

Научные статьи

УДК 552.11:551.2

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2026-3-71-5-20>

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ВУЛКАНИЗМА И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОГО ХРЕБТА ВИТЯЗЯ В СОСТАВЕ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ

© 2026 Т.А. Емельянова¹, Н.С. Ли¹, Г.М. Вовна², Ю.О. Савельев²

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия, 690041; e-mail: emelyanova@poi.dvo.ru

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022

Поступила в редакцию 01.04.2026; после доработки 08.08.2026; принята в печать 25.09.2026

Приведены оригинальные петролого-геохимические данные по плиоцен-плейстоценовым вулканитам Южного плато подводного хребта Витязя. На их основе и с привлечением ранее полученных изотопно-геохимических данных подтверждено генетическое сходство вулканитов Южного и Северного плато хребта Витязя с вулканитами южного и северного участков Курильской островной дуги, соответственно. Получено также подтверждение тому, что южный и северный блоки Курильской островодужной системы формировались под влиянием астеносферной мантии Indian MORB (I-MORB) и Pacific MORB (P-MORB). Формирование позднекайнозойских вулканитов хребта Витязя и Курильской дуги происходило преимущественно в субдукционном режиме. Однако среди известково-щелочных пород установлены вулканиты высокой или повышенной щелочности и калиевости. Они приурочены к зонам растяжения и рифтогенеза, через которые осуществлялся апвеллинг подслэбовой астеносферной мантии. Влияние мантии P-MORB на магмогенез приводило к выплавке высококалиевых магм под вулканами Алаид, Геофизиков и Горелым и магм повышенной щелочности под Северным плато хребта Витязя и рифтогенной зоной. Мантия I-MORB способствовала генерации высококалиевых расплавов под хребтами Гидрографов и Зонне и повышенной щелочности под Южным плато.

Ключевые слова: хребет Витязя, вулканиты, геохимия, геодинамические режимы, астеносферный диапиризм.

ВВЕДЕНИЕ

Геолого-геофизические исследования в центральной части Курильской островодужной системы, включающей Курильскую островную дугу и подводный хребет Витязя (рис. 1), выполнялись по проекту «Изучение строения центральной части Курило-Камчатской островной дуги как возможного очага катастрофического цунамигенного землетрясения». Работы проводились в морских геолого-геофизических экспедициях на научно-исследовательском судне (НИС) «Академик М.А. Лаврентьев» (рейсы 37, 41, 52),

организованных Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева ДВО РАН и Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2005, 2006 и 2010 гг. Геологические работы заключались в проведении драгирования крутых склонов и вулканических построек Южного и Северного плато подводного хребта Витязя с целью получения каменного материала, в частности, образцов вулканических пород.

Проведенные лабораторные исследования и полученные аналитические данные о возрасте и петролого-геохимическом составе вулканитов хребта Витязя показали, что радиоизотопный

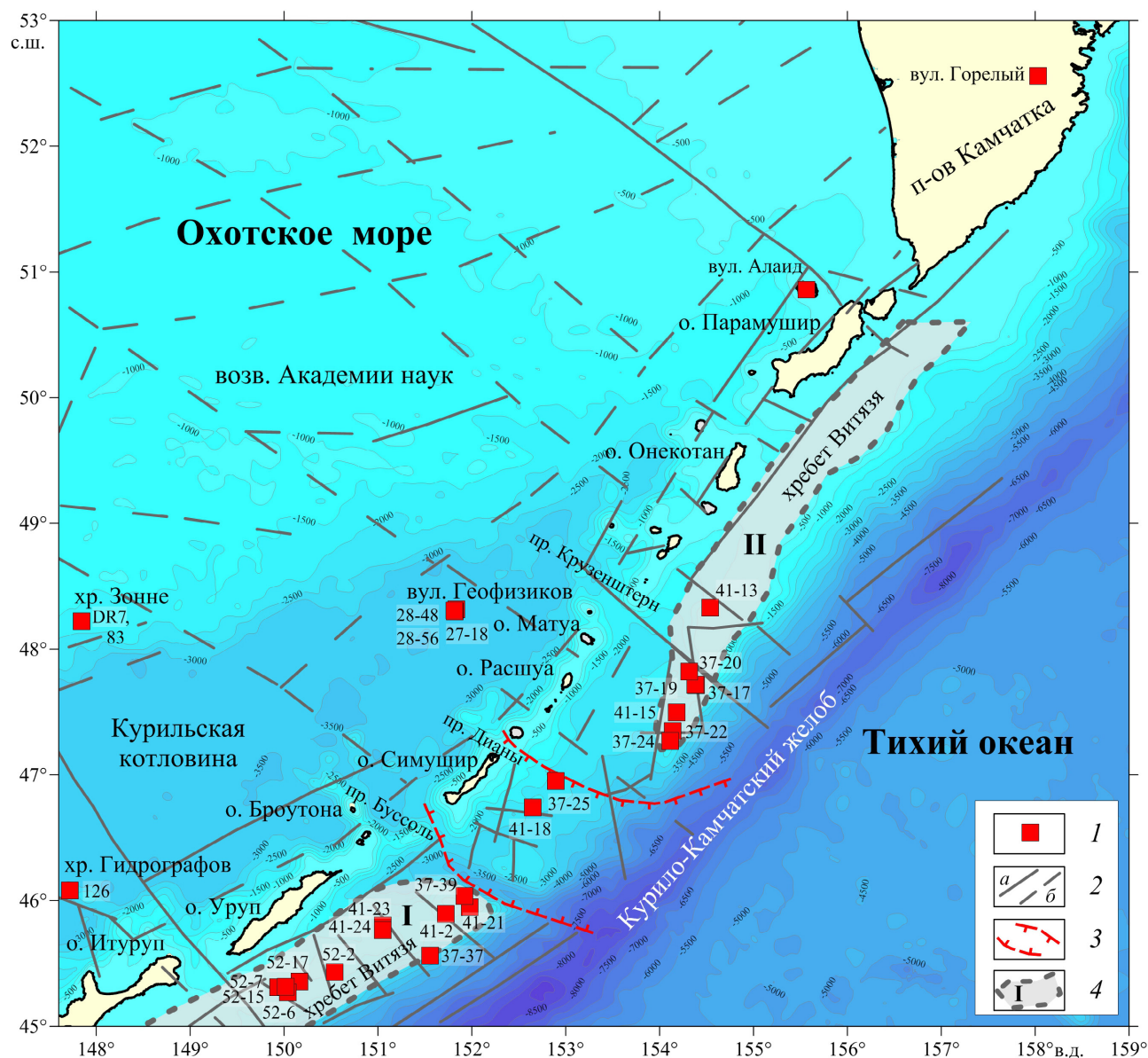


Рис. 1. Карта южной части Охотоморского региона (изолинии рельефа проведены через 500 м): 1 — точки отбора проб позднекайнозойских вулканических пород; 2 — разломы (Международный..., 2003): *a* — установленные, *б* — предполагаемые; 3 — границы рифтогенной зоны Центральных Курил (Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017); 4 — контуры хребта Витязя (Кулинич и др., 2007): I — Южное плато, II — Северное плато.

Fig. 1. Map of the southern part of the Sea of Okhotsk region (relief contours are drawn every 500 m): 1 — sampling points of Late Cenozoic volcanic rocks; 2 — faults (International..., 2003): *a* — established, *b* — inferred; 3 — boundaries of the rift zone of the Central Kuril Islands (Kulinich et al., 2007; Proshkina et al., 2017); 4 — contours of the Vityaz Ridge (Kulinich et al., 2007): I — Southern Plateau, II — Northern Plateau.

возраст охватывает диапазон от палеоцена до плейстоцена, преобладают плиоцен-плейстоценовые разновидности (Леликов, Емельянова, 2011), которые обладают химическими свойствами пород известково-щелочной вулканической серии. На основе сравнительного анализа изотопно-геохимических особенностей было установлено сходство вулканитов Южного плато хребта Витязя и южного участка Курильской островной дуги, а вулканитов Северного плато с вулканитами северного участка дуги (Емелья-

нова и др., 2012, 2020, 2024; Леликов, Емельянова, 2011).

Это обстоятельство явилось доказательством тому, что хребет Витязя и Курильская островная дуга формировались в геодинамической обстановке островных дуг с преимущественным проявлением в пределах обеих структур известково-щелочного вулканизма. Однако, на вулкане Алаид (о. Атласова) были обнаружены шошониты и высококальциевые вулканиты — не типичные для островной дуги вулканические образования

(Мартынов и др., 2024). По мнению цитируемых авторов, высококалиевая природа этих пород обусловлена участием в магмогенезисе подслэбовой астеносферной мантии, проникавшей через зону растяжения, образование которой связано с режимом трансформной окраины.

Аналогичные рифтогенные и разломные зоны северо-западного простирания, характерные для режима трансформной окраины, установлены в пределах Курильской островодужной системы (Кулинич и др., 2007), а также в других частях юга Охотоморского региона (рис. 1). К этим зонам приурочены вулканы Геофизиков, Горелый и хребты Гидрографов и Зонне с проявлениями щелочного высококалиевого вулканизма (Baranov et al., 2002; Duggen et al., 2007; Tararin et al., 2003; Werner et al., 2020).

В связи с тем, что все перечисленные структуры, по нашему мнению, связаны друг с другом едиными геодинамическими и тектоническими условиями формирования, нами была предпринята попытка на основе корреляционного анализа выявить вулканические породы повышенной щелочности и калиевости в пределах Южного и Северного плато хребта Витязя. Установление особенностей их генезиса, в той или иной степени, связанных с проявлением режима трансформной окраины, могло бы дополнить деталями точку зрения на происхождение хребта Витязя, ранее относимого исключительно к субдукционному режиму (Емельянова и др., 2012, 2020, 2024; Леликов, Емельянова, 2011).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы вулканических пород были подняты с крутых склонов Южного плато подводного хребта Витязя в результате драгирования в 52 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2010 г. В лабораторных условиях были получены первые данные по петрогенным и редким элементам с использованием современных методов исследований в лаборатории аналитической химии Дальневосточного геологического института (ДВГИ ДВО РАН) (г. Владивосток) (табл. 1). Определение содержаний редких элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 8800 x (Agilent Techn., США), аналитик с.н.с. Г.А. Горбач, Н.В. Хуркало. Пробоподготовка — кислотное разложение ($\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HF}$), аналитик О.Е. Нечаюк. Анализ на H_2O , ППП, SiO_2 выполнен методом гравиметрии, аналитик Л.И. Алексеева. Определение содержаний редких элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 8800 x (Agilent Techn., США), аналитик с.н.с.

