



УДК 550.423+552.3
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.46>

Геохимические особенности пород офиолитового комплекса базит-гипербазитового массива Улан-Сарьдаг (Восточный Саян, Россия)

О. Н. Киселева, Е. В. Айриянц

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Д. К. Белянин, С. М. Жмодик

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

Аннотация. Базит-ультрабазитовый массив Улан-Сарьдаг входит в состав офиолитовых комплексов Дунжугурской островной дуги Палеоазиатского океана. Формирование офиолитовых ассоциаций тесно связано с развитием древних океанов, и они являются реперами важнейших геологических процессов. Офиолиты Дунжугурской островной дуги формировались в надсубдукционных условиях энсиматических островных дуг. Они имеют неоднородный состав, отвечающий спрединговым и субдукционным обстановкам. В метавулканитах массива Улан-Сарьдаг установлен широкий спектр геохимических типов от базальтов срединно-океанических хребтов до базальтов океанических островов. Выделено четыре группы метавулканитов: 1) высокомагнезиальные метапикриты, соответствующие обогащенным базальтам срединно-океанических хребтов и островодужным толеитам; 2) андезибазальты (бониниты), соответствующие базальтам срединно-океанических хребтов и известково-щелочным базальтам; 3) вулканиты андезит-плагиодацитовая ассоциации, соответствующие известково-щелочным базальтам и островодужным толеитам; 4) щелочные метавулканиты, соответствующие базальтам океанических островов. Геохимические особенности метавулканитов отражают различные магматические источники и разные стадии заложения и развития островной дуги. Новые данные по пикрометабазальтам и щелочным метавулканитам свидетельствуют о спрединговых обстановках и, возможно, проявлении локального плюмового магматизма по механизму slab-window в субдуцирующей плите.

Ключевые слова: петрология, геохимия, офиолиты, магматические источники, геодинамические обстановки.

Для цитирования: Геохимические особенности пород офиолитового комплекса базит-гипербазитового массива Улан-Сарьдаг (Восточный Саян, Россия) / О. Н. Киселева, Е. В. Айриянц, Д. К. Белянин, С. М. Жмодик // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 27. С. 46–61. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.46>

Введение

Офиолитовые комплексы юго-восточной части Восточного Саяна (Дунжугурская островная дуга) входят в состав орогенно-коллизийных структур Центрально-Азиатского складчатого пояса. Они представлены двумя ветвями (протяженными поясами): южной (Ильчирский пояс), север-

ной (Холбын-Хаирханский пояс). Предыдущими исследователями получены данные о неоднородности офиолитов юго-восточной части Восточного Саяна [Dobretsov, Konnikov, Dobretsov, 1992; Кузьмичев, 2004]. Офиолиты южной ветви формировались в обстановке срединно-океанических хребтов, а северной ветви – в обстановке островных дуг [Dobretsov, Konnikov, Dobretsov, 1992; Кузьмичев, 2004; Кузьмичев, Ларионов, 2013; Состав и эволюция платинометалльной ... , 2014; PGE mineralization in ophiolites ... , 2014; Бониниты и офиолиты: проблемы ... , 2016; Kiseleva, Zhmodik, 2017]. Улан-Сарьдагский ультрабазит-базитовый массив располагается между офиолитовыми массивами южной и северной ветвей. Он сложен мантийными реститами, кумулятивным, дайковым и вулканогенно-осадочным комплексами. В вулканогенно-осадочном комплексе массива Улан-Сарьдаг впервые, кроме островодужных вулканитов, установлены метавулканиты с внутриплитными геохимическими характеристиками. Природа метавулканитов в аккреционных комплексах в целом и супрасубдукционных офиолитах в частности является одной из наиболее обсуждаемых проблем в современной петрологической литературе [Thorkelson, 1996; The Somuncura Large igneous ... , 2007; Discovery of Miocene adakitic ... , 2012; Santosh, Kusky, 2010; Safonova, Santosh, 2014]. В статье приводятся первые данные по перидотитам и вулканогенно-осадочным породам массива Улан-Сарьдаг – геология, петрохимическая и геохимическая характеристика магматических источников.

Методы исследования

Отбор проб (метаперидотитов и метавулканитов) осуществлялся в ходе полевых исследований в 2015–2018 гг. в районе ультрабазит-базитового массива Улан-Сарьдаг. Было отобрано 110 проб, в том числе метавулканитов (50 образцов). Петрографическое исследование пород выполнено на оптическом и сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU с энергодисперсионной приставкой для количественного анализа. Всего проанализировано 50 проб метаперидотитов и метавулканитов, из них методом РФА – 50 проб, содержание редких и редкоземельных элементов определялось масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (23 пробы). Аналитические исследования проводились в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа (аналитик – Н. Г. Карманова). Содержания измерялись в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований на приборе ELEMENT производства компании FINIGAN (аналитики – И. В. Николаева, С. В. Палесский) по аттестованным методикам [Analysis of geologic reference ... , 2008].

Геологическое строение ультрабазит-базитового массива Улан-Сарьдаг

Улан-Сарьдагский массив представляет собой тектоническую пластину, в состав которой входят породы офиолитовой ассоциации, и занимает особое место между офиолитами южной и северной ветвей Дунжугурской

островной дуги. Массив расположен в приконтактной зоне плагиогранито-гнейсов Гарганской глыбы с гранитоидами сумсунурского комплекса и подстилается вулканогенными и осадочными породами ильчирской свиты и терригенными образованиями иркутской свиты (рис. 1). Офиолитовый массив включает в себя: мантийные реститы (дуниты, гарцбургиты), связанные с ними подформные хромититы; кумулятивную серию – верлиты, пироксениты, габбро, вулканогенно-осадочную толщу ильчирской свиты. Дуниты и гарцбургиты представляют собой пластообразное тело, вытянутое в широтном направлении. В центральной части преобладают гарцбургиты, на периферии – дуниты и серпентиниты, последние тяготеют к основанию массива, к зоне контакта с подстилающей толщей, сложенной вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами (зеленокаменными эффузивами, углеродистыми черными сланцами, известняками). В дунитах и серпентинитах локализованы шпировые, линзовидные и жилообразные хромитовые тела. Все породы в подошвенной части массива интенсивно деформированы. Они имеют многочисленные зоны дробления, признаки сдвиговых перемещений и зеркала скольжения. В зоне контакта серпентинитов и пород ильчирской свиты широко проявлено оталькование, развиты зоны актинолит-тремолитового состава. Вулканогенно-осадочные породы сульфидизированы, сульфидная минерализация приурочена к зонам рассланцевания. Сульфиды представлены пиритом и пирротинном. Породы кумулятивной серии метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Канавой вскрыт контакт реститовых ультрабазитов и метаморфизованной вулканогенной толщи ильчирской свиты, состоящей из перемежающихся метавулканитов основного, среднего состава субщелочной и щелочной серий.

