

УДК 550.4+553.061.12+235.4

**ГАББРОИДЫ СЕРГЕЕВСКОГО И КАЛИНОВСКОГО КОМПЛЕКСОВ
СИХОТЭ-АЛИНЯ: ГЕОХИМИЯ И ИЗОТОПНЫЕ
ОТНОШЕНИЯ САМАРИЯ, НЕОДИМА, СТРОНЦИЯ И СВИНЦА***

В.Т. Казаченко, С.Н. Лаврик, Е.В. Перевозникова, Н.В. Скосарева
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

Аннотация

Габброиды сергеевского и калиновского комплексов, а также породы Владимиро-Александровского массива имеют общий мантийный источник магматического материала – примитивную мантию (BSE). Образовались они в результате взаимодействия плюма с осадочными породами океанической коры, предположительно, судя по геохимическим особенностям и изотопному составу свинца, в основании островной дуги (габброиды и гранито-гнейсы Окраинско-Сергеевского террейна и его фрагментов и ультрабазиты Владимиро-Александровского массива) или океанических плато (габброиды калиновского комплекса). Они различаются между собой химическим составом присутствующей в них осадочной компоненты и, вероятно, возрастом. По меньшей мере с девона упомянутые структуры в виде двух цепочек островов располагались вблизи окраины Ханкайского массива.

Ключевые слова:

габброиды, сергеевский комплекс, калиновский комплекс, геохимия, изотопия, Сихотэ-Алинь.

Введение

Габброиды сергеевского и калиновского комплексов присутствуют в составе аллохтонов, образующих в современной структуре Сихотэ-Алиня две цепочки вблизи западной и восточной границ Самаркинского террейна (рис. 1). Аллохтоны у западной границы сложены габброидами калиновского комплекса. Наиболее крупный аллохтон второй цепочки, расположенный на юге Сихотэ-Алиня, известен в качестве самостоятельного Окраинско-Сергеевского террейна, а остальные считаются его фрагментами. Значительную часть Окраинско-Сергеевского террейна слагают крупные плутоны синкинематических габброидов сергеевского комплекса и гранито-гнейсов [1]. В габброидах присутствуют блоки метаморфических пород океанической природы, а в гранито-гнейсах – метатерригенных пород. Плутоны интродуцированы раннеордовикскими гранитами [1]. На габброидах сергеевского комплекса с осадочным контактом залегают верхнедевонские туфы [2], а на раннеордовикских гранитах – пермские морские, наземные вулканические и осадочные отложения [1]. На древних породах Окраинско-Сергеевского террейна, как можно полагать, сформировались карбон-пермские рифовые массивы Таухинского террейна, фрагменты которых встречаются в ассоциации с родингитами и глубоко метаморфизованными граносиенитами (со структурой “антирапакиви”), по изотопным и геохимическим особенностям аналогичными габброидам сергеевского комплекса (см. ниже). Габброиды сергеевского комплекса представлены метагаббро по С.В. Коваленко и И.А. Давыдову [3] или амфиболовыми габбро-, диорито-гнейсами по А.И. Ханчуку [1]. По данным С.М. Синицы [2], по химическому составу они относятся к ряду “габбро-кварцевый диорит” и прорваны дайками макаровских габбро, которые, по мнению этого автора, являются производными той же магмы. Согласно С.М. Синице, габброиды сергеевского комплекса обладают гнейсовой текстурой и содержат “автомигматиты” в виде жил плагиогранитов и плагиоаплитов. Габброиды сергеевского комплекса по С.М. Синице имеют додевонский

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00396-а) и Президиума РАН (проект № 12-1-П27-03).

возраст, так как в некоторых местах выступают из-под базальных девонских отложений [2].

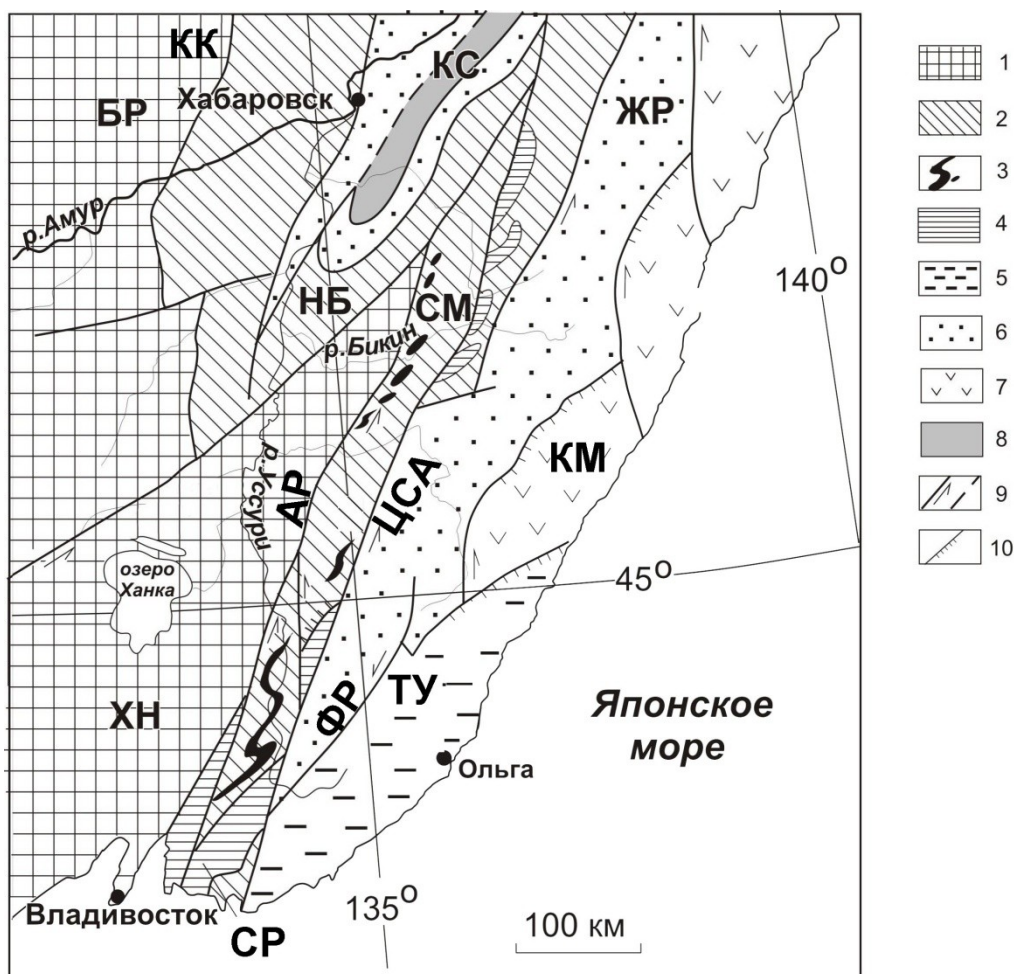


Рис. 1. Положение изученных объектов в Сихотэ-Алине. Тектоническая основа по А.И. Ханчуку [4] с небольшими изменениями:

1 – ХН – Ханкайский массив; БР – Буреинский массив; 2 – юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): СМ – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский; 3 – калиновские габброиды (девон?); 4 – Окраинско-Сергеевский террейн (СР) и его фрагменты, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаккреционных преобразований; 5, 6 – раннемеловые террейны-фрагменты: 5 – неокомовской аккреционной призмы (ТУ – Таухинский); 6 – приконтинентального спредингового турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевско-Амурский); 7 – баррем-альбской островодужной системы (КМ – Кемский); 8 – альбской аккреционной призмы (КС – Киселевско-Маноминский); 9 – левые сдвиги, в том числе: КК – Куканский, АР – Арсеньевский, МФА – Мишань-Фушуньский (Алчанский), ЦСА – Центральный Сихотэ-Алинский, ФР – Фурмановский; 10 – надвиги

По предположению А.И. Ханчука [1], синкинематические интрузии габброидов и гранито-гнейсов возникли в результате плавления пород субдукционного комплекса. Окраинско-Сергеевский террейн образует тектонические покровы и клиппы на Самаркинском террейне юрской аккреционной призмы и совместно с последним смят в складки [1]. На юге Окраинско-Сергеевского террейна присутствуют выходы дунитов, троктолитов и анортозитов Владимиро-Александровского массива и серпентинитового меланжа (бухты Мелководная, Каплунова и др.),

а в северной части расположен базит-гипербазитовый массив кл. Кириенкова. По данным Р.А. Октябрьского [5], породы Владимиро-Александровского массива прорывают габброиды сергеевского комплекса. Фрагменты Украинско-Сергеевского террейна, как уже отмечалось выше, прослеживаются также вдоль Центрального Сихотэ-Алинского разлома. Самый северный из них – Хорский блок [6]. Одним из фрагментов Украинско-Сергеевского террейна, судя по геохимическим и изотопным данным для габброидов и присутствию в них блоков метаморфизованных офиолитов (см. ниже), является Каменский аллохтон, породы которого предыдущими исследователями относились к ариаднинскому [5], а сейчас включаются в состав калиновского комплекса. Фрагменты Украинско-Сергеевского террейна, как отмечалось выше, присутствуют и в Таухинском террейне. Аллохтоны относимого к среднему палеозою калиновского комплекса (Самаркинский, Чугуевский, Бреевский и др.) в Самаркинском террейне состоят из сильно измененных кортландитов, верлитов, вебстеритов, пироксенитов, габброноритов, норитов, габбро, дунитов, троктолитов и лерцолитов [5]. К этому же комплексу, по нашим данным (см. ниже), относятся и породы охарактеризованного относительно недавно [6, 7] дунитового массива окрестностей с. Дальний Кут на севере Приморья. Считается, что габброиды калиновского комплекса формировались в основании океанического плато [8]. По другим, более ранним, представлениям калиновские габброиды и габброиды Украинско-Сергеевского террейна слагали единый комплекс меланократового основания, на котором были заложены структуры Сихотэ-Алия. Датировки методами абсолютной геохронологии габброидов сергеевского комплекса варьируют от 200 до 2106 млн лет [3, 9]. Имеющиеся датировки калиновских габброидов колеблются от 100 до 410 млн лет [10].

Основная цель данных исследований – получение на основе геохимических и изотопных данных сведений об источниках магм и геодинамической природе габброидов сергеевского и калиновского комплексов, а также пород Владимиро-Александровского массива.

Методика исследований

Определение содержаний породообразующих оксидов и потерь при прокаливании (п.п.п.) в магматических породах (табл. 1, 2) выполнено в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН методами гравиметрии (SiO_2 , H_2O и п.п.п.) и атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США) (прочих оксидов). Особенностью пробоподготовки являлось сплавление навески с метаборатом лития. Определение содержаний второстепенных элементов (табл. 2, 3) выполнено в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США). Особенностью пробоподготовки, как и в предыдущем случае, являлось сплавление навески с метаборатом лития.