С.Ю. Будницкий. Ответственный исполнитель н.с. Н.В. Зарубина.

В статье также были использованы полученные данные по изотопно-геохимическому составу и радиоизотопному возрасту вулканитов хребта Витязя и Курильской островной дуги, а также других структур южной части Охотоморского региона, методы определения которых подробно описаны в публикациях (Емельянова, Леликов, 2010; Емельянова и др., 2012, 2020, 2024; Мартынов и др., 2010, 2012, 2024; Baranov et al., 2002; Duggen et al., 2007; Tararin et al., 2003; Werner et al., 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подводный хребет Витязя входит в состав Курильской островодужной системы, простираясь вдоль тихоокеанского склона Курильской дуги и отделяясь от нее на севере Срединно-Курильским прогибом. На юго-востоке его склон опускается к Курило-Камчатскому желобу (рис. 1) (Леликов, Емельянова, 2011). В центральной части хребет разделен на Южное и Северное плато рифтогенной зоной (Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017), расположенной между проливами Буссоль и Дианы. Зона пересекает всю Курильскую островодужную систему в центральной ее части, протягиваясь от Курило-Камчатского желоба в Курильскую котловину, с которой она имеет почти одинаковую максимальную глубину — 3400–3500 м (Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017).

Земная кора в районе хребта Витязя относится к континентальному типу (25–30 км) в пределах Южного плато и субконтинентальному (17–20 км) — в пределах Северного плато, что указывает на более высокий уровень подъема подслэбовой астеносферной мантии под ним по сравнению с Южным плато. Параметры мощности коры в пределах рифтогенной зоны совпадают с таковыми на юго-западе Курильской котловины и составляют 10–15 км, что соответствует океаническому типу (Косминская и др., 1963; Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017).

Согласно одной из точек зрения, происхождение рифтогенной зоны связано с апвеллингом астеносферного диапира (далее по тексту Р-MORB), распространение которого происходит со стороны Тихого океана в Курильскую котловину и, вероятно, в северо-восточную часть Курильской островодужной системы (в том числе в пределы Северного плато) (Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017). Судя по радиоизотопному возрасту вулканитов рифтогенной зоны, относящемуся к среднему миоцену (14.5 млн лет), этот этап ее формиро-

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в вулканических породах Южного плато хребта Витязя
Table 1. Content of petrogenic (wt. %) and rare (ppm) elements in volcanic rocks of the Southern Plateau of the Vityaz Ridge

№ обр.	LV52-6-17	LV52-17-2	LV52-6-5	LV52-151	LV52-6-6	LV52-6-8	LV52-7-2	LV52-15-2	LV52-6-13	LV52-2-4	LV52-17-14	LV52-6-1	LV52-7-1	LV52-17-17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	48.50	48.71	49.37	50.25	52.08	52.90	53.54	54.16	54.59	56.02	60.94	63.38	63.83	69.54
TiO ₂	0.84	0.88	0.90	1.58	0.95	2.26	0.88	0.68	0.90	0.80	0.55	0.66	1.09	0.45
Al ₂ O ₃	17.76	15.74	18.14	17.66	18.78	14.02	15.74	18.02	15.91	16.09	16.54	15.46	16.56	13.67
Fe ₂ O ₃	9.30	12.03	9.58	10.08	8.23	11.73	12.03	8.77	12.32	10.44	7.41	6.28	7.82	4.04
MnO	0.91	0.21	0.37	0.15	0.13	0.19	0.21	0.17	0.26	0.19	0.23	0.03	0.08	0.07
MgO	4.83	3.87	4.06	5.85	3.84	3.62	3.87	4.05	3.74	3.75	3.00	1.69	1.18	1.15
CaO	8.16	9.54	9.40	8.57	9.87	7.52	9.54	9.25	8.94	8.88	6.43	2.04	3.27	2.12
Na ₂ O	3.09	2.44	3.40	3.99	3.26	3.50	2.44	3.14	2.11	2.82	3.26	3.33	2.57	3.77
K ₂ O	0.66	0.17	0.80	0.66	0.68	1.43	0.17	1.23	0.25	0.46	0.94	2.75	0.73	4.01
P ₂ O ₅	0.30	0.05	0.23	0.25	0.20	0.59	0.05	0.18	0.05	0.17	0.13	0.12	0.20	0.17
H ₂ O-	2.66	0.65	1.45	0.53	0.84	0.43	0.65	0.12	0.32	0.23	0.12	2.94	0.20	0.15
ппп	2.81	0.51	2.03	0.15	0.76	1.48	0.51	0.01	0.26	0.01	0.26	1.06	2.09	0.60
Сумма	99.80	99.74	99.71	99.71	99.64	99.67	99.63	99.77	99.65	99.86	99.82	99.73	99.61	99.76
Li	34.97	7.262	17.52	17.87	16.23	16.49	7.262	6.313	4.886	6.239	7.917	38.33	16.76	16.12
Be	0.852	0.282	0.396	1.048	0.733	1.395	0.282	0.635	0.171	0.415	0.450	1.592	0.881	1.550
Sc	21.99	42.03	27.20	22.98	25.80	29.08	42.03	20.07	44.11	35.38	19.11	11.35	19.13	16.22
V	180.7	330.9	233.1	186.2	221.7	251.9	330.9	238.5	175.5	243.1	134.5	112.8	39.69	86.66
Cr	46.67	12.35	80.34	30.70	60.63	24.32	12.35	13.56	4.293	8.704	12.21	56.64	6.189	11.12
Co	153.19	26.98	43.92	28.37	22.92	22.80	26.98	23.76	22.08	23.18	21.55	12.73	11.07	10.52
Ni	93.78	8.689	32.38	17.58	14.05	11.27	8.689	14.58	6.830	5.857	18.74	18.14	8.834	6.174
Cu	49.82	57.62	73.82	14.97	49.66	51.53	57.62	20.34	17.65	30.54	21.72	18.41	18.31	11.98
Zn	139.4	108.8	98.37	89.18	96.08	125.1	108.8	77.13	135.8	101.2	75.69	75.44	144.8	127.6
Ga	20.94	19.55	17.39	16.81	19.70	17.66	19.55	18.63	17.92	16.81	13.70	18.22	20.07	19.83
Ge	0.863	1.334	1.079	1.084	0.966	1.554	1.334	1.242	1.595	1.277	1.323	1.486	1.615	2.176
As	3.810	1.595	3.355	2.906	2.701	1.904	1.595	3.295	1.224	0.641	3.722	10.35	3.251	3.421
Rb	9.019	2.636	10.67	5.553	10.34	19.96	2.636	19.96	3.517	6.805	14.09	76.36	18.90	109.7
Sr	589.8	212.5	482.7	334.7	526.5	386.9	212.5	549.1	200.6	224.8	294.9	300.5	313.3	292.3
Y	23.30	20.22	17.95	22.35	18.79	36.72	20.22	17.62	22.28	24.36	20.02	17.64	34.14	39.79

Таблица 1. Окончание [Table 1. Continued]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Zr	92.09	32.49	61.66	156.7	83.23	216.2	32.49	69.99	31.92	51.27	76.73	98.42	139.2	36.30
Nb	2.935	0.321	2.202	7.162	2.609	8.710	0.321	1.814	0.273	0.520	1.222	6.147	13.138	5.034
Mo	7.610	0.616	2.466	0.527	0.439	1.306	0.616	0.897	0.487	0.631	1.515	0.426	0.372	0.488
Ag	0.054	0.024	0.056	0.092	0.053	0.129	0.024	0.043	0.028	0.031	0.054	0.071	0.089	0.031
Cd	0.394	0.183	0.204	0.237	0.357	0.359	0.183	0.130	0.191	0.144	0.158	0.264	0.200	0.144
Sn	1.097	0.575	0.847	1.249	0.972	2.152	0.575	0.614	0.549	0.643	0.731	1.458	1.731	2.654
Sb	1.673	0.166	0.734	0.129	0.232	0.204	0.166	0.241	0.482	0.134	0.458	0.411	0.347	0.257
Cs	0.327	0.301	0.656	0.293	0.386	0.649	0.301	0.878	0.397	0.562	0.871	3.620	3.240	3.142
Ba	305.8	52.6	218.4	161.9	275.7	317.7	52.6	354.1	37.3	82.92	226.0	480.5	443.2	1585
La	12.74	1.567	8.204	9.030	9.328	19.39	1.567	9.849	1.726	3.443	6.180	19.62	24.70	24.70
Ce	28.58	4.487	18.83	21.40	22.01	46.35	4.487	21.27	4.561	8.766	14.60	43.97	53.73	52.82
Pr	4.037	0.773	2.649	3.053	3.093	6.533	0.773	2.790	0.849	1.355	2.058	5.382	7.883	6.729
Nd	18.37	4.558	12.68	14.30	13.99	29.75	4.558	13.03	4.962	7.406	9.605	22.05	32.53	27.90
Sm	4.337	1.677	3.122	3.727	3.523	7.231	1.677	3.115	1.899	2.558	2.623	4.807	7.936	6.380
Eu	1.318	0.768	1.035	1.313	1.094	2.178	0.768	0.996	0.747	0.868	0.788	1.210	2.001	1.534
Gd	4.550	2.473	3.353	4.188	3.550	7.681	2.473	3.181	2.722	3.100	2.931	4.518	8.367	6.417
Tb	0.657	0.481	0.540	0.678	0.582	1.220	0.481	0.499	0.569	0.606	0.496	0.636	1.352	1.068
Dy	4.203	3.445	3.288	4.264	3.642	7.178	3.445	3.021	3.854	4.153	3.373	3.549	8.157	6.714
Ho	0.748	0.692	0.595	0.775	0.655	1.256	0.692	0.587	0.759	0.778	0.639	0.622	1.337	1.274
Er	2.248	2.134	1.814	2.255	1.984	3.726	2.134	1.799	2.297	2.482	2.035	1.819	3.658	3.972
Tm	0.361	0.348	0.277	0.357	0.298	0.543	0.348	0.273	0.381	0.393	0.340	0.285	0.522	0.654
Yb	2.423	2.479	1.909	2.268	2.079	3.528	2.479	2.146	2.510	2.703	2.335	1.840	3.392	4.495
Lu	0.359	0.370	0.279	0.343	0.288	0.507	0.370	0.305	0.381	0.407	0.371	0.266	0.427	0.661
Hf	2.427	0.994	1.667	3.140	2.083	4.546	0.994	1.762	1.023	1.438	2.106	2.467	3.010	1.643
Ta	0.169	0.018	0.128	0.413	0.152	0.535	0.018	0.102	0.021	0.038	0.084	0.367	0.546	0.317
W	1.248	0.684	1.397	0.135	0.240	0.932	0.684	0.385	0.473	0.205	0.543	0.774	0.885	0.509
Tl	0.472	0.034	0.088	0.043	0.063	0.184	0.034	0.045	0.049	0.153	0.053	0.436	0.148	0.707
Pb	9.009	3.593	5.716	4.500	7.509	8.687	3.593	7.219	3.122	4.522	6.569	12.718	12.647	16.750
Bi	0.202	0.018	0.030	0.022	0.023	0.047	0.018	0.014	0.025	0.033	0.022	0.100	0.242	0.144
Th	1.918	0.222	0.944	1.094	1.320	2.355	0.222	2.500	0.264	0.541	1.862	4.378	6.795	9.110
U	1.536	0.104	1.108	2.292	0.645	0.982	0.104	2.894	0.148	1.951	3.968	2.010	1.723	1.526

Примечание (табл. 1). Определения содержаний петрогенных и редких элементов в пробах пород выполнены в Лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Note (table 1). Determinations of the petrogenic and rare element contents in rock samples were performed at the Analytical Chemistry Laboratory of the Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok).

