



УДК 550.42:551.763:552.3

## Геохимия вулканических пород позднемезозойской рифтогенной ассоциации Александрово-Заводской впадины (Юго-Восточное Забайкалье)

С. А. Сасим ([sasimserg@mail.ru](mailto:sasimserg@mail.ru))  
В. С. Чуканова ([bashina@igc.irk.ru](mailto:bashina@igc.irk.ru))  
Н. Н. Ильина ([natalias@igc.irk.ru](mailto:natalias@igc.irk.ru))  
Ю. В. Семенова ([semenova@igc.irk.ru](mailto:semenova@igc.irk.ru))  
А. В. Ощепкова ([oshepkova-anasta@mail.ru](mailto:oshepkova-anasta@mail.ru))

**Аннотация.** Рассматривается классификационная принадлежность и вещественные особенности вулканических пород кайласской (верхняя пачка) и тургинской свит Юго-Восточного Забайкалья. Установлено, что породы свит представляют собой  $J_3$ - $K_1$  рифтогенную ассоциацию. На основе минералого-петрографических исследований и анализа петрогеохимических характеристик пород установлено, что генезис трахиандезитов и трахидацитов верхней пачки кайласской свиты связан с кристаллизационной дифференциацией в сочетании с выраженным процессом коровой контаминации, а кислые вулканы тургинской свиты представляют собой продукты корового плавления.

**Ключевые слова:** поздний мезозой, Юго-Восточное Забайкалье, вулканические породы, рифтогенная ассоциация, геохимия.

### Введение

История геодинамического развития Забайкальского сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса в фанерозое рассматривается рядом исследователей [7; 10] как эволюционная последовательность различных геодинамических обстановок, возникавших в океаническую, переходную и континентальную стадии развития Монголо-Охотской области. С середины палеозоя они характеризовались процессами аккреции континентальных блоков и поглощения океанической коры, а в мезозое – деструктивными эпизодами, связанными уже с интенсивным внутриплитным магматизмом и континентальным рифтогенезом. На протяжении всего фанерозоя Сибирский палеоконтинент контактировал с мантийными плюмами, предположительно относимыми к Африкано-Атлантическому горячему полю мантии [14].

В конце мезозоя, завершая эпоху мощных преобразований строения и состава литосферы, проявились интенсивные процессы сводо- и грабенообразования, а также активный магматизм, породивший широкое разнооб-

разие интрузивных магматических комплексов, вулканических серий и вулкано-плутонических ассоциаций, в том числе проявлениями магматических пород повышенной щелочности, которые характеризуются обычно повышенными содержаниями некогерентных элементов [3, 14].

Переход складчатого пояса к внутриконтинентальному этапу своего развития сопровождался на рубеже средней юры – раннего мела широким развитием магматизма различных геохимических типов [1, 4]. Традиционно для территории Юго-Восточного Забайкалья позднемезозойский этап тектонического развития подразделяется на две стадии [5], различающихся составом вулканических продуктов. Для ранней стадии ( $J_{2-3}$ ) характерно развитие субщелочных эффузивов повышенной калиевости, относимых к дифференцированным сериям латитовой специализации. Тектономагматическая активность поздней стадии ( $J_3-K_1$ ) проявилась на территории Забайкалья в образовании рифтогенных впадин, в которых происходили обширные излияния субщелочных и щелочных лав бимодальных ассоциаций.

Юрско-меловые вулканические породы Забайкалья варьируют по составу от трахибазальтов и трахиандезитов повышенной титанистости до трахидацитов и субщелочных риолитов. Весьма примечательной для изучения подобных магматических образований служит территория Александрово-Заводской рифтогенной впадины, где на сравнительно небольшой площади проявлены вулканы как шошонит-латитовой серии, так и более молодой трахиандезибазальт-трахириолитовой ассоциации.

### **Положение трахиандезибазальт-трахириолитовой рифтогенной ассоциации среди геологических образований Александрово-Заводской впадины**

Александрово-Заводская впадина расположена в центральной части Юго-Восточного Забайкалья, в пределах Монголо-Охотского складчатого пояса и входит в состав Аргунской структурно-формационной зоны. Она представляет собой рифтогенную депрессионную структуру, образовавшуюся в период перехода Монголо-Охотского пояса к внутриконтинентальному этапу развития в мезозойское время [2].

На территории северного борта Александрово-Заводской впадины среди стратифицированных образований развиты карбонатные отложения нижнего кембрия (локально на севере впадины, главным образом за пределами рассматриваемого района), терригенные образования нижней и средней юры, средне-верхнеюрские вулканические субщелочные породы основного и среднего составов, раннемеловые кислые вулканы и четвертичные отложения (рис. 1). Интрузивные образования представлены позднепалеозойскими гранитоидами ундинского и кутомарского комплексов (широко распространенных в северном обрамлении впадины), средне-верхнеюрскими монцонитовыми породами Акатуевского массива и раннемеловыми жильными трахидолеритами, относимыми к абагайтуйскому комплексу.

Остановимся подробнее на некоторых геологических особенностях объектов исследования – юрско-меловых вулканических породах. В их разрезе выделяется три толщи: нижняя и средняя толщи сложены вулканитами основного и среднего составов, а верхняя – кислыми. Согласно принятому в настоящее время стратиграфическому подразделению для данной территории [11], нижняя толща вулканитов относится к нижней пачке кайласской свиты ( $J_{2-3}$ ), средняя толща – к ее же верхней пачке, а кислые эффузивы верхней толщи отнесены к тургинской свите ( $K_1$ ).

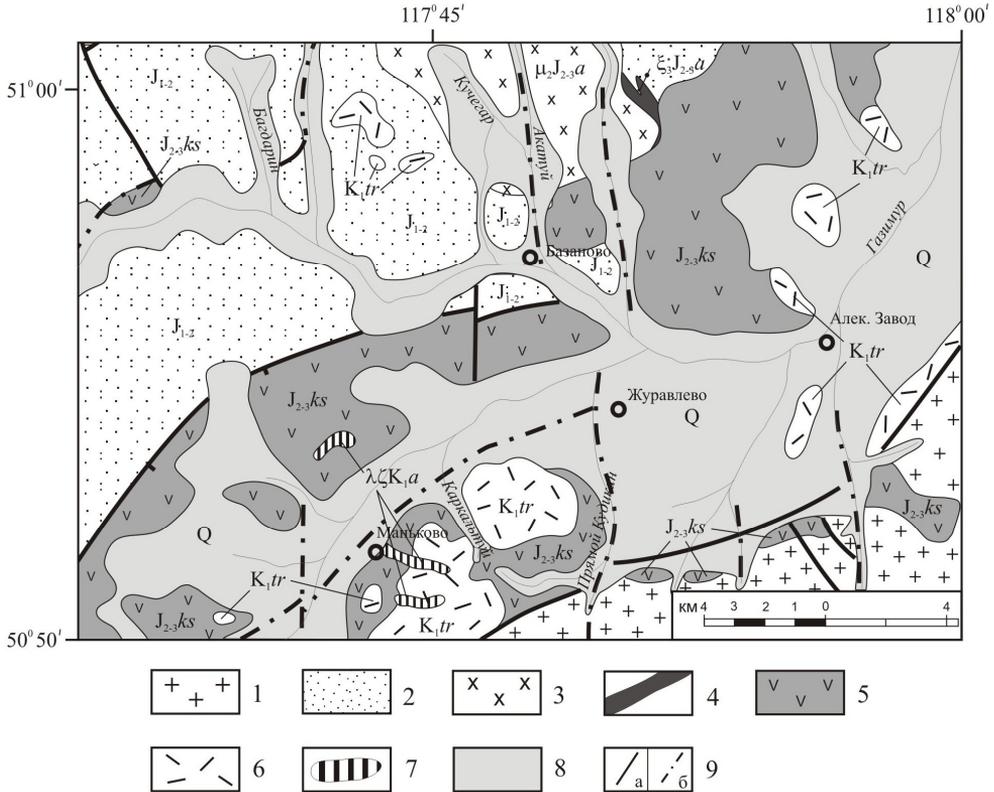


Рис. 1. Схема геологического строения Александрово-Заводской впадины по [11], с упрощениями:

1 – гранитоиды кутомарского комплекса (Р-Т<sub>1</sub>); 2 – ниже-среднеюрские терригенные образования; 3 – монцитониты главной фазы акатуевского комплекса ( $J_{2-3}$ ); 4 – сиениты заключительной фазы акатуевского комплекса; 5 – кайласская свита ( $J_{2-3}$ ); 6 – тургинская свита ( $K_1$ ); 7 – дайки абагайтуйского комплекса ( $K_1$ ); 8 – четвертичные отложения; 9 – разломы: а – достоверные, б – предполагаемые

Как уже было отмечено, в строении разреза кайласской свиты выделяются две толщи эффузивов основного до среднего состава (нижняя и верхняя пачки), разделенных пачкой туфогенно-обломочных пород. Возраст пород кайласской свиты устанавливается из взаимоотношения с ниже- и вышележащими толщами: с угловым несогласием породы свиты залега-

ют на фаунистически охарактеризованных терригенных отложениях ранней-средней юры, а также на доюрских гранитоидах и, в свою очередь, перекрываются раннемеловыми образованиями тургинской свиты. Кроме того, для вулканических пород нижней пачки кайласской свиты были получены изотопные К-Аг датировки, также свидетельствующие об их средне-верхнеюрском возрасте [8].

Породы нижней пачки характеризуются преимущественно мелкопорфировой структурой с массивной и миндалекаменной текстурами. В породах основного состава вкрапленники представлены лабрадором и андезин-лабрадором, авгитом, реже – роговой обманкой. Из фенокристаллов вулкаников среднего состава отмечаются андезин, роговая обманка, реже – биотит. Структура основной массы интерсервальная до микролитовой. Наиболее кислые разности характеризуются наличием вкрапленников олигоклаз-андезина, кварца и биотита. Вторичные изменения вулкаников представлены процессами сосюритизации, карбонатизации.

Для пород верхней пачки кайласской свиты характерен более кайно-типный облик. Вкрапленники наиболее основных разностей представлены лабрадор-андезином, авгитом, роговой обманкой, биотитом. Более кислые разности характеризуются вкрапленниками олигоклаз-андезина, андезина, роговой обманки, санидина и биотита. Во всех породах устанавливается более или менее обильное наличие оплавленных зерен явно ксеногенного кварца и щелочного полевого шпата, со следами резорбции кристаллов. В целом породы обладают микропорфировой структурой с массивной, реже пористо-миндалекаменной текстурами и микролитовой структурой основной массы.

Необходимо отметить, что широко распространенные эффузивные породы средне-верхнеюрского возраста (нижняя и верхняя пачки кайласской свиты), по вещественному составу были отнесены рядом исследователей к шшонит-латитовой серии [1; 4; 11]. Однако по совокупности критериев [9; 18; 19; 23] лишь вулканиды нижней пачки кайласской свиты относятся к латитам, а более молодые породы верхней пачки, как будет показано ниже, необходимо рассматривать как представителей трахибазальтовой серии.

Породы тургинской свиты с несогласием залегают на образованиях юры, а в пределах рассматриваемой территории – преимущественно на образованиях кайласской свиты. В составе свиты доминирующим положением пользуются риолитовые породы и их туфы, которые переслаиваются редкими прослоями туфогенно-осадочных пород. В прослоях осадочных пород, широко развитых в свите на смежных территориях отмечаются остатки флоры, отвечающие тургинскому биостратиграфическому горизонту, что определяет раннемеловой возраст образований свиты [11]. Кислые породы тургинской свиты представлены светлыми порфировыми породами с массивной и флюидалной текстурами. Вкрапленники представлены щелочными полевыми шпатами (ортоклазом и санидином) и кварцем. Основная масса характеризуется витрофировой, сферолитовой, реже перлитовой структурой.

## Методы исследования

В маршрутных исследованиях впадины было отобрано 50 штучных проб из коренных обнажений. Полированные шлифы были исследованы с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАМ-Д-213.

Исследование состава пород на содержание основных петрогенных элементов, Sr, Zr, Nb, Ba и Y выполнялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН). Силикатный состав пород измерялся 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 (Be, Ti, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Ta, Nb, Sn, Cs, Ba, REE, Hf, W, Pb, Th, U) производилось методом ICP MS на приборе Element-2 (аналитики В. И. Ложкин и Е. В. Смирнова) в ИГХ СО РАН.

## Классификация и петрохимические особенности пород трахиандезитобазальт-трахириолитовой ассоциации Александрово-Заводской впадины

Содержания петрогенных и рассеянных элементов в вулканических породах кайласской (верхняя пачка) и тургинской свит приведены в табл. 1.

Составы вулканических пород верхней пачки кайласской свиты соответствуют субщелочной серии и локализуются на классификационной диаграмме TAS главным образом в областях трахиандезитов и трахидацитов (рис. 2). Отнесение наиболее кремнекислых разностей к трахидацитам было сделано исходя из нормативного содержания кварца, содержание которого согласно расчетам СРW-норм составляет 20,81–21,09 мас. %.

Обращает на себя внимание тот факт, что минеральный состав трахиандезитовых пород характерен для эффузивов основного состава: наличие вкрапленников клинопироксена и основного плагиоклаза. Отметим, что присутствие в породах ксеногенных вкрапленников кварца и щелочного полевого шпата (вероятно, захваченных в результате контаминации базальтоидного расплава коровым веществом), не могло не сказаться на смещении эволюционного тренда составов пород в «кислую» сторону.

Вулканиты тургинской свиты характеризуются кислыми и ультракислыми составами с содержанием кремнезема от 68 до 78 мас. % и относятся согласно классификации [13] к щелочным риодацитам, трахириодацитам, трахириолитам и риолитам. Рисунок 2 наглядно демонстрирует наличие среди пород двух областей составов: 1) менее кремнекислых разностей (трахириодациты и щелочные риодациты), которые выражаются витрофировой, реже сферолитовой текстурой и содержат 10–15 % вкрапленников кварца и щелочного полевого шпата и 2) более кремнекислых (трахириолиты и риолиты) с преобладанием перлитовой текстуры, в которых практически отсутствуют вкрапленники.

