



УДК 550.42:551.763:552.3

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.3>

Геохимия и петрогенезис позднемезозойских вулканитов Торейской и Харанорской впадин (Восточное Забайкалье)

Ю. С. Андреева

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия*

С. А. Сасим

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

С. И. Дриль

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В составе Ононского террейна Агинской мегазоны выделяются Харанорская и Торейская рифтогенные впадины, в которых локализованы позднеюрско-раннемеловые вулканические породы. В разрезе Харанорской впадины выделяются две толщи вулканитов – нижняя и верхняя, сходные по многим петрохимическим характеристикам и отличные по содержанию TiO_2 и геохимическим особенностям; верхняя сопоставляется с вулканитами Торейской впадины. Исследования петрохимических и геохимических характеристик рассматриваемых вулканитов показали, что нижняя вулканическая толща Харанорской впадины относится к шошонит-латитовой серии и ведущим петрогенетическим процессом в их формировании является процесс фракционной кристаллизации. Данные вулканиты по вещественным характеристикам сопоставляются с средне-позднеюрскими вулканитами шошонит-латитовой серии нижней пачки кайласской свиты Александрово-Заводской впадины. Вулканиты Торейской впадины и верхней толщи Харанорской впадины относятся к трахибазальтовой серии и имеют близкие петрогеохимические характеристики, которые уверенно сопоставляются с вулканитами верхней пачки кайласской свиты Александрово-Заводской впадины, отличаясь от них уровнями накопления отдельных крупноионных литофильных элементов (Th и U). Проведенные исследования вулканитов трахибазальтовой серии Харанорской и Торейской впадин демонстрируют сочетание процессов фракционной кристаллизации и коровой контаминации в их генезисе. Сходимость петрогеохимических характеристик исследуемых пород с позднемезозойскими вулканитами Александрово-Заводской впадины Восточного Забайкалья отражает единый масштабный процесс проявления внутриплитного постагрегационного магматизма в данном регионе.

Ключевые слова: геохимия магматических пород, петрогенезис, поздний мезозой, трахибазальтовая серия, рифтогенные впадины, Восточное Забайкалье.

Для цитирования: Андреева Ю. С., Сасим С. А., Дриль С. И. Геохимия и петрогенезис позднемезозойских вулканитов Торейской и Харанорской впадин (Восточное Забайкалье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 3–20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.3>

Введение

Мезозойские постаккреционные магматические комплексы центральной части Монголо-Охотского орогенного пояса представляют собой важные объекты для определения роли различных мантийных и коровых источников вещества, вовлеченных во внутриплитный магматический процесс, завершивший его развитие. Выяснение вещественных характеристик подобных образований и выявление процессов эволюции магматических расплавов, формирующих данные магматические породы, являются важным шагом к пониманию особенностей проявления и характера источников внутриплитного магматизма. С другой стороны, исследование генетических аспектов формирования пород шошонит-латитовой и трахибазальтовой серий Восточного Забайкалья представляет собой важную задачу, направленную на углубленное осмысление процессов магмо- и рудообразования, свойственных данному типу магматических комплексов.

В составе Центрально-Азиатского складчатого пояса выделяется Агинская мегазона Монголо-Охотской складчато-надвиговой системы, ограниченная Онон-Туринским, Монголо-Охотским и Восточно-Агинским глубинными разломами. Она представлена коллажем различных по размерам террейнов, сложенных осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями окраинных морей, формировавшихся на разных этапах и при различных геодинамических режимах (рис. 1) [Государственная геологическая ... , 2010].

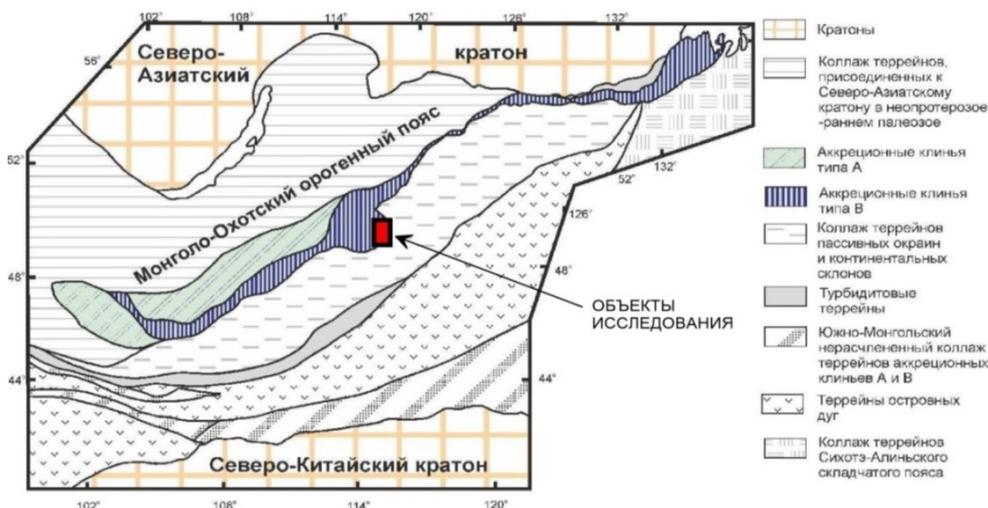


Рис. 1. Схема расположения Монголо-Охотского орогенного пояса в системе Центрально-Азиатского складчатого пояса [по: Парфенов, Попеко, Томуртоого, 1999].

На схеме показано положение объектов исследования – вулкаников Харанорской и Торейской рифтогенных впадин

Переход орогенного пояса к внутриконтинентальному этапу своего развития сопровождался на рубеже средней юры – раннего мела широким развитием магматизма различных геохимических типов [Геохимия и Sr-изотопные ... , 2001]. Для территории Юго-Восточного Забайкалья поздне-мезозойский этап тектонического развития подразделяется на две стадии – средне-позднеюрскую и позднеюрско-раннемеловую [Захаров, 1972; Геохимия, изотопная геохронология ... , 2003]. Для первой стадии характерно развитие субщелочных эффузивов повышенной калиевоности, относимых к геохимическому типу шошонит-латитовых серий [Геохимия и Sr-изотопные ... , 2001; Геохимия, изотопная геохронология ... , 2003]. На второй стадии формируются породы бимодальной трахибазальт-трахириолитовой ассоциации, включающей трахибазальты повышенной титанистости, дациты, трахидациты, риолиты и трахириолиты и субщелочные риолиты, свойственные обстановкам континентального рифтогенеза. Этот магматизм является типоморфным для многочисленных рифтогенных впадин Монголо-Охотского пояса [Захаров, 1972; Геохимия и Sr-изотопные ... , 2001; Petrology, Structural ... , 2015; Воронцов, Ярмолюк, Комарицына, 2016].

По этой причине авторами в качестве объектов исследования выбраны слабо изученные позднемезозойские вулканические породы, локализованные в Харанорской и Торейской рифтогенных впадинах.

Методы исследования

В маршрутных исследованиях впадины было отобрано 69 штучных проб из коренных выходов пород. Полированные шлифы были изучены с помощью поляризационного микроскопа Olympus BX53F в научно-учебной лаборатории экспериментальной геологии геологического факультета ИГУ.