вание совпадает с одним из этапов образования Курильской котловины (32–15 млн лет) (Мартынов и др. 2012) и со временем продолжающегося рифтогенеза, приходящегося на временной интервал от 1.63 до 0.84 млн лет (табл. 2). Зарождение Курильской вулканической дуги принято относить к олигоцену или раннему миоцену (Мартынов и др. 2012), к этому же возрасту относится, вероятно, и начало формирования хребта Витязя, однако в пределах обеих структур вулканическая активность продолжалась вплоть до конца плейстоцена.

В геологическом строении хребта Витязя принимают участие доверхнемеловые роговики, кварциты и габброиды, верхнемеловые-нижнепалеоценовые вулканогенно-кремнисто-терригенные породы и позднемеловые гранитоиды (74.0 млн лет), представленные биотит-роговообманковыми гранитами и гранодиоритами (Леликов, Емельянова, 2011).

Однако преобладающим типом пород являются позднекайнозойские вулканические породы, главным образом, плиоцен-плейстоценового, реже позднеолигоцен-миоценового

Таблица 2. Радиоизотопный возраст (млн лет) позднекайнозойских вулканических пород хребта Витязя и других структур Курильской островодужной системы

Table 2. Radioisotope age (million years) of Late Cenozoic volcanic rocks of the Vityaz Ridge and other structures of the Kuril Island Arc system

п/п	Наименование структуры	№№ образцов	Возраст $\pm 1.6 \sigma$, млн лет	Методы определения возраста	Литературный источник
1	Южное плато хребта Витязя	LV37-37-6	10.7	K-Ar	Емельянова и др., 2024
2		LV41-23 LV37-39-1	4.3 3.3		
3	Северное плато хребта Витязя	LV37-24-2	27.5	K-Ar	Емельянова и др., 2024
4		LV41-15-10	3.0		
5	Рифтогенная зона	LV41-18-5	14.5	K-Ar	Емельянова и др., 2024
6		LV37-25-1	1.6		
7	Хребет Зонне	SO178-DR7-1-1 SO178-DR7-1-2 SO178-DR83	25.86 25.30 25.83	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Werner et al., 2020
8	Хребет Гидрографов	LV29-126-1-1 LV29-126-1-2 LV29-126-4-1	3.31 3.17 3.29	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Werner et al., 2020
9	Вулкан Геофизиков	LV27-18-3 LV27-18-1	1.63–0.93	K-Ar	Емельянова, Леликов, 2010
10		LV28-48 LV28-56	1.07–0.84	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Baranov et al. 2002

Примечание. Вулканические породы: 1, 3, 5 — амфибол-двупироксен-плагиоклазовые андезиты и андезидациты, 2 — клинопироксен-плагиоклазовые андезибазальты, 4 — амфибол-двупироксен-плагиоклазовые андезибазальты, 6 — оливин-клинопироксен-плагиоклазовые базальты, 7 — трахиандезиты, 8 — трахиандеибазальты, 9 — двупироксен-плагиоклазовые андезибазальты, 10 — трахибазальты, трахиандеибазальты.

Note. Volcanic rocks: 1, 3, 5 — amphibole-two-pyroxene-plagioclase andesites and andesidacites, 2 — clinopyroxene-plagioclase basaltic andesites, 4 — amphibole-two-pyroxene-plagioclase basaltic andesites, 6 — olivine-clinopyroxene-plagioclase basalts, 7 — trachyandesites, 8 — basaltic trachyandesites, 9 — two-pyroxene-plagioclase basaltic andesites, 10 — trachybasalts, basaltic trachyandesites.

возраста (Емельянова и др., 2012, 2020, 2024), которые слагают вулканические постройки и хребты не только в пределах хребта Витязя, но в пределах других структур на юге Охотоморского региона, с которыми данный хребет связан едиными эволюционными процессами — геодинамикой, тектоникой, астеносферным апвеллингом и др. (табл. 2).

Исследования минеральных парагенезисов, а также интерпретация новых петрогеохимических (табл. 1) и полученных ранее изотопно-геохимических данных (Емельянова и др., 2012, 2024) по плиоцен-плейстоценовым вулканитам хребта Витязя с возрастом 4.3–3.0 и млн лет в пределах Южного и Северного плато и с возрастом 1.6 млн лет в пределах рифтогенной зоны (табл. 2) показывают следующее:

– породы представлены оливин-клинопироксен-плагиоклазовыми и клинопироксен-плагиоклазовыми базальтами, амфибол-двупироксен-плагиоклазовыми андезибазальтами и андезитами, реже биотит-амфибол-плагиоклазовыми дацитами;

– все разновидности ряда базальты-дациты с SiO_2 48.50–69.54 мас. % подразделяются, главным образом, на толеитовые, известково-щелочные и субщелочные разновидности;

– суммарная щелочность в породах составляет 2.35–2.63 мас. % в толеитовых, 3.75–5.51 мас. % в известково-щелочных, 6.08–7.78 мас. % в субщелочных разновидностях, при этом, соответственно, содержания K_2O колеблются от 0.16–0.46 мас. % до 0.88–0.94 и 1.43–4.01 мас. % (рис. 2);

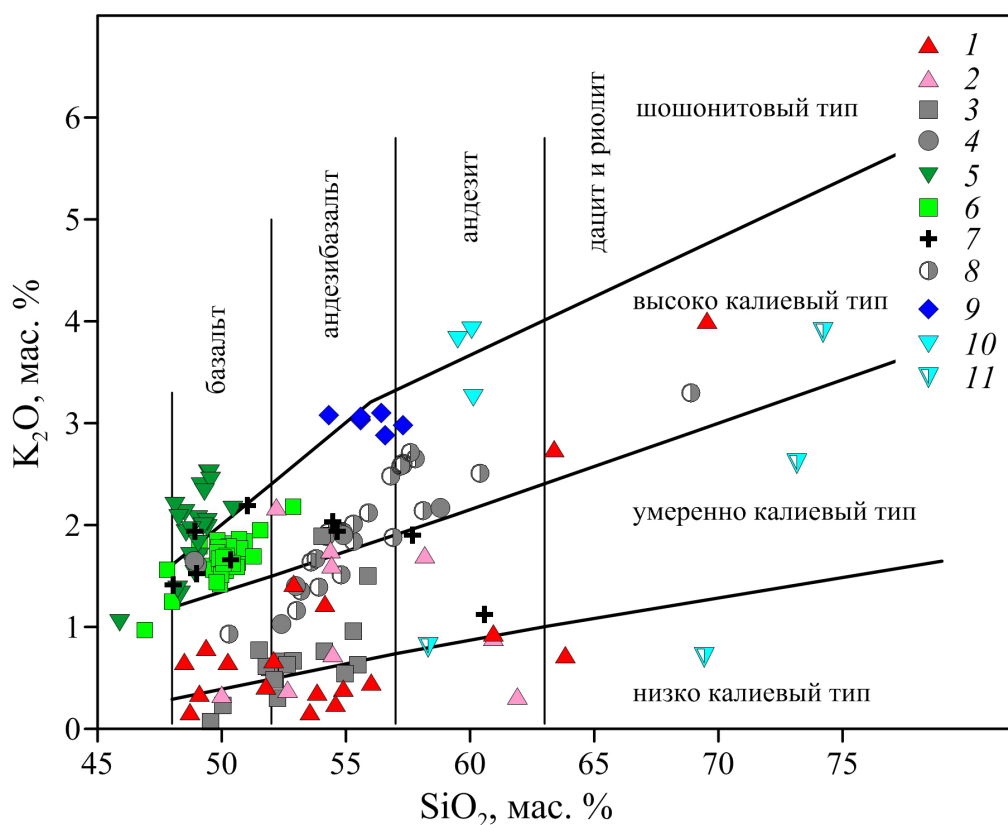


Рис. 2. Диаграмма K_2O - SiO_2 (Le Maitre et al., 1989) для позднекайнозойских вулканитов хребта Витязя и других структур Курильской островодужной системы. Плиоцен-плейстоценовые вулканиты: 1, 2 — хребет Витязя (1 — Южное плато; 2 — Северное плато) (табл. 1 и (Емельянова и др., 2024)); 3, 4 — Курильская дуга (3 — южный участок, 4 — северный участок) (Мартынов и др., 2010); 5, 6 — вулкан Алаид (5 — шошониты; 6 — высококалиевые вулканиты) (Мартынов и др., 2024); 7 — вулкан Геофизиков (Baranov et al., 2002; Tararin et al., 2003); 8 — вулкан Горелый (Duggen et al., 2007); 9 — хребет Гидрографов (Werner et al., 2020). Поздне-олигоценные вулканиты: 10 — хребет Зонне (Werner et al., 2020); 11 — Северное плато хребта Витязя (Емельянова и др., 2012, 2024).