Таблица 1

Содержание петрогенных (мас. %) и рассеянных (мкг/г) элементов  
в вулканитах кайласской (верхняя пачка) и тургинской свит

Объект	Верхняя пачка кайласской свиты										Тургинская свита						
	Ак-29	Ак-29-1	Ак-29-2	Ак-29-3	Ак-29-4	Ак-29-5	Ак-30-1	Ак-31	Ак-33	Ак-34	Ак-36	Ак-37	Ак-37-1	Ак-37-2			
Тип породы	TDC	ТАВ	ТА	TDC	ТА	TDC	ТА	TDC	ARDC	TRL	ARDC	TRDC	TRL	TRL			
SiO <sub>2</sub>	62,07	55,81	57,55	64,64	56,01	67,07	70,18	77,81	78,19	68,14	70,18	67,34	75,35	75,09			
TiO <sub>2</sub>	1,21	2,02	1,70	1,07	1,90	0,89	0,42	0,08	0,08	0,46	0,24	0,19	0,15	0,15			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,48	15,31	15,32	14,32	15,26	14,67	15,63	11,56	11,98	16,38	15,87	14,36	13,14	13,81			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6,02	9,09	8,16	5,62	9,20	4,57	1,24	1,94	2,23	2,51	2,13	2,76	1,66	1,09			
MnO	0,06	0,09	0,10	0,05	0,11	0,04	<0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,16	0,01	0,01			
MgO	1,47	3,48	2,82	1,47	3,17	0,93	0,32	0,07	<0,05	0,08	0,08	0,09	<0,05	<0,05			
CaO	2,68	5,95	5,27	2,89	5,69	2,22	0,87	0,21	0,16	0,56	0,48	0,85	0,41	0,29			
Na <sub>2</sub> O	2,25	3,84	4,05	3,63	3,97	3,41	4,22	3,62	3,60	4,35	4,09	2,95	3,62	3,13			
K <sub>2</sub> O	7,03	2,43	3,11	4,14	2,93	4,54	6,38	4,24	3,48	6,51	5,68	6,13	4,90	5,26			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,54	1,02	0,83	0,49	0,95	0,38	0,08	0,02	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03			
ППП	2,06	0,74	0,83	1,53	0,55	1,21	0,61	0,53	0,41	0,89	1,21	5,26	0,76	1,23			
Сумма	99,86	99,78	99,74	99,85	99,73	99,93	99,95	100,11	100,18	99,97	100,01	100,12	100,03	100,09			
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	3,12	0,63	0,77	1,14	0,74	1,33	1,51	1,17	0,97	1,50	1,39	2,08	1,35	1,68			
V	88,10	171,57	156,80	81,97	159,55	61,90	2,42	<1	<1	8,50	<1	<1	<1	<1			

Продолжение табл. 1

Объект	Верхняя пачка кайлаской свиты										Тургинская свита							
	Ак-29 TDC	Ак-29-1 ТАВ	Ак-29-2 ТА	Ак-29-3 TDC	Ак-29-4 ТА	Ак-29-5 TDC	Ак-30-1 ARDC	Ак-31 TRL	Ак-33 RL	Ак-34 ARDC	Ак-36 TRDC	Ак-37 TRDC	Ак-37-1 TRL	Ак-37-2 TRL				
Проба	68,00	65,00	59,00	46,00	62,00	27,00	12,40	19,80	20,00	11,80	11,90	11,50	18,50	9,50				
Тип породы	14,71	24,48	20,19	12,23	21,94	8,76	0,62	0,76	0,61	1,62	0,54	0,98	0,66	0,78				
Cr	23,00	31,00	31,00	22,00	34,00	13,00	0,95	5,70	3,50	1,60	<0,5	<0,5	10,40	4,10				
Co	315,69	71,02	103,63	192,35	98,28	217,59	200,81	308,03	311,85	209,68	227,23	484,98	220,41	221,51				
Rb	451,00	894,00	821,00	519,00	875,00	425,00	231,00	50,00	<30	61,00	39,00	68,00	55,00	81,00				
Sr	432,23	639,07	566,47	445,51	617,42	386,88	625,45	192,65	189,95	670,98	493,49	366,53	298,80	302,85				
Nb	20,06	23,44	22,30	21,79	22,94	22,13	24,94	36,05	36,55	24,90	25,81	23,34	24,45	25,37				
Ba	955,11	1013,50	995,97	772,91	1011,51	783,38	20,39	139,32	135,42	55,24	7,81	22,91	40,42	57,11				
Pb	19,29	17,94	19,87	25,98	18,25	25,77	28,43	28,98	37,43	30,98	26,89	31,84	30,57	24,86				
U	5,30	2,27	3,36	6,34	2,40	6,45	6,24	7,72	7,70	3,99	5,05	5,89	5,72	4,56				
Th	19,40	7,09	10,85	26,31	7,80	32,63	21,29	31,14	30,82	20,00	24,91	23,60	24,38	24,28				
La	69,01	92,65	83,87	73,19	83,81	70,77	78,20	18,83	17,85	63,15	92,30	83,03	73,44	66,83				
Ce	144,89	206,50	184,03	157,09	188,49	146,62	169,61	50,68	54,58	134,76	182,19	167,09	149,58	132,89				
Pr	16,25	23,09	20,48	17,18	21,40	15,95	17,60	6,60	6,08	15,21	18,79	16,68	15,54	15,07				
Nd	64,18	95,61	84,36	68,29	89,07	62,53	65,80	26,51	24,57	59,00	66,35	60,28	56,65	54,52				
Sm	10,27	15,41	13,64	11,14	14,44	9,89	9,74	6,33	6,01	9,66	9,51	8,97	8,63	8,34				
Eu	2,08	3,56	3,11	2,20	3,35	1,84	1,26	0,09	0,11	1,54	0,60	0,47	0,30	0,31				
Gd	8,27	12,14	10,57	8,94	11,28	8,04	7,75	5,69	5,60	7,99	7,64	7,55	7,26	6,66				

Окончание табл. 1

Объект	Верхняя пачка кайласской свиты										Тургинская свита					
	Ак-29	Ак-29-1	Ак-29-2	Ак-29-3	Ак-29-4	Ак-29-5	Ак-30-1	Ак-31	Ак-33	Ак-34	Ак-36	Ак-37	Ак-37-1	Ак-37-2		
Тип породы	TDC	ТАВ	ТА	TDC	ТА	TDC	АРDC	TRL	RL	АРDC	TRDC	TRDC	TRL	TRL		
Tb	0,94	1,31	1,16	1,06	1,28	0,95	0,97	0,89	0,91	1,03	0,94	1,01	0,93	0,86		
Dy	4,80	6,31	5,85	5,48	6,08	4,94	5,16	5,39	5,64	5,69	4,87	5,45	5,07	4,85		
Ho	0,82	1,04	0,96	0,95	0,99	0,86	0,95	1,05	1,10	1,06	0,85	1,04	0,93	0,92		
Er	2,19	2,60	2,51	2,59	2,52	2,38	2,73	3,03	3,22	3,04	2,35	2,99	2,67	2,74		
Tm	0,29	0,33	0,31	0,36	0,32	0,33	0,41	0,46	0,49	0,46	0,34	0,43	0,40	0,41		
Yb	1,82	2,00	2,01	2,31	2,02	2,27	2,86	3,35	3,47	3,08	2,30	3,06	2,74	2,86		
Lu	0,27	0,28	0,29	0,36	0,29	0,34	0,44	0,49	0,51	0,46	0,36	0,48	0,42	0,43		
Y	19,53	23,79	22,77	23,11	23,19	21,34	22,61	23,02	24,20	23,60	18,85	25,00	21,29	21,17		
$\Sigma_{REE}$	326,08	462,82	413,15	351,14	425,37	327,72	363,50	129,40	130,13	306,11	389,39	358,53	324,57	297,70		
La/Yb <sub>(N)</sub>	27,26	33,27	29,89	22,69	29,75	22,39	19,58	4,03	3,69	14,71	28,84	19,49	19,22	16,74		
Eu/Eu*	0,12	0,17	0,15	0,12	0,16	0,10	0,07	0,01	0,01	0,09	0,03	0,03	0,02	0,02		
Th/Yb	10,68	3,55	5,39	11,37	3,86	14,39	7,43	9,29	8,88	6,50	10,85	7,72	8,90	8,48		
Nb/Yb	11,05	11,73	11,08	9,42	11,35	9,76	8,71	10,76	10,53	8,09	11,24	7,64	8,92	8,86		