Пробоподготовка и измерения изотопного состава Nd и Sm (табл. 3) выполнены в Геологическом институте Кольского научного центра РАН. Анализы выполнялись на семиканальном твердофазном масс-спектрометре Finnigan-MAT 262 (RPQ) в статическом двухленточном режиме с использованием ренийевых и танталовых лент. Среднее значение отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте La Jolla за периоды измерений составило 0.511835 ± 18 ($N=15$). Ошибка в $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениях составляет 0.3 % (2σ) – среднее значение из 7 измерений в стандарте BCR. Погрешность измерения изотопного состава Nd в индивидуальном анализе не превышала 0.004 %. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd и Sm составляло 0.3 и 0.06 нг соответственно, а точность определения их концентраций – ± 0.5 %. Изотопные отношения нормализованы по $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ и пересчитаны на принятую величину $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте La Jolla= 0.511860 .

Таблица 1

Результаты определения содержания породообразующих оксидов в магматических породах, мас. %

№п/п	Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	п.п.п. 13	Сумма 14
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	С-10-08-Д	46.90	1.21	16.60	10.60	0.21	6.75	8.85	3.29	0.38	0.24	0.05	4.50	99.57
2	С-10-09-Б	50.90	1.31	12.90	7.99	0.17	3.63	8.85	3.08	1.84	0.20	0.05	8.70	99.61
3	С-10-12В	45.10	1.56	18.09	11.79	0.17	6.72	9.01	3.26	1.11	0.12	не обн.	2.80	99.72
4	С-10-18	45.60	1.25	17.15	13.59	0.18	4.74	10.42	2.44	0.41	0.07	0.25	4.30	100.40
5	С-10-26-А	45.78	1.34	15.95	10.91	0.20	6.45	15.34	2.04	0.26	0.45	0.03	1.51	100.26
6	С-10-26-Б	42.62	1.84	21.46	11.08	0.17	4.72	12.31	2.47	0.66	0.63	0.05	1.61	99.62
7	С-10-08-Е	49.40	1.91	15.38	13.86	0.22	4.42	8.23	3.06	0.07	0.22	не обн.	3.70	100.47
8	С-10-09-А	45.80	1.67	16.78	12.46	0.21	5.52	9.64	2.88	0.05	0.15	0.17	4.40	99.73
9	С-10-12Д	41.50	1.68	23.26	7.57	0.08	7.00	12.09	1.80	1.22	0.03	0.40	3.60	100.23
10	С-10-19	47.00	1.36	19.18	10.55	0.18	4.33	10.21	3.50	0.25	0.11	не обн.	3.00	99.67
11	Л-10-2В	51.20	1.14	23.07	6.52	0.13	1.95	7.68	5.21	1.26	0.31	0.20	1.75	100.42
12	Л-10-2Г	50.52	1.39	21.12	7.48	0.15	2.03	8.33	5.63	0.55	0.42	0.30	2.50	100.41
13	Л-10-1	45.80	2.06	11.35	13.14	0.23	2.98	15.06	0.96	0.21	0.19	0.25	8.10	100.32
14	Л-10-1-А	48.40	2.55	14.03	15.16	0.26	5.69	7.79	3.13	0.52	0.16	0.45	2.10	100.24
15	ВА-1	37.60	0.32	10.91	12.67	0.15	20.96	5.99	0.47	0.08	0.02	0.72	7.50	97.40
16	ВА-4	38.35	0.09	16.90	10.19	0.13	15.01	9.12	0.84	0.23	0.02	0.52	6.31	97.71
17	ВА-6	36.87	0.05	10.41	13.16	0.16	32.78	5.37	0.08	0.01	0.02	0.43	8.89	99.23
18	ВА-11	35.66	0.08	3.4	16.61	0.22	31.89	1.48	0.16	0.02	0.03	0.95	9.30	99.80
19	ВА-12	40.20	0.02	29.77	2.73	0.03	1.98	19.37	0.89	0.11	0.03	0.20	4.40	99.73
20	ВА-13	39.81	0.09	24.38	7.35	0.09	6.96	14.32	0.97	0.24	0.02	0.25	4.80	99.28
21	12-6-2	34.35	0.19	1.66	16.01	0.11	32.54	0.43	0.01	<0.01	<0.01	7.06	8.38	100.74
22	12-6-6	35.94	0.16	3.23	14.88	0.10	30.65	2.62	0.08	<0.01	0.02	3.07	8.26	99.01
23	12-6-8	39.26	0.30	17.23	8.45	0.14	14.48	12.15	1.16	0.07	0.02	0.92	5.43	99.59
24	12-6-10	38.35	1.74	16.81	13.63	0.20	9.98	13.19	1.46	0.04	0.02	0.50	3.2	99.11
25	12-6-11	40.39	1.40	14.76	11.89	0.16	16.04	10.39	1.60	0.21	0.01	0.64	2.21	99.70
26	12-6-15	40.15	1.39	19.40	7.91	0.09	10.06	14.52	1.30	0.10	0.01	0.37	3.82	99.12
27	12-6-16	40.76	0.12	21.94	5.79	0.08	9.44	12.40	1.34	0.18	0.01	0.95	5.46	98.48
28	12-6-20	42.72	0.20	6.18	12.87	0.17	23.64	6.92	0.18	0.04	0.03	1.00	6.15	100.09
29	12-7-1	41.81	1.44	20.87	8.05	0.09	8.95	13.09	1.53	0.54	0.01	0.31	2.76	99.46
30	12-Дк-2	37.91	1.05	1.23	12.46	0.18	26.02	9.68	0.10	<0.01	0.00	1.14	10.5	100.26
31	12-Дк-3	37.71	0.34	0.78	14.12	0.17	33.20	3.12	0.07	0.00	0.00	1.04	9.73	100.27
32	12-Дк-4	42.70	0.37	1.09	13.82	0.20	25.99	7.78	0.08	0.00	<0.01	1.06	7.21	100.30

Примечание: 1–10 – сергеевские габброиды (1–5) и офиолиты (6–10); (11–14) – каменные габброиды (11, 12) и офиолиты (13, 14); 15–32 – габброиды: владими́ро-александровские (15–20); бревские (21–29) и окрестностей с. Дальний Кут (30–32). Все железо принято за трехвалентное. Аналитики: Н.В. Зарубина, Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало, В.Н. Каминская.

Петрохимические (мас. %), геохимические (г/т) и изотопные характеристики граносиенитов Мокрушинской площади

Проба/ окисел	11-27	11-32	Проба/ элемент	11-27	11-18	11-32	Проба/ изотопное отношение	11-27	11-18
SiO ₂	66.40	66.13	V	38.2	31.3	41.3	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.706124	0.706298
TiO ₂	0.59	0.61	Y	31.31	28.26	31.85	+/-	5	5
Al ₂ O ₃	15.77	15.49	Zr	447.8	357.3	485.2	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512477	0.512499
Fe ₂ O ₃ _общ.	4.64	4.19	Nb	15.38	13.66	16.61	+/-	6	4
MnO	0.12	0.10	La	35.563	33.519	37.179			
MgO	0.98	0.85	Ce	76.265	73.206	80.056			
CaO	2.57	2.67	Pr	9.359	8.648	9.578			
Na ₂ O	5.08	5.52	Nd	38.429	34.590	38.715			
K ₂ O	2.42	1.86	Sm	7.990	6.920	7.720			
P ₂ O ₅	0.20	0.19	Eu	2.461	2.006	2.325			
H ₂ O ⁻	0.23	0.22	Gd	7.104	5.768	6.553			
п.п.п.	1.24	1.2	Tb	1.126	0.907	1.163			
Сумма	100.24	99.03	Dy	6.430	5.451	6.491			
			Ho	1.257	1.044	1.285			
			Er	3.827	3.163	3.608			
			Tm	0.528	0.461	0.537			
			Yb	3.277	3.200	3.602			
			Lu	0.520	0.454	0.529			
			Hf	10.38	7.55	10.48			
			Ta	0.6966	0.6811	0.8291			
			Th	6.3605	5.9830	6.7780			

Пробоподготовка и измерения изотопного состава Pb и Sr (табл. 4) выполнены в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург). Подготовка проб, включая химическое разложение и последующее выделение элементов, подробно описана в работе Саватенкова [11]. Изотопный анализ Pb выполнялся на многоколлекторном масс-спектрометре Finnigan MAT261 в режиме одновременной регистрации ионных токов исследуемых элементов с погрешностью внутри опыта 0.01 % (2σ). Изотопный состав Pb измерялся в одноленточном режиме на рениевых испарителях. Для измерений использовался силикатный эмиттер в смеси с H₃PO₄. Общий уровень лабораторного загрязнения Pb не превышал 0.1 и 0.01 нг соответственно. Поправка изотопных отношений Pb на фракционирование проводилась по методике двойного изотопного разбавления с использованием трассера ²³⁵U-²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb [12]. Ошибки измерения изотопных отношений ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb и ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb, определенные по серии параллельных анализов стандарта породы BCR-1, не превышают 0.03, 0.03 и 0.05 % соответственно.