Fig. 2. K_2O - SiO_2 diagram (Le Maitre et al., 1989) for Late Cenozoic volcanics of the Vityaz Ridge and other structures of the Kuril Island-Arc System. Pliocene-Pleistocene volcanics: 1, 2 — Vityaz Ridge (1 — Southern Plateau; 2 — Northern Plateau) (Table 1 and (Emelyanova et al., 2024)); 3, 4 — Kuril Arc (3 — southern section, 4 — northern section) (Martynov et al., 2010); 5, 6 — Alaid Volcano (5 — shoshonites; 6 — high-potassium volcanics) (Martynov et al., 2024); 7 — Geofizikov Volcano (Baranov et al., 2002; Tararin et al., 2003); 8 — Gorely Volcano (Duggen et al., 2007); 9 — Hydrographers Ridge (Werner et al., 2020). Late Oligocene volcanics: 10 — Sonne Ridge (Werner et al., 2020); 11 — Northern Plateau of the Vityaz Ridge (Emelyanova et al., 2012, 2024).

— породам свойственны в целом умеренные или повышенные содержания Al_2O_3 от 13.67 мас. % в дацитах до 18.78 мас. % в базальтах (ASI 0.67–0.95, реже 1.27–1.57) и умеренные MgO от 1.15–3.00 мас. % в андезитах и дацитах до 4.05–5.85 мас. % в базальтах и андезибазальтах (#Mg 47.99–77.98);

— в большинстве своем плиоцен-плейстоценовые вулканиды хребта Витязя относятся к умеренноглиноземистым умеренномагнезиальным низко- или умереннокалиевым образованиям известково-щелочной серии, исключение составляют образцы, характеризующиеся повышенной калиевокостью и тяготеющие к высококалиевой области на диаграмме K_2O-SiO_2 (рис. 2).

На многокомпонентных диаграммах (рис. 3а, 3б) в спектре редких элементов вулканидов Южного и Северного плато хребта Витязя

наблюдаются Ta-Nb и Zr отрицательные и U, Pb и Sr положительные аномалии — типичные геохимические черты пород надсубдукционных геодинамических обстановок. Поведение Th, образующего отрицательные аномалии (реже положительные) в породах обоих плато, свидетельствует об участии в магмогенезисе, главным образом, водных флюидов, отделявшихся от осадочной толщи субдуцирующей океанической плиты при ее дегидратации. Конфигурация спектров указывает на близость микроэлементного состава в вулканидах хребта Витязя и Курильской островной дуги и подтверждает ранее сделанные выводы о близких геодинамических условиях формирования магматических расплавов под этими структурами (Емельянова и др., 2024).

Судя по распределению редкоземельных элементов (REE) (рис. 3в, 3г) отношения

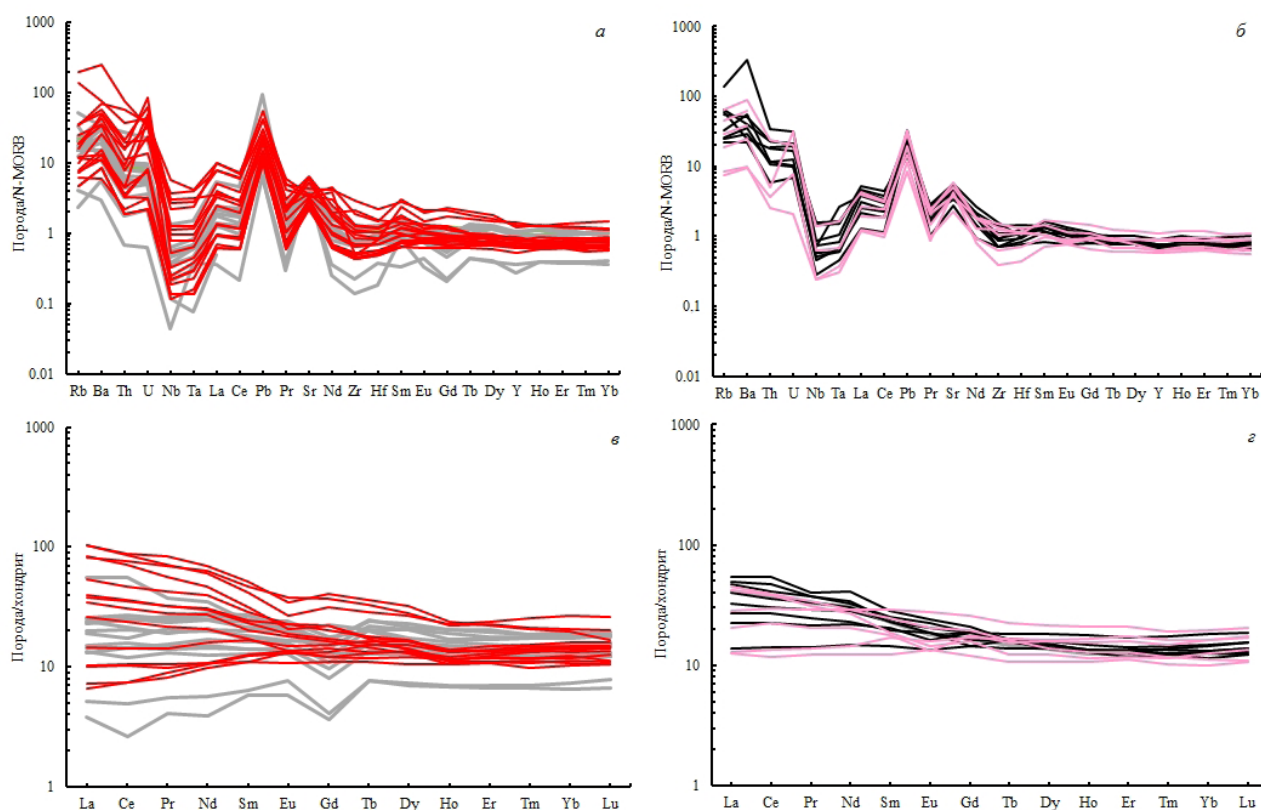


Рис. 3. Многокомпонентные диаграммы редких элементов (а, б) и распределения редкоземельных элементов (REE) (в, г), нормированных к N-MORB и хондриту, по (Sun, McDonough, 1989) для плиоцен-плейстоценовых вулканидов хребта Витязя и Курильской дуги (табл. 1 и (Емельянова и др., 2024; Мартынов и др., 2010)): а, в — Южное плато хребта Витязя и южный участок Курильской дуги; б, г — Северное плато хребта Витязя и северный участок Курильской дуги. Спектры: красный — вулканиды Южного плато хребта Витязя; розовый — вулканиды Северного плато хребта Витязя; серый — вулканиды южного участка Курильской дуги, черный — вулканиды северного участка Курильской дуги.

Fig. 3. Multicomponent diagrams of rare elements (а, б) and rare earth element (REE) distributions (в, г), normalized to N-MORB and chondrite, according to (Sun, McDonough, 1989) for Pliocene-Pleistocene volcanics of the Vityaz Ridge and the Kuril Arc (Table 1 and (Martynov et al., 2010; Emelyanova et al., 2024): а, в — Southern plateau of the Vityaz Ridge and the southern section of the Kuril Arc; б, г — Northern plateau of the Vityaz Ridge and the northern section of the Kuril Arc. Spectra: red — volcanics of the Southern plateau of the Vityaz Ridge; pink — volcanics of the Northern plateau of the Vityaz Ridge; gray — volcanics of the southern section of the Kuril Arc, black — volcanic rocks of the northern segment of the Kuril Arc.

LREE/HREE в толеитовых разновидностях вулканитов хребта Витязя составляют менее 1; значения La_N/Sm_N и La_N/Yb_N находятся в пределах 0.74–0.84 и 0.49–1.89. Спектры распределения REE в известково-щелочных и субщелочных породах фракционированы с преобладанием LREE над HREE; значения отношений La_N/Sm_N и La_N/Yb_N повышаются до 1.19–2.32 и 3.94–7.64, соответственно.

Плиоцен-плейстоценовым вулканитам хребта Витязя свойственны невысокие концентрации Sr, лежащие в пределах 200.6–589.8 г/т, и умеренно повышенные Y, составляющие 14.94–36.72 г/т. При этом породы характеризуются пониженными значениями Sr/Y, колеблющимися от 7.86 до 31.16. В связи с низкими значениями Sr/Y и La_N/Yb_N среди плиоцен-плейстоценовых вулканитов хребта Витязя не обнаружены адакитовые разновидности.

Образование большинства плиоцен-плейстоценовых вулканитов обоих плато хребта Витязя в условиях островных дуг (исключение вулканиты повышенной калиевоности) подтверждается низкими значениями Nb/Yb (0.33–0.96) и Ti/V (10–20), что соответствует островодужным породам Курильской дуги.

На Северном и Южном плато хребта Витязя, а также в рифтогенной зоне установлены вулканиты повышенной щелочности и калиевоности (рис. 2). На Северном плато они представлены андезибазальтами и андезитами с SiO_2 54.42 и 58.17 мас. %, общей щелочностью 4.61 и 5.71 мас. % и содержаниями K_2O 1.61 и 1.71 мас. %, в пределах рифтогенной зоны — базальтами с SiO_2 52.20 мас. %, щелочностью 5.75 мас. % и K_2O 2.18 мас. %. На Южном плато вулканиты повышенной калиевоности образуют ряд базальты-дациты (трахидациты) с SiO_2 52.9–69.54 мас. %, общей щелочностью 4.93–7.78 мас. % и содержаниями K_2O 1.43–4.01 мас. % (табл. 1). Вулканиты обоих плато хребта Витязя и рифтогенной зоны обладают умеренной глиноземистостью (ASI 0.79–0.84), магнезиальностью (#Mg 68.08–77.98), а также низкими значениями Sr/Y (24.85–36.92) и La_N/Yb_N (3.98–4.96), не позволяющими отнести данные породы к адакитовым разновидностям.

В пределах хребта Витязя и рифтогенной зоны установлены позднеолигоценовые и миоценовые вулканические породы (27.5–14.5 млн лет) (Емельянова и др., 2012, 2024). Позднеолигоценовые вулканиты представлены роговообманковыми риолитами с SiO_2 73.16–74.22 мас. % и повышенными содержаниями K_2O (до 3.89 мас. %), а миоценовые — амфибол-двупироксен-плагиоклазовыми андезитами и дацитами с SiO_2 58.32–69.42 мас. % и пониженным уровнем калиевоности (K_2O 0.70–0.80 мас. %). Индекс

глиноземистости (ASI) в породах колеблется от 0.92 до 1.23, а коэффициент магнезиальности (#Mg) — от 41.36 до 96.82. Обеим группам пород свойственна Ta-Nb отрицательная аномалия (характерная черта пород надсубдукционной обстановки) и слабо фракционированный спектр REE. Учитывая низкие значения La_N/Yb_N (1.63–8.60) и пониженные концентрации Sr (128.92–380.73 г/т), среди позднеолигоценовых и миоценовых вулканитов также отсутствуют адакитовые разновидности.