Примечание к таблице 1. Принятые сокращения типов пород: TDC – трахидацит; ТАВ – трахиандезибаазальт; ТА – трахиандезит; АРDC – щелочной риодацит; ТRL – трахириолит; RL – риолит; TRDC – трахириодацит. Величина европиевой аномалии рассчитана по формуле  $Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{Sm_N \times Gd_N}$ , по [15]

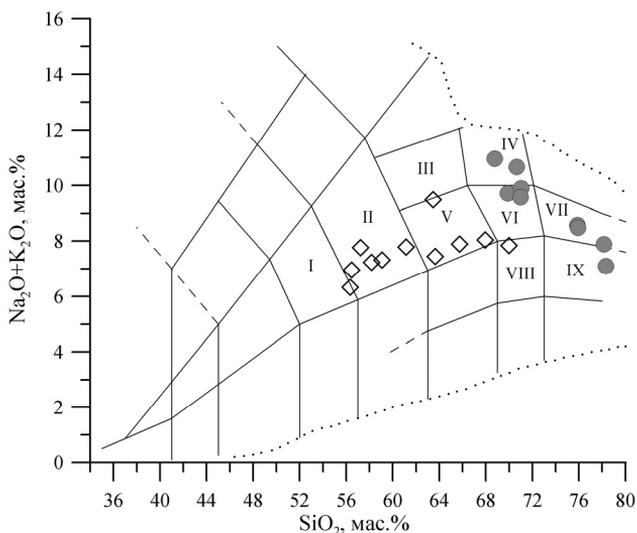


Рис. 2. Классификационная диаграмма TAS для вулканических пород верхней пачки кайлаской и тургинской свит по [13].

Точками показаны границы области распространения составов магматических пород. Ромбиками отмечены составы вулканитов верхней пачки кайлаской свиты, серыми кружками – вулканы тургинской свиты. Поля составов пород: I – трахиандезибаазальты, II – трахиандезиты, III – трахиты, IV – щелочные риодациты, V – трахидациты, VI – трахириодациты, VII – трахириолиты, VIII – риодациты, IX – риолиты

Поведение петрогенных элементов в рассматриваемых породах иллюстрируется вариационными диаграммами Харкера (рис. 3). Даже наиболее основные вулканы верхней пачки кайлаской свиты представляют собой уже глубоко дифференцированные по отношению к первичному мантийному расплаву образования с содержанием  $MgO$  3–4 мас. %;  $MgO/(FeO+MgO) < 0,30$ ; высокими концентрациями  $TiO_2$  (около 2 мас. % при  $SiO_2 = 55,8$  мас. %),  $P_2O_5$  (около 1 мас. %),  $Ba$  (около 1000 мкг/г),  $Sr$  (800–900 мкг/г),  $Zr$  (500–640 мкг/г) и  $Nb$  (более 20 мкг/г). В трендах дальнейшей дифференциации (к трахидацитам) отчетливо проявлена отрицательная корреляция между содержаниями большинства петрогенных оксидов ( $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ) и  $SiO_2$ . Лишь для  $K_2O$  характерно увеличение концентраций с ростом кремнекислотности пород.

Кислые вулканы тургинской свиты характеризуются существенными концентрациями кремнекислоты и локальным расположением фигуративных точек в значениях основных петрогенных оксидов (см. рис. 3). Наиболее низкие концентрации в трахириолитах тургинской свиты характерны для  $TiO_2$  (0,08–0,46 мас. %),  $MgO$  (0,05–0,32 мас. %),  $MnO$  (<0,01–0,16 мас. %)  $CaO$  (0,16–0,87 мас. %),  $P_2O_5$  (0,02–0,08 мас. %), которые входят в химический состав аксессуарных минералов или входят в породообразующие кварц и щелочной полевошпат в виде изоморфных примесей. Значительные вариации глинозема (11–16 мас. %)  $Na_2O$  (2,95–4,35 мас. %) и  $K_2O$  (3,48–6,51 мас. %) определяется главным образом наличием и количеством вкрапленников кали-натрового полевошпата.