Исследование состава пород на содержание основных петрогенных элементов, Sr, Zr, Nb, Ba и Y выполнялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в Институте геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН). Силикатный состав пород определялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре СРМ-25 (аналитик – А. Л. Финкельштейн), содержания Sr, Zr, Nb, Ba и Y были измерены на приборе S4 Pioneer (аналитик – Е. В. Чупарина). Измерение микроэлементного состава пород (Rb, Sr, Y, Zr, Ta, Nb, Cs, Ba, P3Э, Hf, Pb, Th, U) производилось методом ICP MS на приборе Element-2 (аналитики – В. И. Ложкин и Е. В. Смирнова) в ИГХ СО РАН.

Геологическое строение объектов исследования

Позднемезозойские вулканические породы локализованы в пределах Торейской и Харанорской впадин, входят в состав Ононского террейна, расположенного в юго-западной части Агинской мегазоны. Исследуемые породы согласно [Государственная геологическая ... , 2010] относятся к шадоронской серии и тургинской свите. Вулканиды шадоронской серии развиты в пределах Харанорской впадины, а вулканиды тургинской свиты – главным образом в Торейской.

В стратиграфическом разрезе исследуемые вулканиты в составе Харанорской впадины с угловым несогласием залегают на раннедевонских метаосадочных породах чинданской свиты и раннекаменноугольных вулканогенно-осадочных образованиях уртуйской свиты (рис. 2). В строении вулканических пород с учетом [Государственная геологическая ... , 2010] можно выделить две толщи, разделенные между собой осадочно-вулканогенными и терригенными породами. Нижняя толща представлена вулканитами основного – среднего состава, при подчиненном количестве кислых разностей. Верхняя толща представлена главным образом массивными вулканитами среднего и основного состава, чередуемыми прослоями вулканитов кислого состава.

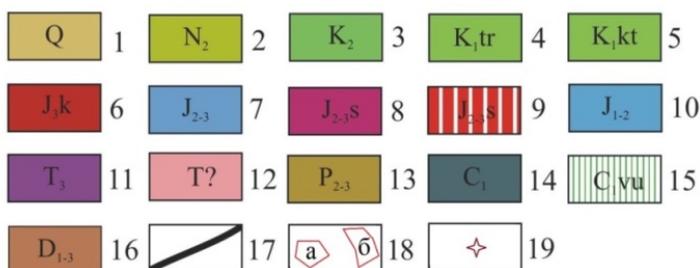
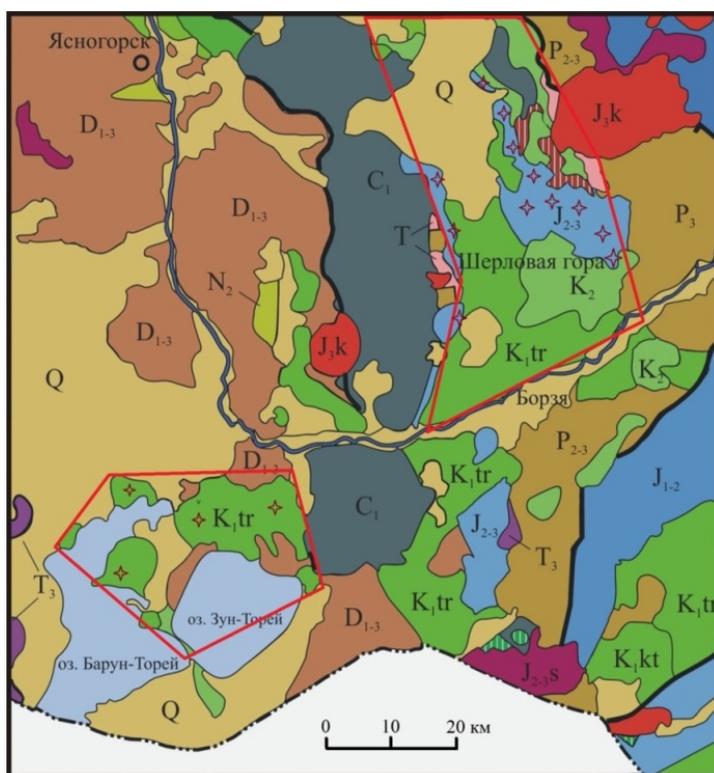


Рис. 2. Схема геологического строения района Харанорской и Торейской рифтогенных впадин [по: Государственная геологическая ... , 2010]

Условные обозначения рис. 2: 1 – аллювиальные отложения четвертичного периода, 2 – озерные отложения среднего плиоцена, 3 – позднемиоценовые галечники, 4 – раннемиоценовые умеренно-щелочные вулканические породы тургинской свиты, 5 – раннемиоценовые терригенные породы кутинской свиты, 6 – позднеюрские лейкограниты кукульбейского комплекса, 7 – средне-позднеюрские вулканические и вулканогенно-осадочные породы шадоронской серии, 8 – средне-позднеюрские гранодиориты шахтаминского комплекса, 9 – средне-позднеюрские субвулканические образования шадоронской серии, 10 – ранне- и среднеюрские конгломераты, 11 – терригенные породы позднетриасового периода тыргетуйской свиты, 12 – триасовые (?) габбро и долериты чингильтуйского комплекса, 13 – средне-позднепермские терригенные отложения, 14 – раннекаменноугольные терригенные и вулканогенные породы уртуйской свиты, 15 – раннекаменноугольные субвулканические образования основного и кислого состава верхнеуртуйского комплекса, 16 – девонские метаосадочные породы чинданской и усть-борзинской свит, 17 – разломы, 18 – схематические контуры Торейской (а) и Харанорской (б) впадин; 19 – схематическое расположение мест отбора проб

В Торейской впадине изучаемые позднемезозойские вулканиды с несогласием залегают на средне-верхнедевонских метаосадочных породах чинданской и усть-борзинской свит.

Для вулканидов Харанорской и Торейской впадин характерны афировые структуры. Редкопорфировые структуры развиты в меньшей степени. Вкрапленники представлены преимущественно клинопироксеном и плагиоклазом. Эти же минералы, а также рудные минералы слагают основную микролитовую массу пород. Типичные структуры пород приведены на рис. 3 и 4.

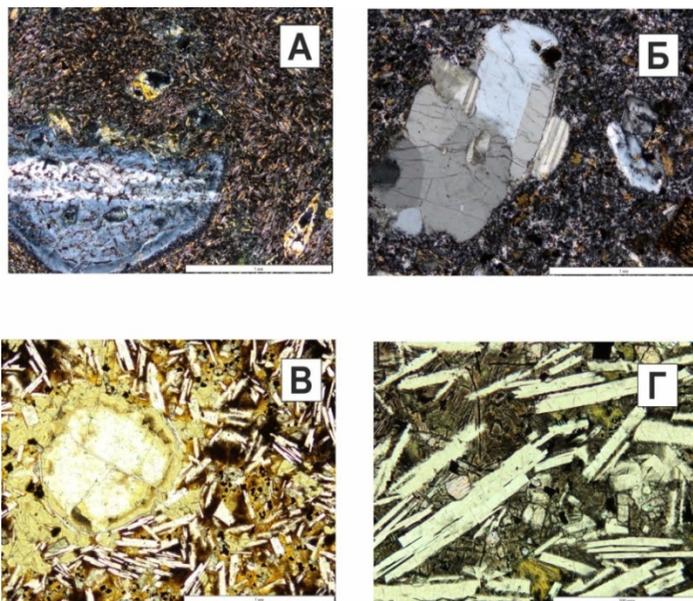


Рис. 3. Микрофотографии структур трахиандезитобазальтов Харанорской впадины:

