

ПЕТРОГЕОХИМИЯ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНИТОВ КИСЕЛЕВСКО-МАНОМИНСКОГО АККРЕЦИОННОГО КОМПЛЕКСА (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)

И.П. Войнова, С.В. Зябрев

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000;
e-mail: ipvoynova@yandex.ru*

Поступила в редакцию 26 июля 2016 г.

Киселевско-Маноминский аккреционный комплекс сформирован в конце раннего мела в процессе субдукции океанической плиты Пацифики под Хингано-Охотскую активную континентальную окраину на востоке Евразии. Он сложен юрскими–раннемеловыми океаническими кремнями, кремнистыми алевропелитами и известняками, которые включают значительное количество основных вулканитов. В работе систематизируются имеющиеся и вновь полученные данные по петрогеохимии юрских и раннемеловых базальтов из различных частей аккреционного комплекса. На основе разностороннего анализа этих данных определяются возможные обстановки формирования базальтов. Петрогеохимические характеристики указывают на формирование базальтов в различных частях океанического ложа как в пределах спредингового хребта, так и на океанических островах вдали от него. В аккреционном комплексе преимущественно сохранены базальты океанических островов. Установленные вариации состава базальтов могут быть связаны с различной мощностью океанической литосферы, на которой они формировались, что обусловлено различной ее удаленностью от спрединговой зоны.

Ключевые слова: базальты, петрогеохимия, обстановки формирования, океаническое дно, аккреционный комплекс, юра, мел, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Киселевско-Маноминский аккреционный комплекс, сформированный в конце раннего мела, является частью раннемеловой Хингано-Охотской активной континентальной окраины, которая развивалась на конвергентной границе Евразии в процессе субдукции океанических плит Пацифики [11]. Он прослеживается во фронте амурского аккреционного комплекса в виде узкой (5–10 км) полосы северо-восточного простирания и разобшен постаккреционными субмеридиональными левосторонними сдвигами на три сегмента: Приуссурийский, Маноминский и Киселевский (рис. 1, 2). Аккреционный комплекс сложен преимущественно океаническими кремнями, кремнистыми алевропелитами и известняками, которые включают значительное количество основных вулканитов. Возраст океанических отложений определен на основе биостратиграфических исследований как ранняя юра–ранний мел, апт. Литолого-стратиграфические последовательности отложений разных сегментов описаны в серии публикаций [1–10, 12–15], петрохимическая характеристика вулканитов приво-

дится в [1, 4, 10, 15]. Но в статьях петрогеохимическая характеристика вулканитов приводится для отдельных сегментов, а в монографиях [2, 3, 10] либо отсутствует, либо рассматривается кратко. Это не позволяет охватить широту вариаций состава вулканитов и всего спектра обстановок их формирования. Предлагаемая работа ставит целью систематизировать имеющиеся данные по вулканитам трех сегментов Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, дополнить их петрогеохимическую характеристику и на основе анализа этих данных определить возможные геодинамические обстановки формирования вулканитов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основу работы составляют петрогеохимические материалы, полученные нами ранее по Киселевскому сегменту [1, 5], опубликованные данные по Маноминскому сегменту [12, 10, 15], опубликованные [10, 15] и оригинальные авторские данные по Приуссурийскому сегменту. Приводимые оригинальные анализы на петрогенные элементы были получены классическим методом (аналитик Боковенко Л.С.), на редкие и ред-

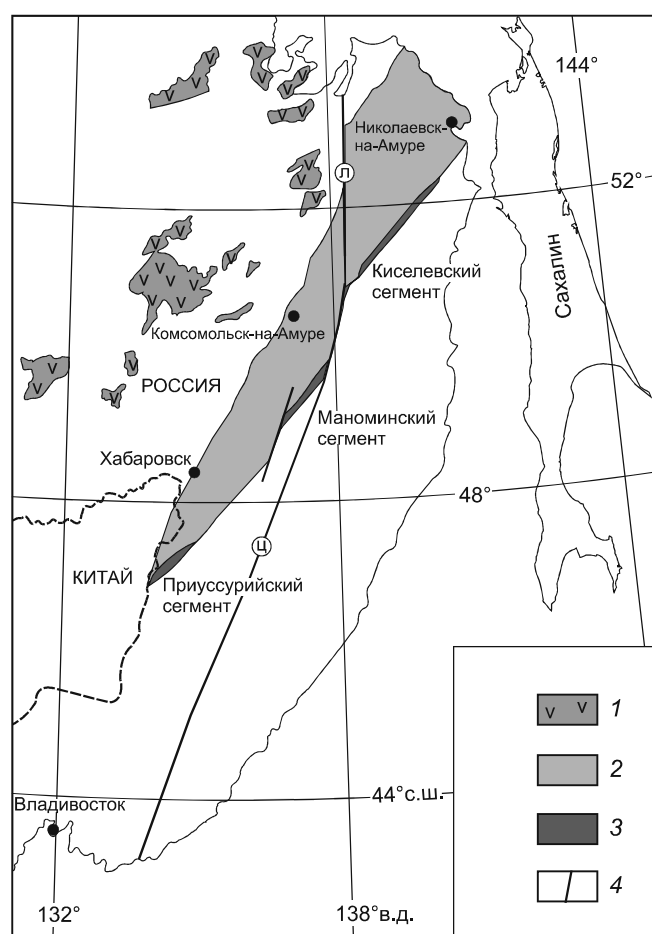


Рис. 1. Киселевско-Маноминский аккреционный комплекс и его сегменты в структуре раннемеловой Хингано-Охотской активной континентальной окраины, по [11] с изменениями.

1 – Хингано-Охотский вулканический пояс; 2–3 – аккреционные комплексы: 2 – Амурский, 3 – Киселевско-Маноминский; 4 – крупные разломы, включая Центральный Сихотэ-Алинский (ц) и Лимурчанский (л).

коземельные элементы – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ISP-MS Elan DRC II Perkin Elmer (США) (аналитики Авдеев Д.В., Боковенко Л.С.) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре ИТиГ ДВО РАН. Аналитические данные приведены в табл. 1, 2 (сумма петрогенных элементов пересчитана на 100 %). Для представления и интерпретации данных использованы широко применяемые петрогеохимические диаграммы (рис. 3–8).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНИТОВ

Вулканиты Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса представлены базальтами и их

гиалокластитами различной мощности, залегающими среди пелагических кремней и гемипелагических кремнистых алевропелитов. Часть базальтов ассоциирует с мелководными органогенно-обломочными известняками. Биостратиграфическим изучением ископаемых радиолярий [6–10, 12–15] было установлено присутствие раннемеловых (до баррема) кремней и позднебарремско-среднеаптских кремнистых алевропелитов. Базальты распространены во всех трех сегментах аккреционного комплекса, где они располагаются на различных стратиграфических уровнях осадочной последовательности. Ниже приводится краткая геологическая характеристика трех сегментов Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса и рассматривается стратиграфическое положение базальтов и их петрография.

Киселевский сегмент аккреционного комплекса в районе с. Киселевка на Нижнем Амуре сложен группой тектонических пластин преимущественно вулканогенно-кремнистых пород. Возраст кремней определен в интервале от ранней юры, геттанга до раннего мела, баррема, а возраст кремнистых алевропелитов – баррем–ранний апт (рис. 2). Базальты присутствуют в верхних пластинах северо-западной части комплекса и представляют собой продукты подводных излияний. В двух верхних пластинах несколько разрозненных пластов базальтов и их группы залегают среди отложений позднего готерива–раннего апта [6, 9]. Эти базальты представлены массивными и минадлекарными разновидностями, в некоторых пластах проявлена подушечная отдельность. Породы характеризуются мелко- и тонкокристаллической структурой и афировым сложением. В третьей сверху пластине базальты залегают на органогенно-обломочных известняках раннего лейаса, что определяет наиболее древний их возраст. Среди базальтов выделяются гиалокластиты и лавобрекчи, разделяющие отдельные потоки. Внутренние части потоков отличаются порфировой структурой с вкрапленниками оливина размером до 1 см. Более подробная петрографическая характеристика описываемых базальтов приведена нами ранее [1]. Палеомагнитными исследованиями установлено формирование раннемеловых базальтов на широте $18^\circ \pm 5^\circ$ с.ш., близкой к позиции современного о. Гавайи [4, 5].