Таблица 3

Содержания некоторых элементов-примесей в габроидах Сихотэ-Алиня, г/т

Элемент/ Проба	С-10-09-Б		С-10-12-В		С-10-12-Д		С-10-18		С-10-26-А		С-10-19		С-10-26-Б		С-10-08-Д		С-10-08-Е		С-10-09-А		Л-10-2-В		Л-10-2-Г		Л-10-1		Л-10-1-А		ВА-1		ВА-4							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32						
V	142.4	450.6	347.6	536.7	204.6	293.9	249.7	231.6	517.0	397.5	85.02	89.17	447.8	518.0	76.90	26.40																						
Y	28.11	21.35	11.88	15.02	37.24	29.39	36.79	18.42	29.08	35.12	21.06	20.79	54.21	52.41	3.69	1.06																						
Zr	191.9	32.33	14.77	82.34	152.2	79.14	69.64	52.54	70.79	83.09	803.2	519.7	132.3	137.5	9.92	4.13																						
Nb	20.6153	4.5278	1.0083	2.7143	7.2953	1.2358	4.6718	3.8900	2.0140	2.3865	3.4400	4.5415	2.8060	3.3265	0.4606	0.1766																						
La	28.325	11.582	1.935	11.6379	22.993	2.926	12.688	11.050	5.671	4.010	10.318	15.664	4.507	4.717	1.063	0.826																						
Ce	55.7066	28.0016	5.4766	20.9866	51.3066	8.2816	34.0166	24.1603	14.5003	10.5353	24.9553	33.5553	13.6653	13.7903	2.7241	1.6236																						
Pr	6.194	4.080	0.929	2.483	7.104	1.409	5.419	3.208	2.070	1.836	3.723	4.389	2.213	2.339	0.386	0.217																						
Nd	25.1405	18.55047	5.55547	10.24547	32.09547	7.65547	26.91047	13.76647	11.37647	9.32647	17.35147	19.2865	12.86147	13.29147	2.31047	0.88097																						
Sm	5.054	4.402	1.787	2.1971	6.624	2.686	6.794	2.827	3.305	3.073	4.008	4.059	4.472	4.652	0.516	0.176																						
Eu	1.283	1.357	0.844	0.830	2.121	1.241	2.405	1.337	1.328	1.289	2.116	2.175	1.592	1.633	0.257	0.185																						
Gd	5.575	4.455	2.139	2.581	7.315	3.908	7.365	3.617	4.451	4.913	3.985	4.899	6.870	6.570	0.801	0.229																						
Tb	0.700	0.625	0.371	0.425	1.129	0.705	1.039	0.474	0.725	0.757	0.623	0.635	1.138	1.213	0.125	0.020																						
Dy	4.211	3.085	1.972	2.123	5.726	3.863	5.796	2.687	4.196	4.667	3.178	3.405	7.007	7.192	0.571	0.172																						
Ho	0.927	0.738	0.391	0.442	1.206	0.965	1.294	0.604	0.973	1.147	0.731	0.716	1.726	1.749	0.125	0.040																						
Er	2.350	1.888	1.070	1.560	3.545	2.858	3.365	1.647	2.830	3.202	2.167	2.103	5.167	5.247	0.358	0.116																						
Tm	0.359	0.230	0.130	0.206	0.448	0.381	0.433	0.224	0.343	0.482	0.242	0.247	0.732	0.696	0.042	0.015																						
Yb	2.20242	1.6274	0.7054	1.1809	2.7424	2.1669	2.5739	1.4720	2.1825	2.72350	1.7920	1.6420	4.5715	4.61050	0.2346	0.05252																						
Lu	0.3148	0.2465	0.105	0.1849	0.4322	0.322	0.34775	0.2177	0.3616	0.3951	0.2153	0.2836	0.806	0.6696	0.0315	0.0089																						
Ta	1.0607	0.1413	0.0413	0.1022	0.3213	0.0520	0.1135	0.1764	0.0987	0.1329	0.0969	0.1573	0.1704	0.1959	0.00970	0.00599																						
Th	6.11129	0.299385	0.063035	0.488185	0.803785	0.081185	0.057435	0.114266	0.416216	0.143116	0.081316	0.15682	0.230016	0.244566	0.06429	0.017690																						
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.123933	0.138629	0.201120	0.135267	0.134950	0.215443	0.158623	0.141144	0.185533	0.208672	0.141447	0.131277	0.206829	0.216055	0.172660	0.131947																						
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512518	0.512435	0.512554	0.512407	0.512466	0.513103	0.512335	0.512424	0.512972	0.513141	0.512575	0.512547	0.513214	0.513171	0.512596	0.512664																						
Err	10	5	14	9	10	18	16	4	3	10	11	10	5	7	17	10																						

Окончание таблицы 3

Элемент/ Проба	ВА-6		ВА-11		ВА-12		ВА-13		12_6_6		12_6_2		12_6_8		12_6_10		12_6_11		12_6_15		12_7_1		12_6_16		12_6_20		12_Дк_2		12_Дк_3		12_Дк_4			
	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
V	22.10	27.94	7.44	25.99	49.60	66.55	111.3	364.4	353.9	433.60	404.6	28.53	68.20	179.5	105.1	149.7																		
Y	0.57	1.09	0.41	1.15	1.57	1.58	3.41	17.94	13.10	9.14	11.48	1.03	2.33	5.21	2.53	4.98																		
Zr	2.05	2.07	2.13	4.70	1.24	1.03	3.30	11.89	16.76	5.37	6.56	1.28	3.27	13.44	3.45	4.55																		
Nb	0.1398	0.1461	0.1354	0.1974	0.1203	0.0524	0.2254	0.8825	1.1030	0.4625	0.5195	0.2059	1.0705	0.6730	0.0576	0.0695																		
La	0.4520	0.406	1.0427	1.045	0.1961	0.2665	0.4135	0.9055	1.2215	0.525	0.9135	0.2725	0.9735	1.0930	0.3340	0.4130																		
Ce	0.7861	0.8106	1.7396	1.8761	0.4904	0.3946	1.7649	4.2119	4.2214	2.036	2.6634	0.9354	1.9174	3.945	1.2619	1.5469																		
Pr	0.126	0.114	0.114	0.191	0.281	0.073	0.316	0.994	0.925	0.519	0.674	0.123	0.305	0.723	0.242	0.310																		
Nd	0.54447	0.61547	0.79947	1.36947	0.712	0.380	1.593	6.316	5.651	3.358	3.587	0.6610	1.209	3.574	1.344	2.132																		
Sm	0.0946	0.179	0.0880	0.214	0.2963	0.1256	0.7952	3.0507	2.2012	1.569	2.1737	0.2053	0.6412	1.4747	0.4376	0.6587																		
Eu	0.102	0.091	0.223	0.239	0.664	0.134	0.326	1.191	0.811	0.671	0.834	0.217	0.202	0.405	0.187	0.317																		
Gd	0.161	0.277	0.135	0.135	0.461	0.734	0.306	3.488	2.467	1.747	2.215	0.260	0.379	1.389	0.660	0.946																		
Tb	0.011	0.032	0.019	0.040	0.068	0.054	0.136	0.600	0.377	0.298	0.400	0.084	0.083	0.226	0.098	0.170																		
Dy	0.064	0.150	0.042	0.140	0.369	0.440	0.700	4.207	3.076	2.255	2.591	0.364	0.501	1.335	0.679	1.145																		
Ho	0.021	0.033	0.011	0.051	0.085	0.075	0.131	0.717	0.498	0.425	0.387	0.066	0.087	0.213	0.106	0.179																		
Er	0.066	0.101	0.031	0.118	0.180	0.158	0.389	2.143	1.342	0.920	1.351	0.100	0.234	0.535	0.264	0.525																		
Tm	0.004	0.007	0.006	0.018	0.042	0.012	0.047	0.354	0.186	0.146	0.199	0.053	0.031	0.044	0.023	0.080																		
Yb	0.03222	0.04237	0.0092	0.0388	0.119	0.168	0.298	1.610	0.956	0.686	0.820	0.088	0.114	0.2577	0.1938	0.3324																		
Lu	0.0060	0.012	0.01145	0.0157	0.0698	0.0333	0.0728	0.3433	0.2119	0.1519	0.1537	0.1685	0.0556	0.0857	0.0697	0.0586																		
Ta	0.02129	<0.01	<0.01	<0.01	0.0382	0.04	0.03	0.07	0.10	0.02	0.02	0.0474	0.0578	0.0883	0.0118	0.0252																		
Th	0.005360	0.01222	0.012685	0.031715	0.092050	0.072700	0.014225	0.058000	0.019780	0.044180	0.0460	0.042775	0.0715	0.04652	0.04312	0.02538																		
147Sm/144Nd	0.125464	0.220600	0.084818	0.123947	0.180206	0.231752	0.196443	0.235332	0.212187	0.233544	0.235848	0.147471	0.151256	0.144712	0.210383	0.224553																		
143Nd/144Nd	0.512510	0.512646	0.512464	0.512562	0.512681	0.512668	0.512626	0.512635	0.512727	0.512711	0.512689	0.512423	0.512639	0.512777	0.512929	0.512881																		
Erт	18	15	18	18	14	19	13	4	13	5	13	18	16	19	5	14																		

Примечание: 1-10 - сергеевские габброиды (1-5) и офиолиты (6-10); 11-14 - каменные габброиды (11,12) и офиолиты (13,14), 15-32 - габброиды: владими́ро-але́ксандро́вские (15-20), бре́вские (21- 29) и окрестностей с. Дальний Кут (30-32). Аналитики: Н.В. Зарубина, Ю.М.Иванова, М.Г. Блохин.

Изотопные отношения свинца и стронция в сергеевских, владими́ро-александровских и бреевских габброидах

№п/п	Проба	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	+/-2 σ , %	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	+/-2 σ , %	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	+/-2 σ , %	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/-2 σ
1	С-10-08-Д	18.1933	0.039	15.5889	0.043	38.0340	0.052		
2	С-10-09-Б	19.3350	0.040	15.6382	0.043	39.4512	0.053	0.706888	3
3	С-10-12-В	18.1222	0.039	15.5661	0.043	38.0902	0.053	0.706552	6
4	С-10-18	18.6195	0.039	15.6277	0.043	38.4082	0.053		
5	С-10-26-А	18.7321	0.039	15.6157	0.043	38.4249	0.052	0.707144	3
6	С-10-08-Е	18.4516	0.040	15.5429	0.043	38.2978	0.053		
7	С-10-09-А	18.5824	0.041	15.4608	0.045	37.7261	0.054		
8	С-10-12-Д	18.0960	0.039	15.5524	0.043	37.8791	0.052	0.706491	5
9	С-10-19	18.1909	0.042	15.2269	0.045	36.8580	0.054	0.705625	6
10	С-10-26-Б	18.5233	0.040	15.6171	0.044	38.3041	0.053		
11	ВА-6	18.1693	0.045	15.5799	0.049	38.0934	0.057		
12	ВА-11	18.2982	0.046	15.5846	0.049	38.1120	0.057		
13	ВА-12	18.1491	0.040	15.5843	0.045	38.0650	0.061		
14	ВА-13	18.1968	0.040	15.5791	0.044	38.0880	0.053		
15	12-6-2	18.0044	0.040	15.5482	0.043	37.9255	0.053	0.706238	4
16	12-6-6	18.0945	0.041	15.6185	0.045	38.1569	0.054	0.706003	4
17	12-6-8	18.0433	0.040	15.5973	0.044	38.0615	0.053	0.705927	5
18	12-6-10	18.0835	0.039	15.5621	0.043	37.9817	0.052	0.705932	5
19	12-6-11	18.0890	0.040	15.5781	0.044	38.0154	0.053	0.705900	4
20	12-6-15	18.0343	0.039	15.5748	0.043	37.9931	0.052		

Примечание. 1–10 сергеевские габброиды (1–5) и офиолиты (6–10); 11–20 – габброиды: владими́ро-александровские (11–14) и бреевские (15–20).

