

УДК 552.11(265)

МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ХРЕБТОВ СТЕЛМЕЙТ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ПАЦИФИКА) И ШИРШОВА (БЕРИНГОВО МОРЕ): ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ

© 2021 г. С. А. Силантьев^{а, *}, И. В. Кубракова^а, С. Н. Набиуллина^а

^аИнститут геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

*e-mail: silantyev@geokhi.ru

Поступила в редакцию 26.02.2020 г.

После доработки 18.03.2020 г.

Принята к публикации 21.05.2020 г.

Главная цель проведенного исследования заключалась в оценке содержания и характера распределения сильно сидерофильных и халькофильных элементов в образцах ультрамафитов, габброидов и базальтов, отобранных на хребтах Стелмейт (Северо-Западная Пацифика) и Ширшова (Берингово море) в ходе проведения 249-го рейса НИС “Зонне”. Комплексы слагающих хребты магматических пород расположены по разные стороны от Алеутской островной дуги и могут нести важную информацию о веществе поглощаемой в зоне субдукции литосферы Северо-Западной Пацифики (хр. Стелмейт) и о продуктах супрасубдукционного магматизма и его источниках в задуговом бассейне Берингова моря (хр. Ширшова). Полученные новые данные о строении тихоокеанской литосферы, субдуцируемой под западный сегмент Алеутской островной дуги, свидетельствуют о том, что реальное строение северо-западного сегмента хр. Стелмейт не соответствует модели, предполагающей его принадлежность к каноническому типу океанической литосферы. Разрез литосферы этого региона включает мафит-ультрамафитовые комплексы, происхождение которых связано с эволюцией расплавов и мантийного субстрата, не связанных с мантийными резервуарами океанического типа. Вместе с тем предположенная в общепринятой модели (Lonsdale, 1988) тектоническая ремобилизация литосферы в районе хр. Стелмейт находит подтверждение по результатам драгирования, проведенного на станциях, расположенных на его северо-западном фланге. Тектонические вертикальные перемещения в этом регионе привели к совмещению блоков литосферы, сформированных, возможно, в контрастных геодинамических обстановках. Среди этих литосферных блоков могли присутствовать фрагменты магматических комплексов, образованных при супрасубдукционном магматизме и идентичных в изотопно-геохимическом отношении мафит-ультрамафитовой ассоциации пород хр. Ширшова, расположенного непосредственно к северу от северо-западного сегмента хр. Стелмейт и представляющего, скорее всего, реликт задугового центра спрединга.

Ключевые слова: геохимия ЭПГ, мантийные источники магматизма, задуговые центры спрединга, субдукция, хребет Стелмейт, хребет Ширшова

DOI: 10.31857/S0869590321010052

ВВЕДЕНИЕ

Тектоническое положение хребтов Стелмейт и Ширшова делает их перспективными объектами для изучения процессов петрогенезиса, протекающих в различных геодинамических обстановках, реализующихся на конвергентных границах литосферных плит. Комплексы магматических пород, слагающих эти хребты, расположены по разные стороны от Алеутской островной дуги и могут нести важную информацию о веществе поглощаемой в зоне субдукции литосферы Северо-Западной Пацифики (хр. Стелмейт) и о продуктах супрасубдукционного магматизма и его источниках в задуговом бассейне Берингова моря (хр. Ширшова). Общепринятая в настоящее время картина геоди-

намической эволюции литосферы северо-западной части Тихого океана, важным геоструктурным элементом которой является хр. Стелмейт, реконструирована по геофизическим данным и подразумевает отмирание тихоокеанского центра спрединга Кула-Пацифик 43 млн лет назад, реликт несубдуцированного сегмента которого (Кула) примыкает с запада—юго-запада к Алеутскому желобу и ограничен на юге разломной зоной Стелмейт (Lonsdale, 1988). Согласно этому геодинамическому сценарию, разломная зона Стелмейт является северо-западным окончанием палеотрансформа Кула-Пацифик и включает расположенный внутри него одноименный поперечный хребет, образованный в результате