Обобщение опубликованного аналитического материала по плиоцен-плейстоценовым вулканитам других структур южной части Охотоморского региона, в частности, вулканов Геофизиков и Горелого (Южная Камчатка) (рис. 1) показывает следующее:

- в пределах вулкана Геофизиков развиты трахибазальты и трахиандезибазальты, в пределах Горелого преобладают трахиандезибазальты и трахиандезиты (рис. 2), реже для обоих вулканов характерны вулканиты нормальной щелочности (Емельянова, Леликов, 2010; Емельянова и др., 2020, Baranov et al., 2002; Duggen et al., 2007; Tararin et al., 2003);

- параметры кремнеземистости в вулканитах обоих вулканов находятся в пределах 48.05–62.56 мас. %, щелочности 4.65–6.66 мас. % и калиевоности 1.95–2.06 мас. %. Уровни глиноземистости и магнезиальности составляют: ASI 0.67–0.96 и #Mg 52.89–69.08.

На юго-западе Курильской дуги в пределах хребта Гидрографов (рис. 1) установлены плиоценовые трахитоиды, а на северном борту Курильской котловины — позднеолигоценовые трахиты хребта Зонне (Werner et al., 2020). Первые характеризуются SiO_2 54.31–56.42 мас. %, высокой щелочностью (6.28–6.63 мас. %) и калиевостью (K_2O 2.88–3.11 мас. %) (рис. 2), умеренными содержаниями Al_2O_3 17.40–17.82 мас. % (ASI 0.77–0.91) и MgO 3.48–3.82 мас. % (#Mg 58.56–68.14) (Емельянова, Леликов, 2010; Емельянова и др., 2020, Werner et al., 2020). Для пород хребта Зонне (с SiO_2 59.50–60.14 мас. %) свойственны высокая щелочность (9.31–9.95 мас. %) и калиевость — K_2O 3.35–3.91 мас. % (рис. 2) и низкие или умеренные содержания Al_2O_3 19.22–19.44 мас. % (ASI 0.98), а также низкие MgO 0.34–0.41 мас. %. В целом трахитоиды хребтов Гидрографов и Зонне относятся к низко- или умеренноглиноземистым низко- или умеренномагнезиальным высококалиевым образованиям щелочной вулканической серии (рис. 2).

Большинство позднекайнозойских вулканитов как хребта Витязя и Курильской дуги, так и других упомянутых структур южной части Охотоморского региона характеризуются Ta-Nb минимумом и Sr, U и Pb максимумами,

наблюдаемыми на многокомпонентных диаграммах, что указывает на их происхождение в надсубдукционной обстановке (Емельянова, Леликов, 2010; Емельянова и др., 2020; Мартынов и др., 2010, 2012, 2024; Baranov et al., 2002; Duggen et al., 2007; Tararin et al., 2003; Werner et al., 2020). Однако в пределах вулканов Геофизиков и Горелого, хребтов Гидрографов и Зонне в вулканических породах установлены значительные отличия в концентрациях петрогенных и редких элементов, а также значениях отношений изотопов Pb, свидетельствующие о генетических разнообразиях в магмогенерирующих процессах в зависимости от изменений геодинамических и тектонических условий в разное время и в разных частях исследуемой области (Baranov et al., 2002; Duggen et al., 2007; Tararin et al., 2003; Werner et al., 2020).

Обнаружение в последнее время высококалийевых вулкаников вулкана Алаид (о. Атласова), расположенного на севере Курильской островной дуги (Мартынов и др., 2024), стало значительным событием, заставившим пересмотреть ранее существовавшие точки зрения на однообразие в эволюции островных дуг. Шошониты и высококалийевые вулканики Алаида представлены пироксен-плагиоклазовыми и плагиоклазовыми базальтами и андезибазальтами, реже оливин- и амфиболсодержащими разновидностями. В спектрах редких элементов и распределения REE наблюдаются обогащенность LILE и LREE относительно HFSE и HREE, соответственно, а также Ta-Nb минимум и Sr, U, Pb максимумы (типичные черты пород надсубдукционной обстановки). Значения Rb/Sr и Ba/Rb свидетельствуют о присутствии биотита и амфибола и об отсутствии граната в источнике (рис. 4).

Происхождение высококалийевых вулкаников и шошонитов вулкана Алаид (Мартынов

и др., 2024) цитируемые авторы связывают с локальным растяжением, разрывом субдукционной пластины и адиабатическим подъемом горячей астеносферной мантии тихоокеанского MORB-типа (P-MORB), что привело к плавлению надсубдукционного меланжа, образованного между слэбом и надсубдукционной мантией и метасоматически преобразованного в амфиболсодержащие пироксениты, послужившие источниками магмогенерации в районе вулкана Алаид.

По нашему мнению, вполне вероятно, что и плиоцен-плейстоценовые высококалийевые вулканики вулканов Геофизиков и Горелого, а также вулканические породы повышенной щелочности Северного плато хребта Витязя, рифтогенной зоны и северного участка Курильской дуги, точки которых располагаются в ореоле пород Алаида (или вблизи него) на диаграммах K_2O-SiO_2 и Ba/Rb-Rb/Sr (рис. 2, 4), могут иметь близкое к этому типу происхождение. Это дает основание предположить, что в пределах перечисленных структур источниками магмогенерации служила надсубдукционная мантия, метасоматическое преобразование которой происходило, с одной стороны, под влиянием субдукционного компонента, с другой — под воздействием подслэбовой астеносферной мантии P-MORB с возможным возникновением амфиболсодержащих пироксенитов, в область которых данные породы попадают на диаграмме SiO_2-FeO^* (рис. 5).

Проникновение мантии P-MORB происходило как через зоны растяжения в районах вулканов Алаид и Горелого, так и через рифтогенную зону Центральных Курил (рис. 1) (Кулинич и др., 2007; Прошкина и др., 2017). Многочисленные разломы, простирающиеся через Курильскую островодужную систему от Тихого океана

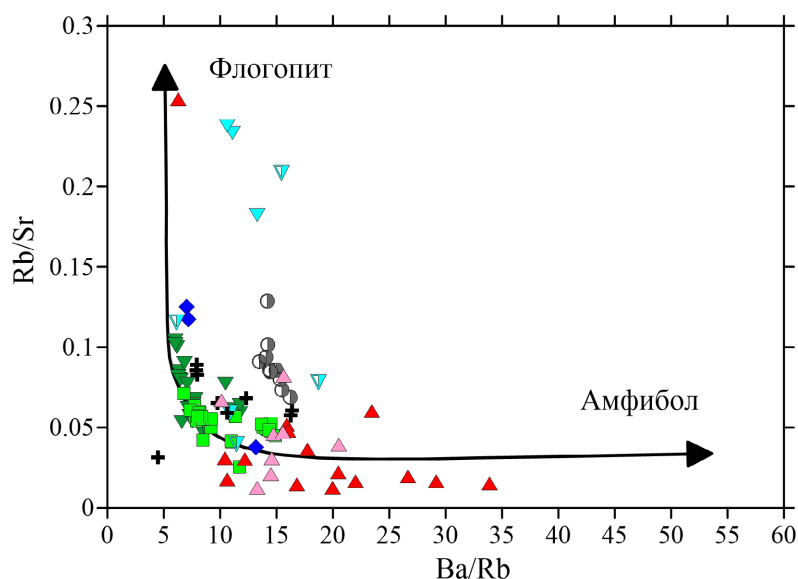


Рис. 4. Диаграмма вариаций отношений Ba/Rb и Rb/Sr (Мартынов и др., 2024) с дополнениями для позднекайнозойских вулкаников хребта Витязя и других структур Курильской островодужной системы. Отсутствуют данные по Sr в вулканиках северного и южного участков Курильской дуги. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 4. Diagram of variations in the Ba/Rb and Rb/Sr ratios (Martynov et al., 2024) with additions for the Late Cenozoic volcanics of the Vityaz Ridge and other structures of the Kuril Island Arc system. There are no data on Sr in volcanics of the northern and southern sections of the Kuril Arc. For symbols, see Fig. 2.

в Курильскую котловину, также могли служить проводящими каналами для подслэбового субстрата.

Участие мантии P-MORB в генерации магм повышенной щелочности и калиевости подтверждается значениями радиогенных изотопов Pb в вулканиках хребта Витязя, Курильской дуги и других структур юга Охотоморского региона, точки которых располагаются вблизи ореола средних составов мантии P-MORB на диаграмме ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)-($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) (рис. 6).

Вывод о том, что плиоцен-плейстоценовые вулканиды Южного и Северного плато хребта Витязя обнаруживают близкие изотопно-геохимические свойства с породами южного и северного участками Курильской дуги (Емельянова и др., 2024; Мартынов и др., 2010) подтверждает диаграмма ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)-($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) (рис. 7). Она также иллюстрирует то, что образование северного блока Курильской островодужной системы происходило под влиянием астеносферной мантии P-MORB, и этот блок является продолжением структур Южной Камчатки,

а формирование южного блока происходило под влиянием мантии I-MORB, и он является продолжением структур Японских островов. При этом, шощониты и высококальциевые вулканиды Алаида и близкие к ним по калиевости породы вулкана Геофизиков попадают в область тыловодужных лав северного участка, а вулканиды хребта Гидрографов — в область Южного участка Курильской дуги.

Однако несмотря на близость изотопных характеристик с щелочными породами вулкана Алаид высококальциевые вулканиды других структур юга Охотоморского региона характеризуются более высокими содержаниями SiO_2 и Ba (типomorphicного микроэлемента пород надсубдукционной обстановки), а также более низкими — MgO, Sr и Ni. Эти свойства могут указывать на большую степень гетерогенности магматических расплавов, в которых значительная роль принадлежала субдукционному компоненту, изначально участвовавшему в преобразовании надсубдукционного мантийного клина (до внедрения астеносферной мантии).