Петрография перидотитов и вулканогенно-осадочных пород

Перидотиты и вулканогенно-осадочные породы в различной степени подверглись метаморфизму от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций и деформационным процессам. Реститовые перидотиты представлены серпентинизированными дунитами, гарцбургитами. Минеральный состав: оливин ($f_o = 0,92-0,95$), серпентин, хлорит, аксессуарный хромшпинелид. Кумулятивные метаперидотиты по химическому составу соответствуют верлитам, пироксенитам, габбро-норитами и габбро, по минеральному составу – это амфибол-эпидот-альбитовая порода с различным соотношением породообразующих минералов. Метавулканиты представлены широким спектром пород. *Метабазиты* – хлорит-амфибол-эпидот-альбитовые кристаллические сланцы с гранобластовой структурой с элементами лепидобластовой и нематобластовой структур, обусловленной присутствием хлорита, мусковита, биотита. *Андезибазальты* имеют диабазовую структуру с реликтами клинопироксена – диопсид-авгита и плагиоклаза. Клинопироксен замещен актинолитом и хлоритом, плагиоклаз – эпидотом и альбитом. Вулканиты *андезит-плагиодацитовой ассоциации* имеют микропорфировую структуру, состоящую из порфировых обособлений плагиоклаза-андезина и микрокристаллической основной массы, вмещающей биотит,

измененный плагиоклаз и амфибол, в более кислых разновидностях встречается калиевый полевой шпат (Kfsp), кварц. *Щелочные вулканиды* интенсивно метаморфизованы и состоят из роговой обманки, плагиоклаза – андезина, калиевого полевого шпата, биотита, граната пироп-альмандинового ряда, ильменита, сфена, апатита, циркона, альбита.

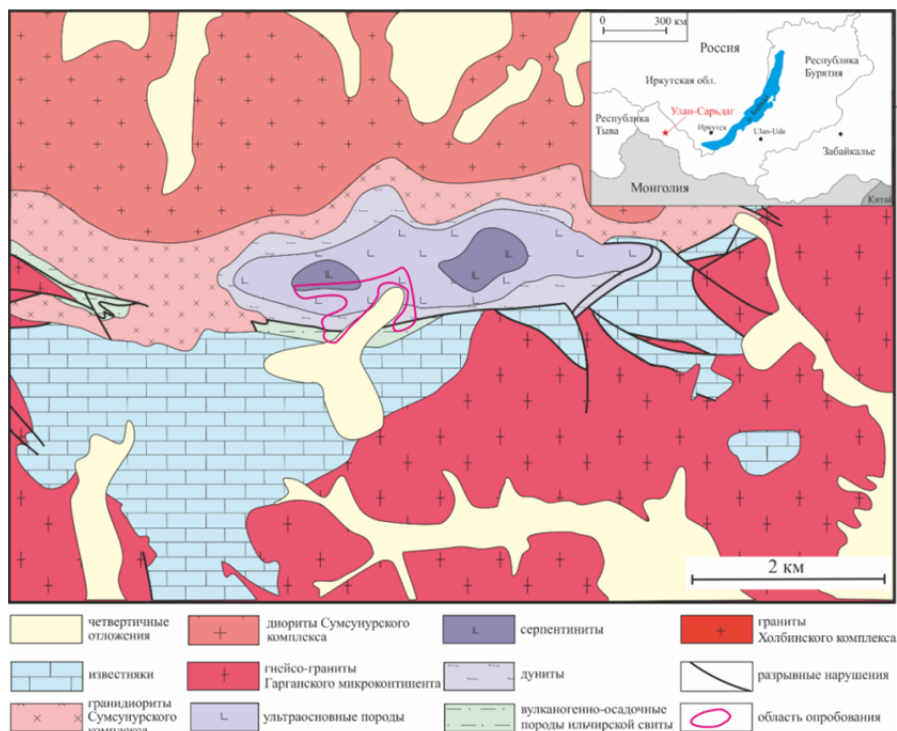


Рис. 1. Схема геологического строения Улан-Сарьдагского гипербазитового массива. Карта составлена по данным [Скопинцев, 1995] с дополнениями

Геохимические особенности метавулканитов и метаперидотитов

По химическому составу метавулканиты разделены на четыре группы, каждая из которых обладает геохимическими особенностями и формой распределения LILE, REE, HFSE (табл. 1). Для характеристики магматических источников метавулканитов использованы распределение и соотношения редкоземельных и редких элементов и дискриминационные диаграммы. При этом мы основывались на допущении, что HFSE (Th, Nb, Ta, Zr, Hf, Y) являются практически неподвижными элементами при гидротермальных и метаморфогенных процессах [Sun, Nesbitt, 1978; Ludden, Gelinas, Trudel, 1982; at other]. Установлено, что в метавулканитах массива Улан-Сарьдаг встречается весь спектр метавулканических пород с геохимическими характеристиками от срединно-океанических базальтов до базальтов (андезитов) океанических островов. По отношению редких элементов (Zr/Ti-Nb/Y) отмечается повышенная щелочность ряда образцов (см. табл.), что, вероятно, является признаком повышенной щелочности расплава.

Таблица

Химический состав метавулканиитов и метаперидотитов массива Улан-Сарьдаг

ppm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cs	0,6	0,4	0,4	6,0	0,1	2,5	2,3	1,2	4,1	1,4	1,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7
Rb	16,5	14,5	12,2	63,9	8,2	35,7	51,7	31,2	59,6	43,5	70,3	0,9	1,2	30,3	8,5	14,5
Ba	128,3	150,9	111,7	393,0	35,8	251,3	398,2	447,2	395,0	579,1	505,8	116,7	90,7	883,1	1215,1	66,4
U	0,1	0,1	0,1	1,6	0,1	2,8	1,4	1,2	1,6	3,1	3,3	0,5	0,4	1,9	0,8	0,1
Th	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	6,7	4,6	4,3	3,6	9,2	12,2	1,7	1,5	2,5	2,6	0,4
Ta	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	3,0	1,3	0,7	4,0	2,5	6,4	0,4	0,3	0,6	0,4	0,4
Nb	3,3	3,4	4,3	4,3	0,9	41,5	16,6	9,7	56,9	32,4	93,7	7,0	6,2	12,5	5,8	4,5
La	3,1	4,5	4,9	3,5	1,3	38,8	28,8	31,6	43,7	31,8	66,3	25,0	21,1	22,6	14,1	5,7
Ce	7,7	11,3	12,1	7,7	2,4	76,9	55,8	59,2	90,9	68,9	115,7	47,6	40,2	44,3	27,9	13,3
Sr	158,0	207,6	250,7	132,4	249,5	227,2	138,6	488,1	366,2	432,6	138,2	541,2	625,7	546,4	408,0	294,6
Pr	1,2	1,7	1,8	1,1	0,4	9,5	6,8	6,5	11,5	8,6	12,1	5,5	4,7	5,2	3,5	2,2
Nd	5,3	8,3	9,6	5,8	1,6	38,0	23,4	22,6	48,2	30,2	40,2	21,2	18,5	19,0	14,9	10,1
Zr	43,2	56,4	69,3	51,1	26,0	366,6	189,1	504,7	273,6	451,8	261,5	102,8	90,2	683,2	83,5	68,3
Hf	1,2	1,5	1,8	1,4	0,7	8,9	4,8	10,7	6,1	9,8	5,5	2,3	2,2	13,6	2,3	1,9
Sm	1,8	2,4	3,0	1,8	0,5	8,8	5,1	4,4	10,6	5,9	1,8	3,8	3,5	3,9	3,3	3,2
Eu	0,7	0,9	1,2	0,8	0,1	2,1	1,2	1,5	3,3	1,9	5,9	1,2	1,2	1,7	1,1	1,1
Gd	2,1	2,7	3,8	2,3	0,8	9,9	5,2	3,9	9,2	5,6	1,4	3,5	3,2	4,2	2,7	3,4
Tb	0,3	0,5	0,7	0,4	0,1	1,6	0,8	0,6	1,3	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,6
Dy	2,1	2,9	3,8	2,7	0,9	10,1	4,4	3,0	6,6	4,2	2,58	2,7	2,6	3,4	2,4	3,4
Ho	0,5	0,6	0,8	0,6	0,2	2,1	0,9	0,7	1,2	0,9	0,48	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7
Y	12,0	15,1	22,2	16,7	7,2	64,6	25,5	19,7	31,8	23,5	14,38	15,4	13,2	22,0	11,4	17,9
Er	1,2	1,6	2,3	1,8	0,8	6,4	2,7	2,0	3,1	2,4	1,37	1,6	1,5	2,4	1,2	2,0
Tm	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	1,0	0,4	0,3	0,4	0,4	0,22	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3
Yb	1,1	1,5	2,4	1,8	0,9	7,2	2,4	2,3	2,6	2,4	1,52	1,5	1,4	2,6	1,0	1,9
Lu	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,23	0,2	0,2	0,4	0,1	0,3
Nb/Ta	13,7	12,5	14,4	16,1	15,0	13,9	13,0	14,8	14,3	12,9	14,70	19,5	18,8	20,9	13,8	12,6
La/Yb	2,9	2,9	2,1	1,9	1,4	5,4	12,0	13,7	16,6	13,5	43,47	17,1	15,3	8,7	14,1	3,0
Zr/Nb	13,3	16,7	16,1	11,8	29,0	8,8	11,4	51,9	4,8	13,9	2,79	14,8	14,6	54,9	14,5	15,1
La/Nb	1,0	1,3	1,1	0,8	1,4	0,9	1,7	3,2	0,8	1,0	0,71	3,6	3,4	1,8	2,4	1,3
Th/Nb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,3	0,13	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1
Nb/Y	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,6	0,7	0,5	1,8	1,4	6,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Zr/Y	3,6	3,7	3,1	3,1	3,6	5,7	7,4	25,6	8,6	19,2	18,19	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3
ΔNb	0,1	0,0	0,1	0,2	-0,2	0,1	-0,1	-1,3	0,2	-0,6	0,14	1,5	1,5	1,2	1,5	1,4