Маноминский сегмент аккреционного комплекса в нижнем течении р. Маномы сложен вулканогенно-кремнистыми породами, возраст которых по ископаемым радиоляриям установлен в интервале от ранней юры, геттанга-тоара до раннего мела, апта-альба [12]. Яшмы занимают интервал от ранней юры до раннего мела, берриаса и сменяются вверх по разрезу кремнистыми аргиллитами. Базальты слага-

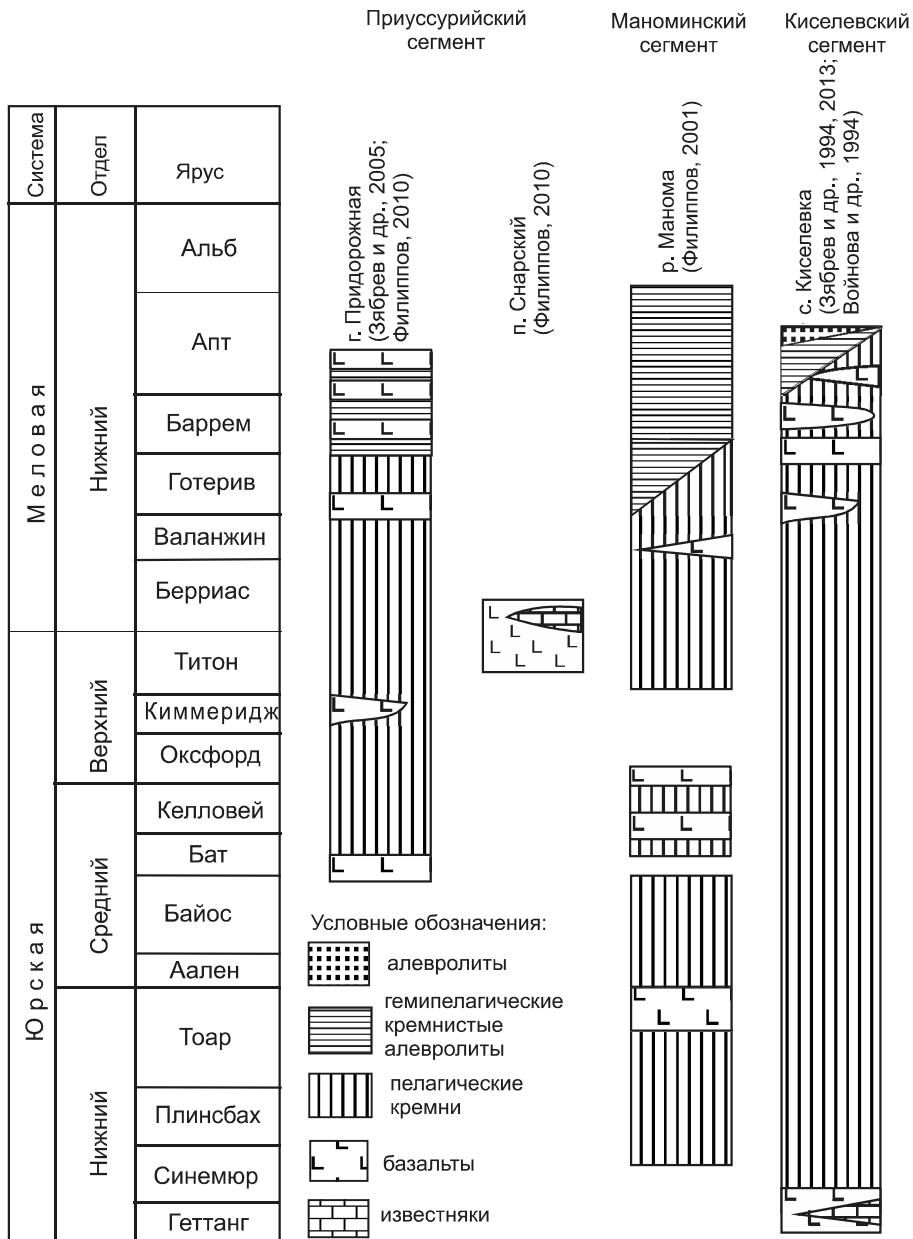


Рис. 2. Распределение базальтов в стратиграфических последовательностях отложений трех сегментов Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, по [1, 6, 9, 12, 15], с дополнениями.

ют тела мощностью до нескольких десятков метров и представлены массивными и миндалекаменными разновидностями, а также кластолавами с обломками яшм [10, 12]. По положению в разрезе (рис. 2) установлен их тоарский, бат-келловейский, оксфордский и валанжинский возраст [12].

Приуссурийский сегмент аккреционного комплекса на правобережье р. Уссури изучен близ пос. Снарский и в районе гор Придорожная, Глебово, Известковая [7, 13–15]. В районе гор Придорожная и Глебово базальты залегают среди батских-готерив-

ских кремней и баррем-аптских кремнистых алевропелитов. На окраине пос. Снарский базальты находятся в ассоциации с крупными телами органогенно-обломочных и оолитовых известняков, возраст которых определен как позднетитонский–берриасский [14] или берриас-валанжинский [8].

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНИТОВ

Вулканыты Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса характеризуются в соответствии

Таблица 1. Петрохимический состав (в мас. %) базальтов Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса.

№ обр.	Приуссурийский сегмент															Маноминский сегмент					
	ПД-4	ПД-7	ПД-9	ПД-9а	ПД-9б	ПД-21	Гл 2	11/3	746/2	1502	1502/3	1501	7/2	6/3	M13	M15	M28	M76	M110		
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SiO ₂	50.89	54.88	48.29	49.00	48.38	48.51	46.16	49.45	50.36	44.50	47.87	48.87	51.00	49.61	50.86	52.46	50.11	51.58	52.47		
TiO ₂	2.65	3.10	3.30	3.25	3.33	3.15	3.63	2.89	3.18	1.74	1.50	1.92	2.59	2.01	2.99	2.78	3.33	2.74	0.90		
Al ₂ O ₃	17.29	13.95	17.13	16.54	17.18	11.66	15.86	18.66	13.93	16.16	21.06	15.35	14.98	15.06	13.88	16.50	17.60	16.56	16.45		
FeO ₁	12.65	11.86	13.29	13.53	13.05	15.47	17.36	12.00	11.06	12.89	10.50	13.69	13.73	11.95	12.03	11.74	9.18	10.40	12.24		
MnO	0.14	0.10	0.15	0.05	0.17	0.17	0.27	0.24	0.20	0.19	0.16	0.27	0.24	0.18	0.29	0.23	0.12	0.22	0.23		
MgO	2.78	3.78	2.41	2.50	2.32	5.76	4.23	3.32	6.45	8.32	5.90	6.23	6.47	6.98	6.22	4.00	5.56	6.15	4.66		
CaO	3.81	5.69	3.90	3.89	4.14	9.28	6.09	5.55	10.36	11.43	8.16	9.99	8.49	10.37	5.21	3.07	7.07	7.09	6.96		
Na ₂ O	7.04	4.96	5.56	5.38	5.60	4.56	5.22	4.20	3.52	3.75	4.42	3.28	3.59	3.52	5.66	4.50	3.86	3.35	3.49		
K ₂ O	0.87	0.37	3.54	3.48	3.57	0.45	0.75	3.05	0.26	0.18	0.18	0.11	0.13	0.12	1.78	4.13	2.65	1.38	2.26		
P ₂ O ₅	0.55	0.42	1.03	0.96	0.90	0.36	0.44	0.63	0.29	0.21	0.22	0.22	0.29	0.21	1.09	0.80	0.57	0.52	0.35		