Определение изотопного состава Sr и Nd (табл. 3) проводилось там же на многоколлекторном твердофазном масс-спектрометре Triton. Воспроизводимость результатов определения концентраций Sr и Nd, вычисленная на основании многократных анализов стандарта BCR-1, составляла $\pm 0.5\%$, а величина холостого опыта – 0.2 нг и 0.5 нг соответственно. В результате анализа стандартного образца BCR-1 (по 6 измерениям) получены следующие значения: $[\text{Sr}] = 336.7$ мкг/г, $[\text{Nd}] = 28.13$ мкг/г, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.705036 \pm 22$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512642 \pm 14$. Воспроизводимость изотопных анализов контролировалась определением состава стандарта SRM-987. За период измерений Sr полученное значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в стандарте SRM-987 соответствовало 0.710241 ± 15 (2σ , 10 измерений), а величина $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте La Jolla составила 0.511847 ± 8 (2σ , 12 измерений). Изотопный состав Sr нормализован по величине $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.37521$, а состав Nd – по величине $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$. Изотопный состав Sr приведен к табличному значению стандарта SRM-987 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710240$. Изотопный состав Nd приведен к табличному значению стандарта La Jolla $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511860$.

Результаты исследований

Результаты изучения петрографии, петрохимии и минералогии габброидов калиновского и сергеевского комплексов изложены в работе Р.А. Октябрьского [5]. Дополнительные сведения приведены в работах С.В. Коваленко и И.А. Давыдова [3], С.Н. Сеницы [2], А.И. Ханчука и И.В. Панченко [8] и других авторов. Поэтому в данной работе вопросы петрографии, петрохимии и минералогии габброидов почти не затрагиваются.

Из-за метаморфизма (вплоть до сланцев и гнейсов) изученных в данной работе габброидов Бреевского аллохтона и окрестностей с. Дальний Кут (калиновский комплекс), а также габброидов и офиолитов окрестностей сел Сергеевка и Каменка (Украинско-Сергеевский

террейн и его фрагменты), их диагностика по минеральному составу во многих случаях невозможна. Сергеевские и каменные габброиды по текстурным и структурным особенностям, а также по степени метаморфизма практически неотличимы друг от друга. В тех и других иногда встречаются хлорит-эпидот-амфиболовые сланцы и разности, частично сохранившие структурные признаки базальтов. Эти породы, а также габбро и троктолиты слагают блоки измененных магматических пород океанической коры (офиолитов) в интрузивных сергеевских и каменных габброидах (далее – габброиды), что подтверждается геохимическими и изотопными данными (см. ниже). Наиболее часто сергеевские и каменные габброиды сложены относительно крупными выделениями роговой обманки и измененного плагиоклаза и в качестве эпигенетических образований содержат обильные выделения калиевого полевого шпата, альбита, эпидота, пренита, более поздних амфибола и кварца, а также зерна апатита, циркона, алланита и других минералов. В каменных габброидах встречаются единичные мельчайшие зерна самородной платины. Мельчайшие зерна циркона присутствуют в рассеянном состоянии, а более крупные (диаметром до 0.1 мм) очень “свежие” кристаллы образуют прерывистые линейные зонки и иногда содержат включения такого же “свежего” альбита в сростании с кристаллами апатита, что свидетельствует об их эпигенетической природе. В габброидах Бреевского аллохтона и окрестностей с. Дальний Кут из первичных минералов лишь изредка встречаются реликтовые выделения оливина, пироксена и шпинели. Первичный плагиоклаз, как правило, нацело замещен тонкой смесью вторичных минералов. В изначально богатых оливином разностях наблюдается резкое преобладание серпентина и магнетита. Для остальных разностей характерно обилие роговой обманки, слагающей относительно крупные таблитчатые кристаллы (первичный характер которых, тем не менее, вызывает сомнение) и более мелкие, явно эпигенетические выделения.

Габброиды Владимиро-Александровского массива, сергеевского и калиновского комплексов представлены ультраосновными и основными (кроме средних по составу сергеевских диоритов и кварцевых диоритов) породами нормальной и умеренно-щелочной серий (рис. 2, а). Базиты сергеевского и калиновского комплексов относятся преимущественно к толеитовой и высококалиевой известково-щелочной сериям (рис. 2, в). Среди офиолитов, судя по расположению точек на диаграмме (рис. 2, б) и структурным особенностям пород, встречаются базальты, габбро и троктолиты. Присутствующие в сергеевских и калиновских габброидах офиолиты иногда тоже отличаются высокими содержаниями K_2O , соответствующими высококалиевой известково-щелочной серии, однако это обстоятельство, так же как и некоторые особенности мультиэлементных спектров, очевидно, связано с изменением химического состава этих пород в результате метаморфизма.

На разнообразных петрохимических диаграммах габброиды Владимиро-Александровского массива, калиновского и сергеевского комплексов обычно образуют три общих тренда или поля, совпадающие с трендами или полями магматических пород супрасубдукционных офиолитов Южного Тибета [12], – ультрабазитов малоглиноземистой (дунит-перидотит-пироксенитовой) и глиноземистой (дунит-троктолит-анортозитовой) серий, а также габбро, базальтов и диабазов (см. рис. 2, б). Таким образом, в петрохимическом отношении габброиды и офиолиты сергеевского и калиновского комплексов, а также габброиды Владимиро-Александровского массива близки друг к другу и к офиолитам супрасубдукционной океанической коры Южного Тибета.

Мультиэлементные спектры сергеевских и каменных габброидов и офиолитов (окрестности с. Сергеевка и Каменка), а также габброидов Бреевского аллохтона, окрестностей с. Дальний Кут и Владимиро-Александровского массива сопоставимы по форме и обладают признаками спектров IAB-типа (рис. 3, а, б), которыми последние отличаются, в частности, от спектров OIB-типа, а именно максимумами Ba, U и Sr и минимумами Th и Nb. Для каменных габброидов характерно очень высокое содержание Zr и, соответственно, резко выраженные максимумы этого элемента в спектрах. REE-спектры сергеевских и каменных габброидов соответствуют IAB-типу, а присутствующих в них метаморфизованных офиолитов – MORB-типу (рис. 3, в). REE-спектры ультрабазитов Владимиро-

Александровского массива по форме повторяют спектры IAB-типа (см. рис. 3, в), а Бреевского аллохтона и дунитового массива с. Дальний Кут – спектры MORB-типа (рис. 3, г).

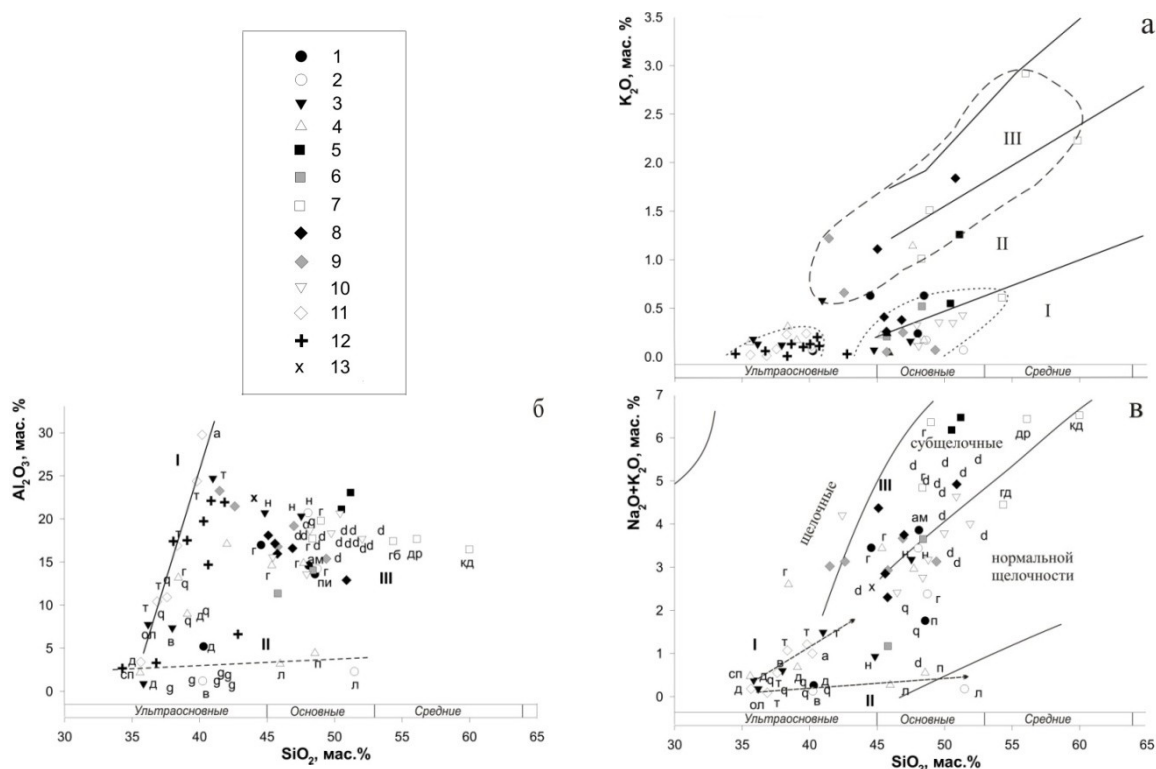


Рис. 2. Положение габброидов на некоторых петрохимических диаграммах:

1–4 – магматические породы Самаркинского (1), Чугуевского (2) и Бреевского (3) аллохтонов и массива кл. Кириенкова (4) по Р.А. Октябрьскому [5]; 5, 6 – каменные базиты (5) и офиолиты (табл. 1); 7 – породы сергеевского комплекса по С.М. Синице [2]; 8, 9 – сергеевские габброиды (8) и офиолиты (9) (табл. 1); 10 – сергеевские габброиды по С.В. Коваленко [3]; 11 – владимиро-александровские ультрабазиты; 12 – бреевские габброиды; 13 – гранатовое габбро Бреевского аллохтона по А.И. Ханчуку, И.В. Панченко [8]. Буквы на рисунке (в русской транскрипции относятся к условным значкам на диаграмме, в английской – использованы вместо условных значков): сп – серпентиниты; д – дуниты; ол – оливиниты; в – верлиты; л – лерцолиты; т – троктолиты; а – анортозиты; г – габбро; н – габбронориты; гд – габбродиориты; д – диориты; кд – кварцевые диориты; ам – амфиболиты; пи – пироксениты; g – “мантийные перидотиты” (дуниты и гарцбургиты) Южного Тибета; q – кумуляты (троктолиты, перидотиты и габбро) Южного Тибета; d – базальты и диабазы Южного Тибета;