Примечание: 1–4 – метабазиты (Chl-Ep-Ab сланцы), 5 – андезибазальт, 6 – андезит, 7 – рассланцованный дациандезит, плагиодацит, 9–11 – щелочные метавулканииты, 12–16 – метаперидотиты.

Метабазальты. По соотношениям $\{\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})\}$ и $\{\text{SiO}_2-(\text{FeO}^*/\text{MgO})\}$ и индикаторным редким элементам $\{(\text{Nb}/\text{Y})-(\text{Zr}/\text{Ti})\}$ породы относятся к базальтам толеитовой серии (рис. 2, а, б). Породы имеют слабую положительную аномалию по Sr, низкое $\text{La}/\text{Yb} = 1,89\text{--}2,94$ (E-MORB – 2,66), $\text{Nb}/\text{Y} = 0,19\text{--}0,27$. Метабазальты имеют распределение REE, HFSE, соответствующее обогащенным базальтам срединно-океанических хребтов (E-MORB), за исключением LILE (Cs, Rb, Ba, U) (рис. 3, а–б). Метабазальты соответствуют островодужным толеитам, формировавшимся из обогащенного Ti, Ta, Nb магматического источника (E-MORB). Метабазиты с E-MORB геохимическими характеристиками, вероятно, являются реликтами

базальтов, формировавшихся в срединговой обстановке при участии вещества нижней мантии.

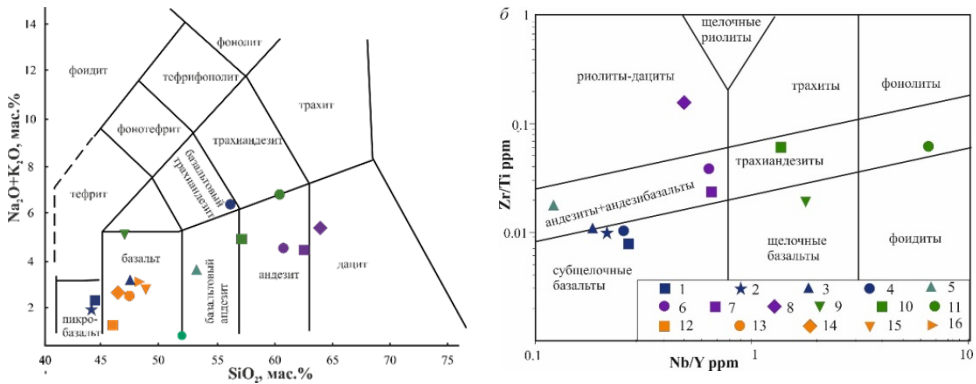


Рис. 2. Бивариантные диаграммы: а) SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, б) Nb/Y-Zr/Ti (г/т) для метавулканитов. 1–4 – метабазаиты, 5 – андезибазальт; 6–8 – андезит-плагиодацитовая ассоциация; 9–11 – щелочные метавулканиты; 12–16 – метаперидотиты. Нумерация образцов в соответствии с табл. 1

Андезибазальты. По соотношениям $\{\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})\}$; $\{\text{SiO}_2 - (\text{FeO}^* / \text{MgO})\}$ и $\{(\text{Nb/Y}) - (\text{Zr/Ti})\}$ (см. рис. 2, а, б) породы соответствуют андезибазальту известково-щелочной серии с геохимическими характеристиками N-MORB, для которого характерны низкие концентрации REE и отрицательные аномалии HFSE (Nb, Ta, Ti). Он имеет явно выраженную позитивную аномалию по Sr, низкое $\text{La/Yb} = 1,41$ (N-MORB – 0,82); $\text{Nb/Y} = 0,12$. По формам распределения REE и мультиэлементного спектра на спайдер-диаграмме соответствует бониниту (см. рис. 3, в–г). Формирование бонинитов связано с ранней стадией развития энсиматической островной дуги и плавления деплетированного (обедненного) мантийного источника.

Андезит-плагиодацитовая ассоциация. По соотношениям $\{\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})\}$ и $\{(\text{Nb/Y}) - (\text{Zr/Ti})\}$ (рис. 2, а, б) породы согласуются с андезитами, плагиодацитами известково-щелочной серии, $\text{Mg\#} = 0,3 \div 0,42$. Они имеют незначительно выраженный отрицательный наклон кривых распределения (см. рис. 3, ж–з) и полностью соответствуют распределению REE, HFSE, LILE в континентальной коре (UCC), кроме положительной аномалии по Zr. Отношения La/Yb соответствуют значениям $5 \div 13$ (UCC – 13,64); $\text{Nb/Y} \div 0,49 - 0,65$. Андезиты-плагиодациты имеют широкий спектр геохимических характеристик и соответствуют: базальтам срединно-океанических хребтов, известково-щелочным базальтам, островодужным толеитам (рис. 4, а, б). Вулканиты андезит-плагиодацитовая ассоциации являются производными островодужных магм, формирующихся в субдукционных обстановках.