тектонического взброса блока океанической литосферы мелового возраста вдоль трансформного разлома (Lonsdale, 1988). Первые сведения о строении и составе океанического фундамента в акватории хр. Стелмейт были получены в результате многочисленных драгирований, проведенных на различных сегментах хребта в 201-м и 249-м рейсах немецкого НИС “Зонне” (2009 и 2016 гг. соответственно). Изучение полученных в этих рейсах пород позволило предполагать, что на северо-западном окончании хр. Стелмейт наиболее распространенным петрографическим типом пород являются ультрамафиты (Силантьев и др., 2012, 2018; Краснова и др., 2013). Результаты петролого-геохимического изучения образцов, собранных в этом районе, показали, что ультраосновные породы северо-западного сегмента хр. Стелмейт являются преимущественно продуктами фракционной кристаллизации и близки в минералогическом и геохимическом отношении к представителям мафит-ультрамафитовых серий кумулятивного происхождения (Силантьев и др., 2018). Однако в работе (Краснова и др., 2013) приведены данные, свидетельствующие о присутствии среди ультраосновных пород хр. Стелмейт серпентинитов, развитых по реститогенным шпинелевым лерцолитам, испытавшим частичное плавление на разных уровнях глубинности мантии.

До проведения рейсов НИС “Зонне” в акватории Берингова моря данные о присутствии в пределах хр. Ширшова пород ультраосновного состава отсутствовали. При драгировании в центральной части хр. Ширшова были подняты образцы ультрамафитов, которые, как показали дальнейшие исследования (Силантьев и др., 2018), сильно варьировали по магнезиальности и, как и в случае ультраосновных пород хр. Стелмейт, были представлены, главным образом, пироксенитами кумулятивного происхождения. В (Силантьев и др., 2018) отмечалось сходство ассоциаций пород, драгированных в ходе проведения 249-го рейса НИС “Зонне” на хребтах Стелмейт и Ширшова. В обоих случаях драгированные породы могли бы составить практически полный разрез типичных для палеоколлизий зон офиолитовых комплексов. Офиолитовый тип разреза, возможно, имеющий место в центральной части хр. Ширшова, не противоречит высказанному ранее предположению, что петрографический спектр пород, драгированных здесь (амфиболиты, габбро, долериты), относится к офиолитовой ассоциации, магматический протолит которой был сформирован в задуговом центре спрединга (Силантьев и др., 1985). Однако офиолитовый сценарий формирования возможного офиолитового геологического разреза северо-северо-западного окончания хр. Стелмейт противоречит существующим представлениям (Lonsdale, 1988) о геодинамической

природе этого блока литосферы Северо-Западной Пацифики. Возможные тектонические сценарии, позволяющие реконструировать события, приведшие к образованию ассоциации пород, наблюдаемой в сегменте хр. Стелмейт, погружающейся в Алеутский глубоководный желоб, обсуждаются в (Силантьев и др., 2018). Бесспорно, любая геодинамическая альтернатива общепринятой концепции строения и состава тихоокеанской литосферы в непосредственной близости к Алеутской зоне субдукции требует дальнейшего накопления данных, которые могли бы быть использованы в качестве аргументов в ее пользу.