Рис. 2, а: I – толеитовая серия, II – известково-щелочная серия, III – высококальциевая известково-щелочная серия;

Рис. 2, б, в: I – дунит-троктолит-анортозитовая серия; II – дунит-перидотит-пироксенитовая серия; III – поле базитов

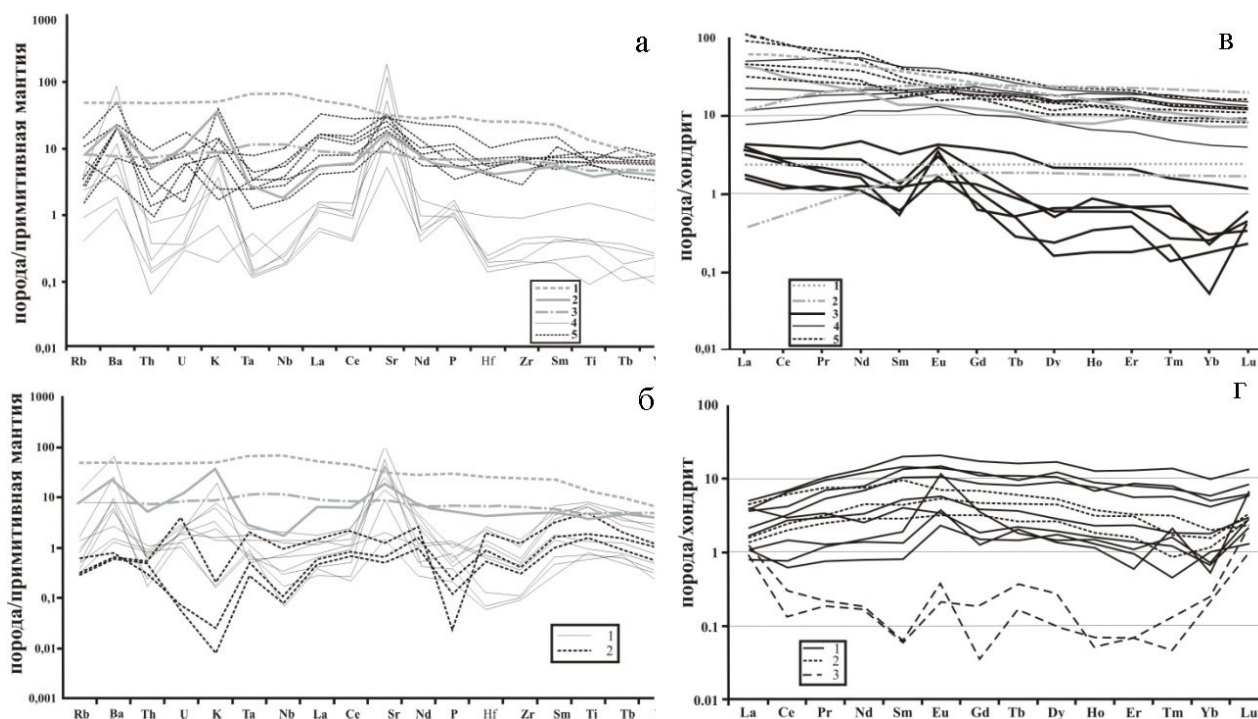


Рис. 3. Мультиэлементные (а, б) и REE (в, г) спектры габброидов и офиолитов:

а) 1–3 – OIB (1), IAB (2), MORB (3); 4–5 – владими́ро-але́ксандровские габброиды (4), сергеевские габброиды и офиолиты (5); б) 1, 2 – калиновские габброиды (Бреевский аллохтон) (1), массива Дальнего Кута (2). Остальные условные обозначения см. на рис. 2, а. в) 1 – примитивная мантия; 2 – деплетированная мантия; 3–5 – владими́ро-але́ксандровские (3), сергеевские офиолиты (4) и габброиды (5). Остальные условные обозначения см. на рис. 2, а; г) 1–2 – габброиды калиновские (Бреевский аллохтон) (1) и массива Дальнего Кута (2); 3 – серпентиниты бухты Мелководной. Для нормирования содержаний и построения эталонных спектров использованы геохимические данные С.С. Сана, У.Ф. МакДонафа [13] (для OIB и MORB); М.Т. Маккаллока, Ж.А. Гэмбла [14] (для IAB); У.Ф. МакДонафа и др. [15] и Д.А. Вуда и др. [16] (для примитивной мантии); Х. Палмэ, Х.Ст. О'Нэйлла [17] (для деплетированной мантии)

На диаграмме “Sm/Nd-Sm/Eu” (рис. 4, а) точки габброидов и метаморфизованных офиолитов образуют четыре тренда. Тренд I соответствует владими́ро-але́ксандровским ультрабазитам с REE-спектрами IAB-типа. На тренде II размещены точки сергеевских и каменных габброидов с REE-спектрами IAB-типа. На тренде III располагаются точки сергеевских и каменных офиолитов со спектрами MORB-типа. Точки бреевских габброидов образуют самостоятельный тренд IV, располагающийся выше трендов владими́ро-але́ксандровских, каменных и сергеевских габброидов и офиолитов.

На диаграмме “Sm/Nd-Nd” (рис. 4, б) точки владими́ро-але́ксандровских ультрабазитов, сергеевских и каменных габброидов со спектрами IAB-типа расположены в области более низких Sm/Nd-отношений по сравнению с точками бреевских ультрабазитов, а также сергеевских и каменных офиолитов со спектрами MORB-типа. На субгоризонтальном тренде сергеевских и каменных габброидов с REE-спектрами IAB-типа располагается также точка диоритов сергеевского комплекса Окраинско-Сергеевского террейна. Для сравнения на диаграмму вынесены точки надсубдукционных офиолитов Южного Тибета [18], в том числе базальтов и диабазов, положение которых примерно совпадает с положением точек сергеевских и каменных офиолитов.

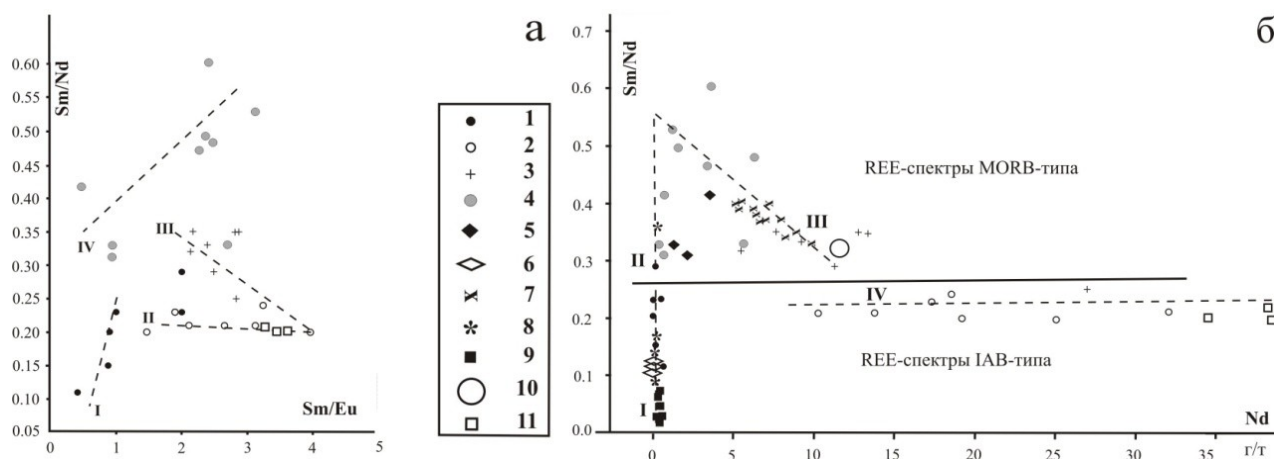


Рис. 4. Положение точек габброидов и офиолитов на диаграммах “Sm/Nd-Sm/Eu (а)” и “Sm/Nd- Nd (б)”:

1 – габброиды Владимир-Александровского массива; 2, 3 – каменские и сергеевские габброиды (2) и офиолиты (3); 4 – бреевские габброиды; 5 – ультраосновные породы окрестностей с. Дальний Кут; 6 – серпентиниты бухты Мелководной; 7–9 – супрасубдукционные офиолиты Южного Тибета [12]: базальты и диабазы (7), основные и ультраосновные кумуляты (8) и т. н. мантийные перидотиты (9); 10 – MORB по А.В. Хофманн [19]; 11 – граносиениты Мокрушинской площади. Пунктирные линии и римские числа на рисунках – тренды магматических пород и их номера (см. текст)

Для оценки источников вещества габброидов и метаморфизованных офиолитов были использованы диаграммы на основе отношений несовместимых элементов – Nb, Zr, Th и Y, которые являются относительно нечувствительными к процессам изменения пород и фракционной кристаллизации [20]. Большинство точек сергеевских и каменских офиолитов с REE-спектрами MORB-типа на диаграмме “Nb/Y-Zr/Y” (рис. 5) размещены вблизи точки верхней деплетированной мантии (в поле N-MORB), что хорошо согласуется с их природой. На диаграмме, кроме того, четко проявлен тренд (I), в пределах которого геохимические характеристики изменяются от характеристик примитивной мантии до характеристик магматических пород островной дуги. На нем располагаются все точки сергеевских габброидов и владими́ро-александровских ультрабазитов с REE-спектрами IAB-типа, а также точка диоритов Окраинско-Сергеевского террейна. Две точки каменских габброидов с REE-спектрами IAB-типа из-за высокого Zr/Y-отношения расположены примерно на продолжении этого тренда за пределами рисунка. Расположение точек ультрабазитов окрестностей с. Бреевка и Дальний Кут на диаграмме на трендах II и III в сочетании с изотопным составом Pb (см. ниже) указывают на то, что для них одним из источников магматического вещества являлась примитивная мантия, а не DEP, как можно было бы предположить для бреевских габброидов. Ультрабазиты окрестностей с. Бреевка и Дальний Кут обладают низкими значениями Zr/Y и Nb/Y, вследствие чего большинство их точек располагается на диаграмме за пределами полей магматических пород. Такими же и более низкими значениями Zr/Y и Nb/Y обладают некоторые осадочные породы, например пелагические карбонатно-кремнистые отложения мелового возраста на п-ове Камчатский Мыс [21] (см. рис. 5).