А – резорбированный вкрапленник плагиоклаза в микролитовой основной массе, николи скрещены, образец 99-20-6; Б – гломеропорфировый сросток зерен плагиоклаза в микролитовой основной массе, николи скрещены, образец 99-20-6; В – вкрапленник клинопироксена, частично замещенный хлоритовым агрегатом, николи параллельны, образец 99-20-7; Г – строение микролитовой основной массы, сложенной микролитами плагиоклаза, клинопироксена, рудного минерала и хлорита, николи параллельны, образец 99-20-5

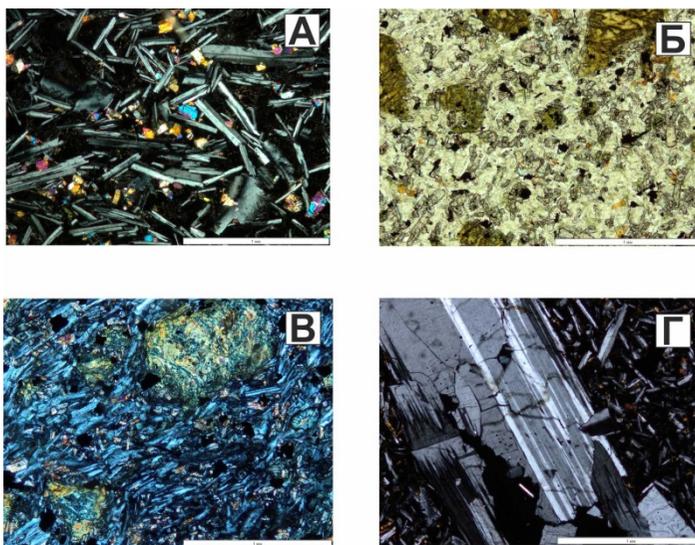


Рис. 4. Микрофотографии структур трахибазальтов и трахиандезитобазальтов Харанорской и Торейской впадин: А – микролитовая структура афирового трахибазальта, николи скрещены, образец 99-20-2; Б – порфиновый трахиандезитобазальт с микролитовой структурой основной массы, клинопироксен вкрапленников замещен хлоритом, николи параллельны, образец 99-21-5; В – порфиновый трахибазальт с микролитовой структурой основной массы, клинопироксен вкрапленников замещен хлоритом, николи скрещены, образец 99-27-2; Г – плагиопорфиновый трахиандезитобазальт с микролитовой структурой основной массы, николи скрещены, образец Тр-1/2

Возраст вулканитов Харанорской впадины, полученный калий-аргоновым и рубидий-стронциевым методами, варьирует от 127 до 146 млн лет [Антипин, 1992]. По сумме геологических данных для них принят [Антипин, 1992] раннемеловой возраст. В пределах Торейской впадины вулканиты тургинской свиты характеризуются рубежом поздней юры – раннего мела.

Классификация и петрохимические особенности вулканитов

В таблице приведены составы петрогенных и редких элементов представительных проб позднемезозойских вулканитов Харанорской и Торейской впадин. Содержание кремнезема в вулканитах Харанорской впадины варьирует от 46,5 до 63,6 мас. % при сумме оксидов натрия и калия от 4,0 до 6,7 мас. %, а вулканиты Торейской впадины имеют более узкий диапазон составов по содержанию SiO_2 (от 49,9 до 51,9 мас. %) и сумме щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ от 4,7 до 5,9 мас. %). На классификационной диаграмме TAS (рис. 5, А) фигуративные точки составов вулканитов Харанорской впадины располагаются выраженным сериальным трендом, локализованным на границе умеренно-щелочного и нормально-щелочного рядов, преимущественно сосредотачиваясь в первом. Они соответствуют трахибазальтам, трахиандезитобазальтам, трахиандезитам, андезитобазальтам, андезитам и дацитам. Вулканиты Торейской впадины (тургинская свита) локализуются в умеренно-щелочном ряду и соответствуют трахибазальтам и трахиандезитам. Ве-

личины K_2O/Na_2O в вулканитах Харанорской впадины преимущественно варьируют в пределах 0,59–1,00, а в вулканитах Торейской впадины – 0,47–0,65, соответствуя на диаграмме K_2O-Na_2O (рис. 5, Б) шошонит-латитовой серии. Отдельная проба вулканитов Харанорской впадины имеет значение K_2O/Na_2O , равное 0,30, и располагается в области известково-щелочной серии. Несмотря на то что согласно традиционным критериям все исследуемые вулканиты могут быть отнесены к шошонит-латитовой серии (учитывая их принадлежность к известково-щелочному ряду [Классификация и номенклатура ... , 1981], относительно высокое содержание K_2O [Pescerillo, Taylor, 1976], отношение K_2O/Na_2O , варьируемое в пределах 0,5–2,0), принципиальными оказываются уровни содержания в породах оксида титана. Именно концентрации TiO_2 , согласно [Morrison, 1980], позволяют выделять нам в исследуемых вулканитах шошонит-латитовую (низкие концентрации TiO_2 – для вулканитов основного состава менее 1,3 мас. %) и трахибазальтовую серии (содержание TiO_2 в вулканитах основного состава более 1,3 мас. %).

Наглядно продемонстрировать сериальное различие исследуемых пород позволяет диаграмма TiO_2-SiO_2 (рис. 5, В), где вулканиты Харанорской впадины характеризуются двумя выраженными трендами – дискретным высокотитанистым, соответствуя вулканитам рифтогенных областей, и низкотитанистым, располагаясь в области составов вулканитов островных дуг (стратиграфически является верхней вулканической толщей впадины) и активных континентальных окраин (стратиграфически являются нижней вулканической толщей впадины). Вулканиты Торейской впадины имеют высокотитанистый состав и полностью лежат в поле рифтогенной области, протягиваясь субвертикальным трендом с элементами отрицательной корреляции между оксидами титана и кремния.

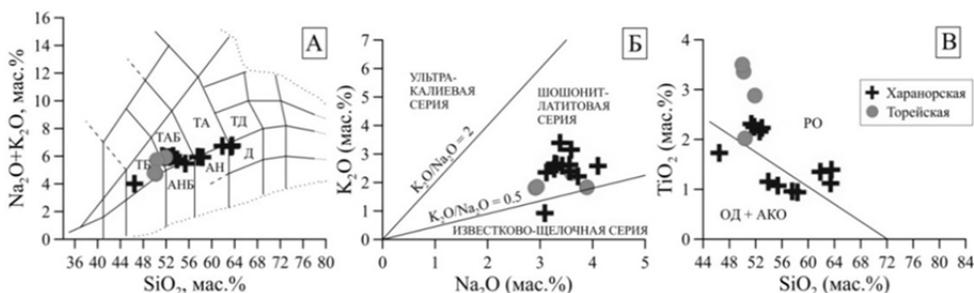


Рис. 5. Классификационные диаграммы TAS, K_2O-Na_2O и TiO_2-SiO_2 для вулканитов Харанорской и Торейской впадин. А – классификационная диаграмма TAS [по: Петрографический кодекс ... , 2009]. Пунктирными линиями показаны границы области распространения составов магматических пород; поля составов пород: АНБ – андезибазальты, АН – андезиты, Д – дациты, ТБ – трахибазальты, ТАБ – трахиандезибазальты, ТА – трахиандезиты, ТД – трахидациты. Б – диаграмма K_2O-Na_2O для выделения вулканитов известково-щелочной, шошонит-латитовой и ультракалиевой серий [по: Post-collision, Shoshonitic ... , 1996]. В – диаграмма TiO_2-SiO_2 для подразделения вулканитов на вулканиты островных дуг (ОД) и активных континентальных окраин (АКО) [по: Первов, 1988]