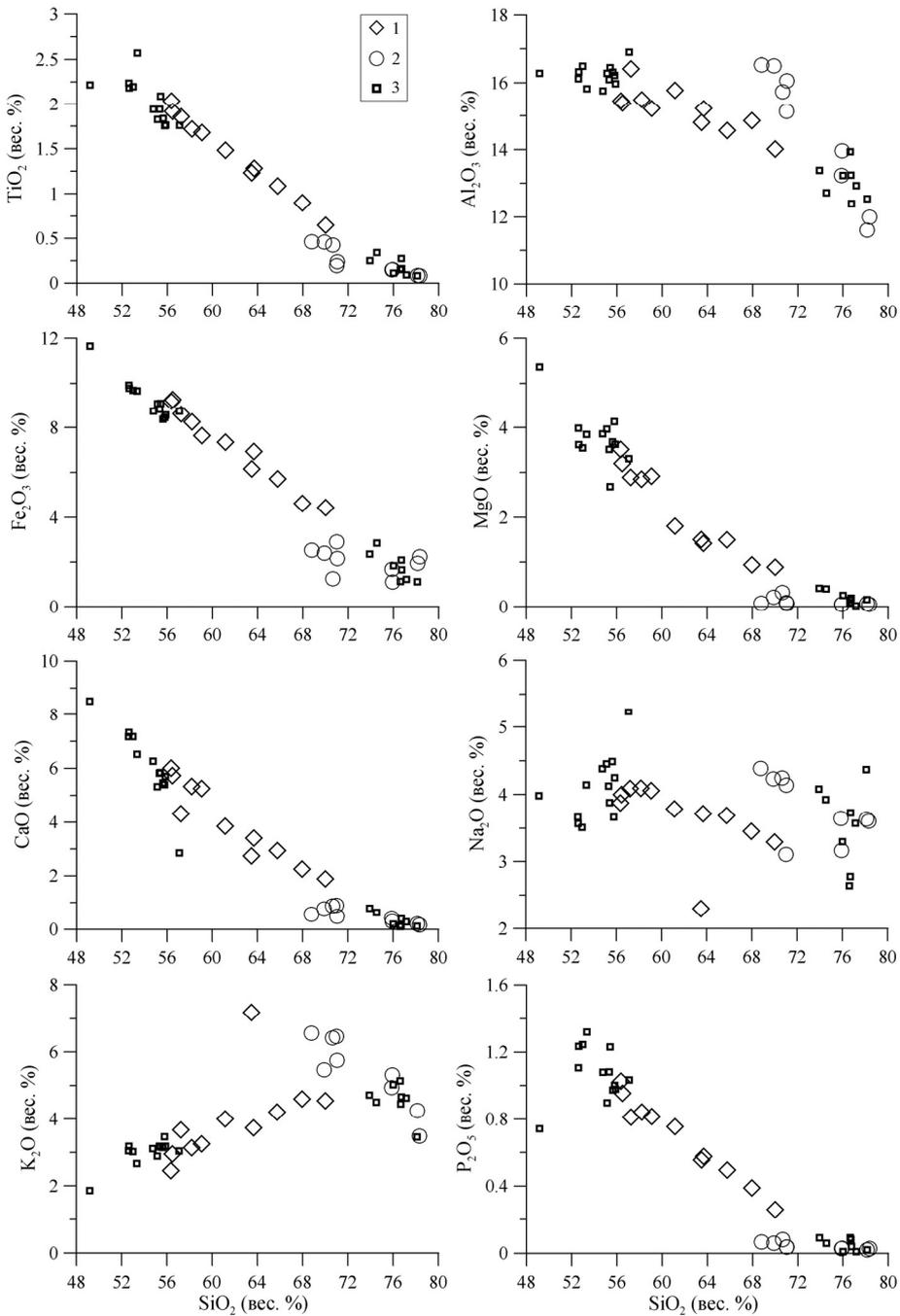


Рис. 3. Вариационные диаграммы Харкера для вулканитов верхней пачки кайласской и тургинской свит Александрово-Заводской впадины, иллюстрирующие поведение петрогенных элементов с увеличением  $\text{SiO}_2$ . 1 – вулканиты верхней пачки кайласской свиты, 2 – вулканиты тургинской свиты, 3 – вулканиты бимодальной ассоциации Западно-Усуглинской впадины по [3]

В целом концентрации петрогенных оксидов в трахиандезитах-трахидацитах верхней пачки кайласской свиты и трахириолитах-трахириодацитах тургинской свиты типичны для пород бимодальных мезозойских ассоциаций Восточного Забайкалья. Это хорошо демонстрируется на рис. 3, где в качестве сравнения нанесены составы вулканитов Западно-Усуглинской впадины – наиболее хорошо изученного проявления рифтогенного магматизма на территории Восточного Забайкалья. Особенностью эффузивов Александрово-Заводской впадины является довольно широкое развитие здесь пород промежуточных составов (кайласских трахидацитов и тургинских трахириодацитов), что отличает их от классических вулканитов бимодальных ассоциаций Восточного Забайкалья и указывает на существенную продолжительность процессов дифференциации как базальтоидов, так и трахириолитовых магм. На различие источников этих расплавов четко указывает самостоятельность вариационных трендов составов соответствующих пород на диаграммах (см. рис. 2 и 3).

### Геохимия редких элементов

Вулканиты верхней пачки кайласской свиты имеют высокие суммарные содержания редкоземельных элементов (РЗЭ), варьирующие в пределах 413–535 мкг/г для более основных и 326–351 мкг/г для более кислых дифференциатов. Спектр распределения РЗЭ имеет высокую степень фракционирования у трахиандезитобазальтов ( $La/Yb_{(N)} = 33,78–48,20$ ), снижаясь у трахидацитов до величин  $La/Yb_{(N)} = 22,39–27,76$  (рис. 4).

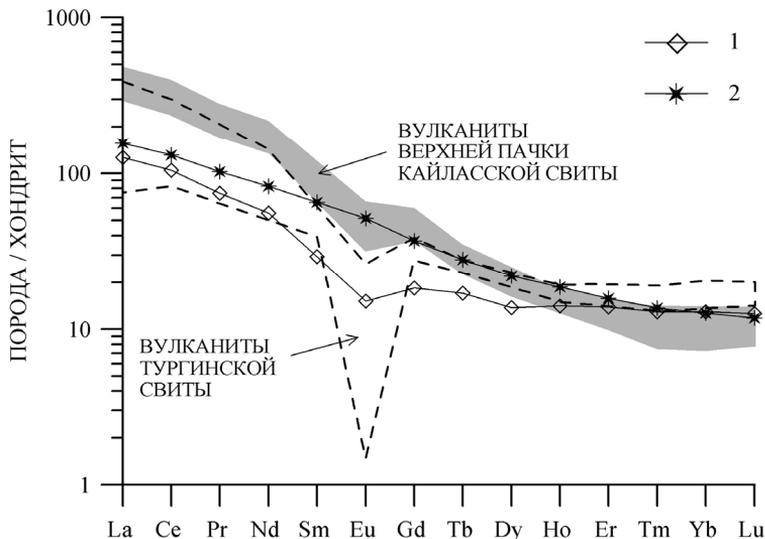


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов в вулканических породах верхней пачки кайласской свиты и тургинской свиты Александрово-Заводской впадины. Составы верхней континентальной коры (1) приведены по [15]; составы базальтов океанических островов (2) даны по [21]

Сумма РЗЭ в вулканитах тургинской свиты составляет 297–389 мкг/г; величина  $La/Yb_{(N)} = 17,71–19,58$ . Наблюдается глубокий европиевый минимум ( $Eu/Eu^* = 0,12–0,44$ ), что характерно для бесплаггиоклазовых кислых пород. В отдельных пробах тургинской свиты, соответствующих высококалиевым риолитам с содержанием  $SiO_2 > 75$  мас. %, состоящих главным образом из кварца с небольшим количеством вкрапленников щелочного полевого шпата, сумма РЗЭ резко падает (до 129 мкг/г),  $La/Yb_{(N)}$  уменьшается до 4,03 и  $Eu/Eu^*$  составляет около 0,04.

Закономерности поведения РЗЭ в вулканитах кайласской и тургинской свит аналогичны проявленным в породах бимодальных ассоциаций Восточного Забайкалья, в частности трахибазальт-трахириолитовой ассоциации Усуглинской впадины [3].

Распределение рассеянных элементов в вулканических породах верхней пачки кайласской свиты наглядно иллюстрирует мультикомпонентная спайдер-диаграмма (рис. 5). В вулканитах отмечаются высокие концентрации К, Rb, легких РЗЭ, Th, U и Zr, значительно превышающие соответствующие значения в базальтах океанических островов. Наличие отрицательных аномалий по Nb, Ti, P, а также Sr сближает их по форме спектра распределения с валовым составом верхней континентальной коры, а в региональном плане – с гранитоидами ундинского комплекса, широко распространенного в данном районе. Эту близость мы объясняем процессом контаминации базальтоидного расплава коровым веществом, на что указывают явные петрографические признаки (см. выше). Однако минимумы по высокозарядным элементам (HFSE) могут быть связаны и с процессами флюидного воздействия на мантийный расплав предшествующих процессов субдукции, проходивших в данном регионе на протяжении всего палеозоя. С другой стороны, узкий диапазон вариаций величины  $Ba/Nb$  (35–49) ограничивает значительную роль субдукционного компонента в расплаве.

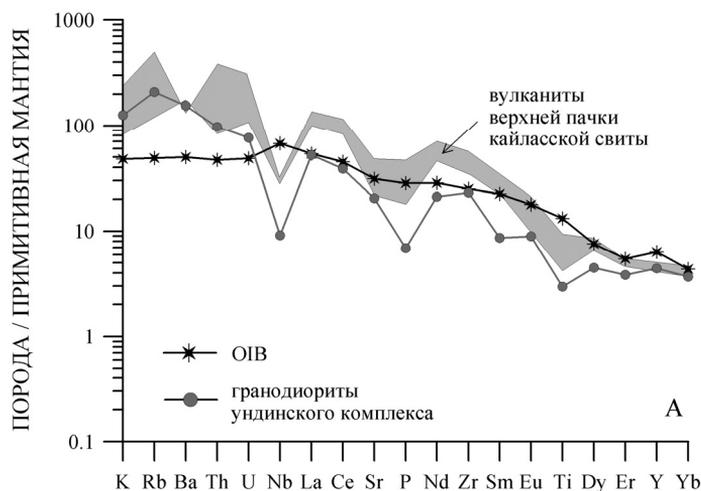


Рис. 5. Мультикомпонентная спайдер-диаграмма для вулканических пород верхней пачки кайласской свиты. Средний состав базальта океанических островов (OIB) приведен по [21]. Состав гранодиоритов ундинского комплекса приведен по [6]