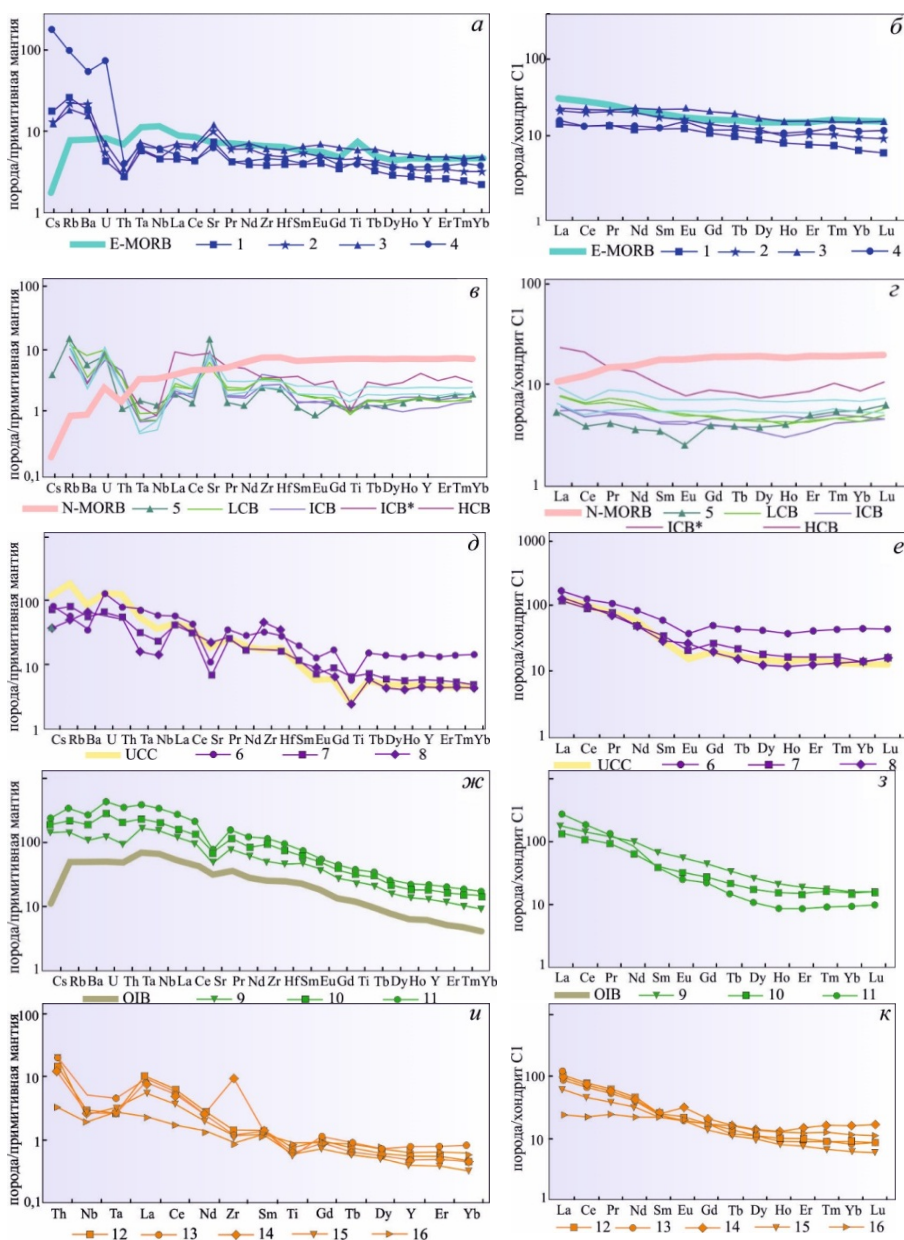


Рис. 3. Спайдер-диаграммы, нормированные по примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989], и диаграммы распределения редкоземельных элементов, нормированные по хондриту C1 [Anders, Grevesse, 1989], в метабазальтах и метаперидотитах массива Улан-Сардаг: а, б – метабазальты; в, з – андезибазальты, низкокальциевых (LCB), среднекальциевых (ICB), высококальциевых (HCB) бонинитов [Isotopic evidence for the origin ... , 1992]; д, е – андезитов-плаггиодацитов; ж, з – щелочных вулканитов; и, к – метаперидотитов. 1–4 – метабазиты, 5 – андезибазальты; 6–8 – андезиты-плаггиодациты; 9–11 – щелочные метавулканиты; 12–16 – метаперидотиты

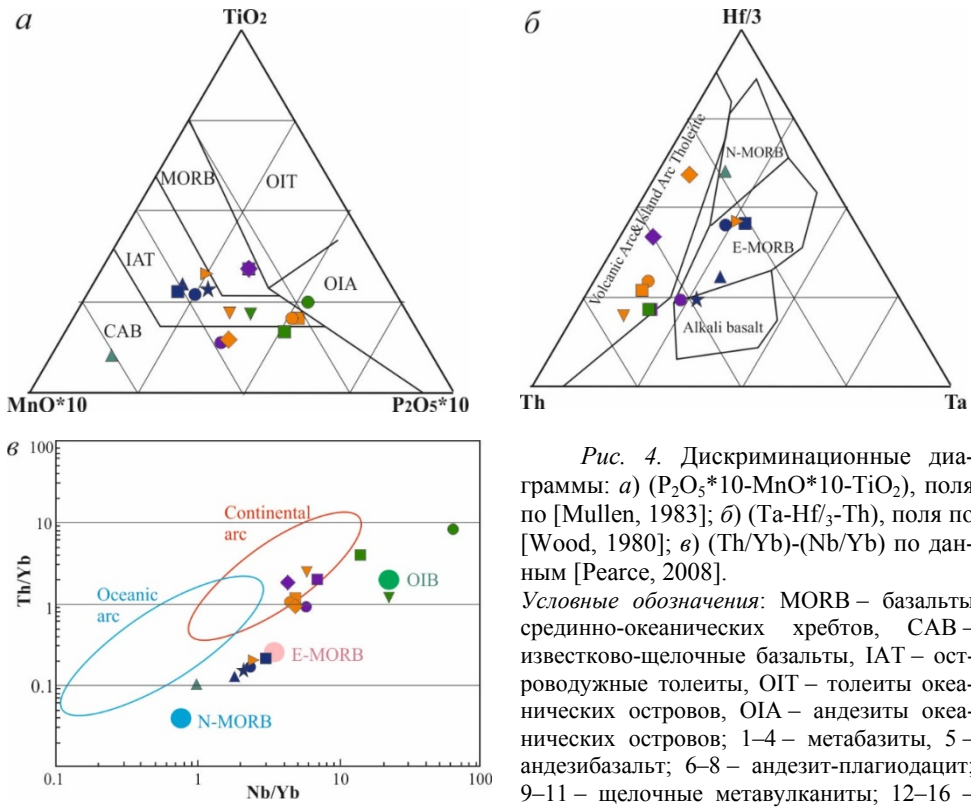


Рис. 4. Дискриминационные диаграммы: а) $(P_2O_5 \cdot 10 - MnO \cdot 10 - TiO_2)$, поля по [Mullen, 1983]; б) $(Ta - Hf/3 - Th)$, поля по [Wood, 1980]; в) $(Th/Yb) - (Nb/Yb)$ по данным [Pearce, 2008].

Условные обозначения: MORB – базальты срединно-океанических хребтов, CAB – известково-щелочные базальты, IAT – островодужные толеиты, OIT – толеиты океанических островов, OIA – андезиты океанических островов; 1–4 – метабазиты, 5 – андезибазальт; 6–8 – андезит-плаггиодацит; 9–11 – щелочные метавулканы; 12–16 – метаперидотиты.