№ обр.	Киселевский сегмент															IV (195)			
	5-6	9-11	42-44	110-113	118-121	131	139	145-146	154-157	159-161	162	163-165	173	195	I (5-11)		I (42-44)	II (110-146)	III (154-173)
№ п/п	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
n	3	4	5	4	5	1	1	2	4	4	1	2	1	1	7	5	13	9	1
SiO ₂	49.90	48.44	53.89	47.86	47.65	47.15	48.40	48.76	47.23	47.83	48.77	47.81	44.77	47.21	49.07	53.89	47.90	47.42	47.21
TiO ₂	1.70	2.82	1.71	2.12	2.69	1.93	2.40	2.73	2.37	2.14	2.67	1.70	2.85	2.57	2.34	1.71	2.44	2.27	2.57
Al ₂ O ₃	18.65	16.36	14.89	16.38	15.56	12.43	15.58	15.08	16.16	13.02	16.60	12.41	16.40	16.20	17.34	14.89	15.50	14.68	16.20
FeO ₁	10.28	15.09	9.30	11.96	10.43	12.41	10.55	13.67	12.53	12.57	12.51	11.82	14.07	12.78	13.03	9.30	11.56	12.57	12.78
MnO	0.12	0.10	0.21	0.14	0.26	0.13	0.12	0.18	0.12	0.13	0.08	0.10	0.16	0.13	0.11	0.21	0.19	0.12	0.13
MgO	7.09	3.28	3.76	6.34	7.51	8.76	5.41	5.87	6.74	7.59	4.72	8.37	7.77	8.52	4.91	3.76	6.84	7.31	8.52
CaO	5.83	6.19	7.83	8.81	10.10	12.72	12.23	7.23	7.96	10.93	8.21	13.21	9.16	7.05	6.04	7.83	9.63	9.73	7.05
Na ₂ O	5.39	4.78	5.67	4.31	4.61	2.85	4.37	5.27	4.77	3.50	4.38	2.86	3.03	4.22	5.04	5.67	4.46	3.87	4.22
K ₂ O	0.62	1.10	1.64	1.06	0.79	0.59	0.14	0.21	0.93	0.97	0.80	0.61	0.34	0.07	0.89	1.64	0.72	0.77	0.07
P ₂ O ₅	0.47	0.43	0.40	0.33	0.26	0.23	0.42	0.36	0.32	0.30	0.36	0.20	0.42	0.35	0.45	0.40	0.31	0.30	0.35

Примечание. Положение базальтов: 1–14 – Приуссурийский сегмент; 1–9 – г. Придорожная, включая 8, 9 – г. Глебово (8 – среднерорский, выс. отг. 366.0), 10–14 – пос. Снарский; 15–19 – Маноминский сегмент; 20–38 – Киселевский сегмент; 20–33 – средние составы по потокам, 34–38 – средние составы по тектоническим пластинам. Анализы 1–6 – авторские, 8–14 – по [Филиппов, 2010], 15–19 – по [Маркевич, 2000], 20–38 – авторские, по [Войнова, 1994]. n – количество анализов, FeO₁ – суммарное железо.

Таблица 2. Геохимический состав (в г/г) базальтов Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса.

№ обр. № п/п	Приуссурийский сегмент														Маноминский сегмент					
	ПД-4 1	ПД-4а 2	ПД-5 3	ПД-7 4	ПД-9 5	ПД-21 6	ПД-21а 7	Гл 2 8	11/3 9	1502 10	1502/3 11	1501 12	7/2 13	6/3 14	M28 15	M76 16	M110 17	1 18		
Sc	21.16	21.50	15.48	23.35	18.612	24.52	24.68	0.31	9.75	50.79	32.69	42.56	36.54	37.68	-	-	-	-		
Rb	28.35	28.51	43.30	13.50	86.81	5.88	6.04	8.67	37.77	1.69	1.98	1.98	2.75	2.48	35	40	71	21.08		
Sr	335.72	331.25	245.31	136.61	203.26	259.93	263.32	232.22	783	257.80	273.46	229.13	295.64	139.13	354	471	424	392.5		
Y	31.30	32.51	27.30	36.29	51.51	30.57	31.14	31.45	25.92	30.00	25.15	26.42	31.95	24.12	26	19	23	24.8		
Zr	141.22	147.66	159.44	189.61	154.72	250.02	263.93	167.98	186	102.17	70.95	73.97	109.80	105.56	314	258	62	234.24		
Nb	26.90	27.61	25.11	30.62	55.67	31.31	32.14	28.90	77.89	4.81	7.44	6.99	9.17	5.91	36	35	8	41.26		
Cs	1.81	1.84	3.40	0.31	2.58	1.39	1.41	31.82	0.43	2.69	7.91	0.14	0.15	0.06	-	-	-	-		
Ba	236.88	118.12	266.63	38.70	438.14	167.42	141.67	173.74	925	51.56	54.93	48.48	39.36	22.39	-	-	-	485		
La	77.74	79.55	37.67	30.66	36.98	30.56	30.33	23.52	58.34	5.52	7.83	7.91	10.46	6.46	-	-	-	29.73		
Ce	140.78	143.37	84.76	58.60	94.39	65.71	66.28	53.45	106.01	15.17	18.93	18.71	27.04	17.40	-	-	-	61.37		
Pr	16.01	16.16	9.38	7.82	13.17	8.53	8.43	7.58	13.62	2.43	2.47	2.78	3.94	2.54	-	-	-	-		
Nd	53.91	53.45	35.91	31.96	57.59	34.80	35.00	34.08	52.23	12.97	14.27	13.74	20.64	13.15	-	-	-	32.48		
Sm	7.19	7.32	6.98	7.85	14.16	7.45	7.52	8.60	10.30	3.73	3.98	3.91	5.80	3.80	-	-	-	7.39		
Eu	2.18	2.23	1.77	2.64	4.16	2.39	2.39	2.43	3.30	1.42	1.36	1.36	1.85	1.31	-	-	-	2.60		
Gd	8.46	8.52	6.95	8.83	14.33	7.93	7.85	8.19	10.05	4.97	4.77	4.81	6.28	4.41	-	-	-	7.86		
Tb	1.11	1.12	0.95	1.37	2.15	1.11	1.11	1.30	1.30	0.82	0.79	0.77	1.02	0.70	-	-	-	-		
Dy	5.61	5.53	4.85	7.38	10.99	5.68	5.72	5.78	6.37	5.30	4.69	4.87	6.34	-	-	-	-	5.86		
Ho	0.96	0.97	0.87	1.26	1.82	0.97	0.99	1.09	1.12	1.12	0.97	1.04	1.28	0.99	-	-	-	-		
Er	2.72	2.75	2.47	3.28	4.54	2.67	2.72	3.28	2.64	2.99	2.44	2.69	3.28	2.62	-	-	-	2.44		
Tm	0.38	0.38	0.36	0.46	0.60	0.37	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Yb	2.23	2.28	2.22	2.57	3.26	2.15	2.16	1.95	2.34	2.60	2.04	2.33	2.70	2.23	-	-	-	2.24		
Lu	0.32	0.33	0.34	0.35	0.43	0.32	0.31	0.22	0.26	0.38	0.25	0.31	0.39	0.36	-	-	-	-		
Hf	3.47	3.57	4.33	5.03	4.65	5.88	6.00	5.27	5.89	3.03	2.56	3.02	4.01	3.23	-	-	-	6.54		
Ta	2.01	1.99	2.07	2.30	4.26	2.30	2.274	2.11	4.16	0.35	0.51	0.66	0.70	0.47	-	-	-	2.08		
Th	2.15	2.22	8.38	2.86	2.85	2.45	2.48	1.63	6.27	0.39	0.49	0.60	0.55	0.45	-	-	-	3.45		

Примечание. Положение базальтов: 1-14 – Приуссурийский сегмент: 1-9 – г. Придорожная, включая 9 – г. Глебово, выс. отн. 366.0 (среднеорский), 10-14 – пос. Снарский, 15-18 – Маноминский сегмент, 19-36 – Киселевский сегмент. Анализы 1-7, 19-36 – авторские, 8-14, 18 – по [Филиппов, 2010], 15-17 – по [Маркевич, 2000].

Таблица 2. (продолжение).