Таблица

Содержание петрогенных (мас. %) и редких (мкг/г) элементов в вулканитах Харанорской и Торейской впадин

Объект	Харанорская впадина												Торейская впадина			
	99-20-2	99-20-5	99-20-6	99-20-7	99-21	99-21-1	99-21-3	99-21-5	99-27-1	99-27-2	99-27-3	99-23-1	TR-1/2	TR-2/3	TR-2/8	TR-3
Тип породы	ТАБ	ТАБ	ТАБ	ТАБ	ТА	Д	АНБ	ТАБ	АН	ТБ	АН	Д	ТАБ	ТБ	ТБ	ТБ
SiO ₂	52,61	52,95	51,35	51,76	61,86	63,55	55,37	53,92	57,57	46,45	58,36	63,41	51,87	50,36	50,18	49,96
TiO ₂	2,16	2,23	2,31	2,25	1,35	1,39	1,07	1,15	0,96	1,73	0,94	1,12	2,88	2,02	3,36	3,50
Al ₂ O ₃	15,49	15,55	16,00	15,68	15,45	16,17	14,82	14,80	15,50	14,94	15,56	16,50	14,93	16,37	14,14	14,18
Fe ₂ O ₃	2,57	3,91	2,72	3,14	4,56	5,41	3,73	3,45	2,71	5,03	2,12	2,53	4,64	4,90	3,07	4,30
FeO	7,36	6,29	7,36	7,18	1,08	0,18	3,23	3,77	3,14	4,49	3,41	1,62	5,48	5,75	7,63	6,82
MnO	0,17	0,16	0,18	0,18	0,09	0,20	0,09	0,12	0,09	0,14	0,08	0,06	0,12	0,15	0,15	0,14
MgO	4,00	3,59	3,61	3,65	2,75	0,45	6,61	8,20	5,79	9,36	4,64	1,68	3,48	4,32	3,94	3,49
CaO	6,28	6,23	6,92	6,58	3,77	3,33	6,63	7,08	5,88	8,53	5,54	4,21	6,68	7,41	7,38	7,39
Na ₂ O	3,28	3,56	3,42	3,31	3,59	3,38	3,12	3,27	3,56	3,09	3,72	4,10	3,60	3,89	2,91	2,94
K ₂ O	2,66	2,62	2,59	2,63	3,15	3,39	2,35	2,48	2,39	0,92	2,21	2,58	2,33	1,83	1,81	1,85
P ₂ O ₅	0,99	1,03	0,98	1,01	0,45	0,46	0,30	0,34	0,29	0,56	0,30	0,42	1,41	0,80	1,48	1,79
ппп	1,34	0,89	1,44	1,48	1,50	1,98	2,00	0,77	1,55	3,95	2,39	1,22	1,70	1,23	2,72	2,47
Сумма	98,91	99,01	98,88	98,85	99,60	99,89	99,32	99,35	99,43	99,19	99,27	99,45	99,12	99,03	98,77	98,83
Na ₂ O+K ₂ O	5,94	6,18	6,01	5,94	6,74	6,77	5,47	5,75	5,95	4,01	5,93	6,68	5,93	5,72	4,72	4,79
K ₂ O/Na ₂ O	0,81	0,74	0,76	0,79	0,88	1,00	0,75	0,76	0,67	0,30	0,59	0,63	0,65	0,47	0,62	0,63
Rb	57,74	50,57	58,69	63,25	103,89	113,42	47,14	73,20	101,89	12,05	131,81	83,45	58,41	33,68	52,89	49,38
Sr	747,36	799,11	755,86	752,58	841,17	822,06	831,32	817,94	1058,78	1099,04	1033,21	961,66	1041,23	744,59	1096,92	1048,33
Zr	355,92	361,94	300,11	314,47	203,65	214,90	182,39	175,03	181,02	243,42	184,82	179,05	498,54	267,48	376,61	435,17
Hf	7,35	7,20	6,35	6,78	4,77	4,68	4,07	4,11	4,31	4,98	4,55	4,06	9,73	5,61	7,68	8,78
Ta	1,63	1,83	2,19	1,67	0,59	0,62	0,57	0,62	0,51	1,13	0,55	0,24	1,29	1,30	0,59	0,71
Nb	33,22	36,76	39,37	31,10	9,57	10,11	8,84	9,23	8,10	16,45	8,48	6,52	27,16	25,37	14,49	15,80
Ba	878,85	926,62	828,93	819,40	808,67	836,82	713,55	671,11	954,59	663,43	861,97	756,39	1082,78	707,47	943,95	1019,17
Pb	9,66	9,46	7,07	7,77	12,95	13,60	11,88	7,94	14,75	7,08	15,63	18,30	14,72	5,92	11,87	13,19
U	0,91	0,92	0,93	0,87	1,86	1,61	1,56	1,58	2,04	1,27	2,08	2,44	1,28	0,45	0,85	0,90
Th	3,40	3,47	3,49	3,21	8,72	9,64	7,24	6,52	7,63	5,19	7,80	8,49	4,48	2,00	2,73	2,83

Окончание табл.

