

УДК 553.4:550.4

РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ГРАНИТЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ РАННЕМЕЗОЗОЙСКОГО АРЕАЛА МАГМАТИЗМА: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ (МОНГОЛИЯ)

В. С. Антипин^{1,*}, А. Б. Перепелов¹, Д. Одгэрэл (D. Odgerel)²

Представлено академиком РАН М.И. Кузьминым 30.07.2017 г.

Поступило 21.12.2016 г.

Цель исследования — сравнительный анализ вещественной эволюции, возраста и петрогенетических особенностей редкометальных Li–F-гранитов в различных зонах раннемезозойского ареала магматизма. Полученные новые геохимические данные свидетельствуют об отсутствии связи происхождения редкометальных Li–F-гранитов за счёт процессов магматической дифференциации палингенной гранитоидной магмы, родоначальной для многофазного Бага-Хэнтэйского плутона. Редкометальные граниты в периферической зоне раннемезозойского ареала по сравнению с их аналогами в центральной части (Бага-Хэнтэй) в большей степени обогащены элементами Li, Rb, Sn, Ta, F, которые интенсивно накапливаются в процессе флюидно-магматической дифференциации. Это подтверждает большую перспективность рифтового обрамления батолитов в отношении генетической связи редкометального оруденения и магматизма. Геохимическая специфика гранитов Хэнтэйской интрузии в центральной части раннемезозойского ареала может указывать на их более глубокий источник, связанный с мантийным плюмом.

Ключевые слова: редкометальные граниты, Li–F-граниты, раннемезозойский ареал, магматизм, Бага-Хэнтэйский плутон, Монголия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524853335-340>

В южном складчатом обрамлении Сибирской платформы в течение всего фанерозоя проявился внутриплитный магматизм, образующий обширные ареалы с крупнейшими батолитами в их центральных частях. Предложены модели, связывающие особенности геологического строения и вещественной зональности ареалов с воздействием мантийных плюмов на литосферу складчатой области [1, 2]. Общая закономерность ареалов — преобладание гранитоидов в составе батолитов в центре и более щелочных вулcano-плутонических комплексов, а также интрузий редкометальных гранитов в их периферических рифтогенных зонах (рис. 17 в [1]).

Нашими исследованиями установлено, что в раннемезозойской Монголо-Забайкальской гранитоидной провинции, которая пространственно совпадает с зональным магматическим ареалом, охватывающем площадь >120 тыс. км², редкометальные Li–F-граниты распространены не только в его периферической зоне, но и непосредственно в цент-

ральной части ареала в пределах одного из крупнейших в Азии Дауро-Хэнтэйского батолита, южная часть которого на территории Северной Монголии представлена Бага-Хэнтэйским гранитоидным плутоном (рис. 1). По последним данным формирование Бага-Хэнтэйской части батолита и его рифтогенного обрамления происходило в близком возрастном интервале 230–195 млн лет [3]. Поэтому цель нашего исследования — сравнительный анализ вещественной эволюции, возраста, петрогенетических особенностей редкометальных Li–F-гранитов в различных зонах раннемезозойского ареала магматизма на основе новых данных. Необходимо отметить, что среди магматических ареалов Южной Сибири и Монголии хэнтэйская часть Дауро-Хэнтэйского батолита была исследована в наименьшей степени. В связи с этим важная задача — геохимическое сопоставление гранитов поздней фазы в эволюционном ряду Бага-Хэнтэйского плутона и выявленных в этой части ареала редкометальных гранитов.

Работами Совместной советско-монгольской геологической экспедиции было установлено, что Бага-Хэнтэйский плутон имеет трёхфазное строение [4]. Первая фаза преимущественно развита в районе

¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова

Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

² Institute of Paleontology and Geology

Academy of Sciences of Mongolia, Ulan-Bator

*E-mail: antipin@igc.irk.ru

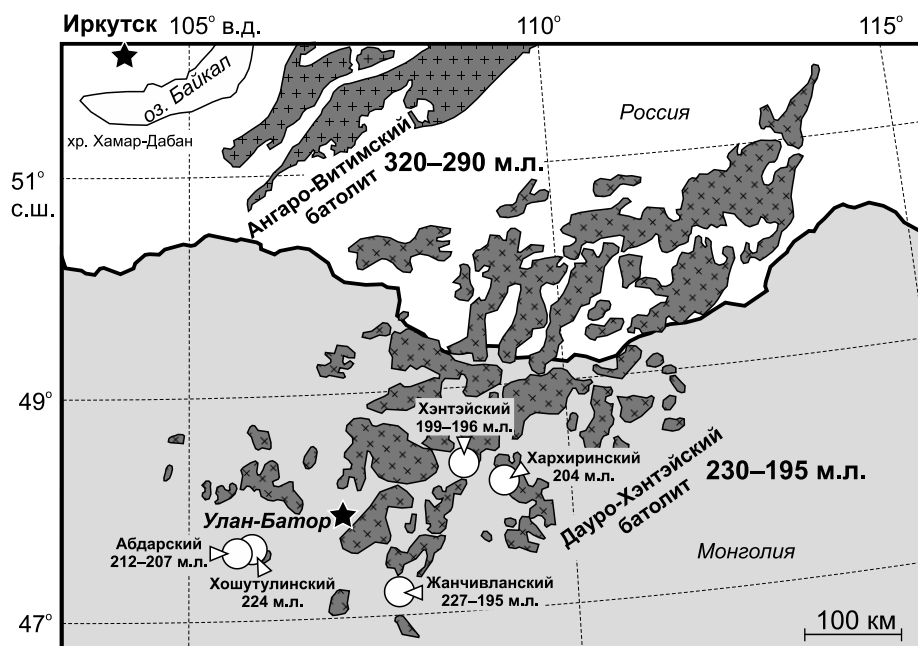


Рис. 1. Схема положения позднепалеозойского и раннемезозойского батолитов Прибайкалья, Северной Монголии и раннемезозойских массивов редкометальных гранитов в центральной части и периферии Бага-Хэнтэйского плутона. На схеме отмечены возрасты формирования массивов (млн лет).

хр. Бага-Хэнтэй и образована порфиroidными гранодиоритами, содержащими значительное количество овоидных ксенолитов габбро-диоритов. Вторая фаза представлена биотитовыми, реже амфибол-биотитовыми гранитами, в которых встречены останцы кровли ороговикованных сланцев и песчаников. К третьей фазе отнесены небольшие (до 2–3 км в диаметре) штокообразные тела лейкогранитов. В юго-восточной части хр. Бага-Хэнтэй (истоки р. Хуху-Нур) в непосредственной близости от Бага-Хэнтэйского плутона в центре раннемезозойского ареала расположен Хэнтэйский массив редкометальных Li–F-гранитов (рис. 1) среди песчано-сланцевой толщи хэнтэйской серии девонско-каменноугольного возраста [5]. Крупно-, среднезернистые биотитовые граниты главной фазы Хэнтэйской интрузии прорваны пластовыми телами мелкозернистых лейкогранитов дополнительной фазы и амазонит-альбитовыми гранитами, среди которых наблюдали переходы от сливных мелкозернистых с флюиальностью в эндоконтактной зоне к средне-, крупнозернистым пегматоидным со шпировидной текстурой разновидностям. В зоне эндоконтакта Хэнтэйского массива отмечены угловатые и перемещённые обломки вмещающих ороговикованных сланцев и песчаников.

Граниты Хэнтэйской интрузии в ранних фазах состоят из микроклина, олигоклаз-альбита, кварца, сидерофиллита. В амазонитовых гранитах состав слюд глинозёмистой протолиитонит-циннвальдитовой

серии, которые находятся в парагенезисе с альбитом и микроклином ($\text{Ort}_{96,2}\text{Ab}_{3,8}$). Из выделенных из этих гранитов прозрачных кристаллов циркона светложёлтого цвета со стекляннным блеском нами получены первые изотопные U–Pb-данные (проба ХНТ-910, определения выполнила Т.Б. Баянова в Геологическом институте КНЦ, г. Апатиты). По двум кристаллам циркона были получены конкордии с практически одинаковыми возрастными порядками порядка 200 ± 2 млн лет. Следовательно, редкометальные Li–F-граниты в центральной части хр. Бага-Хэнтэй также принадлежат раннемезозойскому ареалу магматизма и формировались на границе триаса и юры.