По характеру распределения рассеянных элементов среди кислых пород тургинской свиты выделяются два типа (рис. 6). Трахириодациты и трахириолиты характеризуются повышенными относительно валового состава континентальной коры концентрациями K, Rb, Th, U, легких РЗЭ, Zr и глубокими минимумами Ba, Nb, Sr, Eu и Ti. Более низкие содержания легких РЗЭ (в том числе ярко выраженный глубокий Eu-минимум), Zr, отсутствие глубокой аномалии по Ba и несколько более высокие значения Th и U определяют геохимическую специфику риолитов

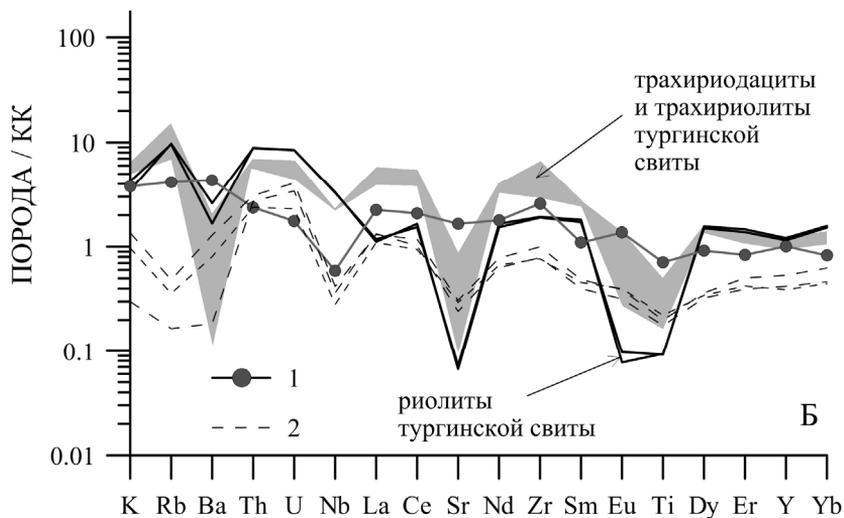


Рис. 6. Мультикомпонентная спайдер-диаграмма для кислых вулканитов тургинской свиты Александрово-Заводской впадины. Условные обозначения: 1 – средний состав гранодиоритов ундинского комплекса по [6], 2 – кислые гипабиссальные породы бимодальной ассоциации Центральных и Западных Понтидов, Северная Турция по [22]. *Примечание:* все составы пород номированы на валовый состав континентальной коры (КК) по [15]

Сравнение поведения микроэлементов в кислых вулканических породах из рифтогенной ассоциации Александрово-Заводской впадины с риолитовыми породами бимодальных ассоциаций других регионов, например Центральных и Западных Понтидов в Северной Турции, показывает в целом аналогичное распределение рассеянных элементов, за исключением уровней их накопления, а также отдельных особенностей, таких как относительно пониженные концентрации K и Rb. Эти отличия могут быть связаны с особенностями вещественного состава субстрата, из которых происходили выплавки для образования риолитовых лав, а также режимом летучих компонентов, которые в значительной степени могли сказаться на концентрировании мобильных элементов. Учитывая петрогеохимические особенности, субстратом для риолитовых магм могли служить верхнекоровые породы, к примеру гранитоидные породы ундинского комплекса, слагающие фундамент Александрово-Заводской впадины.

## Обсуждение результатов и выводы

Как уже отмечалось, средне-верхнеюрские вулканические породы основного и среднего состава Александрово-Заводской впадины при составлении государственной геологической карты масштаба 1:200 000 по сходству петрографических и петрохимических свойств были объединены в одну свиту – кайласскую, в которой эффузивные толщи были подразделены на нижнюю и верхнюю пачки, разделенные средней пачкой туфогенно-осадочных пород [11]. Однако детальное рассмотрение показывает, что между вулканитами нижней и верхней пачек существуют принципиальные вещественные отличия.

Критериями принадлежности базальтоидов к шошонит-латитовой серии являются: принадлежность к субщелочному ряду [9], относительно высокое содержание  $K_2O$  [19], отношение  $K_2O/Na_2O$  в пределах 0,5–2,0 [23], низкие концентрации  $TiO_2$  (<1,3 %) в основных членах серии, прогрессивно снижающиеся к более кислым дифференциатам [18]. Породы с высоким содержанием  $TiO_2$  (>1,3 %), несмотря на повышенное содержание в них  $K_2O$ , принципиально отличаются от пород шошонитовой серии и относятся к трахибазальтовой серии.

Согласно данным критериям, трахиандезиты и трахидациты верхней пачки кайласской свиты со значениями  $K_2O = 2\text{--}5\text{ мас. \%}$ ;  $K_2O/Na_2O = 0,5\text{--}1,7$ ;  $TiO_2 = 1\text{--}2\text{ мас. \%}$  следует относить к представителям трахибазальтовой серии, в отличие от классических шошонитов и латитов нижней пачки. В качестве наглядного примера это прекрасно демонстрирует диаграмма  $TiO_2\text{--}SiO_2$  (рис. 6). На этой диаграмме область составов, отвечающих вулканическим породам верхней пачки кайласской свиты, расположена выше прямой, которая задана уравнением  $TiO_2 = -0,087SiO_2 + 6,27$  [12].

Для сравнения на диаграмме показана область составов вулканических пород субдукционных обстановок на примере вулканитов Курило-Камчатской островной дуги, которые характеризуются более низкими содержаниями окиси титана при соответствующих значениях кремнекислоты. Кроме того, на рис. 7 нанесены также составы трахибазальтов Ингодинской впадины и породы бимодальной ассоциации Западно-Усуглинской впадины Восточного Забайкалья, базальтоиды которой характеризуются высокими содержаниями  $TiO_2$  и являются типичными представителями вулканических пород трахибазальтовой серии. Как уже было отмечено, отличительной особенностью вулканических пород трахибазальтовой серии Александрово-Заводской впадины по сравнению с базальтоидами других рифтогенных впадин Забайкалья является наличие трахидацитовых составов, обусловленных, вероятно, как усвоением мантийным расплавом корового вещества, так и повышенной длительностью процессов дифференциации.

Известно, что рассмотрение соотношений величин  $Th/Yb$  и  $Nb/Yb$  позволяет подчеркивать вариации составов магматических источников, вызванные главным образом процессами фракционной кристаллизации, парциального плавления и коровой контаминации [17; 20].