Объект	Харанорская впадина												Торейская впадина			
	99-20-2	99-20-5	99-20-6	99-20-7	99-21	99-21-1	99-21-3	99-21-5	99-27-1	99-27-2	99-27-3	99-23-1	TR-1/2	TR-2/3	TR-2/8	TR-3
Тип породы	ТАБ	ТАБ	ТАБ	ТАБ	ТА	Д	АНБ	ТАБ	АН	ТБ	АН	Д	ТАБ	ТБ	ТБ	ТБ
La	48,00	50,37	43,62	46,88	39,03	41,04	31,80	28,77	31,26	40,66	31,62	32,07	84,71	37,82	63,00	71,44
Ce	107,47	108,08	92,87	98,16	69,53	74,78	61,08	59,64	61,59	83,61	60,44	59,24	181,42	82,08	137,45	160,13
Pr	13,42	13,99	11,49	12,47	8,43	9,07	7,18	6,86	7,10	9,88	7,27	7,06	22,88	10,69	18,42	21,71
Nd	57,57	59,17	49,69	53,73	32,99	34,33	28,34	27,66	27,69	39,90	28,55	27,95	90,99	45,80	79,40	92,29
Sm	11,92	12,17	10,39	11,21	5,80	6,04	5,36	5,29	5,16	7,63	5,28	5,03	15,85	9,46	14,87	17,37
Eu	3,11	3,16	2,91	2,97	1,70	1,76	1,50	1,62	1,52	2,28	1,52	1,47	4,06	2,73	4,03	4,58
Gd	10,10	10,18	9,23	9,57	4,16	4,16	4,05	4,36	4,00	6,27	3,96	3,46	11,01	8,87	10,67	12,48
Tb	1,57	1,62	1,37	1,45	0,56	0,59	0,61	0,65	0,59	0,93	0,60	0,52	1,51	1,28	1,51	1,73
Dy	8,96	9,57	7,83	8,89	3,06	3,04	3,29	3,46	3,00	4,75	3,13	2,64	7,31	6,99	7,04	8,12
Ho	1,74	1,78	1,52	1,64	0,52	0,51	0,61	0,62	0,57	0,92	0,58	0,47	1,20	1,39	1,22	1,38
Er	4,91	5,08	3,99	4,38	1,32	1,28	1,65	1,71	1,51	2,37	1,56	1,28	2,90	3,82	2,95	3,35
Tm	0,69	0,69	0,56	0,62	0,18	0,17	0,23	0,23	0,21	0,32	0,22	0,16	0,36	0,53	0,36	0,42
Yb	4,25	4,44	3,61	3,79	1,08	1,09	1,45	1,44	1,36	1,90	1,30	1,01	2,26	3,36	2,21	2,52
Lu	0,63	0,66	0,54	0,60	0,17	0,16	0,21	0,20	0,20	0,29	0,20	0,16	0,32	0,48	0,33	0,35
Y	50,29	52,04	42,93	45,76	15,48	14,20	17,64	17,11	15,71	25,32	16,03	13,17	32,72	39,01	33,04	37,45
Σ_{REE}	357,95	368,54	313,33	336,16	203,32	213,25	181,60	176,31	178,11	250,59	179,96	172,43	505,00	284,54	420,83	486,29
La/Yb (N)*	8,10	8,14	8,66	8,89	25,83	26,91	15,70	14,38	16,55	15,33	17,43	22,77	26,84	8,09	20,42	20,37
Eu/Eu*	0,87	0,87	0,91	0,88	1,06	1,07	0,98	1,03	1,02	1,01	1,02	1,08	0,94	0,91	0,98	0,95
Th/Yb	4,64	4,53	5,60	4,92	46,65	51,09	28,88	26,36	32,62	15,82	34,77	48,71	11,48	3,45	7,16	6,51
Nb/Yb	5,40	5,72	7,53	5,68	6,10	6,39	4,21	4,45	4,13	5,97	4,51	4,46	8,29	5,23	4,52	4,34

Примечание. Принятые сокращения типов пород: ТАБ – трахиандезитобазальт; ТА – трахиандезит; Д – дацит; АНБ – андезитобазальт; АН – андезит; ТБ – трахибазальт. Величина европиевой аномалии рассчитана по формуле $Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{\Sigma m_N \times Gd_N}$ [по: Тейлор, 1988].

На рисунке 6 показаны вариации петрогенных компонентов исследуемых вулканических пород. Вулканиды шошонит-латитовой серии Харанорской впадины (нижняя толща) характеризуются эволюционными трендами составов с четко выраженными отрицательными корреляционными связями между MgO , $Fe_2O_{3\text{общ}}$, CaO , MnO , P_2O_5 – с одной стороны и SiO_2 – с другой, при положительной корреляции между оксидами щелочей и кремнеземом. Подобные тренды отчетливо характеризуют процесс кристаллизационной дифференциации при эволюции расплавов, формирующих вулканиды нижней вулканогенной толщи Харанорской впадины.

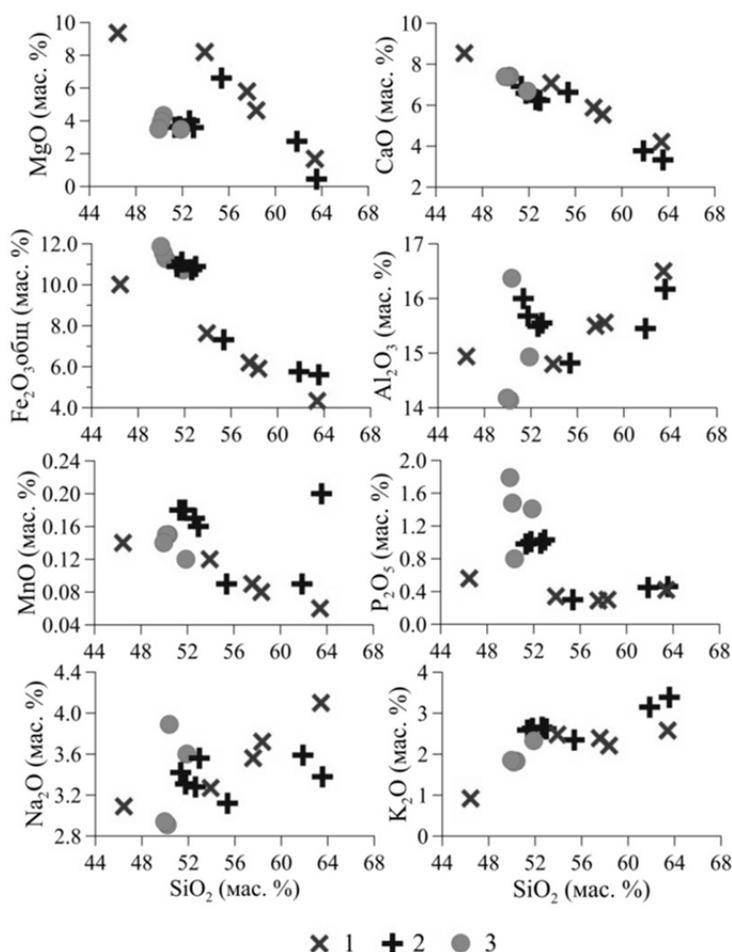


Рис. 6. Вариационные диаграммы петрогенных элементов вулканидов Харанорской и Торейской впадин. Условные обозначения:

- 1 – вулканиды шошонит-латитовой серии нижней вулканогенной толщи Харанорской впадины, 2 – вулканиды трахибазальтовой серии верхней толщи Харанорской впадины, 3 – вулканиды трахибазальтовой серии Торейской впадины

Более сложный характер распределения фигуративных точек составов в вулканических породах трахибазальтовой серии Харанорской впадины (верхняя толща) отражает смешанный характер петрогенетических процессов, в который, очевидно, процесс кристаллизационной дифференциации играет доминирующую роль (также наблюдаются тренды отрицательных корреляций между MgO , $Fe_2O_{3\text{общ}}$, CaO , MnO , P_2O_5 и кремнеземом), на который накладывается, вероятно, процесс коровой контаминации. Последняя подтверждается в резорбции вкрапленников породообразующих минералов (главным образом плагиоклазов, см. рис. 3, В) и наличии ксеноморфных включений зерен кварца, а также отсутствию выраженных корреляционных связей между оксидами натрия и калия – с одной стороны и кремнеземом – с другой.

Обсуждение результатов и выводы

Вулканиды нижней толщи Харанорской впадины имеют высокие суммарные содержания редкоземельных элементов (РЗЭ), варьирующие в пределах 176–251 мкг/г при величине $La/Yb_{(N)} = 14,4–17,4$, отражая умеренную степень фракционирования легких РЗЭ над тяжелыми (рис. 7) и отсутствие европиевых аномалий в составах пород. Вулканиды верхней толщи характеризуются подобным распределением РЗЭ, выраженным в более высоких суммарных содержаниях лантаноидов от 172–368 мкг/г при $La/Yb_{(N)} = 8,1–26,9$ и наличии слабовыраженных отрицательных европиевых аномалий, соответствующих значениям $Eu/Eu^* = 0,87–0,91$.