Щелочные метавулканы. По соотношениям $\{SiO_2 - (K_2O + Na_2O)\}$ и $\{(Nb/Y) - (Zr/Ti)\}$ породы соответствуют щелочным базальтам, трахиандези-базальтам и трахиандезитам-латитам. Они попадают в поле толеитовой серии на границу с известково-щелочной. В породах проявлена отрицательная аномалия по Sr, высокие $La/Yb = 13-43$ (OIB – 17,43); $Nb/Y = 1,38-1,65$. Породы имеют концентрации и формы распределения REE, HFSE, идентичные базальтам океанических островов (OIB) (см. рис. 3, д–е). Щелочные метавулканы на диаграмме петрогенных компонентов (рис. 4, а) попадают в поле островодужных толеитов и известково-щелочных базальтов. Вероятно, это обусловлено тем, что магматический парагенезис не сохранился и соотношение петрогенных окислов сильно нарушено, кроме одного образца, попадающего в поле андезитов океанических островов. На диаграмме мобильных индикаторных элементов Th-Ta-Hf метавулканы попадают в поле щелочных базальтов и на границу с островодужными вулканидами и островодужными толеитами (рис. 4, б). Геохимические характеристики магматического источника для щелочных метавулканитов соответствуют характеристикам базальтов океанических островов [Weaver, 1991; Mantle plumes and entrainment..., 1992; Wilson, 1993].

Метаперидотиты. Спектры распределения РЗЭ в метаперидотитах (рис. 3, и–к) сходны со спектрами в габброидах и габбро-норитах (метапе-

ридититах) офиолитовых комплексов [Miao, Yu, Blunsom, 2016; Ханчук, Высоцкий, 2016]. Они имеют преобладание LREE, положительную аномалию по Eu, отмечаются отсутствием значительных аномалий по REE, тем не менее имеют небольшой отрицательный наклон от LREE к HREE. На спайдер-диаграмме наблюдается отрицательная аномалия для Nb, Ta и для Zr, за исключением одного образца метагаббро (эпидот-амфиболит-альбитовый кристаллический сланец), в котором присутствует положительная Zr-аномалия. На диаграмме Nb_N-Th_N , используемой для разделения постаршеихских офиолитов [Saccani, Principi, 2016], метабазиты и андезитобазальт (бонинит) ложатся на тренд N-MORB – E-MORB, близко к полю океанических островных дуг. Щелочные метавулканы группируются вблизи точки OIB (рис. 4, в).

Обсуждение

Геохимические характеристики метавулканитов Ильчирской свиты ультрабазит-базитового массива Улан-Сарьдаг отражают различные магматические источники и эволюционный тренд развития островной дуги от энсиматической на этапе заложения (бониниты) до зрелой островной дуги (вулканиты андезит-плагиодацитовой ассоциации). Для бонинита характерны низкие концентрации REE и отрицательные аномалии HFSE (Nb, Ta, Ti). Это рассматривается как доказательство сильной деплетированности их мантийного источника за счет одного или нескольких эпизодов экстракции базальтовых расплавов [Duncan, Green, 1980, 1987]. Наблюдается обогащенность крупноионными литофильными элементами Rb, Ba, Cs, Sr, U по сравнению с N-MORB, что отражает вклад флюида, экстрагируемого из погружающегося слэба [Pearce, 1982]. Бониниты являются разновидностью вулканитов, которые однозначно могут свидетельствовать об их происхождении в надсубдукционных условиях энсиматических островных дуг [Щипанский, 2008; Бониниты и офиолиты: проблемы ... , 2016; Crawford, Fallon, Green, 1989; Le Bas, 2000]. Андезиты-плагиодациты генерировались из обедненных источников и источников со значительным вкладом коровой компоненты. Самыми дискуссионными, на наш взгляд, являются щелочные метавулканы, которые находятся в тесной пространственной ассоциации с метабазитами, бонинитами и вулканитами андезит-плагиодацитовой ассоциации. Щелочные метавулканы имеют высокое отношение La/Yb, что может указывать на низкую степень парциального плавления из более обогащенного источника.

Существует несколько гипотез, объясняющих присутствие OIB среди типично островодужных комплексов субдукционного генезиса:

1) вовлечение нижнемантийного источника в зоны магмогенерации – излияние OIB из изолированного обогащенного резервуара;

2) метасоматоз субдуцирующей плиты, обогащенной Nb (в этом случае невозможно объяснить высокие содержания LREE, поскольку subducted oceanic slab mantle source деплетирована этими элементами [Sun, McDonough, 1989]);

3) обогащение нормального мантийного перидотита путем его плавления при низких, но переменных степенях плавления в поле стабильности граната и/или карбонатитовом метасоматозе [Kamber, Collerson, 2000; Dasgupta, Hirschmann, Smith, 2007]. Карбонатитовый или карбонатно-силикатный расплав, возникший из субдуцированной плиты или даже от границы ядро – мантия, может быть основным источником несовместимых элементов для обогащения ОИВ-источников.

Другой гипотезой является перескок зоны субдукции с разрывом субдуцированной плиты с образованием slab-window. В разрыв плиты происходит апвеллинг горячей подсубдукционной мантии, что вызывает формирование плюма, при подъеме которого возможно декомпрессионное плавление и апвеллинг горячей подсубдукционной мантии [Link between ridge ... , 1995; Thorkelson, 1996; Plume-subduction interaction ... , 2011].

Учитывая локальную площадь развития щелочных метавулканитов и небольшой масштаб их проявления, а также признаки взаимодействия обогащенных расплавов со «зрелой» островной дугой, мы предполагаем модель slab-window для объяснения присутствия щелочных метавулканитов. Кроме того, породы претерпели интенсивный метаморфизм, это свидетельствует о том, что щелочные метавулканиты формировались до обдукции офиолитов. Данная проблема, несомненно, требует дальнейших изотопных и геохронологических исследований.

Заключение

Метаперидотиты и метавулканиты Улан-Сарьдагского массива имеют геохимические характеристики, соответствующие супрасубдукционным офиолитам, что не противоречит ранее полученным данным по Дунжугурской островной дуге. Метабазальты соответствуют островодужным толеитам, формировавшимся из обогащенного магматического источника (E-MORB). Андезибазальт соответствует бониниту, образующемуся на ранней стадии развития энсиматической островной дуги и плавления деплетированного (обедненного) мантийного источника. Вулканиты андезит-плагиодацитов ассоциации являются производными островодужных магм, формирующихся в субдукционных обстановках.

Геохимические характеристики магматического источника для щелочных метавулканитов соответствуют источникам для базальтов океанических островов. Тесная ассоциация щелочных и островодужных метавулканитов, возможно, связана с проявлением локального плюмового магматизма по механизму slab-window в субдуцированной плите.

Анализы выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Работа выполнена при поддержке госзадания № 0330-2016-0011, грант РФФИ 16-05-00737а, 16-05-00860а.

Список литературы

Бониниты и офиолиты: проблемы их соотношения и петрогенезиса бонинитов / Е. В. Складаров, В. П. Ковач, А. Б. Котов, А. Б. Кузьмичев, А. В. Лавренчук, В. И. Переляев, А. А. Щипанский // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 163–180. <https://doi.org/10.15372/GiG20160109>.

Кузьмичев А. Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М. : Пробел-2000, 2004. 192 с.

Кузьмичев А. Б., Ларионов А. Н. Неопротерозойские островные дуги Восточного Саяна: длительность магматической активности по результатам датирования вулканопластики по цирконам // Геология геофизика. 2013. Т. 54, № 1. С. 45–57.

Скопинцев В. Г. Геологическое строение и полезные ископаемые верховьев рек Гарган, Урик, Китой, Оют; результаты поисковых работ на участке Китойском (Восточный Саян) // Отчет Самартинской и Китойской партий. 1995. Кн. 1. 319 с.

Состав и эволюция платинометалльной минерализации в хромитовых рудах Ильчирского офиолитового комплекса (Опино-Китойский и Харанурский массивы, Восточный Саян) / О. Н. Киселева, С. М. Жмодик, Б. Б. Дамдинов, Л. В. Агафонов, Д. К. Белянин // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 2. С. 333–349. <https://doi.org/10.11016/jrgg.2014.01.010>.