В продолжение исследований, направленных на геодинамическую интерпретацию петролого-геохимических особенностей пород мафит-ультрамафитовой ассоциации хребтов Стелмейт и Ширшова, главная цель настоящей работы заключалась в оценке содержания и характера распределения сильно сидерофильных и халькофильных элементов в образцах ультрамафитов, габброидов и базальтов, отобранных в ходе проведения 249-го рейса НИС “Зонне”. Расположение станций драгирования показано на рис. 1. Изучение характера распределения меди, никеля, серы и элементов группы ЭПГ в отобранных для изучения образцах позволяет увереннее судить о геохимической и геодинамической природе расплавов, родительских для них, и о факторах петрогенезиса, определяющих существующие между ними различия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом изучения послужила коллекция, состоящая из 26 образцов, включающая 13 ультраосновных пород, 8 габбро и 5 базальтов и диабазов (табл. 1). Ультраосновные породы, отобранные как на хр. Стелмейт, так и на хр. Ширшова, представлены образцами, варьирующими в структурном отношении от сильно деформированных полосчатых разновидностей до типичных петельчатых серпентинитов. Во многих образцах серпентинитов сохранились реликты первичных шпинели, клино- и ортопироксена, реже оливина. Протолитом серпентинитов являлись, главным образом, клинопироксениты, оливиновые клинопироксениты, оливиновые вебстериты и верлиты (Силантьев и др., 2018). Габброиды, как и серпентиниты, обнаруживают разную степень деформационного воздействия. Среди них присутствуют практически неизмененные лейкократовые габбро с характерной аллотриоморфнозернистой структурой (обр. DR47-1, 2¹), слабоизмененные оливи-

¹ Здесь и далее номера станций драгирования 249-го и 201-го рейсов НИС “Зонне” обозначаются как So249-DR45,47,112 или So201-DR37, а номера образцов, как, например, DR45-1 (обр. DR45-1 получен на станции драгирования So249-DR45).

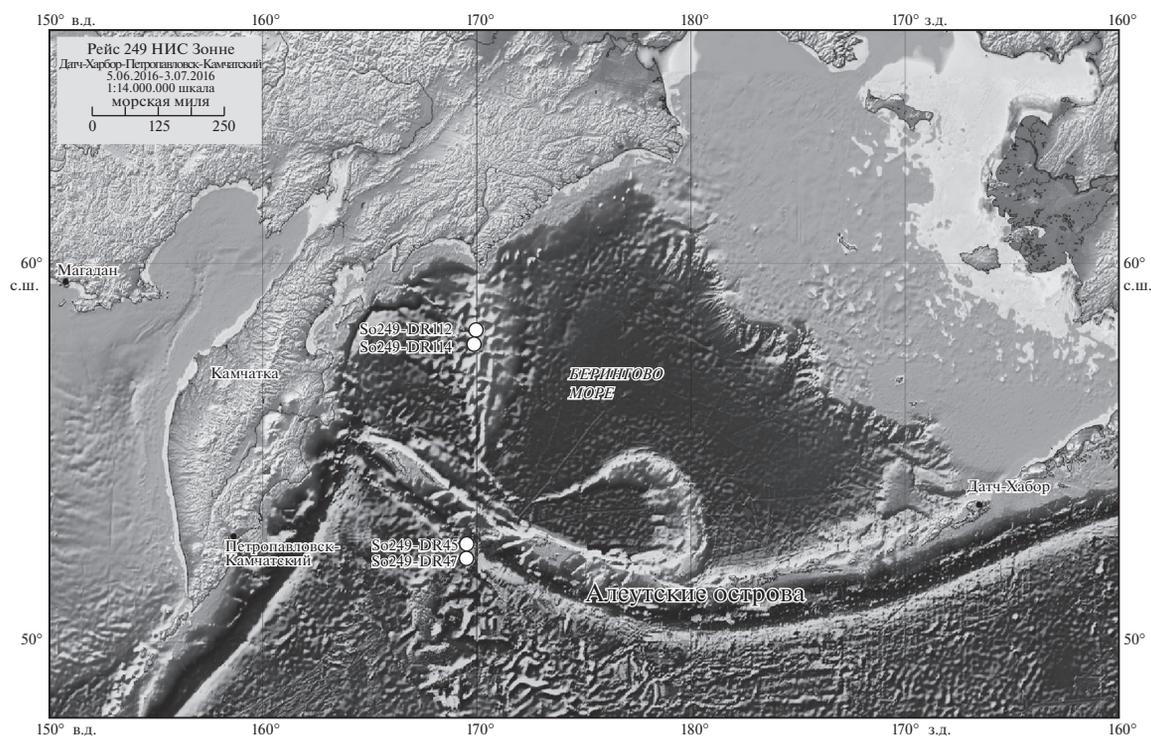


Рис. 1. Расположение станций драгирования 249-го рейса НИС “Зонне”.