№ обр.	Киселевский сегмент																			
	5	9	9a	11	11a	44	110	111	113	118	120	146	154	155	160	160a	161	173		
№ п/п	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Sc	16.06	27.27	25.13	29.50	24.11	16.34	23.97	30.27	31.62	22.92	29.14	27.65	30.35	30.57	39.88	38.33	22.49	24.19		
Rb	10.35	35.74	32.45	26.01	21.11	34.96	47.35	50.90	33.39	15.99	8.10	6.27	6.38	14.64	17.23	16.39	19.79	2.52		
Sr	389.16	456.40	415.57	501.31	411.59	365.06	432.80	427.37	629.84	343.13	350.66	333.03	426.09	279.69	277.95	269.52	714.78	425.32		
Y	25.42	47.35	42.36	36.41	29.17	28.03	22.83	26.06	26.24	29.76	25.41	31.62	24.52	29.51	20.32	19.63	26.00	27.96		
Zr	152.14	189.47	167.07	203.40	153.02	125.79	115.78	135.27	137.64	120.16	110.75	164.57	124.48	155.67	131.28	124.68	147.85	161.08		
Nb	72.84	16.10	14.54	17.64	13.80	22.00	22.65	28.04	28.38	24.18	21.53	31.00	24.44	30.15	25.37	23.96	31.72	39.61		
Cs	0.86	1.16	1.09	0.70	0.56	0.86	0.54	0.31	0.22	0.50	0.22	0.11	0.48	0.19	0.15	0.15	0.06	0.07		
La	43.45	18.07	16.43	16.76	13.75	31.71	18.32	22.29	23.75	20.85	18.47	24.31	22.25	22.85	18.39	17.55	23.84	29.92		
Ce	83.56	37.90	33.81	38.78	31.13	61.26	39.18	46.12	48.11	43.96	39.68	51.05	45.47	47.27	38.78	36.91	50.11	62.99		
Pr	9.46	6.12	5.55	5.71	4.61	7.66	4.84	5.79	5.93	5.37	5.02	6.51	5.47	5.96	4.91	4.70	6.29	7.58		
Nd	33.97	28.64	25.74	26.04	21.09	32.09	20.07	23.46	24.55	22.27	21.01	26.95	22.20	24.98	20.19	19.29	25.59	29.83		
Sm	5.97	7.52	6.82	6.96	5.70	7.37	4.53	5.45	5.61	5.20	4.76	6.20	4.93	5.83	4.57	4.48	5.73	6.26		
Eu	1.74	2.48	2.23	2.36	1.91	2.46	1.54	1.85	1.96	1.75	1.59	2.07	1.69	1.91	1.52	1.46	1.94	2.00		
Gd	6.08	8.51	7.57	7.68	6.20	7.44	4.98	5.90	6.16	5.86	5.34	6.71	5.29	6.28	4.87	4.62	6.06	6.66		
Tb	0.80	1.35	1.19	1.20	0.98	1.03	0.74	0.86	0.89	0.88	0.78	1.01	0.79	0.94	0.71	0.68	0.88	0.95		
Dy	4.32	7.45	6.59	6.56	5.32	5.23	4.91	4.67	4.78	4.86	4.26	5.56	4.35	5.26	3.74	3.62	4.68	5.14		
Ho	0.78	1.37	1.19	1.16	0.94	0.88	0.72	0.83	0.84	0.90	0.78	1.03	0.79	0.94	0.67	0.64	0.84	0.92		
Er	2.34	3.73	3.33	3.12	2.51	2.39	2.00	2.32	2.36	2.52	2.18	2.86	2.24	2.68	1.85	1.75	2.35	2.67		
Tm	0.35	0.54	0.47	0.44	0.35	0.33	0.29	0.33	0.34	0.37	0.32	0.42	0.33	0.40	0.27	0.25	0.34	0.39		
Yb	2.17	3.04	2.70	2.54	2.03	1.92	1.79	1.92	1.97	2.10	1.91	2.50	1.92	2.33	1.58	1.50	2.03	2.42		
Lu	0.35	0.47	0.39	0.38	0.28	0.28	0.27	0.28	0.29	0.32	0.29	0.37	0.30	0.35	0.23	0.22	0.30	0.35		
Hf	3.30	4.53	4.06	4.81	3.81	2.80	2.60	3.11	3.20	2.66	2.57	4.07	2.97	3.69	2.95	2.91	3.50	3.75		
Ta	5.03	1.22	1.08	1.33	1.03	1.22	1.55	1.91	1.95	1.61	1.55	2.24	1.75	2.15	1.75	1.68	2.20	2.78		
Th	7.53	1.12	1.00	1.21	0.98	3.20	1.54	1.94	2.41	1.78	1.57	2.41	1.97	2.36	1.99	1.90	2.21	3.02		

с их принадлежностью трем его сегментам. В Приуссурийском сегменте отдельно рассматриваются резко различающиеся вулканы г. Придорожной (и г. Глебово), залегающие среди кремнистых отложений, и вулканы на окраине пос. Снарский, ассоциирующие с известняками. Среди вулканических пород всего аккреционного комплекса преобладают базальты с содержаниями SiO_2 от 47 до 50 %, реже встречаются пикробазальты с $\text{SiO}_2 = 44\text{--}45\%$ и андезибазальты с $\text{SiO}_2 = 52\text{--}55\%$ (рис. 3 а). Они соответствуют сериям пород нормальной щелочности и умеренно-щелочной ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O} = 3\text{--}9\%$), реже – щелочной. Судя по диаграмме соотношения кремнезема, титана и циркона, нивелирующей весьма подвижное поведение и перераспределение щелочей в породах подводных излияний и спилитизированных (рис. 3 б), вулканы также относятся преимущественно к базальтам нормальной щелочности и щелочным, причем характер сонахождения фигуративных точек в целом у обеих классификационных диаграмм сходен. Наименьшими щелочностью ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O} = 3\text{--}4\%$) и калиевостью ($\text{K}_2\text{O} < 0.5\%$) обладают базальты Приуссурийского сегмента у пос. Снарский (рис. 3 а, в). Все базальты характеризуются преобладанием Na_2O над K_2O . Тенденция к повышенным содержаниям щелочей, особенно калия, наблюдается в базальтах Маноминского сегмента и некоторых образцов района г. Придорожной (рис. 3 а, в). Базальты имеют ферротитановую специализацию, причем она возрастает в ряду базальты Приуссурийского сегмента у пос. Снарский – базальты Киселевского сегмента – базальты Маноминского сегмента – базальты Приуссурийского сегмента на г. Придорожной (рис. 3 г). Содержание TiO_2 варьирует в пределах 1.5–4 %, при этом наименьшая титанистость характерна для базальтов Приуссурийского сегмента у пос. Снарский, наибольшая – для базальтов того же сегмента на г. Придорожной и базальтов Маноминского сегмента. Содержание FeO_1 изменчиво от 9 до 17.5 % (в гематитовых разновидностях). Содержания других элементов нестабильны и изменчивы в следующих интервалах: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11\text{--}21\%$, $\text{MgO} = 2\text{--}9\%$, $\text{CaO} = 3\text{--}13\%$.

Распределение составов редкоземельных элементов (REE) в базальтах имеет характер, соответствующий их распределению в океанических вулканах. На спайдер-диаграммах хондрит-нормированных составов REE (рис. 4 а, б, в) графики демонстрируют в целом обогащение легкими редкоземельными элементами (LREE) и распределяются следующим образом. Наименьшим обогащением по La от 20 до 50 раз характеризуются базальты Приуссурийского сегмента у пос. Снарский – распределение их REE наиболее близко распределению в базальтах типа E-MORB

(рис. 4 в). Для базальтов Киселевского сегмента характерно среднее обогащение La в 60–100 раз, в единичном случае – в 200 раз, их кривые преимущественно располагаются между типовыми графиками базальтов типа OIB и E-MORB, имея наибольшее сходство с OIB (рис. 4 а). Базальты Маноминского сегмента обогащены La в среднем немногим более 100 раз и их график наиболее близок типовому для OIB (рис. 4 а, б, в). Наибольшее обогащение по La (100–350 раз) характерно для базальтов Приуссурийского сегмента на г. Придорожной (рис. 4 б). На спайдер-диаграммах средних хондрит-нормированных составов редких элементов (рис. 4 г, д, е) проявлена та же закономерность по характеру обогащения и сродства с типовыми базальтами. Различия в распределении редких элементов ярко выражены на спайдер-диаграммах содержания, нормированных по MORB. На них графики распределения для базальтов Киселевского, Маноминского сегментов и Приуссурийского сегмента на г. Придорожной конформны типовому графику OIB (рис. 4 ж, з), в то время как график распределения редких элементов в базальтах Приуссурийского сегмента у пос. Снарский конформен таковому у базальтов типа N-MORB (рис. 4 и). Это подчеркивает схожесть последних базальтов со спрединговыми. Для всех базальтов выявляются характерные для базальтов океанических островов Ta-Nb максимумы и Sr-минимумы (рис. 4 г, д, е).