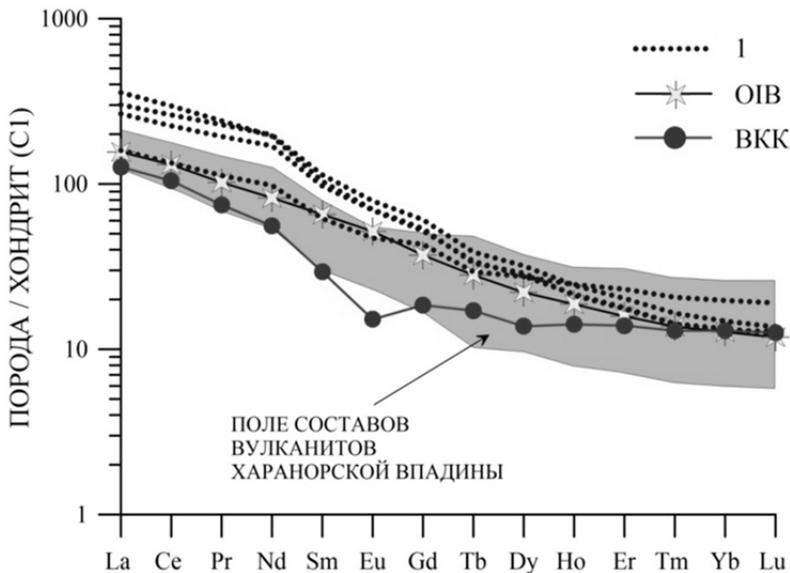


Рис. 7. Диаграмма распределения редкоземельных элементов в вулканидах Харанорской и Торейской впадин. Условные обозначения: 1 – вулканиды Торейской впадины. Состав OIB приведен по [Sun, McDonough, 1989]; состав ВКК приведен по [Rudnick, Gao, 2003], состав углистого хондрита – по [Тейлор, МакЛеннан, 1989]

Вулканиды Торейской впадины имеют в целом аналогичные с вулканидами верхней толщи Харанорской впадины спектры распределения лантаноидов со значением $La/Yb_{(N)} = 8,1-26,9$, однако уровни накопления легкой части спектра РЗЭ отличаются более высокими значениями при более низких значениях содержаний тяжелых РЗЭ. Суммарные содержания РЗЭ в них варьируют в пределах 285–505 мгк/г, а величины Eu/Eu^* составляют в среднем 0,95.

На рисунке 8, А показан спектр распределения редких элементов вулканитов нижней толщи Харанорской впадины, которые имеют выраженные минимумы высокозарядных элементов (HFSE), таких как Nb, Ta, P, и максимумы по свинцу, а также в целом характеризуются обогащением крупноионных литофильных элементов. Отдельные части спектра в первом приближении имеют сходство с верхней континентальной корой и отчасти с вулканидами океанических островов. С другой стороны, распределение редких элементов наиболее близко к магматитам, связанным с субдукционными обстановками (минимумы Nb, Ta, P и максимумы Pb). Отметим, что позднемезозойский возраст исследуемых вулканитов с учетом принятых геодинамических реконструкций для данной территории исключает возможность субдукции в данный этап. Подобное противоречие может быть снято, если предполагать, что магматические источники, сформировавшие данные вулканиды, испытали метасоматическое обогащение водным флюидом, предшествующими процессами субдукции, широко проявившимися в прошлом в пределах рассматриваемой территории. Сравнивая данные вулканитов с близковозрастными вулканитами шошонит-латитовой серии Александрово-Заводской впадины, локализованной восточнее в Аргунском террейне, можно заключить, что спектры распределения вулканитов нижней толщи Харанорской впадины и шошонит-латитовой серии Александрово-Заводской впадины полностью совпадают.

Вулканические породы Торейской впадины и верхней толщи Харанорской впадины сходны с распределением в базальтах океанических островов (ОИВ), отличаясь от последних в поведении некоторых крупноионных элементов (бариевым максимумом), отсутствием свинцового минимума и наличием небольших ниобий-танталовых минимумов (рис. 8, Б). Также можно заметить весьма хорошую сходимость в распределении редких элементов между вулканитами Торейской впадины и верхней толщи Харанорской впадины с магматитами Александрово-Заводской впадины.

Сравнение геохимических характеристик приводит к выводу о том, что исследуемые вулканиды Торейской и Харанорской впадин хорошо коррелируются с позднемезозойскими вулканитами Александрово-Заводской впадины, отражая единый масштабный процесс проявления внутриплитного постаккреционного магматизма в данном регионе.

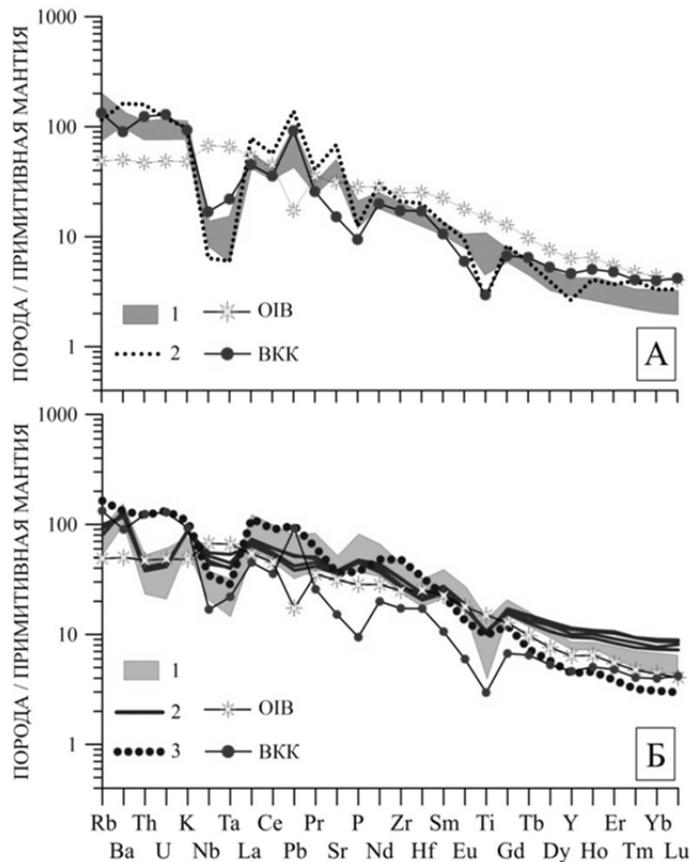


Рис. 8. Диаграмма распределения редких элементов в вулканитах нижней толщи Харанорской впадины (А), вулканитах верхней толщи Харанорской и Торейской впадин (Б).

А: 1 – вулканиты нижней толщи Харанорской впадины, 2 – вулканиты Александрово-Заводской впадины. Б: 1 – вулканиты верхней толщи Харанорской впадины, 2 – вулканиты Торейской впадины, 3 – представительный состав трахибазальта Александрово-Заводской впадины. Состав OIB приведен по [Sun, McDonough, 1989]; состав ВКК приведен по [Rudnick, Gao, 2003]

На вариационной диаграмме $\text{Th}/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ вулканиты нижней толщи располагаются субвертикальным трендом от мантийной последовательности с широкой вариацией Th/Yb -отношения по направлению параллельно векторам, отвечающим за субдукционное обогащение или процесс коровой контаминации (рис. 9).