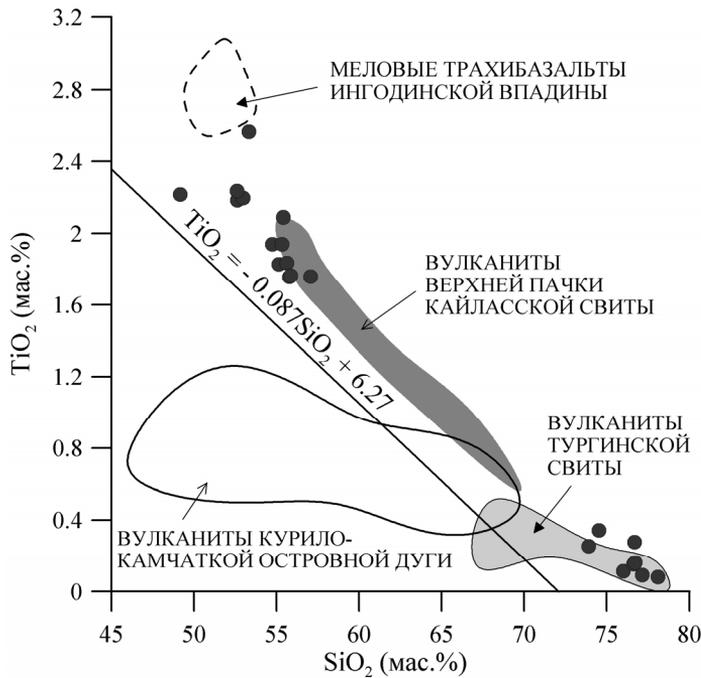


Рис. 7. Диаграмма  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  для вулканических пород верхней пачки кайласской и тургинской свит Александрово-Заводской впадины. Черными кружками показаны составы вулканитов бимодальной ассоциации Западно-Усуглинской впадины Восточного Забайкалья по [3]. Прямая, разделяющая породы шошонит-латитовой и трахибазальтовой серии, заданная уравнением  $\text{TiO}_2 = -0,087\text{SiO}_2 + 6,27$  дана по [12]

Вулканические породы верхней и нижней (для сравнения) пачек кайласской свиты были нанесены на диаграмму  $\text{Th/Yb-Nb/Yb}$  (рис. 8). Составы базальтовых расплавов, генерируемых из астеносферной части мантии, астеносферного плюма или обогащенной литосферной мантии, характеризуются почти постоянными значениями  $\text{Th/Nb}$  и располагаются на диаграмме в пределах диагонального тренда – мантийной последовательности. В направлении вектора  $W$  происходит обогащение расплавов внутриплитным компонентом.

Локальные метасоматические воздействия в верхней мантии, вызванные процессами субдукции, приводят к обогащению образующихся расплавов торием и обеднению ниобием, поскольку ниобий, в отличие от тория, практически не переносится водным флюидом. Поэтому магмы, претерпевшие эпизод субдукционного обогащения, имеют более высокие значения  $\text{Th/Yb}$  по сравнению с  $\text{Nb/Yb}$ , что выражается на диаграмме в смещении составов вдоль вертикального вектора  $S$  относительно диагонального тренда мантийной последовательности. Коровая контаминация может также повышать значения  $\text{Th/Yb}$  относительно  $\text{Nb/Yb}$ , поскольку коровые породы имеют более высокие содержания  $\text{Th}$  по сравнению с  $\text{Nb}$  за исключением низкоториевых пород гранулитовой фации метаморфизма [20].

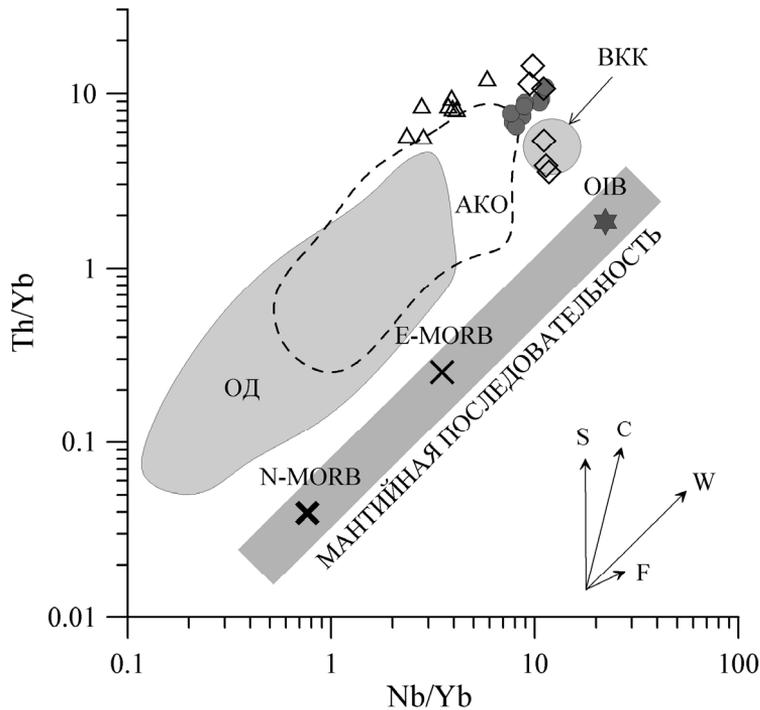


Рис. 8. Диаграмма Th/Yb-Nb/Yb для пород кайласской и тургинской свиты Александрово-Заводской впадины. Условные обозначения: треугольниками отмечены вулканиты нижней пачки кайласской свиты, ромбиками – вулканиты верхней пачки кайласской свиты, серыми кружками – вулканиты тургинской свиты. Векторами отмечено возможное влияние процессов: *S* – обогащения субдукционным компонентом, *C* – коровой контаминации, *W* – обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, *F* – фракционной кристаллизации. Точки средних составов нормального базальта срединно-океанических хребтов (N-MORB), обогащенных базальтов срединно-океанических хребтов (E-MORB), базальтов океанических островов (OIB) приведены по [21]; валовый состав верхней континентальной коры (BKK) по [15]; поля составов островных дуг (ОД) и активных континентальных окраин (АКО) приведены по [23] адаптированных по [16]

Трахиандезиты и трахидациты верхней пачки кайласской свиты характеризуются высокими значениями Th/Yb относительно тренда мантийной последовательности, что может свидетельствовать о двух процессах при эволюции расплава – субдукционного обогащения и коровой контаминации. Следует отметить, что возможное влияние субдукционного компонента в данном случае следует считать весьма ограниченным, учитывая геодинамическую историю развития региона и внутриконтинентальный режим на момент формирования магматических пород [7; 10].

Роль метасоматического обогащения мантии предшествующими процессами субдукции широко проявленных в пределах Монголо-Охотского палеоокеана на протяжении палеозоя, и особенно в конце перми, геохимически проявляется в магматических породах в виде низких концентраций

высокозарядных элементов (Ta, Nb, Ti) в расплавах, которые формируют широкий спектр магматических пород юрско-мелового возраста. Повышенные значения Th/Yb явно обусловлены процессами коровой контаминации, на которые указывают также минералого-петрографические и петрохимические особенности эффузивов верхней пачки кайласской свиты. Анализ значений Th/Yb и Nb/Yb показывает наличие субвертикального тренда в базальтоидах верхней пачки кайласской свиты, вызванного широким колебанием величины Th/Yb и практически постоянной величиной Nb/Yb по сравнению с диагональным трендом у латитовых пород нижней пачки, обусловленного процессами кристаллизационной дифференциации и коровой контаминации в их генезисе.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие выводы.

