азии.

Полученные первые данные о составах породообразующих и аксессуар-

ных минералов из гранитоидов Биту-Джидинского массива указывают на потенциальную возможность концентрирования рудных компонентов в процессе эволюции гранитоидных магм массива. Эти данные в совокупности с полученными сведениями о направленности вещественной эволюции этой рудно-магматической системы свидетельствуют о необходимости ее более глубокого петролого-геохимического изучения с разработкой моделей флюидно-магматического перераспределения вещества.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-05-92230-Монг_а), проект СО РАН-Монголия, №16.

Библиографический список

1. Антипин В.С., Перепелов А.Б. Геохимические связи процессов формирования батолитов и редкометалльно-гранитных интрузивно-дайковых поясов в ареалах развития фанерозойского гранитоидного магматизма // Материалы 1-й международной геол. конференции «Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов». Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2008. С. 23–24.
2. Коваль П.В. Петрология и геохимия альбитизированных гранитов. Новосибирск: Наука, 1975. 258 с.
3. Косалс Я.А. Геохимия амазонитовых гранитов // Труды Института геологии и геофизики СО АН СССР. Новосибирск: Наука, 1976. Вып. 219. 190 с.
4. Налетов П.И., Шалаев К.А., Деуля Т.Т. Геология Джидинского рудного района // Труды ВСГУ. Иркутск, 1941. Вып. 27. 282 с.
5. Перепелов А.Б., Татарников С.А., Дриль С.И., Антипин В.С., Владимиров Т.А., Сандимирова Г.П. Геохимические особенности, источники вещества и возраст Биту-Джидинской многофазной интрузии Li-F гранитов (Хамар-Дабан) // Материалы 1-й международной геол. конференции «Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов». Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2008. С. 291–293.
6. Gao S., Luo T.C., Zhang B.R., Zhang H.F., Han Y.W., Hu Y.K., Zhao Z.D. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. P. 1959–1975.
7. Tischendorf G. On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation // Mineralogical Magazine. 1997. V. 61. P. 809–834.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геохимии СО РАН С.В. Ефремов