Ханчук А.И., Высоцкий С.В. Разноглубинные габбро-гипербазитовые ассоциации в офиолитах Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 181–198. <https://doi.org/10.15372/GiG201601010>.

Щипанский А. А. Субдукционные и мантийно-плюмовые процессы в геодинамике формирования архейских зеленокаменных поясов. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 560 с.

Analysis of geologic reference materials for REE and HFSE by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) / I. V. Nikolaeva, S. V. Paleskii, O. A. Koz'menko, G. N. Anoshin // Geochemistry International. 2008. Vol. 46, N 10. P. 1016–1022. <https://doi.org/10.1134/S0016702908100066>

Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar // Geochim. Cosmochim. Acta, 1989. Vol. 53. P. 197–214.

Crawford A. J., Fallon T. J., Green D. H. Classification, petrogenesis and tectonic setting of boninites // Boninites / A. J. Crawford (ed.). London : Unwin Hyman, 1989. P. 2–44.

Dasgupta R., Hirschmann M. M., Smith N. D. Water follows carbon: CO₂ incites deep silicate melting and dehydration beneath mid-ocean ridges // Geology. 2007. Vol. 35. P. 135–138. DOI: 10.1130/G22856A.1.

Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt (NE Turkey) and a revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of the Eastern Mediterranean region / Y. Eyuboglu, M. Santosh, Y. Keewook, O. Bektaş, S. Kwon // Lithos. 2012. Vol. 146–147. P. 218–232. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.04.034>

Dobretsov N. L., Konnikov E. G., Dobretsov N. N. Precambrian ophiolitic belts of Southern Siberia, Russia, and their metallogeny // Precambrian Research. 1992. Vol 58, N 14. P. 427–446.

Duncan R. A., Green D. H. Role of multistage melting in the formation of oceanic crust // Geology. 1980. Vol. 8, N 1. P. 22–26. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1980\)8<22:ROMMIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1980)8<22:ROMMIT>2.0.CO;2)

Duncan R. A., Green D. H. The genesis of refractory melts in the formation of oceanic crust // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1987. Vol. 96, is. 3. P. 326–342. <https://doi.org/10.1007/BF00371252>.

Isotopic evidence for the origin of boninites and related drilled in the Izu-Bonin (Ogasawara) forearc at Sites 782 and 786 (ODP Leg 125) / J. A. Pearce, M. F. Thirlwall, G. Imgram, B. J. Murton, R. J. Arculus, S. R. Van der Laan // Proceedings of the ocean drilling program, scientific results / P. Fryer, J.A. Pearce, L. B. Stokking (ed.). Vol 125. P. 237–261.

Kamber B. S., Collerson K. D. Zr/Nb systematics of ocean island basalts reassessed – the case for binary mixing // Journal of Petrology. 2000. Vol. 41. P. 1007–1021. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.7.1007>.

Kiseleva O. N., Zhmodik S. M. PGE mineralization and melt composition of chromitites in Proterozoic ophiolite complexes of Eastern Sayan, Southern Siberia // *Geoscience Frontiers*. 2017. Vol. 8, N 4. P. 721–731. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.04.003>

Le Bas M. J. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // *Journal of Petrology*. 2000. Vol. 41. P. 1467–1470. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.10.1467>

Link between ridge subduction and gold mineralization in southern Alaska / P. J. Haeussler, D. Bradley, R. Goldfarb, L. Snee, C. Taylor // *Geology*. 1995. Vol. 23. P. 995–998. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0995:LBRASAG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0995:LBRASAG>2.3.CO;2)

Ludden J., Gelinas L., Trudel P. Archean metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi greenstone belt, Quebec: 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1982. Vol. 19. P. 2276–2287. <https://doi.org/10.1139/e82-200>

Mantle plumes and entrainment: isotopic evidence / S. R. Hart, E. H. Hauri, L. A. Oschmann, J. A. Whitehead // *Science*. 1992. Vol. 256. P. 517–520. <https://doi.org/10.1126/science.256.5056.517>

Miao Y.-S., Yu L., Blunsom P. Neural variational inference for text processing // *Proceedings of the International Conference on Learning Representations*. 2016. P. 1727–1736.

Mullen E. D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // *Earth and Planetary Science Letters*, 1983. Vol. 62. P. 53–62.

PGE mineralization in ophiolites of the southeast part of the Eastern Sayan (Russia) / S. M. Zhmodik, O. N. Kiseleva, D. K. Belyanin, B. B. Damdinov, E. V. Airiyants, A. S. Zhmodik // *12th International Platinum Symposium. Abstracts* / E. V. Anikina [et al.] (eds.). Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 2014. P. 221–225.

Pearce J. A. Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries: andesites, orogenic andesites and related rocks / R. S. Thorpe (eds.). Wiley, Chichester, 1982. P. 525–548.

Plume–subduction interaction in southern Central America: Mantle upwelling and slab melting / E. Gazel, K. Hoernle, M. J. Carr, C. Herzberg, I. Saginor, P. Van den Bogaard, F. Hauff, M. Feigenson, C. Swisher III // *Lithos*, 2011. Vol. 121, is. 1–4. P. 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.10.008>.

Saccani E., Principi G. Petrological and tectono-magmatic significance of ophiolitic basalts from the Elba Island within the Alpine Corsica-Northern Apennine system // *Mineralogy and Petrology*. 2016. Vol. 110, is. 6. P. 713–730. <https://doi.org/10.1007/s00710-016-0445-3>

Safonova I., Santosh M. Accretionary complexes in the Asia-Pacific region: tracing archives of ocean plate stratigraphy and tracking mantle plumes // *Gondwana Research*. 2014. Vol. 25, is. 1. P. 126–158. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.008>

Santosh M., Kusky T. Origin of paired high pressure-ultrahigh-temperature orogens: a ridge subduction and slab window model // *Terra Nova*. 2010. Vol. 22, is. 1. P. 35–42.

Sun S. S., Nesbitt R. W. Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts // *Geology*. 1978. Vol. 6, N 11. P. 689–693. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1978\)6<689:GRAGSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1978)6<689:GRAGSO>2.0.CO;2)

Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes / Saunders A. D., Norry M. J. (Eds) // *Magma-tism in the ocean basins*. 1989. Geological Society of London. London. Vol. 42. P. 313–345.

The Somuncura Large igneous province in Patagônia: interaction of a transient mantle thermal anomaly with a subducting slab / S. M. Kay, A. A. Ardolino, M. Gorrington, V. Ramos // *Journal of Petrology*. 2007. Vol. 48, N 1. P. 43–77. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl053>

Thorkelson D. J. Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation // *Tectonophysics*. 1996. Vol. 255. P. 47–63.

Weaver B. L. The origin of ocean island basalt and member compositions: trace element and isotope constraints // *Earth and Planetary Science Letters*. 1991. Vol. 104. P. 381–397. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90217-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90217-6)

Wilson M. Geochemical signatures of oceanic and continental basalts: a key to mantle dynamics? // *Journal of the Geological Society*. 1993. Vol. 150. P. 977–990.

Wood D. A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas on the British Tertiary Volcanic Province // *Earth and Planetary Science Letters*. 1980. Vol. 50. P. 11–30. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8).