Дискриминационные петрогеохимические диаграммы позволяют определить различные геодинамические обстановки формирования рассматриваемых вулканических образований в пределах океанического ложа. На диаграмме Th-Hf/3-Nb/16 (рис. 5 а) и подобных диаграммах Th-Hf/3-Ta и Th-Zr/117-Nb/16 фигуративные точки базальтов Приуссурийского сегмента у пос. Снарский располагаются у границы полей E-MORB и N-MORB. Точки базальтов Киселевского и Маноминского сегментов, а также Приуссурийского сегмента на г. Придорожной располагаются преимущественно в поле внутриплитных базальтов, но небольшое их количество – также и в поле E-MORB.

Диаграммы $\text{Mn}\cdot 10\text{--TiO}_2\text{--P}_2\text{O}_5\cdot 10$ (рис 5 б) и $\text{Zr}/4\text{--}2\text{Nb--Y}$ (рис. 5 в) позволяют, кроме выделения основных типов базальтов, разделить внутриплитные базальты на толеитовые и щелочные. Судя по этим диаграммам, среди базальтов Киселевского и Маноминского сегментов, а также Приуссурийского сегмента на г. Придорожной присутствуют оба их типа, причем преобладают щелочные, особенно в Маноминском сегменте и Приуссурийском сегменте на г. Придорожной. Среди базальтов Приуссурийского сегмента у пос. Снарский щелочных разновидностей нет, лишь к базальтам типа MORB (E-MORB) добавля-

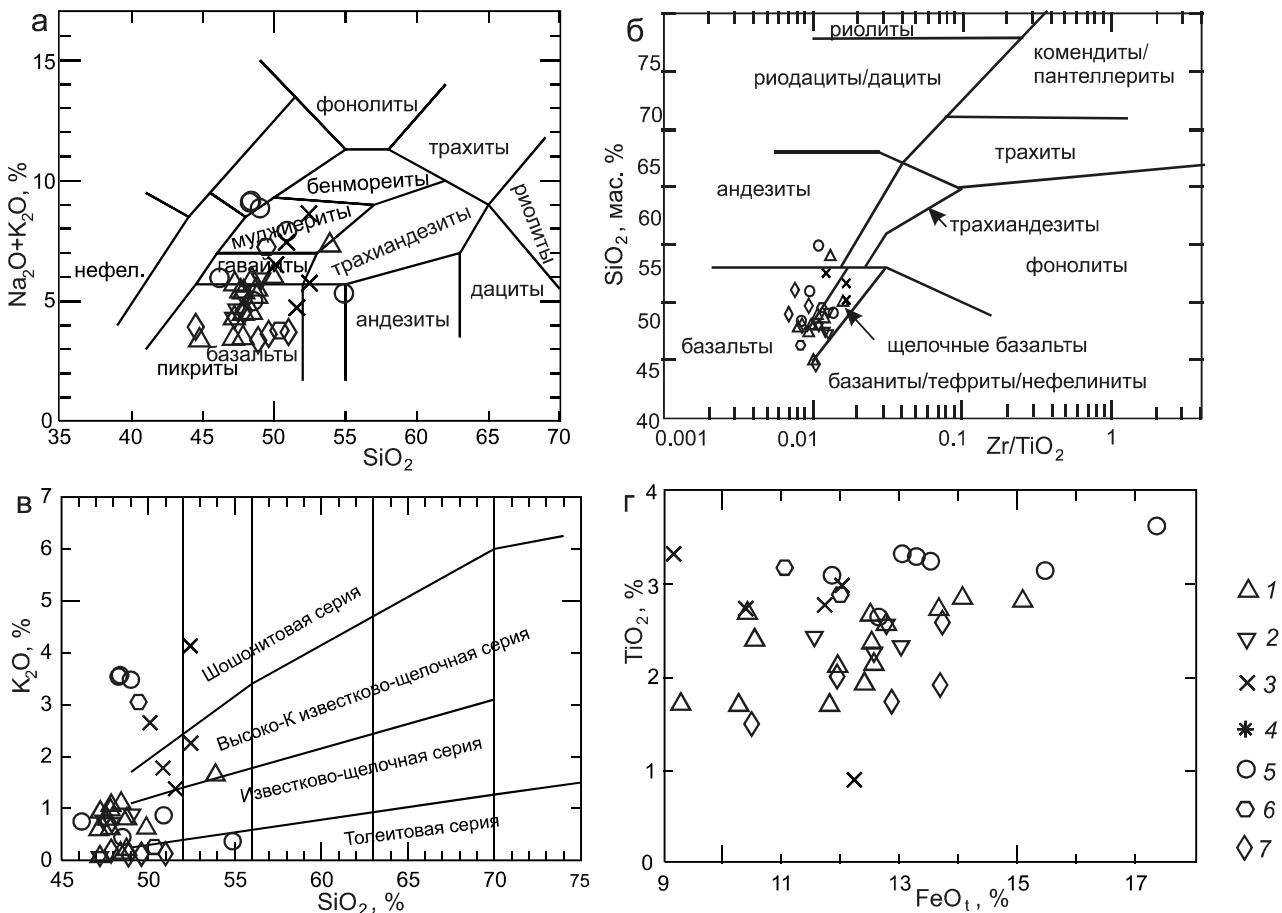


Рис. 3. Парные петрохимические диаграммы: а – классификационная TAS-диаграмма (по [18]), б – классификационная диаграмма Zr/Ti–SiO₂ (по [27]), в – K₂O–SiO₂ (поля по [24]), г – соотношение TiO₂ и FeO₁ в составе вулканитов.

Здесь и далее на петрогеохимических диаграммах: базальты: 1–2 – Киселевского сегмента (1 – частные анализы и средние (при n > 1) по потокам, 2 – средние по тектоническим пластинам), 3–4 – Маноминского сегмента (3 – частные анализы, 4 – средний анализ), 5–7 – Приуссурийского сегмента (районы: 5 – г. Придорожной, 6 – г. Глебово, 7 – п. Снарского). Прямым крестом на диаграммах показаны составы N-MORB, E-MORB и OIB.

ется небольшое количество толеитовых внутриплитных. Положение фигуративных точек этих базальтов на диаграмме La/10–Y/15–Nb/8 (рис. 5 г) позволяет отнести их к наименее обогащенным E-MORB, которые определяются как переходные базальты типа T(transitional)-MORB. На диаграмме Ce–Sr–Sm базальты у пос. Снарский распознаются как спрединговые базальты задуговых бассейнов (рис. 5 д).

Соотношения Nb–Zr–Y (рис. 6 а) свидетельствуют о формировании базальтов из плюмовых источников на океанических плато и океанических островах, причем точки базальтов Приуссурийского сегмента у пос. Снарский располагаются в поле базальтов океанических плато, близ фигуративной точки эталонного состава примитивной мантии, точки базальтов этого же сегмента на г. Придорожной – в поле базальтов океанических островов. Точки базальтов Киселевского и Маноминского сегментов располагаются

в обоих полях, но преимущественно – в поле базальтов океанических островов (рис. 6 а). Геохимические типы источников, судя по соотношениям Th–Ta–Yb, соответствуют тренду эволюции океанических мантийных магм и имеют обогащенный в различной степени характер: составы источников базальтов Приуссурийского сегмента у пос. Снарский отличаются наименьшей обогащенностью и близки составу E-MORB, источники остальных базальтов имеют в различной степени большую обогащенность, достигающую до уровня в источниках базальтов типа OIB (рис. 6 б).