На периферии исследуемого ареала магматизма редкометальные Li–F-граниты образуют более крупные обычно многофазные массивы, проявленные иногда в составе интрузивно-дайковых поясов. Среди известково-щелочных гранитоидов Юдугинского массива к востоку от Бага-Хэнтэйского плутона выходы редкометальных Li–F-гранитов объединены нами в Хархиринский массив. Они представлены изометричными телами средне-, мелкозернистых амазонит-альбитовых гранитов, часто с флюиальными текстурами в эндоконтактных зонах и жилами пегматоидных амазонитовых гранитов. По слюдам редкометальных гранитов массива ранее были выполнены K–Ar-определения возраста (шесть определений), по которым получено близкое к гранитам Хэнтэйской интрузии среднее значение в 204, 6 млн лет [6].

Наиболее представительный в южной периферийной зоне раннемезозойского ареала — многофазный Жанчивланский массив, поздние проявления магматизма в котором представлены редкометальными Li–F-гранитами, слагающими отдельные выходы общей площадью ~50 км² (Бурал-Хангай, Урту-Гоцзогор и др.). Они образованы всеми главными разновидностями Li–F-гранитов: от биотит-содержащих лейкогранитов, которые в отдельных куполах (Бурал-Хангай) сменяются микроклин-альбитовыми, далее амазонит-альбитовыми и в апикальных частях куполов — альбит-лепидолитовыми редкометальными гранитами. По главным разновидностям Li–F-гранитов, включая наиболее дифференцированные с топазом и лепидолитом редкометальные граниты, была получена Rb–Sr-изохрона с возрастом $195,3 \pm 0,6$ млн лет [6].

В составе Абдар-Хошутулинской интрузивно-дайковой серии Абдарский массив имеет зональное внутреннее строение и площадь выходов редкометальных гранитов ~10 км². Центральная часть массива сложена среднезернистыми лейкогранитами с биотитом, которая окаймлена прерывистой на востоке зоной среднезернистых амазонит-альбитовых гранитов, встречающихся также в апикальных выходах пород. Возраст гранитов Абдарского массива, определённый Rb–Sr-методом, близок к значениям возраста Хэнтэйской интрузии 202–205 млн лет [6].

Установлено, что в центре раннемезозойского ареала эволюция гранитоидов известково-щелочного ряда многофазного Бага-Хэнтэйского плутона завершается формированием лейкогранитов поздней фазы; при этом существенных вариаций в уровне содержаний литофильных и других элементов не фиксируется при сравнении ранних и поздних фаз плутона (табл. 1). Однако геохимические характеристики лейкогранитов Хэнтэйской интрузии резко отличаются от их петрохимических аналогов в Бага-Хэнтэе. Это выражено в значительном обогащении F, а также более резко (в 5–10 раз) Li, Rb, Cs, Sn, Ta, Be, Pb, Zn, Hf, Nb лейкогранитов Хэнтэйской интрузии, а также одновременном снижении в них содержаний Sr, Ba и K/Rb относительно лейкогранитов Бага-Хэнтэя (табл. 1). Полученные новые геохимические данные свидетельствуют об отсутствии связи происхождения редкометальных Li–F-гранитов за счёт процессов магматической дифференциации палингенной гранитоидной магмы, родоначальной для многофазного Бага-Хэнтэйского плутона. Это подтверждается и ещё более интенсивным накоплением в амазонит-альбитовых гранитах поздней фазы F, Li, Rb, Cs, Sn, Ta, Nb, Be,

элементов, образующих рудную минерализацию, связанную с Li–F-гранитами исследуемого ареала.

Более детальный анализ новых геохимических данных (табл. 1) показывает заметные различия в уровне содержаний редких элементов в гранитах Хэнтэйской интрузии в сравнении их не только с гранитоидами Бага-Хэнтэйского плутона, но и с редкометальными гранитами периферии раннемезозойского ареала. В его краевой зоне, где формировались довольно крупные и глубоко дифференцированные массивы (Жанчивланский, Бага-Газрынский и др.), Li–F-граниты максимально обогащены литофильными элементами, которые накапливаются при магматической дифференциации в поздних фазах (рис. 2, табл. 1). Этот процесс мог играть значительную роль при формировании редкометальных и потенциально рудоносных в отношении Sn-, Ta-, Li-, W-гранитов. Концентрирование этих элементов в центральной части ареала (Хэнтэйская интрузия) проявлено в незначительной степени, но они в большей мере обогащены высокозарядными элементами Zr, Hf, Nb, Zn, Th, U (рис. 2, табл. 1), что указывает на возможный глубинный источник накопления этих элементов.