новые габбро (обр. DR45-14), уралитизированные офитовые габбро (обр. DR47-20) и габброиды, испытавшие синтетектоническую перекристаллизацию (обр. DR45-9, DR47-17). Вулканические и субвулканические породы в изученной коллекции представлены свежими базальтами с неизменной интерсертальной структурой основной массы породы (обр. DR45-22, DR47-24) или диабазами, в различной степени сохранившими признаки долеритовой структуры (обр. DR45-28, DR47-21, DR112-13, DR112-14). Образец DR47-24 в петрографическом отношении является типичным пикритовым базальтом и сложен крупными фенокристаллами оливина, шестоватыми агрегатами плагиоклаза и выделениями шпинели неправильной формы. Детальная информация о петролого-геохимических особенностях всех пород в табл. 1 представлена в (Силантьев и др., 2018, 2019).

Содержания элементов группы платины (ЭПГ) и некоторых халькофильных элементов были определены в ГЕОХИ РАН методами МС-ИСП и АЭС-ИСП. Методики анализа подробно описаны в (Кубракова и др., 2020). Подготовка проб массой 0.5–1 г состояла в их кислотном разложении (HCl, HF, HNO₃) с последующим доплавлением остатка с пероксидом натрия. Для ЭТААС платину, палладий и золото концентрировали на порошкообразном комплексобразующем сорбенте ПОЛИОРГС-IV (Россия), который анализировали в виде водной суспензии (атомно-аб-

сорбционный спектрометр Solaar MQZ (Thermo Electron Corp. UK) с зеемановской коррекцией фонового поглощения; $\lambda = 265.9, 247.6, 242.8$ нм). ПрО: Au, Pd – 1 нг/г, Pt – 2.5 нг/г. Для ВР-МС-ИСП определения ЭПГ и золото отделяли на катионообменной смоле AG50W × 8 (Bio Rad, USA). Растворы анализировали на спектрометре высокого разрешения Element XR (Finnigan MAT, Германия) с внешней градуировкой. Использовали изотопы ¹⁰²Ru, ¹⁰⁶Pd, ¹⁹¹Ir, ¹⁹⁵Pt, ¹⁹⁷Au, ¹⁰³Rh и режим “среднее разрешение”. Пределы обнаружения элементов (в пересчете на исходное вещество) составляли Ir – 0.1, Rh – 0.5, Ru – 0.5, Pt – 0.5, Pd – 1.0 нг/г. Правильность результатов подтверждена данными, полученными для стандартного образца состава TDB-1 (Diabase Rock PGE Reference Material, CANMET), а также образцов международной программы тестирования геоаналитических лабораторий GeoPT (перидотит ОРУ-1, гарцбургит HARZ-01), которые были проанализированы одновременно с исследуемыми образцами.

ГЕОХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ В ИЗУЧЕННЫХ ПОРОДАХ

Базальты и диабазы

Содержания элементов группы платины (ЭПГ) и некоторых сидерофильных, халькофильных и литофильных элементов в образцах из изученной коллекции приведены в табл. 2. Характер распределе-

Таблица 1. Петрографические типы изученных пород и координаты станций драгирования