Подводя итог этого рассмотрения, можно констатировать, что в Киселевско-Маноминском аккреционном комплексе присутствуют базальты, сформированные из плюмовых, в различной степени обогащенных источников. В разных его сегментах аккрецированы и сохранены базальты различных типов:

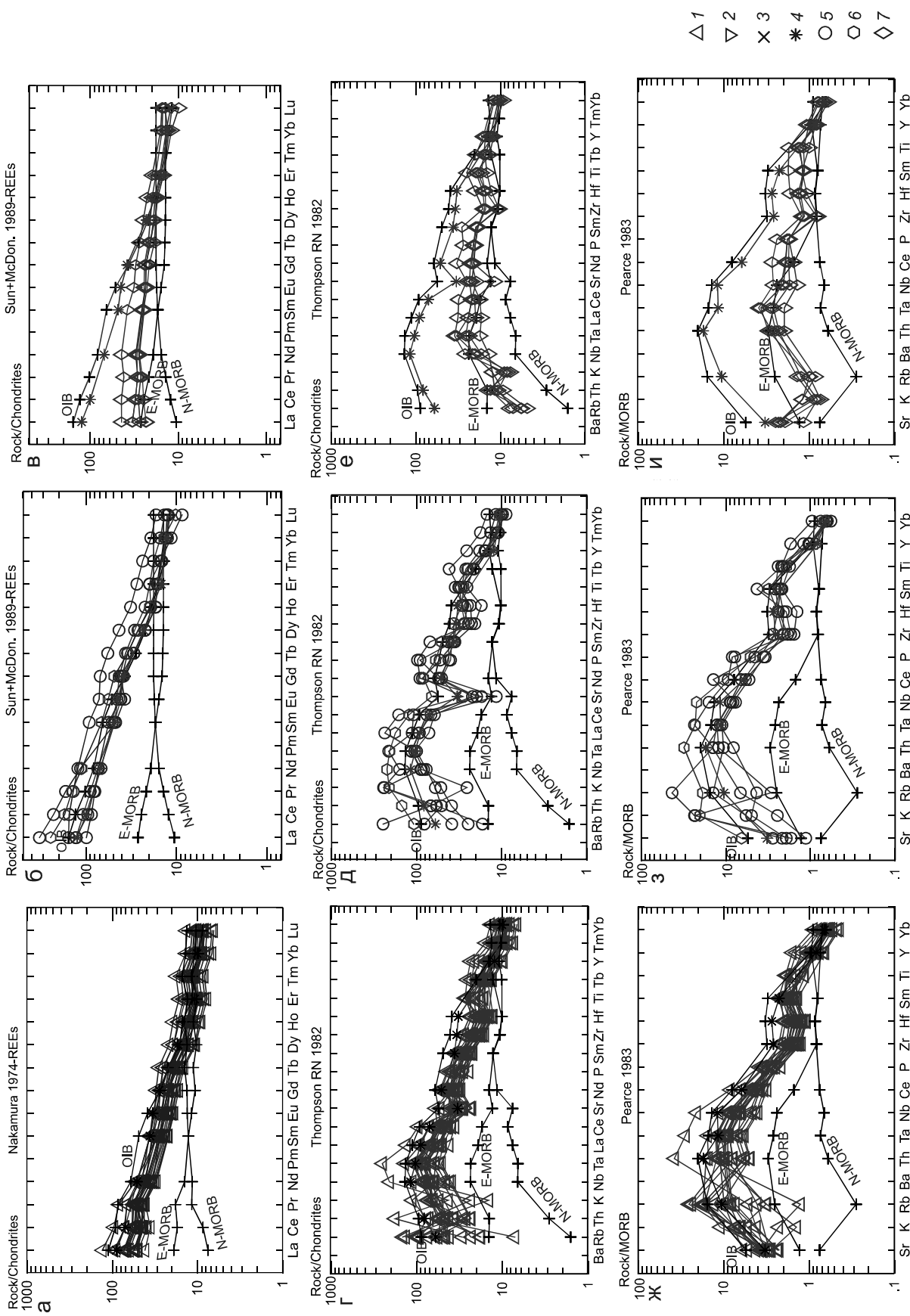


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов (нормирование по хондриту [25]) (а, б, в) и мультидиаграммы (нормирование по хондриту [26]) (г, д, е) и MORB [23] (ж, з, и).
Условные обозначения на рис. 3.

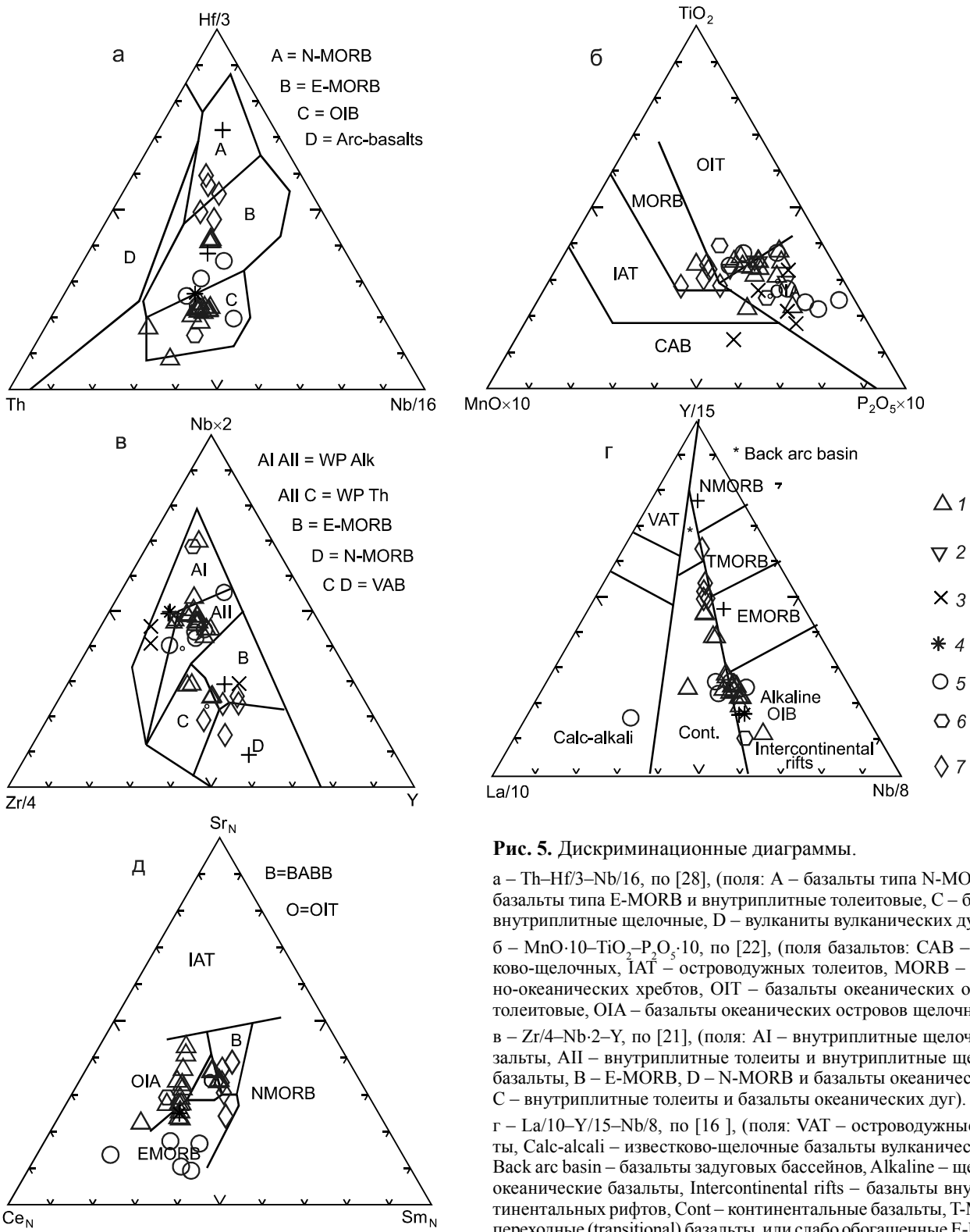


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы.