Geochemical Features of Peridotites and Volcanogenic-Sedimentary Rocks of the Ultrabasic-Basitic Massif of Ulan-Sar'dag (East Sayan, Russia)

O. N. Kiseleva, E. V. Airiyants

Sobolev V. S. Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk

D. K. Belyanin, S. M. Zhmodik

*Sobolev V. S. Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk
Novosibirsk State University, Novosibirsk*

Abstract. The Ulan-Sar'dag ultrabasic-basite massif is the part of the ophiolite complexes of the Dunzhugur island arc of the Paleo-Asian Ocean. Ophiolites have been formed at supra-subduction conditions of ensimatic island arcs. However, they have a heterogeneous composition corresponds to spreading and subduction settings and various geochronological dating's. The new geochemical data on the metavolcanic rocks and peridotites of the Ulan-Sar'dag massif are obtained. Metavolcanics have a wide range of geochemical types from Mid-Ocean Ridge Basalts to Ocean Island Basalts. According to geochemical characteristics four groups of volcanics have been identified: (1) highly magnesian metabasalts (possibly picrites); they correspond to Island Arc Tholeiites and Enriched Mid-Ocean Ridge Basalts, they have low (La/Yb) from 1,89 to 2,94, (Nb/Y) from 0,19 to 0,27; (2) andezite-basalt (boninite); they correspond to Calk Alkaline Basalts and Normal Mid-Ocean Ridge Basalts, it has low REE negative anomalies HFSE, low (La/Yb) = 1,41, (Nb/Y) = 0,12; (3) andesites-plagiocacites which belong to island-arc volcanics; REE, HFSE, LILE pattern correspond to continental crust, (La/Yb) vary from 5 to 13; (Nb/Y) vary from 0,49 to 0,65; (4) alkali metavolcanics; they correspond to Ocean Island Basalts, high (La/Yb) vary from 13 to 43; (Nb/Y) vary from 1,38 to 1,65. The metavolcanites lie on the trend from Normal Mid-Ocean Ridge Basalts to Ocean Island Basalts, in terms (Nb/Yb) – (Th/Yb). Metaperidotites and metavolcanics of the Ulan-Sar'dag massif, have geochemical characteristics corresponding to suprasubduction ophiolites, which does not disagree the previously obtained data on the Dunzhugur island arc. There have been several magmatic events. The geochemical features of the studied rocks reflect different stages of initiation and development of the island arc. In addition, the obtained new data on the volcanic rocks of the Ulan- Ulan-Sar'dag massif (enriched metabasalts, alkaline metavolcanic rocks) indicate spreading environments and possibly the the occurrence of local plume magmatism according to the slab-window mechanism in the subducted plate.

Keywords: boninites, island arc basalts, MORB-OIB like basalts, REE pattern, supra-subduction.

For citation: Kiseleva O.N., Airiyants E.V., Belyanin D.K., Zhmodik S.M. Geochemical Features of Peridotites and Volcanogenic-Sedimentary Rocks of the Ultrabasic-Basitic Massif of Ulan-Sar'dag (East Sayan, Russia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 27, pp. 46-61. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.46> (in Russian)

References

Sklyarov E.V. [et al.] *Boninitity i ofiolity: problemy ih sootnosheniya i petrogenezisa boninitov* [Boninites and ophiolites: problems of their relations and petrogenesis of boninites]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2016, vol. 57, no. 1, pp. 127-140. (in Russian)

Kuz'michev A.B. *Tektonicheskaja istorija Tuvino-Mongol'skogo massiva: ranne-bajkal'skij, pozdnebjajkal'skij i rannekaleodonskij jetapy* [The tectonic history of the Tuva – Mongolian Massif: Early Baikalian, late Baikalian, and early Caledonian stages]. Moscow, Probel Publishing House, 2004, 192 p. (in Russian).

Kuz'michev A.B., Larionov A.N. *Neoproterozojskie ostrovnyje dugi Vostochnogo Sajana: dlitel'nost' magmaticheskoj aktivnosti po rezul'tatam datirovanija vulkanoplatiki po cirkonam* [Neoproterozoic island arcs of East Sayan: duration of magmatism (from U-Pb zircon dating of volcanic clastics)]. *Geologija i geofizika* [Geology and Geophysics], 2013, vol. 54, no. 1, pp. 45-57. (in Russian)

Skopintsev V.G. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye verhov'ev rek Gargan, Urik, Kitoy, Onot; rezul'taty poiskovyh rabot na uchastke Kitojskom (Vostochnyj Sajan)*. [Geological structure and mineral resources of the upper rivers Gargan, Urik, Kitoy, Onot; results of prospecting works on the site of Kitoy (East Sayan)]. Report of the Samartin and Kitoy parties. Book 1, 1995, 319 p. (in Russian)

Kiseleva O.N., Zhmodik S.M., Damdinov B.B., Agafonov L.V., Belyanin D.K. *Sostav i jevoljucija platinometal'noj mineralizacii v hromitovyh rudah Il'chir'skogo ofiolitovogo kompleksa (Ospino-Kitojskij i Haranurskij massivy, Vostochnyj Sajan)* [Composition and evolution of PGE mineralization in chromite ores from the Il'chir ophiolite complex (Ospa-Kitoi and Khara-Nur areas, East Sayan)]. *Geologija i geofizika* [Geology and Geophysics], 2014, vol. 55, pp. 259-272. (in Russian)

Khanchuk A.I., Vysotskiy S.V. *Raznoglubinnye gabbro-giperbazitovye asociacii v ofiolitah Sihote-Alinija (Dal'nij Vostok Rossii)* [Different-depth gabbro-ultrabasic associations in the Sikhote-Alinophiolites (Russian Far East)] *Geologija i geofizika* [Geology and Geophysics], 2016, vol. 57, no. 1, pp. 181-198. (in Russian)

Shchipansky A.A. *Subduccionnyje i mantijno-pljumovye processy v geodinamike formirovaniya arhejskih zelenokamennyh pojasov*. [Subduction and mantle-plume processes in geodynamics of formation of Archaean greenstone belts]. Moscow, LCI Publ., 2008, 560 p. (in Russian)

Nikolaeva I.V., Palesskii S.V., Koz'menko O.A., Anoshin G.N. Analysis of geologic reference materials for REE and HFSE by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 10, pp. 1016-1022. <https://doi.org/10.1134/S0016702908100066>

Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, vol. 53, pp. 197-214.

Crawford A.J., Fallon T.J., Green D.H. Classification, petrogenesis and tectonic setting of boninites. Boninites, A.J. Crawford (ed.). London, Unwin Hyman, 1989, pp. 2-44.

Dasgupta R., Hirschmann M.M., Smith N.D. Water follows carbon: CO₂ incites deep silicate melting and dehydration beneath mid-ocean ridges. *Geology*, 2007, vol. 35, pp. 135-138. DOI: 10.1130/G22856A.1.

Eyuboglu Y., Santosh M., Keewook Y., Bektaş O., Kwon S. Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt (NE Turkey) and a revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of the Eastern Mediterranean region. *Lithos*, 2012, vol. 146-147, pp. 218-232. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.04.034>

Dobretsov N.L., Konnikov E.G., Dobretsov N.N. Precambrian ophiolitic belts of Southern Siberia, Russia, and their metallogeny. *Precambrian Research*, 1992, vol. 58, no. 1-4, pp. 427-446.

Duncan R.A., Green D.H. Role of multistage melting in the formation of oceanic crust. *Geology*, 1980, vol. 8, no. 1, pp. 22-26. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1980\)8<22:ROMMIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1980)8<22:ROMMIT>2.0.CO;2)

Duncan R.A., Green D.H. The genesis of refractory melts in the formation of oceanic crust. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, vol. 96 (3), pp. 326-342. <https://doi.org/10.1007/BF00371252>.

Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Ingram, G., Murton, B.J., Arculus, R.J. and Van der Laan, S.R., 1992. Isotopic Evidence for the Origin and Evolution of the Izu-Ogasawara Forearc at Sites 782 and 786 (ODP Leg 125). *Proc. ODP Scientific Results*, 1992, vol. 125, pp. 237-261.

Kamber B.S., Collerson K.D. Zr/Nb systematics of ocean island basalts reassessed – the case for binary mixing. *Journal of Petrology*, 2000, vol. 41, pp. 1007-1021. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.7.1007>

Kiseleva O.N., Zhmodik S.M. PGE mineralization and melt composition of chromitites in Proterozoic ophiolite complexes of Eastern Sayan, Southern Siberia. *Geoscience Frontiers*, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 721-731. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.04.003>.

Le Bas M.J. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology*, 2000, vol. 41, pp. 1467-1470. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.10.1467>.

Haeussler P.J., Bradley D., Goldfarb R., Snee L., Taylor C. Link between ridge subduction and gold mineralization in southern Alaska. *Geology*, 1995, vol. 23, pp. 995-998. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0995:LBRASAG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0995:LBRASAG>2.3.CO;2)

Ludden J., Gelinas L., Trudel P. Archean metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi greenstone belt, Quebec: 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints. *Can. J. Earth. Sci.*, 1982, vol. 19, pp. 2276-2287. <https://doi.org/10.1139/e82-200>

Hart S.R., Hauri E.N., Oschmann L.A., Whitehead J.A. Mantle plumes and entrainment: isotopic evidence. *Science*, 1992, vol. 256, pp. 517-520.

Miao Y., Yu L., Blunsom Ph. Neural variational inference for text processing. *Proceedings of ICML*, 2016, pp. 1727-1736.

Mullen E.D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1983, vol. 62, pp. 53-62.

Zhmodik S., Kiseleva O., Belyanin D., Damdinov B., Airiyants E., Zhmodik A. PGE mineralization in ophiolites of the southeast part of the Eastern Sayan (Russia), 12th International Platinum Symposium. Abstracts, Anikina E.V. et al. (eds). *Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UB RAS*, 2014. pp. 221-225.

Pearce J.A. Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries: andesites, orogenic andesites and related rocks. Thorpe R.S. (Eds). *Wiley, Chichester*, 1982, pp. 525-548.

Gazel E., Hoernle K., Carr M.J., Herzberg C., Saginor I., Van den Bogaard P., Hauff F., Feigenson M., Swisher III C. Plume-subduction interaction in southern Central America: Mantle upwelling and slab melting. *Lithos*, 2011, vol. 121 (1-4), pp. 117-134. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.10.008>.

Saccani E., Principi G. Petrological and tectono-magmatic significance of ophiolitic basalts from the Elba Island within the Alpine Corsica-Northern Apennine system. *Mineralogy and Petrology*, 2016, vol. 110 (6), pp. 713-730. <https://doi.org/10.1007/s00710-016-0445-3>

Safonova I., Santosh M. Accretionary complexes in the Asia-Pacific region: tracing archives of ocean plate stratigraphy and tracking mantle plumes. *Gondwana Research*, 2014, vol. 25 (1), pp. 126-158. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.008>

Santosh M., Kusky T. Origin of paired high pressure-ultrahigh-temperature orogens: a ridge subduction and slab window model. *Terra Nova*, 2010, vol. 22 (1), pp. 35-42.

Sun S.S., Nesbitt R.W. Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts. *Geology*, 1978, vol. 6, no. 11, pp. 689-693. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1978\)6<689:GRAGSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1978)6<689:GRAGSO>2.0.CO;2)

Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean basins. Saunders A. D., Norry M. J. (eds). *Geological Society of London, London*, 1989, vol. 42, pp. 313-345.

Kay S.M., Ardolino A.A., Gorrington M., Ramos V. The Somuncura Large igneous province in Patagonia: interaction of a transient mantle thermal anomaly with a subducting slab. *Journal of Petrology*, 2007, vol. 48, no. 1, pp. 43-77. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi053>.

Thorkelson D.J. Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation. *Tectonophysics*, 1996, vol. 255, pp. 47-63.

Weaver B.L. The origin of ocean island basalt and member compositions: trace element and isotope constrain. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991, vol. 104, pp. 381-397. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90217-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90217-6)

Wilson M. Geochemical signatures of oceanic and continental basalts: a key to mantle dynamics? *Journal of the Geological Society*, 1993, vol. 150, pp. 977-990.

Wood D.A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas on the

British Tertiary Volcanic Province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1980, vol. 50, pp. 11-30.
[https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8).

Киселева Ольга Николаевна

кандидат геолого-минералогических наук,
 научный сотрудник
 Институт геологии и минералогии
 им. В. С. Соболева СО РАН
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Академика Коптюга, 3
 тел.: (383) 373-05-26
 e-mail: kiseleva_on@igm.nsc.ru

Kiseleva Olga Nikolaevna

Candidate of Sciences (Geology and
 Mineralogy), Research Scientist
 V. S. Sobolev Institute of Geology and
 Mineralogy SB RAS
 3, Academic Koptug st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 tel.: (383) 373-05-26
 e-mail: kiseleva_on@igm.nsc.ru

Айриянц Евгения Владимировна

кандидат геолого-минералогических наук,
 научный сотрудник
 Институт геологии и минералогии
 им. В. С. Соболева СО РАН
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Академика Коптюга, 3
 тел.: (383) 373-05-26
 e-mail: jenny@igm.nsc.ru

Airiyanits Evgeniya Vladimirovna

Candidate of Sciences (Geology and
 Mineralogy), Senior Research Scientist
 V. S. Sobolev Institute of Geology
 and Mineralogy SB RAS
 3, Academic Koptug st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 tel.: (383) 373-05-26
 e-mail: jenny@igm.nsc.ru

Белянин Дмитрий Константинович

кандидат геолого-минералогических наук,
 старший научный сотрудник
 Институт геологии и минералогии
 им. В. С. Соболева СО РАН
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Академика Коптюга, 3
 старший преподаватель
 Новосибирский государственный
 университет
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Пирогова, 2
 тел.: (383) 373-05-26
 e-mail: bel@igm.nsc.ru

Belyanin Dmitriy Konstantinovich

Candidate of Sciences (Geology
 and Mineralogy), Research Scientist
 V. S. Sobolev Institute of Geology
 and Mineralogy SB RAS
 3, Academic Koptug st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 Senior Lecture
 Novosibirsk State University
 2, Pirogov st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 tel.: (383) 373-05-26
 e-mail: bel@igm.nsc.ru

Жмодик Сергей Михайлович

доктор геолого-минералогических наук,
 главный научный сотрудник
 Институт геологии и минералогии
 СО РАН им. В. С. Соболева
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Академика Коптюга, 3
 главный научный сотрудник
 Новосибирский государственный
 университет
 Россия, 630090, г. Новосибирск,
 ул. Пирогова, 2
 тел.: (383) 373-05-26
 e-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Zhmodik Sergei Mikhailovich

Doctor of Science (Geology
 and Mineralogy), Leading Researcher
 V. S. Sobolev Institute of Geology
 and Mineralogy SB RAS
 3, Academic Koptug st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 Leading Research Scientist
 Novosibirsk State University
 2, Pirogov st., Novosibirsk, 630090,
 Russian Federation
 tel.: (383) 373-05-26
 e-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Дата поступления: 01.12.2018

Received: December, 01, 2018