Вулканиты Торейской впадины характеризуются локальным расположением фигуративных точек. Вулканиты верхней толщи локализованы близко к вулканитам Торейской впадины, но характеризуются диагональным трендом параллельно векторам внутриплитного обогащения и фракционной кристаллизации.

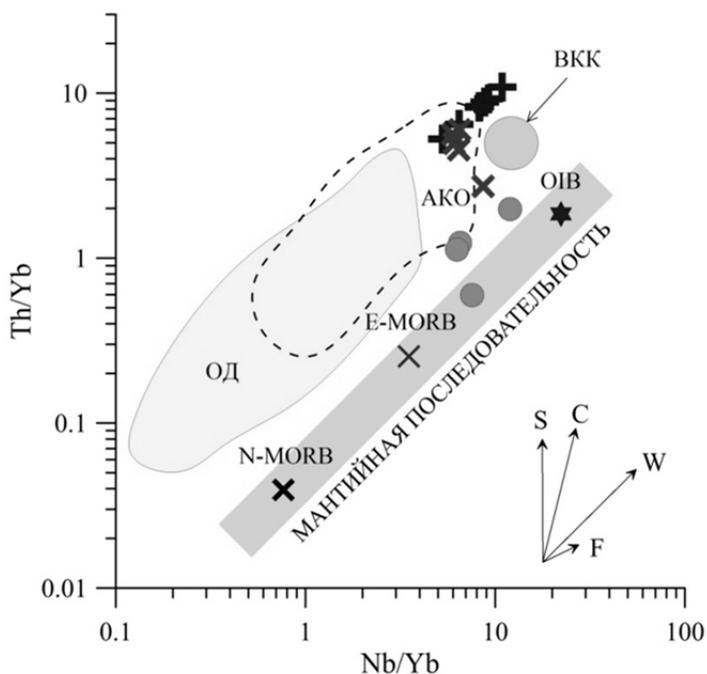


Рис. 9. Диаграмма Th/Yb-Nb/Yb для позднемезозойских вулканитов Харанорской и Торейской впадин.

Условные обозначения см. на рис. 6. Векторами отмечено возможное влияние процессов: *S* – обогащения субдукционным компонентом, *C* – коровой контаминации, *W* – обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, *F* – фракционной кристаллизации. Точки средних составов нормального базальта срединноокеанических хребтов (N-MORB), обогащенных базальтов срединноокеанических хребтов (E-MORB), базальтов океанических островов (ОИВ) приведены по [Sun, McDonough, 1989]; валовой состав верхней континентальной коры (ВКК) – по [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]; поля составов островных дуг (ОД) и активных континентальных окраин (АКО) приведены по [Wilson, 1989], адаптированному – по [Geochemical and ... , 2009]

Таким образом, в составе позднеюрско-раннемеловых вулканических пород Харанорской впадины выделяются две толщи, нижняя по классификационным критериям относится к шшонит-латитовой серии, а верхняя к трахибазальтовой. Позднеюрские – раннемеловые вулканиты Торейской впадины хорошо сопоставляются по вещественным характеристикам с вулканитами верхней толщи Харанорской впадины, но менее дифференцированы по составу петрогенных элементов. Главную роль в эволюции магматических расплавов, сформировавших вулканиты как Торейской, так и Харанорской впадины, играет процесс фракционной кристаллизации. В вулканитах верхней толщи Харанорской впадины по вещественным характеристикам, помимо доминирующего процесса фракционной кристаллизации, устанавливается определенная роль процесса коровой контаминации. В региональном плане отмечается уверенное сопоставление исследуемых пород с хорошо изученными одновозрастными вулканитами шшонит-латитовой и

трахибазальтовой серии Александрово-Заводской впадины, что отражает единый масштабный процесс проявления внутриплитного постаккреционного магматизма в данном регионе. Дальнейшее изучение рассматриваемых толщ вулканитов Харанорской и Торейской впадин, направленное на выяснение геохронологических рубежей формирования магматических серий и анализ изотопного состава стронция, неодима и свинца, позволит надежно судить об источниках вещества, реконструкции магматических событий в регионе и обосновать их геодинамическую позицию.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00116.

Список литературы

Антипин В. С. Геохимическая эволюция известково-щелочного и субщелочного магматизма. Новосибирск : Наука, 1992. 223 с.

Воронцов А. А., Ярмолюк В. В., Комарицына Т. Ю. Позднемезозойский-раннекайнозойский рифтогенный магматизм Удинского сектора (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2016. Т. 61, № 5. С. 920–946.

Геохимия, изотопная геохронология и генетические черты Верхнеудинского гранитного батолита (Восточное Забайкалье) / В. Д. Козлов [и др.] // Геохимия. 2003. № 4. С. 408–424.

Геохимия и Sr-изотопные характеристики магматических пород Западно-Усуглинской бимодальной вулcano-плутонической ассоциации (J₃-K₁, Забайкалье) / М. Э. Казимировский [и др.] // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 6. С. 951–967.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-5. Борзя, 2010.

Захаров М. Н. Петрология и геохимия Акатуевского эффузивно-интрузивного комплекса в Приаргунской структурной зоне Восточного Забайкалья : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Иркутск, 1972. 22 с.

Классификация и номенклатура магматических горных пород : справ. пособие / О. А. Богатиков [и др.]. М. : Недра, 1981. 160 с.

Парфенов Л. М., Попеко Л. И., Томуртоого О. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18, № 5. С. 24–43.

Первов В. А. Петрология позднемезозойских субщелочных вулканических пород Юго-Восточного Забайкалья и Монголии : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1988. 24 с.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб. : Изд.-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М. : Мир, 1988. 380 с.

Petrology, structural setting, timing, and geochemistry of Cretaceous volcanic rocks in eastern Mongolia: Constraints on their tectonic origin / B. Dash, A. Yin, N. Jiang, B. Tseveendorj, B. Han // Gondwana Research. 2015. Vol. 27. P. 281–299.

Morrison G. W. Characteristics and tectonic setting of shoshonite rock association // Lithos. 1980. Vol. 13, N 1. P. 97–108.

Peccerillo A., Taylor S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. Vol. 58, N 1. P. 63–81.

Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treasure on Geochemistry / ed. D. Holland, K.K. Turekian. Amsterdam : Elsevier, 2003. Vol. 3 : The Crust. P. 1–64.

Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–346.

Post-collision, Shoshonitic Volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for Convective Thinning of the Lithosphere and the Source of Ocean Island Basalts / S. Turner, N. Arnaud, J. Liu, N. Rogers, C. Hawkesworth, N. Harris, S. Kelley, P. Van Calsteren, W. Deng // *Journal of Petrology*, 1996. Vol. 37, N. 1. P. 45–71.

Wilson M. Igneous petrogenesis. London : Unwin Hyman, 1989. 446 p.

Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic composition of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intra-continental subduction beneath Southern Tibet / Z. Zhao [et al.] // *sLithos*. 2009. Vol. 113. P. 190–212.