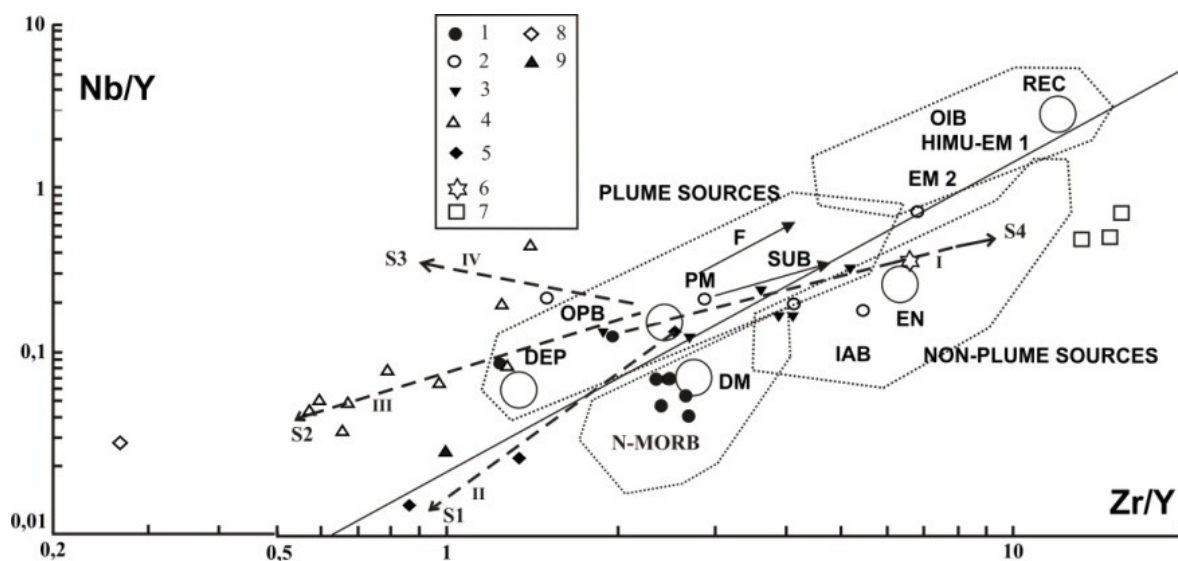


Рис. 5. Положение точек габброидов и офиолитов на диаграмме “Zr/Y-Nb/Y” [20]: Магматические породы (1–6): сергеевские и каменные офиолиты (1), сергеевские габброиды (2), габброиды владими́ро-александровские (3), бреевские (4), Дальнего Кута (5), диориты бухты Мелководной (6), граносиениты Мокрушинской площади (7). Меловые пелагические отложения п-ва Камчатский Мыс по средним содержаниям [21] (8, 9): известняки и кремнистые известняки (8), яшмы и известковистые яшмы (9). Пунктирными линиями со стрелками показаны тренды состава пород и одновременно векторы изменения состава выплавов из РМ в результате контаминации осадочным веществом. Римские цифры соответствуют номерам трендов (см. текст). S1-S4 – осадочные породы разной фацальной принадлежности. Поля пород и точки составов по К.С. Конди [20]: OIB – плюмовые внутриплитные базальты океанических островов, OPB – базальты океанических плато, MORB – базальты срединно-океанических хребтов, IAB – островодужные базальты, REC – рециклированная компонента, EN – обогащенная компонента, EM1 и EM2 – обогащенная мантия двух типов, HIMU – обогащенная U+Th/Pb мантия; PM – примитивная мантия, DM – верхняя деплетированная мантия, DEP – нижняя деплетированная мантия

Очевидно, расположение точек габброидов окрестностей с. Бреевка и Дальний Кут на трендах II-IV обусловлено смешением вещества РМ и осадочных пород некоторых фаций, несколько различающихся по химическому составу. На диаграмме “Zr/Nb-Nb/Th” (рис. 6), как и на рис. 5, тоже проявлен “островодужный” тренд сергеевских и владими́ро-александровских габброидов (I), началу которого примерно соответствует точка РМ. Большая часть точек сергеевских и каменных офиолитов приурочена к полю N-MORB с источником DM. Особенности расположения точек бреевских габброидов на этой диаграмме обусловлены не смешением вещества РМ и DEP (как можно было бы предполагать), а, как отмечалось выше, контаминацией выплавов из РМ веществом осадочных пород. Некоторые точки габброидов и офиолитов из-за высокого отношения Nb/Th расположены за пределами диаграммы.

Расположение точек на “островодужном” тренде I (см. рис. 5) не является бесспорным доказательством островодужной природы сергеевских, каменных и владими́ро-александровских габброидов. Аналогичный тренд характерен, например, для сумийских базальтоидов Карельского и Кольского кратонов, образование которых связано с процессами рифтогенеза [23]. Присутствие субдукционной компоненты авторы объясняют формированием базальтоидов из мантии, переработанной в результате предшествующего субдукционного события. С другой стороны, не наблюдается и принципиальных различий в общей картине распределения точек

габброидов Украинско-Сергеевского террейна и базальтов некоторых развитых островных дуг, например, высокоглиноземистых базальтов северо-восточной Японии (рис. 7). Для сравнения на диаграмму вынесены точки тибетских базальтов и диабазов, положение которых свидетельствует о плавлении верхней деплетированной мантии без заметного влияния на состав выплавки обогащенного компонента. Кумуляты и т. н. “мантийные перидотиты” тибетских офиолитов, судя по положению их точек на диаграмме, являются, возможно, производными выплавки из неоднородной по химическому составу рециклированной коры. Островодужной природе габброидов Украинско-Сергеевского террейна не противоречат расположение их точек на диаграмме “V-Ti” для базальтов развитых островных дуг (рис. 8) и характер REE-спектров.

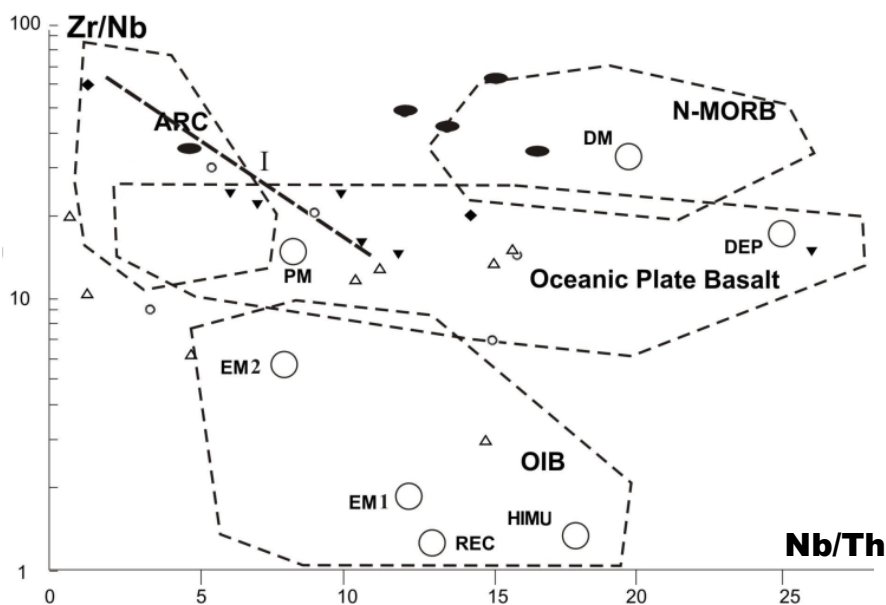


Рис. 6. Положение точек габброидов Сихотэ-Алиня на диаграмме “Zr/Nb -Nb/Th” [22]: I – сергеевские и каменские офиолиты. Остальные условные обозначения см. на рис. 5

На диаграмме “ $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - \text{Y/Nb}$ ” (рис. 9, а) габброиды и офиолиты образуют единый тренд, в пределах которого $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ изменяется от значений, близких к таковым для PM и DM, до среднего значения (0.12) в коре, что, очевидно, связано с влиянием вещества коровой природы. Положение точек в пределах тренда в целом согласуется с выводами об источниках вещества офиолитов, а также бревесских, сергеевских и владими́ро-александровских габброидов, сделанными выше на основе анализа диаграммы “Nb/Y-Zr/Y”. На диаграмме “ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - \text{Y/Nb}$ ” (см. рис. 9, б) точки владими́ро-александровских и каменских габброидов располагаются на тренде, начинающемся в точке PM (BSE) и протягивающемся в сторону EM1, а точки сергеевских габброидов занимают близкое к нему положение. С другой стороны, представлению о смешении вещества BSE и EM1 или EM2 в сергеевских, каменских и владими́ро-александровских габброидах противоречит положение точек этих пород на трендах (см. рис. 5, б), протягивающихся в поля базальтов островных дуг, в том числе и в сторону, противоположную EM1 и EM2 (см. рис. 6). “Островодужный” характер трендов I на диаграммах (см. рис. 5, б), скорее всего, обусловлен плавлением осадочных пород океанической коры под воздействием мантийного плюма, по-видимому, в основании островной дуги.

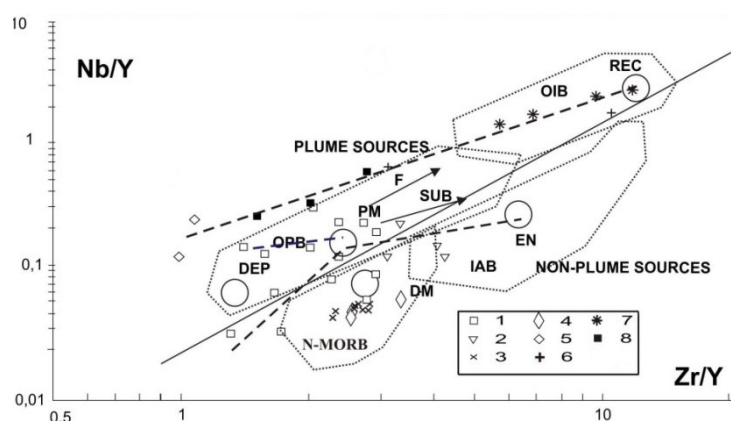


Рис. 7. Положение точек габброидов Сихотэ-Алия (а), высокоглиноземистых базальтов СВ Японии и магматических пород офиолитового комплекса Южного Тибета (б) на диаграмме “Zr/Y-Nb/Y”:

1 и 2 – базальты фронтальной (1) и тыловой (2) зон вулканического пояса СВ Японии [24]; 3–9 – базальты (3), диабазы (4), габбро (5), перидотиты (6), троктолиты (7), гарцбургиты и дуниты (8) офиолитового комплекса Южного Тибета [18]. Остальные условные обозначения см. на рис. 5