Станция/образец	с.ш.	в.д.	Порода
Хребет Стелмейт			
So249-DR45-1	52°39′	169°41′	Серпентинит
So249-DR45-2	52°39′	169°41′	Полосчатый серпентинит (апопироксенитовый)
So249-DR45-5	52°39′	169°41′	Серпентинит (апопироксенитовый)
So249-DR45-6	52°39′	169°41′	Серпентинит
So249-DR45-9	52°39′	169°41′	Катаклазированный габброид
So249-DR45-14	52°39′	169°41′	Крупнозернистое габбро
So249-DR45-22	52°39′	169°41′	Базальт
So249-DR45-28	52°39′	169°41′	Диабаз
So201-DR37-12	51°17′	169°49′	Серпентинит (аполерцолитовый)
So201-DR37-13	51°17′	169°49′	Серпентинит (аполерцолитовый)
So249-DR47-1	52°39′	169°41′	Лейкократовое офитовое габбро
So249-DR47-2	52°39′	169°41′	Офитовое габбро
So249-DR47-6	52°39′	169°41′	Серпентинит (по оливиновому клинопироксениту)
So249-DR47-9	52°39′	169°41′	Серпентинит (по оливиновому клинопироксениту)
So249-DR47-17	52°29′	169°39′	Перекристаллизованный ультраосновной кумулат
So249-DR47-20	52°29′	169°39′	Грубозернистое габбро
So249-DR47-21	52°29′	169°39′	Диабаз
So249-DR47-24	52°29′	169°39′	Пикритовый базальт
Хребет Ширшова			
So249-DR112-1	58°47′	170°	Серпентинизированный пироксенит
So249-DR112-2	58°47′	170°	Серпентинизированный пироксенит
So249-DR112-5	58°47′	170°	Серпентинизированный пироксенит
So249-DR112-6	58°47′	170°	Серпентинизированный оливиновый пироксенит
So249-DR112-21	58°47′	170°	Серпентинизированный оливиновый вебстерит
So249-DR112-22	58°47′	170°	Апогарцбургитовый серпентинит
So249-DR112-24	58°47′	170°	Серпентинит (по оливиновому пироксениту)
So249-DR112-23	58°47′	170°	Кумулятивное меланократовое габбро
So249-DR112-13	58°47′	170°	Диабаз
So249-DR112-14	58°47′	170°	Диабаз

ния содержания этих элементов в породах мафит-ультрамафитовой ассоциации хребтов Стелмейт и Ширшова содержит полезную информацию для решения задач, важных в контексте реконструкции геодинамической позиции изученных комплексов пород. В первую очередь предполагалось выяснить, существуют ли различия в характере распределения ЭПГ между породами из изученных мафит-ультрамафитовых ассоциаций и, если различия имеют место, то с какими факторами петрогенезиса они связаны. Очевидный интерес представляет использование полученных данных для ответа на вопрос, существуют ли генетические связи между изученными плутоническими и вулканическими породами.

Ранее предполагалось (Силантьев и др., 2019), что характер распределения редкоземельных элементов в изученных базальтах, диабазах и габбро хребтов Стелмейт и Ширшова позволяет выделять среди них представителей двух магматических серий. Одна из них включает породы, относящиеся к продуктам супрасубдукционного магматизма. Другая группа образцов обнаруживает геохимические параметры, свойственные вулканическим и плутоническим производным семейства MORB. Примечательно, что в случае хр. Стелмейт на обеих станциях драгирования (So249-DR45и So249-DR47 на рис. 2) представители этих двух магматических серий, контрастных в геодинамическом отношении, тесно ассоциируют. Рисунок 2 наглядно демонстрирует эту особенность изученных вулканических и субвул-

Таблица 2. Содержание элементов группы платины, некоторых халькофильных и несовместимых элементов, а также значения величины отношений Sm/Nd и MgO/SiO₂ в породах мафит-ультрамафитовой ассоциации хребтов Стелмейт и Ширшова