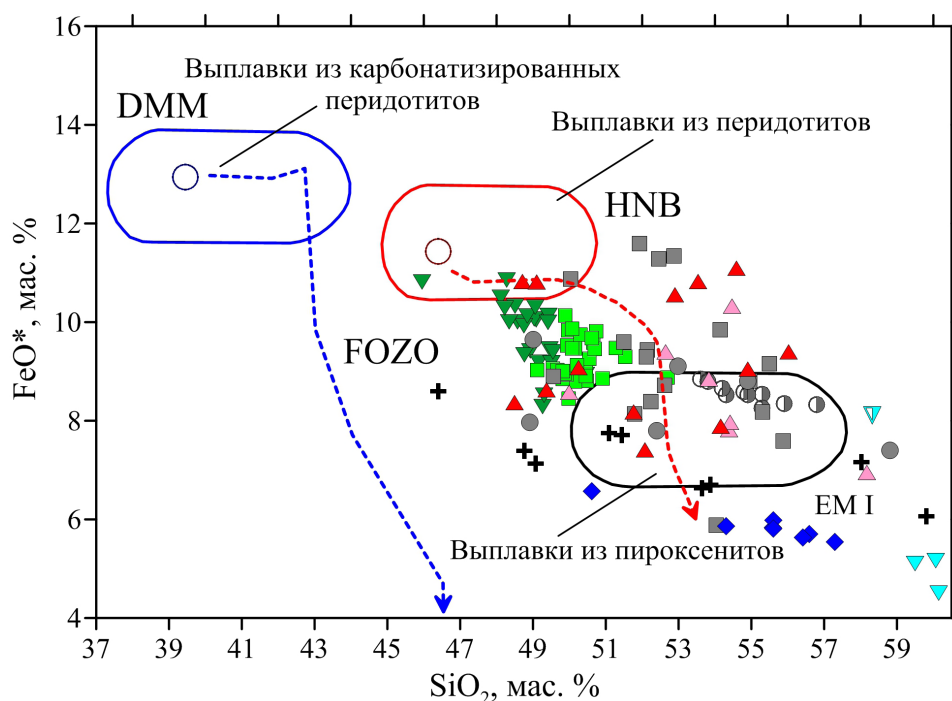


Рис. 5. Диаграмма SiO_2 -FeO* для позднекайнозойских вулкаников хребта Витязя и других структур Курильской островодужной системы по ((Kimura et al., 2018, с упрощениями и дополнениями по (Мартынов и др., 2024)). Мантийные компоненты: FOZO — мантия фокусной зоны; DMM — деплетированный мантийный источник MORB; HNB — высоко-Nb базальты; EM I — обогащенная мантия I-типа. Штриховыми линиями показаны пути фракционной кристаллизации. Поля выплавки: из карбонатизированных перидотитов по (Sakuyama et al., 2013), из перидотитов по (Kogiso et al., 1998), из пироксенитов по (Pertermann, Hirschmann, 2003). Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 5. SiO_2 -FeO* diagram for Late Cenozoic volcanics of the Vityaz Ridge and other structures of the Kuril Island-Arc System after ((Kimura et al., 2018, with simplifications and additions from Martynov et al., 2024). Mantle components: FOZO — focal zone mantle; DMM — depleted mantle source MORB; HNB — high-Nb basalts; EM I — enriched I-type mantle. Dashed lines show fractional crystallization pathways. Melt fields: from carbonated peridotites after (Sakuyama et al., 2013), from peridotites after (Kogiso et al., 1998), from pyroxenites after (Pertermann, Hirschmann, 2003). For symbols, see Fig. 2.

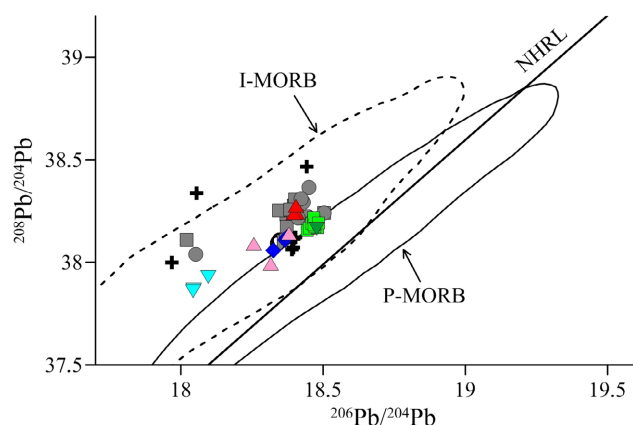


Рис. 6. Диаграмма $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ (Dürkefälden et al., 2024) для плиоцен-плейстоценовых вулканитов хребта Витязя и Курильской островной дуги. NHRL (North Hemisphere Reference Line) — линия средних составов базальтов северного полушария. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 6. $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ diagram (Dürkefälden et al., 2024) for Pliocene-Pleistocene volcanics of the Vityaz Ridge and Kuril Island Arc. NHRL (North Hemisphere Reference Line) is the average composition line of basalts in the Northern Hemisphere. Symbols as in Fig. 2.

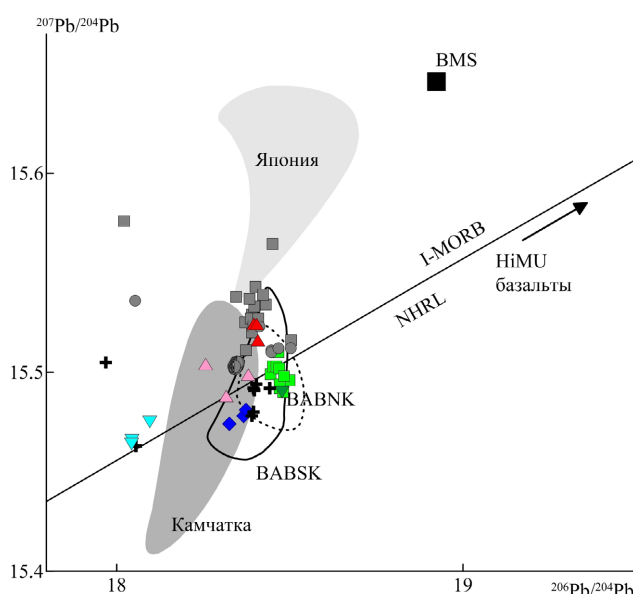


Рис. 7. Диаграмма $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ (Мартынов и др., 2010) с дополнениями для плиоцен-плейстоценовых вулканитов хребта Витязя и Курильской островной дуги. Условные обозначения см. на рис. 2. Полями показаны составы тыловодужных лав южного (сплошная линия) и северного (пунктир) участков Курильской дуги по (Авдейко и др., 2009). BABSK и BABNK — базальты южного и северного участков Курильской дуги, соответственно. BMS — валовый состав океанического осадка.

Fig. 7. The $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ diagram (Martynov et al., 2010) with additions for Pliocene-Pleistocene volcanics of the Vityaz Ridge and the Kuril Island Arc. For symbols, see Fig. 2. The fields show the compositions of back-arc lavas in the southern (solid line) and northern (dashed line) segments of the Kuril Arc according to (Avdeyko et al., 2009). BABSK and BABNK are basalts from the southern and northern segments of the Kuril Arc, respectively. BMS is the bulk composition of oceanic sediment.

Особенно это характерно для магматических расплавов под Северным плато хребта Витязя, расположенного во фронтальной зоне Курильской дуги, где субдукционная пластина менее подвержена деструкции, а расплавы — астеносферному влиянию. Однако с подъемом астеносферной мантии P-MORB в пределы рифтогенной зоны Центральных Курил и ее распространением в северо-восточном направлении, в том числе в пределы Северного плато (на что указывает субконтинентальный тип коры), вероятно, можно связать генезис лав повышенной щелочности как в районе самой рифтогенной зоны, так и под Северным плато. Продуктами этих лав стали вулканические породы, по микроэлементному составу, в той или иной мере, сопоставимые с вулканитами Алаида и вулкана Геофизиков (рис. 8а).

На многокомпонентных диаграммах (рис. 8а) показано, что вулканиты Северного плато и северного участка дуги характеризуются повышенными концентрациями Th, который в большом количестве содержится в субдукционном осадке. Как высокотемпературный микроэлемент, он не растворим в низкотемпературном флюиде, но легко переходит в рас-

плав при плавлении осадка (Peate, Causes, 1998; Plank Langmuir, 1993), что может происходить только при дополнительном тепле, исходящем от поднимающегося астеносферного диапира (P-MORB). Возможно, в этом и заключается его роль при формировании расплавов повышенной щелочности в пределах Северного плато.

Вулканиты повышенной щелочности и калиевоности Южного плато хребта Витязя и южного участка Курильской дуги также обладают близким микроэлементным составом (рис. 8б) и одинаковыми значениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0.513123, 0.513068 и 0.513058, 0.513129, соответственно. Доказательством тому, что породы обеих структур формировались под влиянием астеносферы I-MORB служат характерные для этого типа мантии повышенные значения изотопов свинца: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.241–38.277 и 38.109–38.394 (Емельянова и др., 2020, 2024; Мартынов и др., 2010, 2012). В то же время, лишь наиболее щелочные из них различаются по микроэлементному составу сравнимы с трахитоидами хребтов Гидрографов и Зонне (рис. 8б).

Сложная эволюционная природа магматических источников в пределах подводного хребта

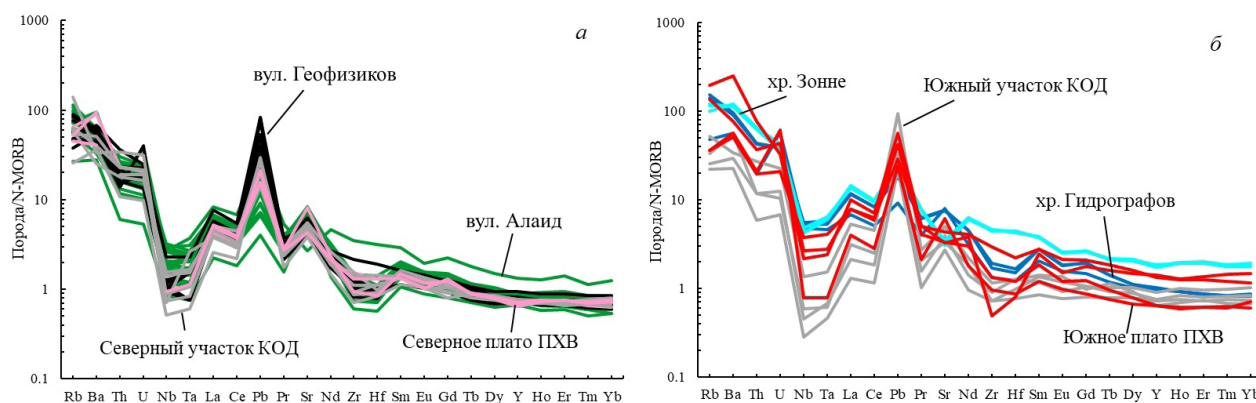


Рис. 8. Многокомпонентные диаграммы редких элементов, нормированных к N-MORB, по (Sun, McDonough, 1989) для плиоцен-плейстоценовых вулканитов повышенной щелочности и калиевого содержания северного (а) и южного (б) блоков Курильской островодужной системы в сравнении с высококалиевыми вулканическими породами вулканов Алаид и Геофизиков и хребтов Гидрографов и Зонне. КОД — Курильская островная дуга, ПХВ — подводный хребет Витязя.