Geochemistry and Petrogenesis of Late Mesozoic Volcanites of the Torey and Kharanor Depressions (Eastern Transbaikalia)

Yu. S. Andreeva

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

S. A. Sasim

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

S. I. Dril

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Geological structure of the Late Jurassic – Early Cretaceous volcanic rocks of the Kharanor and Torey rift depressions of Eastern Transbaikalia are considered. Rock classification and features of differentiation of their melts on the basis of chemical data are shown. We concluded the main petrogenetic process in the formation of volcanic depressions is fractional crystallization. As part of the Onon terrane of the Agin megazone, the Kharanor and Torey rift basins are distinguished, in which late Jurassic-early Cretaceous volcanic rocks are localized. The lower and upper volcanic layers are divided in the Kharanor depression. Their rocks are similar in many petrochemical characteristics and different in TiO₂ content and geochemical features. The upper volcanic layer is correlated with the Torey depression volcanic rocks. Our studies of the petrochemical and geochemical characteristics of the rocks have shown that the lower volcanic suits of the Kharanor depression classified as the shoshonite-latitude series and the process of fractional crystallization is main petrogenetic process in their genesis. These volcanites are correlated with the middle-late Jurassic shoshonite-latitude volcanites of the lower Kailas suit of the Alexandrovo-Zavodskaya depression. The Torey depression volcanic rocks of the and the upper layer of Haranor depression related to trachybasaltic series and have similar geochemical characteristics the volcanic rocks of the upper part Kailas suite Aleksandrovo-Zavodskoy depression, but having low concentration of the some large ion lithophile elements (Th and U). Assimilation-fractional crystallization processes are recognized in genesis trachybasalt volcanic rock series of the Kharanor and Torey depressions by this study. Similar petrogeochemical characteristics Kharanor and Torey volcanic rocks and the late Mesozoic volcanic rocks of the Alexandrovo-Zavodskaya depression of the reflects a single large-scale process of intraplate post-accretion magmatism in Eastern Transbaikalia.

Keywords: Mongolia-Okhotsk orogenic belt, Late Mesozoic, Kharanor depression, Torey depression, intraplate magmatism, trachybasalt series.

For citation: Andreeva Yu.S., Sasim S.A., Dril S.I. Geochemistry and Petrogenesis of Late Mesozoic Volcanites of the Torey and Kharanor Depressions (Eastern Transbaikalia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 33, pp. 3-20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.3> (in Russian)

References

Antipin V.S. *Geohimicheskaja jevoljucija izvestkovo-shhelochnogo i subshhelochnogo magmatizma* [Geochemical evolution of calcareous-alkaline and sub-alkaline magmatism]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992, 223 p. (in Russian)

Bogatikov O.A. *Klassifikacija i nomenklatura magmaticheskikh gornyh porod* [Classification and nomenclature of igneous rocks: Reference book]. Moscow, Nedra Publ., 1981, 160 p. (in Russian)

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Komaritsyna T.Yu. Pozdnevezozoiskii-rannekainozoiskii riftogennyi magmatizm Udinskogo sektora (Zapadnoe Zabaikalie) [Late Mesozoic-early Cenozoic rift magmatism of the Udinsky sector (Western Transbaikalia)]. *Geologiya i geofizika*, 2006, vol. 61, no. 5, pp. 920-946. (in Russian)

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii [State geological map of the Russian Federation. Large Scale 1:1 000 000]. List M-50. Borzuya, 2010. (in Russian)

Zakharov M.N. *Petrologiya i geokhimiya Akatuevskogo effuzivno-intruzivnogo kompleksa v Priargunskoi strukturnoi zone Vostochnogo Zabaikalija* [Petrology and Geochemistry Akathesia volcanic-Intrusive complex in Argun structural zone of Eastern Transbaikalia. Cand. sci. diss. abstr.]. Irkutsk, 1972, 22 p. (in Russian)

Kazimirovskii M.E. Geokhimiya i Sr-izotopnye kharakteristiki magmaticheskikh porod Zapadno-Usuglinskoi bimodalnoi vulkano-plutonicheskoi assotsiatsii (J3-K1, Zabaikalie) [Geochemistry and Sr-isotope characteristics of igneous rocks of the West-Usuglian bimodal volcano-plutonic Association (J3-K1, Transbaikalia)]. *Geologiya i geofizika*, 2001, vol. 42, no. 6, pp. 951-967. (in Russian)

Kozlov V.D. et al. Geokhimiya, izotopnaya geokhronologiya i geneticheskie cherty Verkhneudinskogo granitnogo batolita (Vostochnoe Zabaikalie) Geokhimiya [Geochemistry, isotope geochronology and genetic features of the upper Udinsky granitic batholith (Eastern Transbaikalia)]. *Geohimija*, 2003, vol. 4, pp. 408-424. (in Russian)

Pervov V.A. *Petrologija pozdnevezozojskikh subshhelochnykh vulkanicheskikh porod Jugovostochnogo Zabajkalija i Mongolii* [Petrology of late Mesozoic sub-alkaline volcanic rocks of South-Eastern Transbaikalia and Mongolia. Cand. sci. diss. abstr.]. Moscow, 1988, 24 p.

Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskije, impaktnye obrazovaniya [Petrographic code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, and impact formations]. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 2009, 200 p. (in Russian)

Teilor S.R., Mak-Lennan S.M. *Kontinentalnaya kora, ee sostav i evolyutsiya* [Continental crust, its composition and evolution]. Moscow, Mir Publ., 1988, 380 p. (in Russian)

Dash B., Yin A., Jiang N., Tseveendorj B., Han B. Petrology, structural setting, timing, and geochemistry of Cretaceous volcanic rocks in eastern Mongolia: Constraints on their tectonic origin. *Gondwana Research*, 2015, vol. 27, pp. 281-299.

Morrison G.W. Characteristics and tectonic setting of shoshonite rock association. *Lithos.*, 1980, vol. 13, no. 1, pp. 97-108.

Peccerillo A., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1976, vol. 58, no. 1, pp. 63-81.

Rudnick R.L. Composition of the continental crust. *Treasure on Geochemistry*, 2003, vol. 3, pp. 1-64.

Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 1989, vol. 42, pp. 313-346.

Turner S., Arnaud N., Liu J., Rogers N., Hawkesworth C., Harris N., Kelley S., Van Calsteren P., Deng W. Post-collision, Shoshonitic Volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for Convective Thinning of the Lithosphere and the Source of Ocean Island Basalts. *Journal of Petrology*, 1996, vol. 37, no. 1, pp. 45-71.

Wilson M. *Igneous petrogenesis*. London, Unwin Hyman, 1989, 446 p.

Zhao Z. et al. Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic composition of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intra-continental subduction beneath Southern Tibet. *Lithos*, 2009, vol. 113, pp. 190-212.

Андреева Юлия Сергеевна

преподаватель, геологический факультет
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
Институт геохимии
им. А. П. Виноградова СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Фаворского, 1а
e-mail: afanasevaus@mail.ru

Andreeva Yulia Sergeevna

Lecture, Geology Faculty
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry
SB RAS
1a, Favorskiy st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: afanasevaus@mail.ru

Сасим Сергей Александрович

заведующий, кафедра полезных
ископаемых, геологический факультет
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: sasimserg@mail.ru

Sasim Sergei Aleksandrovich

Head, Mineral Resources Department,
Geology Faculty
Irkutsk State University,
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: sasimserg@mail.ru

Дриль Сергей Игоревич

заведующий, лаборатория геохимии
изотопов
Институт геохимии
им. А. П. Виноградова СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Фаворского, 1а
e-mail: sdril@igc.irk.ru

Dril Sergei Igorevich

Head, Laboratory of Isotope Geochemistry
A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry
SB RAS
1a, Favorskiy st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: sdril@igc.irk.ru

Код научной специальности: 25.00.04

Дата поступления: 18.05.2020