а – Th–Hf/3–Nb/16, по [28], (поля: А – базальты типа N-MORB, В – базальты типа E-MORB и внутриплитные толеитовые, С – базальты внутриплитные щелочные, D – вулканиты вулканических дуг);

б – MnO·10–TiO₂–P₂O₅·10, по [22], (поля базальтов: CAB – известково-щелочных, IAT – островодужных толеитов, MORB – срединно-океанических хребтов, OIT – базальты океанических островов толеитовые, OIA – базальты океанических островов щелочные);

в – Zr/4–Nb·2–Y, по [21], (поля: AI – внутриплитные щелочные базальты, AII – внутриплитные толеиты и внутриплитные щелочные базальты, B – E-MORB, D – N-MORB и базальты океанических дуг, C – внутриплитные толеиты и базальты океанических дуг).

г – La/10–Y/15–Nb/8, по [16], (поля: VAT – островодужные толеиты, Calc-alkali – известково-щелочные базальты вулканических дуг, Back arc basin – базальты задуговых бассейнов, Alkaline – щелочные океанические базальты, Intercontinental rifts – базальты внутриконтинентальных рифтов, Cont – континентальные базальты, T-MORB – переходные (transitional) базальты, или слабо обогащенные E-MORB);

д – Ce_N–Sr_N–Sm_N, по [20], (поля базальтов: IAT – островодужные толеиты, OIT – базальты океанических островов толеитовые, OIA – базальты океанических островов щелочные, MORB – базальты срединно-океанических хребтов типа N и E, BABB – базальты задугового спрединга).

Условные обозначения на рис. 3.

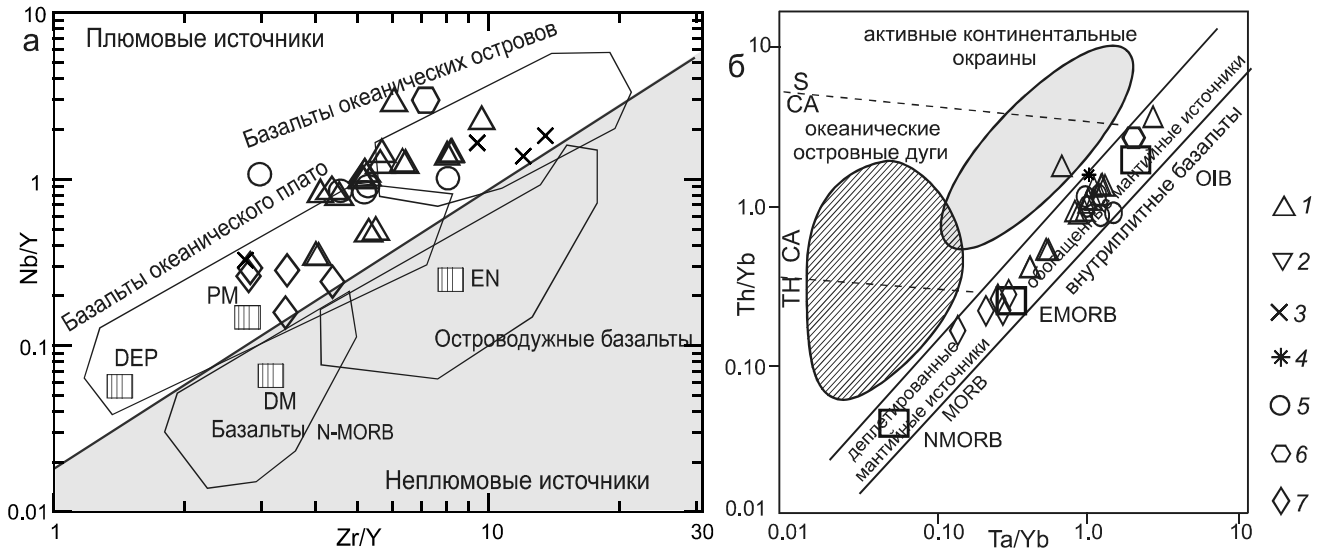


Рис. 6. Диаграммы Nb/Y–Zr/Y (а), по [17], и Th/Yb–Ta/Yb (б), по [23].

PM – примитивная мантия, DM – малоглубинная деплетированная мантия, EN – обогащенная мантия, DEP – глубинная деплетированная мантия; серии пород: TH – толеитовая, CA – известково-щелочная, S – щелочная. Условные обозначения на рис. 3.

MORB (E-MORB и даже менее обогащенных, типа T-MORB, приближающихся по петрохимическим характеристикам к N-MORB) и OIB (толеитовые и щелочные). Большинство базальтов формировалось на океанических островах во внутриплитной обстановке, они ассоциируют с кремнистыми пелагическими отложениями. В Приуссурийском сегменте базальты г. Придорожной имеют наиболее щелочной и обогащенный характер. В том же сегменте у п. Снарский базальты соответствуют T-MORB, и их формирование, видимо, связано со спрединговым процессом. Дифференцированность совокупности базальтов демонстрирует диаграмма Gd/Yb–Gd (рис. 7), на которой базальты различного местонахождения четко разделяются на самостоятельные группы. Наиболее примитивными, соответствующими плато-базальтам, являются базальты Приуссурийского сегмента у пос. Снарский. Остальные базальты аккреционного комплекса образуют тренд от наименее обогащенных в Киселевском сегменте через промежуточные в Маноминском сегменте до наиболее обогащенных базальтов океанических островов в Приуссурийском сегменте на г. Придорожной. Среди последних юрские базальты относятся к наиболее обогащенным разновидностям.

Установленные значительные вариации петрохимических составов базальтов, возможно, являются следствием различной мощности океанической литосферы, на которой они формировались. Так, соотнеся геохимические метки изученных базальтов с графиком «[Sm/Yb]_{CN} – мощность литосферы», по

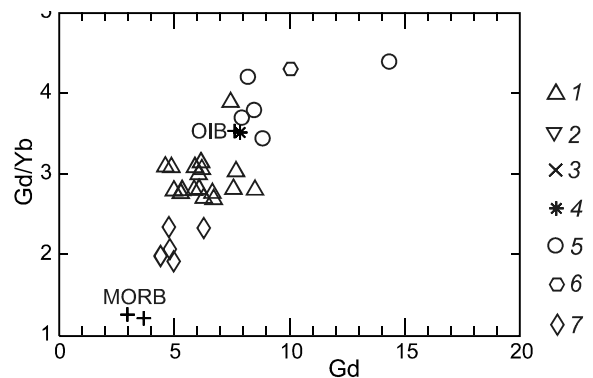


Рис. 7. Соотношения Gd и Yb.

Условные обозначения на рис. 3.

[19], можно предполагать следующее распределение мощности океанической литосферы при формировании базальтов: Приуссурийского сегмента у пос. Снарский – минимальную, Киселевского сегмента – 5–25 км, Маноминского сегмента – 25–40 км, Приуссурийского сегмента на г. Придорожной – 25–40 и 60–70 км (рис. 8). Минимальная мощность океанической литосферы для базальтов у пос. Снарский указывает на ее юный возраст. Это согласуется с предполагаемым формированием этих базальтов в центре спредингового хребта. Ассоциация базальтов с оолитовыми известняками берриаса показывает, что гребень этого хребта вероятно достигал поверхности океана. Близлежащие базальты г. Придорожной залегают среди глубоководных кремнистых отложений средней-поздней юры и раннего мела и форми-

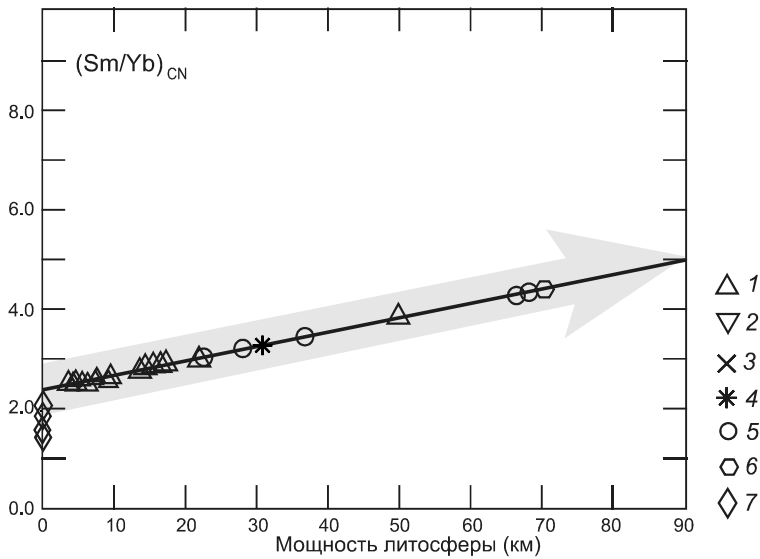


Рис. 8. Соотношение $[Sm/Yb]_{CN}$ – мощность литосферы, по [19].