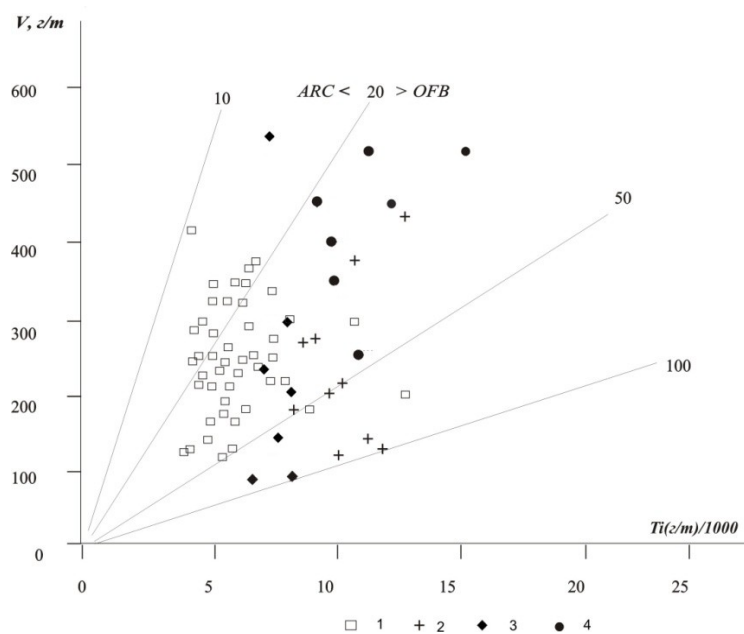


Рис. 8. Положение точек габброидов на диаграмме “V-Ti”:

Высокоглиноземистые вулканы фронтальной и тыловой зон (1) и внутриплитные лавы (2) Камчатской островной дуги. Габброиды и офиолиты Сихотэ-Алия: 3, 4 – сергеевские и каменские габброиды (3) и офиолиты (4). Диаграмма заимствована у Ю.А. Мартынова [24] и дополнена авторами. Поля показаны по И.В. Шервайсу [25]

Предположение о плавлении осадочных пород в основании островной дуги основывается на присутствии в сергеевских габброидах блоков офиолитового комплекса, а также на характере мультиэлементных и REE-спектров и “островодужных” особенностях изотопного состава Pb сергеевских, каменских и владими́ро-александровских габброидов (см. ниже). Точки сергеевских

и каменных офиолитов, большинство из которых с некоторым разбросом группируются на диаграмме (см. рис. 9, б) вблизи точки DM, что соответствует их природе, тем не менее, образуют тренд в область низких значений $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и Y/Nb . Его наличие, так же как и некоторое смещение точек сергеевских габброидов относительно тренда “BSE-S4”, связано с метаморфическими процессами. Особенности расположения точек “островодужных” сергеевских, каменных и владими́ро-александровских габброидов на этой и других диаграммах (см. рис. 5 и б) в целом определялись контаминацией выплавов из BSE осадочным веществом океанической коры.

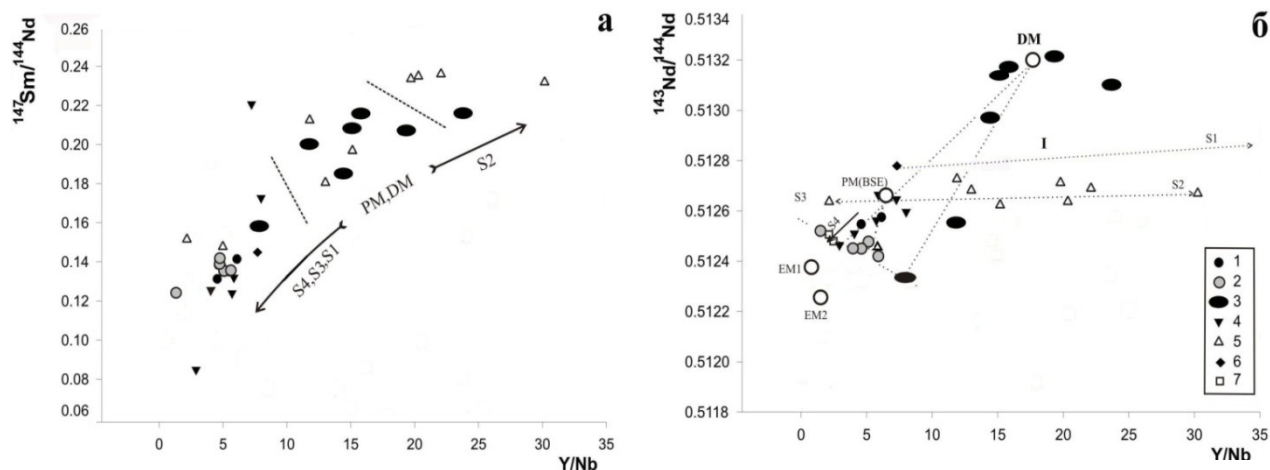


Рис. 9. Положение точек габброидов на диаграммах “ $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}-\text{Y}/\text{Nb}$ ” (а) и “ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}-\text{Y}/\text{Nb}$ ” (б): Магматические породы (1–7): каменные габброиды (1), сергеевские габброиды (2) и офиолиты (3), габброиды владими́ро-александровские (4), бреевские (5) и Дальнего Кута (6), граносиениты Мокрушинской площади (7). Две точки габброидов Дальнего Кута расположены на тренде IV за пределами рис. 8, а, б (в области высоких $\text{Y}-\text{Nb}$ -отношений).

Положение точек EM1 и EM2 на диаграмме показано приблизительно, так как, судя по литературным данным, им свойственны значительные пределы колебаний значений по меньшей мере $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

Все точки бреевских габброидов тренда III (см. рис. 5) на рис. 9, б располагаются на тренде, тоже начинающемся в точке BSE и протягивающемся в область высоких $\text{Y}-\text{Nb}$ -отношений при почти постоянном значении $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. Из диаграмм (см. рис. 9, а, б) видно, что контаминация магмы осадочным веществом в случае бреевских габброидов почти не влияла на величину $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, но приводила к значительному возрастанию или уменьшению величины $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$.

На диаграмме “ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ” (рис. 10, а) точки владими́ро-александровских и часть точек сергеевских габброидов располагаются на тренде, начинающемся в точке PM (BSE) и протягивающемся в сторону поля, предположительно, осадочных пород океанической коры S4, положение которого на диаграмме, очевидно близко к положению EM1. Смещение остальных точек сергеевских габброидов в сторону более высоких значений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, как и точек офиолитов, относительно DM обусловлено метаморфизмом пород сергеевского комплекса. Положение точек бреевских габброидов на рис. 10, так же как их положение на диаграмме (см. рис. 5), указывает на вещество мантийного резервуара BSE с примесью, предположительно, осадочного вещества S2 и S3. Большинство точек сергеевских офиолитов расположено в поле смеси DM+F, однако для некоторых образцов характерны изотопные отношения сергеевских габброидов, приобретенные, по-видимому, вследствие метаморфизма. Сергеевские и бреевские габброиды отличаются высокими значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (табл. 4), обусловленными примесью вещества корового происхождения (см. рис. 10, б).

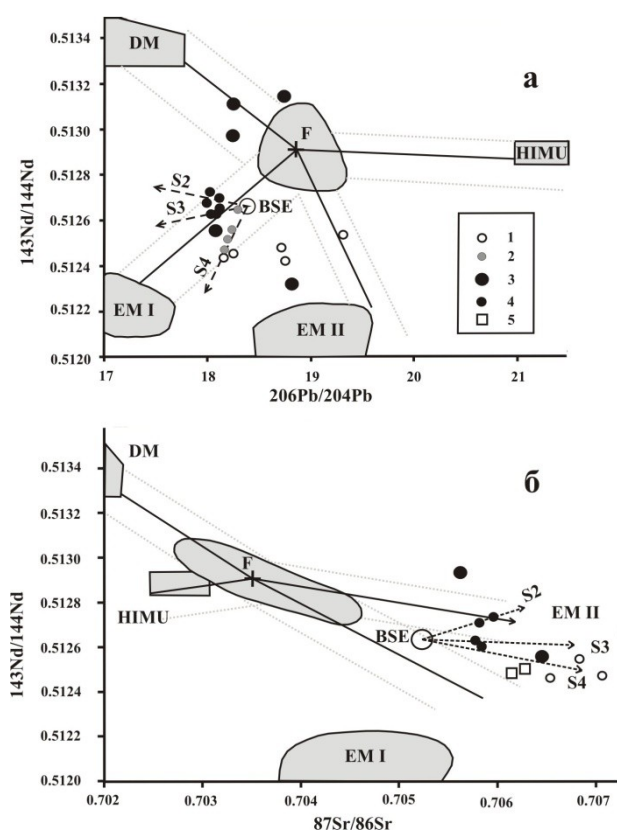


Рис. 10. Положение точек габброидов Сихотэ-Алия на диаграммах $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$:

1, 2 – сергеевские (1) и владимиро-александровские (2) габброиды; 3 – сергеевские и каменные офиолиты; 4 – бреевские габброиды; 5 – граносиениты Мокрушинской площади. DM, EM1, EM2, HIMU – конечные члены мантийного тетраэдра А. Зиндлера и С. Харта; F – внутритетраэдрный компонент. Большим кружком показано положение точки BSE по Х.Р. Роллинсону [26]

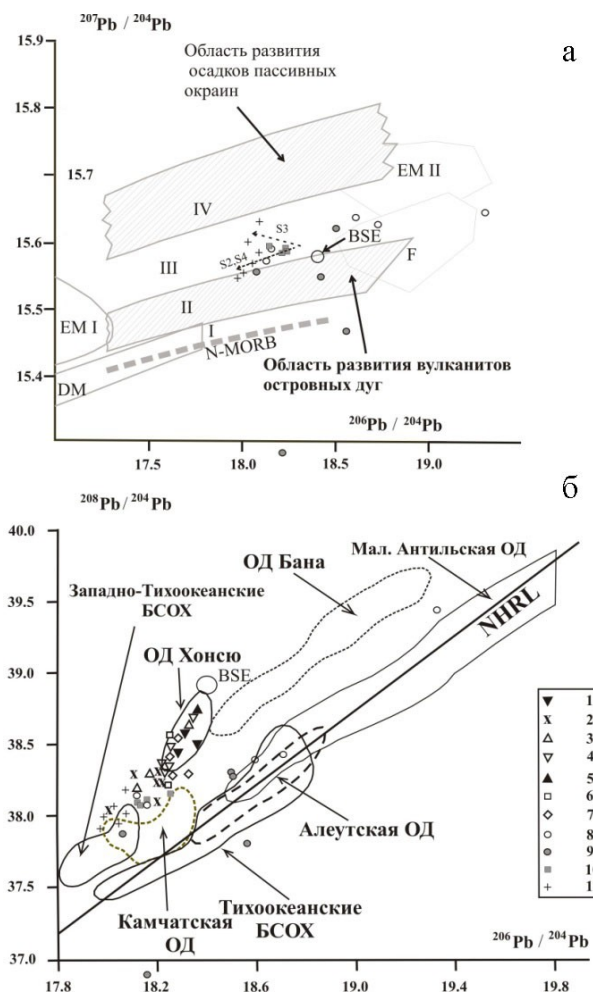
На диаграмме $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (рис. 11, а) показаны области изотопного состава свинца вулканитов островных дуг (II), пассивных континентальных окраин (IV) и тренд изотопного состава свинца деплетированной мантии (I). Границы этих областей и тренд приведены по С.А. Татарникову [27]. Кроме того, на диаграмме по литературным источникам оконтурены поля мантийных резервуаров. Из рис. 10 видно, что резервуар “DM” соответствует начальной, довольно значительной части поля Pb

MORB. Резервуар “EM1” и компонент “F” располагаются в начальной и конечной части поля Pb вулканитов островных дуг соответственно. Точки владимиро-александровских, бреевских и часть точек сергеевских габброидов располагаются на коротких трендах, начинающихся вблизи точки BSE и отвечающих смесям BSE+S4 (владимиро-александровские и сергеевские габброиды), BSE+S2 и BSE+S3 (бреевские габброиды). Остальные точки сергеевских габброидов из-за метаморфизма смещены в область более высоких значений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. По этой же причине только в одном из изученных образцов сергеевских офиолитов сохранились изотопные отношения Pb, свойственные базальтам океанической коры, вследствие чего его точка расположена в поле N-MORB.