В связи с постепенным закрытием Монголо-Охотского океанического бассейна, развитием коллизионных процессов и проявлением внутриплитного воздействия Монгольского мантийного плюма на нижние горизонты континентальной коры интенсивно формировались гранитоиды раннемезозойского магматического ареала [1, 2]. В результате происходило образование крупных гранитоидных плутонов известково-щелочного магматизма (Бага-Хэнтэй) и массивов редкометальных гранитов в периферической зоне, а также небольших их интрузий в центральной части ареала. Полученные сравнительные геохимические данные свидетельствуют, что в процессе корового анатексиса с последующей дифференциацией и формированием крупных многофазных плутонов, завершающих эволюцию лейкогранитами поздних фаз, не образуются интрузии с геохимическими характеристиками редкометальных Li–F-гранитов. Предлагаемый механизм формирования редкометальных магм связывают с образованием CO₂–H₂O–F-содержащих флюидов в результате воздействия мантийного диапира на породы, претерпевшие гранулитовый метаморфизм в условиях низких давлений с разрушением остаточных гидроксилсодержащих (слюды) минералов [6, 7]. Доля участия вещества мантийного флюида в гранитных расплавах последовательно возрастает при низких степенях плавления корового протолита

Таблица 1. Состав раннемезозойских гранитоидов Бага-Хэнтэйского плутона и редкометальных интрузий в его обрамлении

Массив Фаза	Бага-Хэнтэйский [3, 4]			Хэнтэй		Юдугьин		Абдар		Жанчивлан [5]		
	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	3
SiO ₂	64,77	68,29	74,27	76,44	76,38	75,74	75,30	72,33	75,84	75,59	75,30	75,44
TiO ₂	0,78	0,40	0,22	0,05	0,04	0,09	0,02	0,22	0,02	0,07	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	16,95	17,41	12,76	12,48	12,62	13,10	14,21	13,48	12,76	12,29	12,78	12,79
Fe ₂ O ₃	1,77	0,46	0,72	0,67	0,55	0,33	0,21	1,18	0,70	0,25	0,08	0,13
FeO	2,05	1,98	1,25	0,77	0,88	1,05	0,64	1,48	0,93	1,49	1,11	1,02
MnO	0,12	0,09	0,08	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06
MgO	1,39	0,84	0,27	0,05	0,05	0,06	0,04	0,64	0,13	0,15	0,09	0,02
CaO	3,02	1,63	0,91	0,13	0,12	0,46	0,05	1,28	0,32	0,64	0,37	0,27
Na ₂ O	4,94	4,33	3,56	4,55	4,64	3,74	5,20	4,21	4,46	3,61	4,60	4,48
K ₂ O	3,59	3,88	4,83	4,13	4,03	4,73	3,86	4,97	4,14	5,03	4,46	4,51
P ₂ O ₅	0,18	0,14	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,07	0,05	0,12	0,08	0,02
п.п.п.	0,50	0,41	0,42	0,46	0,46	0,65	0,45	0,46	0,43	0,87	0,62	0,61
Сумма	100,06	99,86	99,31	99,81	99,83	100,00	100,02	100,03	99,63	100,15	99,53	99,36
F	730	640	600	1235	2410	2880	3550	2800	3100	3600	2900	5400
Li	26	34	22	164	215	168	516	338	396	195	289	428
Rb	81	88	119	562	755	618	1352	730	753	511	795	881
Sn	3,1	4,1	1,9	18,7	32,4	21,5	53,2	12,3	15,3	12	50	102
Ta	0,4	0,8	0,7	4,3	8,5	7,5	15,7	2,0	17,1	4,0	11,1	15,2
Be	1,8	3,4	1,2	4,5	7,9	6,2	6,8	2,5	8,6	9,9	7,0	6,4
Sr	236	200	200	19,0	11,2	29,8	10,6	17,9	13,6	84	16	14
Ba	800	686	840	19,4	15,8	138,5	16,2	3,0	2,5	21	9	8
Y	26	34	13,4	38,2	58,2	29,0	40,2	21,8	67,4	30	14	113
Pb	11	12	10	65	103	64	144	22	104	21	38	39
Zn	39	33	15	303	268	303	210	63	133	37	64	63
Zr	284	175	160	158	447	191	145	230	140	260	104	92
Hf	3,1	3,7	2,7	11,7	29,2	12,5	18,2	8,3	22,4	9,3	9,6	6,4
Nb	4,4	9,3	4,5	49,6	91,8	44,1	87,2	15	78	23	46	46
La	42	41	37	3,7	7,3	12,1	13,3	10,3	10,3	45,3	13,8	13,7
Ce	72	67	66	21,9	30,2	37,1	43,6	27,7	25,5	86,3	38,2	37,8
Yb	3,0	4,0	1,8	7,0	9,6	7,1	10,4	13,8	13,7	11,1	15,0	17,6
Th	—	21,4	9,7	56,4	88,8	33,4	33,3	38,4	36,4	50	21,5	15,5
K/Rb	386	375	412	61	44	64	24	57	46	82	47	42
n	4	5	7	8	10	5	12	4	5	7	5	5