Условные обозначения на рис. 3.

ровались в океанических островах на относительно мощной литосфере, т.е. вдали от центра спрединга. Как видно, в Приуссурийском сегменте в процессе аккреции были совмещены различные части океанического ложа – фрагмент спредингового центра берриасского возраста и юрские и раннемеловые океанические острова, разноудаленные от центра спрединга. Базальты Маноминского и Киселевского сегментов формировались в океанических островах на относительно мощной и зрелой литосфере на различном удалении от центра спрединга. В целом, в аккреционном комплексе заметно преобладают базальты океанических островов широкого возрастного спектра, а базальты океанического хребта известны лишь в единственном месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Петрогеохимические характеристики базальтов, включенных в структуру Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, свидетельствуют об образовании их в различных частях океанического ложа мезозойской Пацифики: как в пределах центральной зоны спредингового хребта, так и в океанических островах вдали от нее. В аккреционном комплексе преимущественно сохранены разновозрастные базальты океанических островов. Вариации состава базальтов могут быть связаны с различной мощностью океанической литосферы, на которой они формировались, что обусловлено различной ее удаленностью от спрединговой зоны. Изучение петрогеохимии базальтов помогает приблизиться к пониманию строения и истории развития исчезнувшего океанического ложа, малые фрагменты которого сохранены в аккреционных комплексах на континенте.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Н.Н. Круку и П.И. Федорову за внимательный анализ представленной рукописи, конструктивные замечания и доброжелательную дискуссию.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИТиГ ДВО РАН и при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-03171)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войнова И.П., Зябрев С.В., Приходько В.С. Петрохимические особенности раннемеловых внутриплитных океанических вулканитов Киселевско-Маноминского террейна (северный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 1994. Т. 13, № 6. С. 83–96.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 + цв. карта.
3. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 231 с.
4. Диденко А.Н., Ханчук А.И., Тихомирова А.И., Войнова И.П. Восточный сегмент Киселевско-Маноминского террейна (Северный Сихотэ-Алинь): палеомагнетизм и геодинамические следствия // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 20–40.
5. Диденко А.Н., Ханчук А.И., Тихомирова А.И., Войнова И.П. Киселевский блок Киселевско-Маноминского террейна (северный Сихотэ-Алинь): палеомагнетизм, геохимия, геодинамика // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: Материалы XLVI Тектонического совещ. М.: ГЕОС, 2014. Т. 1. С. 116–119.
6. Зябрев С.В. Раннемеловые кремни Киселевско-Маноминского террейна – наиболее молодые океанические отложения в структуре юга континентальной части Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 1994. Т. 13, № 6. С. 74–82.

7. Зябрев С.В., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. Юго-западный фрагмент Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, Сихотэ-Алинь: стратиграфия, субдукционная аккреция и постаккреционные смещения // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 45–58.
8. Зябрев С.В., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. О возрасте извествняков в юго-западном фрагменте Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса Дальнего Востока России (по радиоляриям) // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 107–109.
9. Зябрев С.В., Анойкин В.И. Новые данные о возрасте отложений Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса по ископаемым радиоляриям // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 74–83.
10. Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н. Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 283 с.
11. Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизийная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.
12. Филиппов А.Н. Юрско-раннемеловой вулканогенно-кремнистый комплекс р. Маномы (Северный Сихотэ-Алинь): фрагмент осадочного чехла палеоокеанической плиты // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 1. С. 25–38.
13. Филиппов А.Н., Кемкин И.В. Первые находки среднеюрских и раннемеловых (валанжин) радиоляриевых ассоциаций в западном Сихотэ-Алине и их палеогеографическое и тектоническое значение // Докл. АН. 2005. Т. 404, № 5. С. 664–667.
14. Филиппов А.Н., Кемкин И.В. Кремнисто-вулканогенные образования западного Сихотэ-Алиня: стратиграфия и происхождение // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 2. С. 53–68.
15. Филиппов А.Н., Говоров Г.И., Чашин А.А., Пунина Т.А. Вещественный состав и обстановки формирования кремнисто-вулканогенных образований Нижнеуссурийского сегмента Киселевско-Маноминского террейна (Западный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 4. С. 19–33.
16. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale // C. R. Acad. Sci. Ser. II. 1989. V. 309. P. 2023–2029.
17. Condie K.S. High field strength element ratios in Archean basalts; a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. V. 79. P. 491–504.
18. Cox K.J., Bell J.D., Pankhurst R.J. The interpretation of igneous rocks. London: George Allen and Union, 1979.
19. Humphreys E.R., Niu Y. On the composition of ocean island basalts (OIB): The effects of lithospheric thickness variation and mantle metasomatism // Lithos. 2009. V. 112. P. 118–136.
20. Ikeda Y. CeN/SrN/SmN: A trace element discriminant for basaltic rocks from different tectonomagmatic environments // N. Jb. Miner. Mh. Jg. 1990. N 4. P. 145–158.
21. Meschide M.A. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram // Chem. Geol. 1986. V. 56. P. 207–218.
22. Mullen E.D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // Earth Planet. Sci. Lett. 1983. V. 62. P. 53–62.
23. Pearce J.A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental basalts and mantle xenoliths, Nantwich. Shiva Publ., 1983. P. 230–249.
24. Peccerillo R., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contrib. Miner. Petrol. 1976. V. 58. P. 63–81.
25. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Magmatism in the oceanic basins (A.D. Saunders, M.J. Norry Eds.) // Geol. Soc. Spec. Publ. 1989. N 42. P. 313–345.
26. Thompson R. N. British Tertiary volcanic provinces // Scott. J. Geol. 1982. V. 18. P. 49–107.
27. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // Chem. Geol. 1977. V. 20. P. 325–343.
28. Wood D.A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. V. 50 (1). P. 11–30.

Рекомендована к печати А.В. Колосковым

I.P. Voinova, S.V. Zyabrev

Petro-geochemistry and geodynamic settings of volcanics in the Kiselyovka-Manoma accretionary complex (Russian Far East)

The Kiselyovka-Manoma accretionary complex formed at the end of the Early Cretaceous through subduction of the Pacific oceanic plate underneath the Khingán-Okhotsk active continental margin in eastern Eurasia. It is composed of Jurassic-Early Cretaceous oceanic chert, limestone and siliceous mudstone that include a significant amount of basic volcanics. We systematically review the existing and newly obtained petro-geochemical data on the Jurassic and Early Cretaceous basalts from different parts of the accretionary complex. Comprehensive analysis of these data reveals possible geodynamic settings of their formation. Petro-geochemical characteristics point to the formation of basalts in various parts of the ocean floor, both within the spreading ridge and oceanic islands far afield from it. The accretionary complex mainly preserves basalts of oceanic islands. The identified variations in the basalt compositions may be related to different thicknesses of the oceanic lithosphere on which they formed, owing to its various distance from a spreading zone.

Key words: basalt, petro-geochemistry, geodynamic setting, ocean floor, accretionary complex, Jurassic, Cretaceous, Russian Far East.