Fig. 8. Multicomponent diagrams of rare elements normalized to N-MORB, according to (Sun, McDonough, 1989) for Pliocene-Pleistocene volcanics of increased alkalinity and potassium content of the northern (a) and southern (b) blocks of the Kuril Island Arc System in comparison with high-potassium volcanic rocks of the Alaid and Geofizikov volcanoes and the Hidrografov and Sonne ridges. KIA — Kuril Island Arc, SVR — submarine Vityaz ridge.

Витязя и Курильской островной дуги связана с разными геодинамическими режимами, проявленными в разное время и в различных местах исследуемой области, что достаточно убедительно проиллюстрировано на дискриминационных диаграммах (рис. 9) (Ханчук, Гребенников, 2021; Ханчук и др., 2025).

Основная часть вулканических пород известково-щелочной природы Северного и Южного плато хребта Витязя и соответствующих участков Курильской дуги попадает в область режима конвергентной окраины (RCM), что подтверждает формирование этих пород в обстановке островной дуги. Другая часть вулканитов повышенной щелочности располагается в области трансформной окраины (RTM). Для этого режима характерны зоны деструкции, растяжения и рифтогенеза, через которые происходит подъем подслэбовой астеносферной мантии, в разной степени участвующей в преобразовании мантийного клина наряду с субдукционным компонентом.

Как показано на диаграмме (рис. 9а, 9б), вулканиты повышенной щелочности Южного плато хребта Витязя располагаются в области трансформной окраины, образуя почти единый ореол с трахитоидами хребтов Гидрографов и Зонне, из чего можно сделать вывод, что генезис всех этих пород в значительной степени подвергался астеносферному влиянию мантии I-MORB. В то же время среди вулканитов повышенной щелочности Северного плато лишь один образец, приуроченный к рифтогенной зоне, попадает в область трансформной окраины (рис. 9б).

Однако, это уже было объяснено: под Северным плато влияние астеносферы P-MORB на магмогенезис заключалось в поставке дополнительного тепла, способствующего плавлению океанического осадка.

В область трансформной окраины попадают вулканиты Алаида, большая часть вулканических пород вулканов Геофизиков и Горелого, щелочная и высококалиевая специфика которых обеспечивалась высокой степенью обогащения мантийных источников астеносферной мантией P-MORB, проникающей через разрывы в субдукционной пластине в местах мощных зон растяжения и рифтогенеза.

ВЫВОДЫ

На основе исследования изотопно-геохимических свойств вулканических пород установлено, что эволюция хребта Витязя и других структур Курильской островодужной системы в позднем кайнозое происходила в геодинамических режимах — конвергентном (субдукционном) и трансформной окраины, каждый из которых повлиял на разнообразие геохимической специфики мантийных источников. Все вулканические породы объединены общими геохимическими чертами надсубдукционной обстановки — Ta-Nb отрицательной и Sr, U и Pb положительными аномалиями, указывающими на влияние субдукционного компонента на процессы магмогенезиса. Наибольшему его влиянию подвергались расплавы, продуктами которых в большинстве своем стали вулканиты Южного и Северного

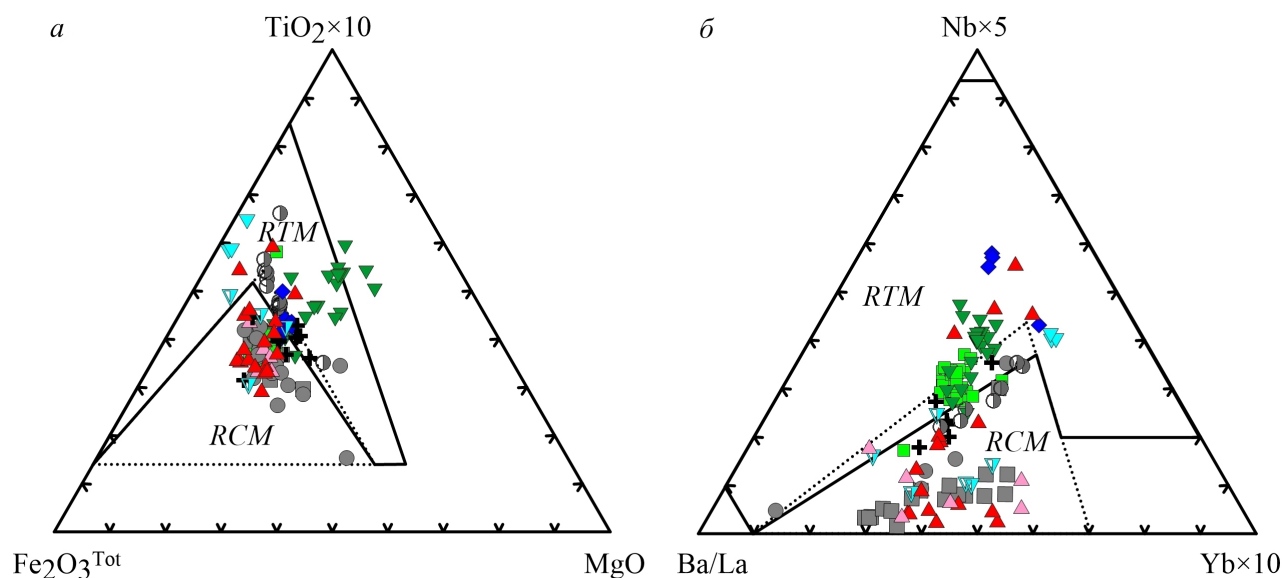


Рис. 9. Дискриминантные диаграммы (Ханчук, Гребенников, 2021; Ханчук и др., 2025) для позднекайнозойских вулканических пород Курильской островодужной системы. Поля геодинамических режимов: RCM — конвергентной окраины, RTM — трансформной окраины. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 9. Discriminant diagrams (Khanchuk, Grebennikov, 2021; Khanchuk et al., 2025) for Late Cenozoic volcanic rocks of the Kuril Island Arc system. Geodynamic regime fields: RCM — convergent margin, RTM — transform margin. For symbols, see Fig. 2.

плато хребта Витязя и одновозрастные породы соответствующих участков Курильской дуги.

Среди вулканических образований известково-щелочной серии встречаются не характерные для обстановки островной дуги вулканические породы высокой или повышенной щелочности и калиевости. В их генезисе, наряду с субдукционным компонентом, принимала участие подслэбовая астеносферная мантия P-MORB под северным блоком и I-MORB под южным блоком Курильской островодужной системы.

Подъем астеносферной мантии осуществлялся через разломные и рифтогенные зоны («окна» в субдукционной пластине), характерные для режима трансформной окраины. Под влиянием мантии P-MORB происходила генерация высококалийных вулканитов вулканов Алайд, Геофизиков и Горелый и вулканитов повышенной щелочности Северного плато и рифтогенной зоны, под влиянием мантии I-MORB-типа формировались щелочные трахитоиды хребтов Гидрографов и Зонне и часть вулканитов Южного плато хребта Витязя.

Работа выполнена в рамках госбюджетных тем ТОИ ДВО РАН (рег. № FWMM-2027-0025, № 124022100078-7) и ДВГИ ДВО РАН (рег. № 122040800196-7).

Список литературы [References]

Авдейко Г.П., Рашидов В.А., Полуева А.А., Романова И.М. Подводный вулканизм Курильской гряды: геодинамические условия и формирование гео-

химической специфики. http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_06/06-3-A-08-326/index.html (дата обращения: 02.01.2009) [Avdejko G.P., Rashidov V.A., Polueva A.A., Romanova I.M. Underwater volcanism of the Kuril Ridge: geodynamic conditions and formation of geochemical specificity. http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_06/06-3-A-08-326/ (date of access: 02.01.2009) (in Russian)].

Емельянова Т.А., Леликов Е.П. Миоцен-плейстоценовый вулканизм глубоководных котловин Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 2. С. 58–69 [Emelyanova T.A., Lelikov E.P. Miocene-pleistocene volcanism of deep-water basins of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk // Russian Journal of Pacific Geology. 2010. V. 4. № 2. P. 145–155. <https://doi.org/10.1134/S1819714010020041>].

Емельянова Т.А., Костицын Ю.А., Леликов Е.П. Геохимия вулканитов подводного хребта Витязя на Тихоокеанском склоне Курильской островной дуги // Геохимия. 2012. № 3. С. 316–332 [Emelyanova T.A., Kostitsyn Yu.A., Lelikov E.P. Geochemistry of the submarine Vityaz Ridge at the Pacific slope of the Kurile Island arc // Geochemistry International. 2012. V. 50. № 3. P. 289–303. <https://doi.org/10.1134/S0016702912030056>].