Примечание. Составы пород плутонов: Бага-Хэнтэйский (1 — порфировидные гранодиориты 1-й фазы, 2 — гнейсовидные граниты 2-й фазы, 3 — лейкограниты с биотитом 3-й фазы), Хэнтэй (1 — лейкограниты с биотитом ранней фазы, 2 — амазонит-альбитовые граниты поздней фазы), Юдугьин (1 — биотитовые граниты ранней фазы, 2 — амазонит-альбитовые граниты поздней фазы), Абдар (1 — лейкограниты с биотитом ранней фазии, 2 — амазонит-альбитовые граниты поздней фазии), Жанчивлан (1 — лейкограниты с биотитом 1-й фазы, 2 — микроклин-альбитовые граниты 2-й фазы, 3 — амазонит-альбитовые граниты 3-й фазы). Породообразующие оксиды (мас.%) определены классическим химическим методом (аналитик Г.А. Погудина), редкие щелочные элементы (ppm) — методом фотометрии пламени (аналитики Л.В. Алтухова, И.М. Хмелевская), F (ppm) — методом МАЕС (аналитик И.Е. Васильева), другие редкие элементы (ppm) — методом ICP-MS (аналитики Л.А. Чувашова, О.В. Зарубина) с контролем по международным стандартным образцам на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, USA) в Центре коллективного пользования “Байкальский центр нанотехнологий” Технопарк Иркутского государственного технического университета (БЦНТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск).

и может приводить к формированию обогащённых высокозарядными элементами гранитных магм, что установлено для редкометальных гранитов в центре Бага-Хэнтэйского плутона, с формированием которого развитие интрузий Li–F-гранитов не связано.

Редкометальные граниты в периферической зоне раннемезозойского ареала по сравнению с их аналогами в центральной части (Бага-Хэнтэй) в большей степени обогащены элементами (Li, Rb, Sn, Ta, F), которые интенсивно накапливаются в процессе