На диаграмме (см. рис. 11, б) точки Pb габброидов и Pb островной дуги Хонсю приурочены к протяженному тренду, начинающемуся в точке BSE. Исключение составляют точки офиолитов, а также несколько точек сергеевских габброидов, в которых, как уже отмечалось выше, из-за метаморфизма существенно возросли значения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (см. рис. 10, а и 11, а). Расположение на этом же тренде точек Pb галенита скарновых и жильных (не вынесены из-за перегруженности диаграммы) месторождений Сихотэ-Алия связано с образованием скарнов и руд за счет продуктов экзогенного разрушения габброидов [28, 29].

В последнее время на Мокрушинской площади нами обнаружены граносиениты со структурой “антирапакиви”, очевидно, метаморфической природы, которые по геохимическим особенностям и изотопным характеристикам (см. рис. 4 а, б, 5, 9 б, 10 б) отвечают сергеевским габброидам. Это обстоятельство свидетельствует в пользу присутствия фрагментов Окраинско-Сергеевского террейна в Таухинском террейне и принадлежности габброидов и, по крайней мере, части средних и кислых магматических пород Окраинско-Сергеевского террейна к единому островодужному (?) комплексу. Ранее наличие фрагментов Окраинско-Сергеевского террейна в Таухинском террейне предполагалось нами только на основании присутствия метаморфизованных продуктов экзогенного разрушения базитов и ультрабазитов – скарнов, яшм

и контактово-метаморфизованных металло-носных осадков (марганцевосиликатных пород, силикатно-магнетитовых руд, кремней с дисперсным родохрозитом), а также родингитов.



а *Рис. 11. Особенности изменения изотопных отношений Pb габброидов Сихотэ-Алиня (а, б) и руд скарновых (б) месторождений Сихотэ-Алиня:*
 1–7 – свинец скарновых месторождений: Верхнего (1); Николаевского (2); Первого Советского (3); Партизанского (4); Восточный Партизан (5); Второго Советского (6); Садового (7). Магматические породы (8–11): сергеевские габброиды (8) и офиолиты (9), владими́ро-александровские (10) и бреевские (11) габброиды. Изотопные данные для Pb галенита руд скарновых месторождений заимствованы из сводки Ф.И. Ростовского [30]. Поля на диаграммах показаны по С.А. Татарникову [15] (а), а также Т.Г. Чуриковой с соавторами и Р.Р. Альмееву [31] (б). DM, EM I, EM 2 и BSE по Х.Р. Роллинсону [26]

б

Заключение

Габброиды сергеевского и калиновского комплексов, а также породы Владимиро-Александровского массива имеют общий мантийный источник магматического материала – примитивную мантию (BSE) – и образовались в результате взаимодействия плюма с осадочными породами океанической коры, предположительно, судя по геохимическим

особенностям и изотопному составу свинца, в основании островной дуги (габброиды и гранито-гнейсы Окраинско-Сергеевского террейна и его фрагментов и ультрабазиты Владимиро-Александровского массива) или океанических плато (габброиды калиновского комплекса). Они различаются между собой химическим составом присутствующей в них осадочной компоненты и, вероятно, возрастом. По меньшей мере с девона упомянутые структуры в виде двух цепочек островов располагались вблизи окраины Ханкайского массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России. Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. 276 с.
2. Сеница С.М. О происхождении гнейсовой фации сергеевских габброидов (Южное Приморье) // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23, № 3. С. 32–36.
3. Коваленко С.В., Давыдов И.А. Сергеевский выступ – древняя структура Южного Сихотэ-Алиня // ДАН СССР. 1991. Т. 319, № 5. С. 1173–1177.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572.
5. Октябрьский Р.А. Петрология палеозойских интрузивных базитов Южного Приморья: дис. ... к.г.-м.н. Владивосток, 1971, 256 с.
6. Ханчук А.И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., 1993. 31 с.
7. Новые минералого-петрографические находки в зоне центрального структурного шва (Сихотэ-Алинь) / С.А. Щека и др. // Вопросы магматизма, метаморфизма и оруденения Дальнего Востока. Владивосток, 1973. С. 258–260.
8. Ханчук А.И., Панченко И.В. Гранатовое габбро в офиолитах Южного Сихотэ-Алиня // ДАН СССР. 1991. Т. 321, № 4. С. 800–803.
9. U-Pb, Hf изотопные и REE систематики цирконов из сергеевского комплекса Сихотэ-Алиня: генезис кристаллов минерала-геохронометра и возраст этапов становления пород / А.А. Аленичева и др. // Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии

“Изотопные системы и время геологических процессов”. СПб., 2009. Т. 1. С. 26–28. **10.** Голозубов В.В., Мельников Н.Г. Тектоника геосинклинальных комплексов Южного Сихотэ-Алия. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 128 с. **11.** Саватенков В.М., Морозова И.М., Левский Л.К. Поведение изотопных систем (Sm–Nd; Rb–Sr; K–Ar; U–Pb) при щелочном метасоматозе (фениты зоны экзоконтакта щелочно-ультраосновной интрузии) // Геохимия. 2004. № 10. С. 1027–1049. **12.** Мельников Н.Н. Погрешности метода двойного изотопного разбавления при изотопном анализе обыкновенного свинца // Геохимия. 2005. № 12. С. 1333–1339. **13.** Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / ed. by A.D. Saunders and M.J. Norry // *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, London, 1989. V. 42. P. 313–345. **14.** McCulloch M.T., Gamble J.A. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. Vol. 102. P. 358–374. **15.** Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle / W.F. McDonough, S. Sun, A.E. Ringwood, E. Jagoutz, A.W.K. Hofmann // *Geochim. Cosmochim. Acta*, Ross Taylor Symposium Volum. 1991. **16.** Elemental and Sr isotope variations in basic from Iceland and surrounding ocean floor / D.A. Wood, J.L. Joron, M. Treuil, M. Norry, J. Tarney // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1979. Vol. 70. P. 319–339. **17.** Palme H., O'Neill H.St.C. The Mantle and Core // *Treatise Geochem.* 2003. Vol. 2. P. 1–38. **18.** Geochemistry and tectonic environment of the Dagzhuka ophiolite in the Yarlung-Zangbo suture zone, Tibet / B. Xia, H.X. Yu, G.W. Chen, L. Qi, T.P. Zao, M.F. Zhou // *Geochemical Journal*, 2003, V. 37, P. 311–324. **19.** Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // *Earth Plan. Sci. Lett.* 1988. Vol. 90. P. 297–314. **20.** Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos.* 2005. Vol. 79. P. 491–504. **21.** Савельева О.Л. Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки: автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2009. 25 с. **22.** Pearce Ju.A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // *Lithos.* 2008. Vol. 100. P. 14–48. **23.** Богда М.М., Злобин В.Л. Корреляция сумийского базальтового вулканизма Карельского и Кольского кратонов: петрогеохимия, возраст и геодинамическая обстановка формирования // *Магматизм и метаморфизм в истории Земли: тез. докл. XI Всероссийского петрографического совещания*. Екатеринбург, 2010. Т. 1. С. 82–83. **24.** Мартынов Ю.А. Геохимия базальтов активных континентальных окраин и зрелых островных дуг (на примере Северо-Западной Пацифики). Владивосток: Дальнаука, 1999. 218 с. **25.** Shervais I. W. Ti-V plots and petrogenesis of modern and ophiolitic lavas // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 1982. Vol. 59, № 1. P. 101–118. **26.** Rollinson H.R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: Longman Group UK Ltd., 1993. 352 p. **27.** Татарников С.А. Изотопный состав Pb вкрапленников кпш разновозрастных гранитов Восточного Забайкалья // *Современные проблемы геохимии: материалы научной конференции, посвященной 50-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 50-летию Сибирского отделения Российской академии наук (2–6 апреля 2007 г.)*. Иркутск, 2007. С. 60–61. **28.** Роль офиолитов в металлогении Сихотэ-Алия / В.Т. Казаченко и др. // *ДАН*. 2012. Т. 444, № 4. С. 412–416. **29.** Роль осадочных палеобассейнов в металлогении крупных геологических структур (на примере Сихотэ-Алия) / В.Т. Казаченко и др. // *Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: материалы IV Всероссийского литологического совещания*. Новосибирск, 2013. Т. 1. С. 407–411. **30.** Ростовский Ф.И. Об изотопных отношениях свинца в галенитах рудных месторождений Востока Азии // *Тихоокеанская геология*. 2005. Т. 24, № 2. С. 33–45. **31.** Альмеев Р.Р. Геохимия магматизма вулкана Безымянный: признаки мантийного источника и условия фракционирования исходной магмы: автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2005. 26 с.

Сведения об авторах

Казаченко Валентин Тимофеевич – д.г.-м.н., заведующий лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН; e-mail: vkazachenko@mail.ru

Лаврик Сергей Николаевич – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН; e-mail: s_lavric@mail.ru

Перевозникова Елена Валерьевна – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН; e-mail: elenavalper@yandex.ru,

Скосарева Наталья Валерьевна – старший инженер Дальневосточного геологического института ДВО РАН; e-mail: absenta2004@mail.ru