Емельянова Т.А., Мартынов Ю.А., Ли Н.С., Давыдова М.Ю. Новые изотопно-геохимические данные по кайнозойскому вулканизму и геодинамике подводного хребта Витязя (Тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 1. С. 27–41. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2024-43-1-27-41> [Emelyanova T.A., Martynov Yu.A., Lee N.S., Davydova M.Yu. New Isotope-Geochemical Data on the Cenozoic Volcanism and the Geodynamics of the Underwater Vityaz Ridge

- (Pacific Slope of the Kuril Island Arc) // Russian Journal of Pacific Geology. 2024. V. 18. № 1. P. 23–36. <https://doi.org/10.1134/S1819714024010020>.
- Емельянова Т.А., Петрищевский А.М., Изосов Л.А. и др. Позднемезозойско-кайнозойские этапы вулканизма и геодинамика Японского и Охотского морей // Петрология. 2020. Т. 28. № 5. С. 468–481. <https://doi.org/10.31857/S0869590320050027> [Emelyanova T.A., Petrishchevsky A.M., Izosov L.A. et al. Late Mesozoic–Cenozoic Stages of Volcanism and Geodynamics of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk // Petrology. 2020. V. 28. № 5. P. 418–430. <https://doi.org/10.1134/S0869591120050021>].
- Косминская И.П., Зверев С.М., Вейцман П.С. и др. Основные черты строения земной коры Охотского моря и Курило-Камчатской зоны Тихого океана по данным глубинного сейсмического зондирования // Известия АН СССР. Серия геофиз. 1963. № 1. С. 20–41 [Kosminskaya I.P., Zverev S.M., Veitsman P.S. et al. Basic features of the crustal structure of the Sea of Okhotsk and the Kuril-Kamchatka Zone of the Pacific Ocean from deep seismic sounding data // Bull. Acad. Sci. U.S.S.R., Geophys. Ser. 1963. № 1. P. 11–27].
- Кулинич Р.Г., Карп Б.Я., Баранов Б.В. и др. О структурно-геологической характеристике «сейсмической бреши» в центральной части Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 5–19 [Kulinich R.G., Karp B.Ya., Baranov B.V. et al. On the structural-geological characteristic of the «seismic gap» in the central part of the Kuril island arc // Russian Journal of Pacific Geology. 2007. V. 1. № 1. P. 3–14. <https://doi.org/10.1134/S1819714007010022>].
- Леликов Е.П., Емельянова Т.А. Геология и вулканизм подводного хребта Витязя на тихоокеанском склоне Курильской островной дуги // Океанология. 2011. Т. 51. № 2. С. 329–343 [Lelikov E.P., Emelyanova T.A. Geology and Volcanism of the Underwater Vityaz Ridge (Pacific Slope of the Kuril Island Arc) // Oceanology. 2011. V. 51. № 2. P. 315–328. <https://doi.org/10.1134/S0001437011020081>].
- Мартынов Ю.А., Кимура Дж.И., Мартынов А.Ю. и др. Присутствие мантии индийского MORB-типа под Курильской островной дугой: результаты изотопных исследований мафических лав о-ва Кунашир // Петрология. 2012. Т. 20. № 1. С. 102–110 [Martynov Yu.A., Kimura J.I., Martynov A.Yu. et al. Indian MORB-type mantle beneath the Kuril island arc: isotopic investigation of the mafic lavas of Kunashir Island // Petrology. 2012. V. 20. № 1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1134/S0869591111060026>].
- Мартынов Ю.А., Рашидов В.А., Дриль С.И. Калиевый щелочной вулканизм вулкана Алаид (Курильские острова): роль субдукционного меланжа в магмогенезисе // Петрология. 2024. Т. 32. № 6. С. 735–751. <https://doi.org/10.31857/S0869590324060047> [Martynov Yu.A., Rashidov V.A., Dril S.I. Potassium Alkaline Volcanism of Alaid Volcano, Kuril Islands: the Role of Subduction Melange in Magma Genesis // Petrology. 2024. V. 32. № 6. P. 828–858. <https://doi.org/10.1134/S0869591124700231>].
- Мартынов Ю.А., Ханчук А.И., Кимура Дж.И. и др. Геохимия и петрогенезис четвертичных вулканитов Курильской островной дуги // Петрология. 2010. Т. 18. № 5. С. 1–25 [Martynov Yu.A., Khanchuk A.I., Kimura J.-I. et al. Geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks in the Kuril island arc // Petrology. 2010. V. 18. № 5. P. 489–513. <https://doi.org/10.1134/S0869591110050048>].
- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / ред. Г.Б. Удинцев. МОК (Юнеско), РАН, ФГУП ПКО «Картография», ГУНиО. Москва – Санкт-Петербург, 2003. 192 с. [Mezhdunarodnyy geologo-geofizicheskij atlas Tihogo okeana / red. G.B. Udincev. МОК (YUNesco), RAN, FGUP PKO «Kartografiya», GUNiO. Moscow – St. Petersburg, 2003. 192 p. (in Russian)].
- Прошкина З.Н., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Структура, вещественный состав и глубинное строение океанского склона Центральных Курил: новые детали // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 6. С. 44–55 [Proshkina Z.N., Kulinich R.G., Valitov M.G. Structure, Matter Composition, and Deep Structure of the Oceanic Slope of the Central Kuril Islands: New Evidence // Russian Journal of Pacific Geology. 2017. V. 11. № 6. P. 436–446. <https://doi.org/10.1134/S1819714017060045>].
- Ханчук А.И., Гребенников А.В. Позднемиоцен-плиоценовая трансформная окраина Камчатки // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 5. С. 3–15. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-5-3-15> [Khanchuk A.I., Grebennikov A.V. The Late Miocene–Pliocene Transform Margin of Kamchatka // Russian Journal of Pacific Geology. 2021. V. 15. № 5. P. 389–400. <https://doi.org/10.1134/S1819714021050043>].
- Ханчук А.И., Луцицкая М.В., Ватрушкина Е.В. и др. Раннемеловые адакитовые и высококалийевые гранитоиды как индикаторы постсубдукционной обстановки формирования медно-порфировых месторождений Баимской рудной зоны Чукотки // Тихоокеанская геология. 2025. Т. 44. № 6. С. 3–21. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2025-44-6-3-21> [Khanchuk A.I., Luchitskaya M.V., Vatrushkina E.V. et al. Early Cretaceous Adakite and High-Potassium Granitoids as Indicators of the Post-Subduction Environment for the Formation of Porphyry Copper Deposits in the Baim Ore Zone of Chukotka // Russian Journal of Pacific Geology. 2025. V. 19. № 6. P. 543–560. <https://doi.org/10.1134/S181971402570037X>].
- Baranov B.V., Werner R., Hoernle K.A. et al. Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // Tectonophysics. 2002. V. 350. № 1. P. 63–97. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00081-1)
- Duggen S., Portnyagin M., Baker J. et al. Drastic shift in lava geochemistry in the volcanic-front to rear-arc region of the Southern Kamchatkan subduction zone: Evidence for the transition from slab surface dehydration to sediment melting // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2007. V. 71. № 2. P. 452–480. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.09.018>
- Dürkefalden A., Hauff F., Hoernle K. et al. Geochemical and temporal evolution of Indian MORB mantle revealed by the Investigator Ridge in the NE Indian Ocean // Gondwana Research. 2024. V. 134. № 2. P. 347–364. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.07.016>

- Kimura J.-I., Sakuyama T., Miyazaki T. et al. Plume-stagnant slab-lithosphere interactions: Origin of the late Cenozoic intra-plate basalts on the East Eurasia margin // *Lithos*. 2018. V. 300–301. P. 227–249. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.12.003>
- Kogiso T., Hirose K., Takahashi E. Melting experiments on homogeneous mixtures of peridotite and basalt: application to the genesis of ocean island basalts // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1998. V. 162. P. 45–61.
- Le Maitre R.W., Bateman S.L., Dudek A., Keller M.J. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford: Blackwell, 1989. 193 p.
- Peate D.W., Pearce J.A. Causes of spatial compositional variations in Mariana arc lavas: Trace element evidence // *Island Arc*. 1998. V. 7. № 3. P. 479–495. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1998.00205.x>
- Pertermann M., Hirschmann M.M. Partial melting experiments on a MORB-like pyroxenite between 2 and 3 GPa: Constraints on the presence of pyroxenite in basalt source regions from solidus location and melting rate // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108. № B2. 2125. <https://doi.org/10.1029/2000JB000118>
- Plank T., Langmuir C.H. Tracing trace elements from sediment input to volcanic output at subduction zones // *Nature*. 1993. V. 362. № 6422. P. 739–742.
- Sakuyama T., Tian W., Kimura J.-I. et al. Melting of dehydrated oceanic crust from the stagnant slab and of the hydrated mantle transition zone: Constraints from Cenozoic alkaline basalts in eastern China // *Chemical Geol.* 2013. V. 359. P. 32–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.09.012>
- Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geol. Soc. London, Special Publ., 1989. № 42. P. 313–345.
- Tararin I.A., Lelikov E.P., Werner R. Petrology and geochemistry of the volcanic rocks dredged from the Geophysicist Seamount in the Kuril Basin: Evidence for the Existence of Thinned continental crust // *Gondwana Research*. 2003. V. 6. № 4. P. 757–765. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)71022-4](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71022-4)
- Werner R., Baranov B., Hoernle K. et al. Discovery of Ancient Volcanoes in the Okhotsk Sea (Russia): New Constraints on the Opening History of the Kurile Back Arc Basin // *Geosciences*. 2020. V. 10. Art. № 442. 20 p. <https://doi.org/10.3390/geosciences10110442>

ISOTOPE-GEOCHEMICAL SPECIFICS OF VOLCANISM AND GEODYNAMIC PATTERNS OF THE VITYAZ RIDGE DEVELOPMENT WITHIN THE KURIL ISLAND ARC SYSTEM IN THE LATE CENOZOIC

T.A. Emelyanova¹, N.S. Lee¹, G.M. Vovna², Yu.O. Savelyev²

¹*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, 690041;*

²*Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, 690022*

Received April 01, 2026; revised August 08, 2026; accepted September 25, 2026

Original petrological and geochemical data on Pliocene-Pleistocene volcanics of the Southern Plateau of the Vityaz Ridge are presented. Based on them and incorporating previously obtained isotopic and geochemical data, the genetic similarity of the volcanics of the Southern and Northern plateaus of the Vityaz Ridge to those from the southern and northern sections of the Kuril Island Arc, respectively, is confirmed. It is also confirmed that the southern and northern blocks of the Kuril Island Arc System were formed under the influence of the asthenospheric mantle of Indian MORB (I-MORB) and Pacific MORB (P-MORB). The formation of the Late Cenozoic volcanics of the Vityaz Ridge and the Kuril Arc occurred mainly in the subduction regime. However, among the calc-alkaline rocks, volcanic rocks with high or elevated alkalinity and potassium contents have been identified. They are confined to the zones of stretching and rifting through which the upwelling of the sub-slab asthenospheric mantle occurred. The influence of P-MORB mantle on magmagenesis led to the generation of high-potassium magmas beneath the Alaid, Geofizikov, and Gorelyi volcanoes and magmas with elevated alkalinity beneath the Northern Plateau of the Vityaz Ridge and the rift zone. The I-MORB mantle contributed to the generation of high-potassium melts under the Hydrographic and the Zonne ridges and elevated-alkalinity melts beneath the Southern Plateau.

Keywords: Vityaz Ridge, volcanic rocks, geochemistry, geodynamic regimes, asthenospheric diapirism.