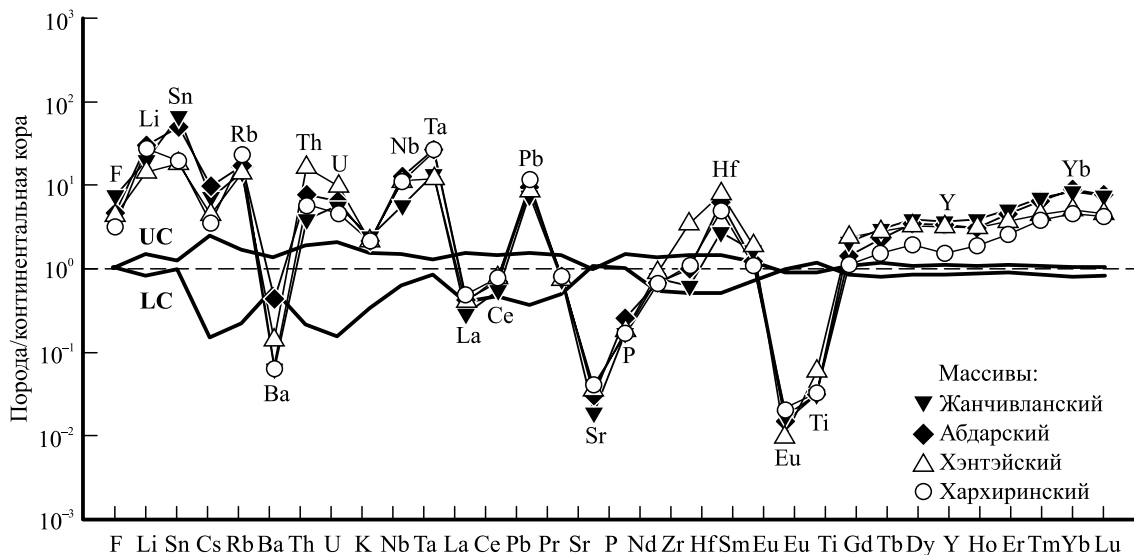


Рис. 2. Распределение элементов в редкометальных Li–F-гранитах раннемезозойского ареала магматизма Монголии. Содержания элементов нормированы на средний состав континентальной коры [8]. Показаны средние составы нижней (LC) и верхней (UC) континентальной коры по [8].

флюидно-магматической дифференциации и нередко содержат концентрированную редкометальную минерализацию. Это подтверждает большую перспективность рифтового обрамления батолитов в отношении генетической связи редкометального оруденения и магматизма. Геохимическая специфика гранитов Хэнтэйской интрузии в центральной части раннемезозойского ареала может указывать на их более глубокий источник, связанный с мантийным плюмом.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспедиционных работ Б. Болдбаатару и М.В. Антипину.

Источники финансирования. Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15–17–10010) и Российского фонда фундаментальных исследований (№ 15–05–02772_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 2. С. 153–184.
2. Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Кузьмин М.И. Зональные магматические ареалы и анорогенное батолитообразование в Центрально-Азиатском складчатом поясе: на примере позднепалеозойской Хангайской магматической области // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 457–475.
3. Ярмолюк В.В., Кузьмин М.И. Позднепалеозойский и раннемезозойский редкометальный магматизм Центральной Азии: этапы, области и обстановки формирования // Геология руд. месторождений. 2012. Т. 54. № 5. С. 375–399.
4. Коваль П.В., Антипин В.С., Цыпуков Ю.П., Смирнов В.Н. Геологическое строение и вещественный состав Бага-Хэнтэйского батолита (МНР) // Геология и геофизика. 1978. № 5. С. 68–78.
5. Антипин В.С., Перепелов А.Б., Горегляд А.В. Редкометальные амазонит-альбитовые граниты хр. Бага-Хэнтэй (МНР) // Геология и геофизика. 1989. № 4. С. 64–69.
6. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В., Будников С.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Антипин В.С. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометальных Li–F-гранитоидов // Петрология. 1999. Т. 7. № 4. С. 401–429.
7. Cuney M., Barbey P. Uranium, Rare Metals, and Granulite-Facies Metamorphism // Geosci. Frontiers. 2014. V. 5. P. 729–745.
8. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust. In: Treatise on Geochemistry. V. 3. Oxford: The Crust. Elsevier/Pergamon. P. 1–64.

**RARE-METAL GRANITES FROM VARIOUS ZONES
OF THE EARLY MESOZOIC MAGMATIC AREAL (MONGOLIA):
GEOCHEMICAL AND PETROGENETIC FEATURES**

V. S. Antipin¹, A. B. Perepelov¹, D. Odgerel²

¹ Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

² Institute of Paleontology and Geology Academy of Sciences of Mongolia, Ulan-Bator, Mongolia

Presented by Academician of the RAS M.I. Kuz'min July 30, 2017

Received December 21, 2016

This study is aimed at comparative analysis of the chemical evolution, age, and petrogenetic features of the Li–F granites from various zones of the Early Mesozoic magmatic areal. The newly obtained geochemical data preclude the formation of rare-metal Li–F granites by processes of magmatic differentiation of a palingenic granitic magma, parental to the Baga–Khentei Pluton. The rare-metal granites of the peripheral zone of the Early Mesozoic magmatic areal, compared to their counterparts from the central part (the Baga–Khentei Pluton), are more enriched in some elements that accumulated intensively during fluid–magmatic differentiation (Li, Rb, Sn, Ta, and F), often forming a concentrated mineralization. This corroborates the potential of rifted fringes of batholiths in the context of the connection of rare-metal mineralization and magmatism. The geochemical specifics of the Khentei intrusion granite from the central part of the Early Mesozoic magmatic areal may imply a deeper source related to the mantle plume.

Keywords: Rare-metal granites, Li–F granites, Early Mesozoic areal, magmatism, Baga-Khentei Pluton, Mongolia.