Элементы	DR45-22	DR45-28	DR45-9	DR45-14	DR45-1	DR45-2	DR45-5	DR45-6	DR47-21	DR47-24	DR47-1	DR47-2	DR47-17
Ir	3.50	0.20	7.00	1.70	4.43	6.03	2.95	nd	0.90	1.10	2.23	1.10	2.15
Ru	0.10	4.80	2.00	1.70	10.20	7.10	7.28	nd	0.53	1.34	3.59	4.31	0.96
Pt	10.70	15.00	15.40	57.40	21.20	40.00	32.50	52.00	9.90	16.54	16.20	71.49	4.43
Pd	1.40	0.50	<1	3.70	4.18	42.00	173.25	49.95	0.05	1.00	<1	<1	1.28
Au	2.10	2.00	3.11	3.70	12.55	21.40	114.75	44.75	4.66	3.15	4.20	5.62	4.82
Ag	0.07	0.04	0.05	0.07	0.09	0.01	0.00	0.04	0.15	0.08	0.06	0.13	0.16
Cu	131.00	30.00	75.20	83.90	268.18	487.00	330.49	195.08	96.30	57.00	69.20	60.20	30.70
Ni	308.00	204.00	318.00	25.00	949.40	1518.00	1692.00	1108.00	140.00	283.00	124.00	101.00	251.67
S	175.00	35.30	62.10	96.80	177.00	287.00	213.00	178.00	1438.00	1049.00	58.80	64.80	3207.00
Y	22.90	34.00	30.30	13.90	4.68	3.34	2.15	nd	10.00	18.00	1.04	nd	nd
Sc	32.00	nd	35.90	41.70	9.15	18.35	12.99	nd	nd	nd	42.00	nd	nd
Sr	240.00	165.00	76.20	155.00	37.10	18.00	85.00	nd	261.00	221.00	5.70	nd	nd
Sm	3.20	5.01	5.24	1.09	1.59	0.25	0.20	nd	1.38	1.88	0.49	0.93	0.64
Nd	10.40	16.70	18.27	2.70	6.79	0.70	0.69	nd	4.41	4.58	1.75	2.32	2.54
Sm/Nd	0.31	0.30	0.29	0.40	0.24	0.36	0.29	nd	0.31	0.41	0.28	0.40	0.25
MgO/SiO ₂	nd	nd	nd	nd	0.82	0.58	0.77	0.85	nd	nd	nd	nd	nd
Элементы	DR47-20	DR47-6	DR47-9	DR112-13	DR112-14	DR112-23	DR112-1	DR112-2	DR112-5	DR112-6	DR112-21	DR112-22	DR112-24
Ir	2.18	4.03	4.30	6.53	1.11	3.77	2.29	3.03	1.53	1.72	1.50	3.79	4.12
Ru	1.70	4.20	3.60	1.49	1.49	7.05	6.54	22.24	7.54	4.75	35.66	2.10	3.55
Pt	17.95	11.00	60.00	283.53	18.32	35.00	20.00	273.00	754.00	215.00	223.00	278.00	116.00
Pd	2.73	8.10	9.62	<1	1.65	2.70	3.90	4.45	21.70	3.20	3.90	6.72	16.25
Au	7.11	8.00	7.50	1.51	5.88	12.80	23.00	6.72	22.75	40.12	5.42	7.50	5.92
Ag	0.08	0.16	1.30	0.06	0.07	0.07	0.04	0.04	0.33	0.05	0.01	0.03	0.03
Cu	46.10	2.47	1.14	45.30	10.01	9.93	22.60	8.52	6.29	6.07	11.12	7.66	5.53
Ni	96.67	2388.00	2093.00	42.50	113.33	181.00	467.00	726.00	729.00	891.00	312.00	729.00	1296.00
S	50.30	706.00	516.00	44.90	73.80	68.20	213.00	150.00	134.00	189.00	36.60	201.00	165.00
Y	2.24	0.80	nd	39.46	4.64	nd	3.31	2.00	1.41	1.25	3.51	1.00	2.69
Sc	10.00	11.00	nd	39.30	56.60	71.00	50.23	38.96	35.55	30.18	67.12	21.01	5.00
Sr	264.00	6.00	nd	76.00	361.00	300.00	36.00	18.60	21.60	25.80	42.00	6.90	258.00
Sm	0.31	0.02	nd	6.23	1.07	1.42	0.47	0.28	0.23	0.23	0.53	0.17	0.18
Nd	1.04	0.08	nd	18.06	3.25	3.81	1.17	0.66	0.55	0.54	1.27	0.46	0.39
Sm/Nd	0.30	0.25	nd	0.34	0.33	0.37	0.40	0.42	0.42	0.41	0.42	0.37	0.46
MgO/SiO ₂	nd	0.83	0.90	nd	nd	0.34	0.50	0.60	0.61	0.56	0.47	0.76	0.75