Трахиандезиты и трахидациты верхней пачки кайласской свиты вместе с кислыми вулканитами тургинской свиты представляют собой познеюрско-раннемеловую рифтогенную ассоциацию Александрово-Заводской впадины Юго-Восточного Забайкалья. Особенностью эффузивов Александрово-Заводской впадины является довольно широкое развитие здесь пород промежуточных составов (кайласских трахидацитов и тургинских трахириодацитов), что отличает их от классических вулканитов бимодальных ассоциаций Восточного Забайкалья и указывает на существенную продолжительность процессов дифференциации родоначальных расплавов. Анализ минералого-петрографических особенностей, распределения петрогенных и рассеянных элементов свидетельствует о кристаллизационной дифференциации с значительным влиянием процесса коровой контаминации в генезисе трахиандезитов и трахибазальтов кайласской свиты. Среди вулканитов тургинской свиты выделяются две группы пород – менее кремнекислых, представленных трахириодацитами и щелочными риодацитами, и более кремнекислых – трахириолитов и риолитов, в которых наблюдаются крайне деплетированные составы по Ba, Sr, Eu и Ti, вызванные процессами фракционирования щелочного полевого шпата, плагиоклаза, сфена и ильменита относительно магматического расплава, сформировавшего кислые вулканиты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 12–05–31334, 12–05–31181.*

#### Список литературы

1. Антипин В. С. Геохимическая эволюция известково-щелочного и субщелочного магматизма / В. С. Антипин. – Новосибирск : ВО «Наука», 1992. – 223 с.
2. Булнаев К. Б. Формирование впадин «Забайкальского» типа / К. Б. Булнаев // Тихоокеан. геология. – 2006. – Т. 25, № 11. – С. 18–30.
3. Геохимия и Sr-изотопные характеристики магматических пород Западно-Усуглинской бимодальной вулcano-плутонической ассоциации (J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>, Забайкалье) / М. Э. Казимировский [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 6. – С. 951–967.

4. Геохимия мезозойский латитов Забайкалья / Л. В. Таусон [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1984. – 205 с.
5. Геохимия субщелочных вулканических серий двух стадий позднемезозойской тектоно-магматической активизации Юго-Восточного Забайкалья / В. А. Первов [и др.] // Геохимия. – 1987. – № 6. – С. 798–811.
6. Геохимия, изотопная геохронология и генетические черты Верхнеундинского гранитного батолита (Восточное Забайкалье) / В. Д. Козлов [и др.] // Геохимия. – 2003. – № 4. – С. 408–424.
7. Гордиенко И. В. Геодинамика и металлогения Монголо-Забайкальского региона / И. В. Гордиенко, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – Новосибирск : Изд-во НИЦ ИОГГМ СО РАН, 1999. – Т. 40. – С. 1545–1562.
8. Захаров М. Н. Петрология и геохимия Акатуевского эффузивно-интрузивного комплекса в Приаргунской структурной зоне Восточного Забайкалья : автореф. дис. ... канд. наук / М. Н. Захаров. – Иркутск, 1972. – 22 с.
9. Классификация и номенклатура магматических горных пород / О. А. Богатиков [и др.]. – М. : Недра, 1981. – 160 с.
10. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л. М. Парфенов [и др.] // Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.
11. Объяснительная записка к геологической карте РФ масштаба 1:200 000. Лист М-50-Х. – М., 2000. – 132 с.
12. Первов В. А. Петрология позднемезозойских субщелочных вулканических пород Юго-Восточного Забайкалья и Монголии : автореф. дис. ... канд. / В. А. Первов. – М., 1988. – 24 с.
13. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
14. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика / В. В. Ярмолук [и др.] // Геотектоника. – 2000. – №5. – С. 3–29.
15. Тейлор С. Р. Континентальная кора, ее состав и эволюция / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннан. – М. : Мир, 1988. – 380 с.
16. 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.] // Lithos. – 2009. – Vol. 113. – P. 190–212.
17. Keskin M. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey / M. Keskin, J. A. Pearce, J. G. Mitchell // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1998. – Vol. 85. – P. 355–404.
18. Morrison G. W. Characteristics and tectonic setting of shoshonite rock association / G. W. Morrison // Lithos. – 1980. – Vol. 13, N 1. – P. 97–108.
19. Peccerillo A. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey / A. Peccerillo, S. R. Taylor // Contrib. Mineral. Petrol. – 1976. – Vol. 58, N 1. – P. 63–81.
20. Petrogenic evolution of late Cenozoic post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey / E. Aldamaz [et al.] // Journal of volcanology and geothermal research. – 2000. – Vol. 102. – P. 67–95.
21. Sun S. S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough // Magmatism in Ocean Basins. – Geol. Soc. London Spec. Publ. – 1989. – Vol. 42. – P. 313–346.

22. Tectonic setting of the Jurassic bimodal magmatism in the Sakarya Zone (Central and Western Pontides), Northern Turkey: A geochemical and isotopic approach / S. Genc [et al.] // *Lithos*. – 2010. – Vol. 118. – P. 95–111.

23. *Wilson M.* Igneous petrogenesis / M. Wilson. – London : Unwin Hyman, 1989. – 446 p.

## Trace element composition of Late Mesozoic rift-related volcanic rock assemblage of the Alexandrovo-Zavodsk depression structure, South-East Transbaikalian area

S. A. Sasim, V. S. Chukanova, N. N. Ilyna, J. V. Semenova,  
A. V. Oschepkova

**Annotation.** Classification, petrochemical and trace element features of the volcanic rocks of the upper beds of the Kailassk suite and Turginsk suite of South-East Transbaikalian area are considered. We argue what these rocks is J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub> rift-related assemblages. A set of mineralogical, petrographic, petrochemical and geochemical data were used to conclude that trachandesites and trachidacites of upper beds of the Kailassk suite were formed by processes of fractional crystallization and crust assimilation. The felsic rocks of Turginsk suite are related to the melts of continental crust material.

**Key words:** late Mesozoic, South-East Transbaikalian area, volcanic rocks, rift-related assemblage, trace element.

*Сасим Сергей Александрович*  
*Институт геохимии СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а*  
*младший научный сотрудник*  
*тел. (3952) 42–60–34*  
*Иркутский государственный университет*  
*664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1*  
*преподаватель*  
*тел.: (3952) 20–09–31*

*Sasim Sergey Alexandrovich*  
*Institute of Geochemistry SB RAS*  
*1A, Favorsky Str., Irkutsk, 664033*  
*scientific researcher*  
*tel.: (3952) 42–60–34*  
*Irkutsk State University*  
*1, K. Marx st., Irkutsk, 664003*  
*lecturer*  
*tel.: (3952) 20–09–31*

*Чуканова Валерия Сергеевна*  
*Институт геохимии СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а*  
*младший научный сотрудник*  
*тел.: (3952) 42–60–34*

*Chukanova Valerya Sergeevna*  
*Institute of Geochemistry SB RAS*  
*1A, Favorsky Str. Irkutsk, 664033*  
*scientific researcher*  
*tel.: (3952) 42–60–34*

*Ильина Наталья Николаевна*  
*Институт геохимии СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а*  
*инженер*  
*тел.: (3952) 42–60–34*

*Ilyna Natalya Nikolaevna*  
*Institute of Geochemistry SB RAS*  
*1A, Favorsky Str. Irkutsk, 664033*  
*engineer*  
*tel.: (3952) 42–60–34*

*Семенова Юлия Владимировна  
Институт геохимии СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а  
инженер  
тел.: (3952) 42–60–34*

*Semenova Julia Vladimirovna  
Institute of Geochemistry SB RAS  
1A, Favorsky Str. Irkutsk, 664033  
engineer  
tel.: (3952) 42–60–34*

*Ощепкова Анастасия Владимировна  
Институт геохимии СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а  
старший лаборант  
тел. (3952) 42–60–34  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
студент  
тел.: (3952) 20–16–39*

*Oshepkova Anastasia Vladimirovna  
Institute of Geochemistry SB RAS  
1A, Favorsky st., Irkutsk, 664033  
laboratory assistant  
tel.: (3952) 42–60–34  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
student  
tel.: (3952) 20–16–39*