Примечание. Здесь и в табл. 3: nd – элемент не определялся; содержание элементов Ir, Ru, Pt, Pd, Au даны в ppb, остальные – в ppm. Данные о содержании главных и несовместимых элементов в изученных породах представлены в (Силангьев и др., 2018, 2019).

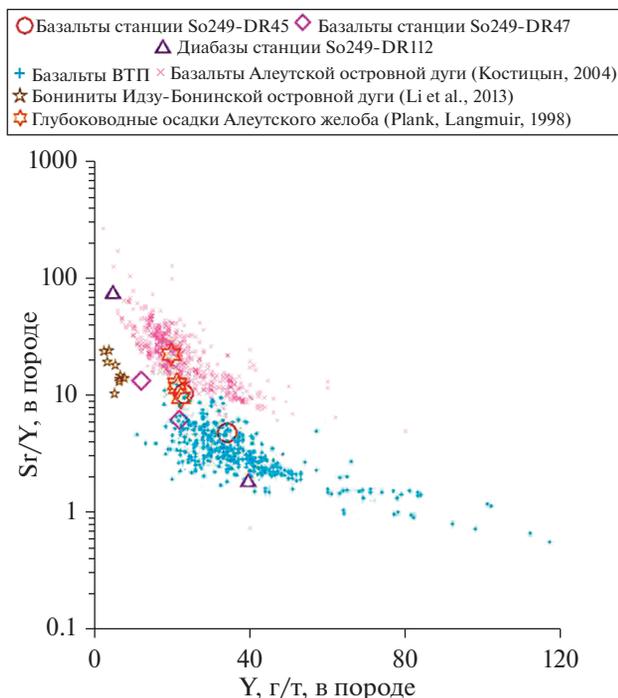


Рис. 2. Вариации содержания Y и величины отношения Sr/Y в базальтах и диабазах хребтов Стелмейт (DR45-22, DR45-28, DR47-21, DR47-24) и Ширшова (DR112-13, DR112-14).

Для сравнения показаны точки составов базальтов Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) и Алеутской островной дуги по (Костицын, 2004), бонинитов Идзу-Бонинской островной дуги по (Li et al., 2013) и глубоководных осадков Алеутского желоба по (Plank, Langmuir, 1998).

канических пород. Как следует из данного рисунка, по содержанию Y и величине отношения Sr/Y некоторые образцы базальтов, добытые на ст. So249-DR47 (см. рис. 2), также близки полю составов типичных представителей бонинитовой серии.

Вариации содержания меди и серы в базальтах и диабазах хребтов Ширшова и Стелмейт, представленные на рис. 3 и в табл. 2, с одной стороны, подтверждают предположение о возможной островодужной природе некоторых базальтоидов и габбро, драгированных на ст. So249-DR45 и So249-DR112. С другой стороны, породы, поднятые на ст. So249-DR47, с равной степенью вероятности могут относиться к продуктам магматизма задуговых бассейнов или к базальтам срединно-океанических хребтов (MORB). Следует заметить, что, судя по рис. 3, базальты задуговых бассейнов в отношении характера распределения содержания меди и серы практически не отличаются от MORB. Вместе с тем, судя по данным, приведенным в (Миронов, Портнягин, 2018), средний состав первичных супрасубдукционных расплавов (например, Толбачинского Дола – Восточный вулканический фронт

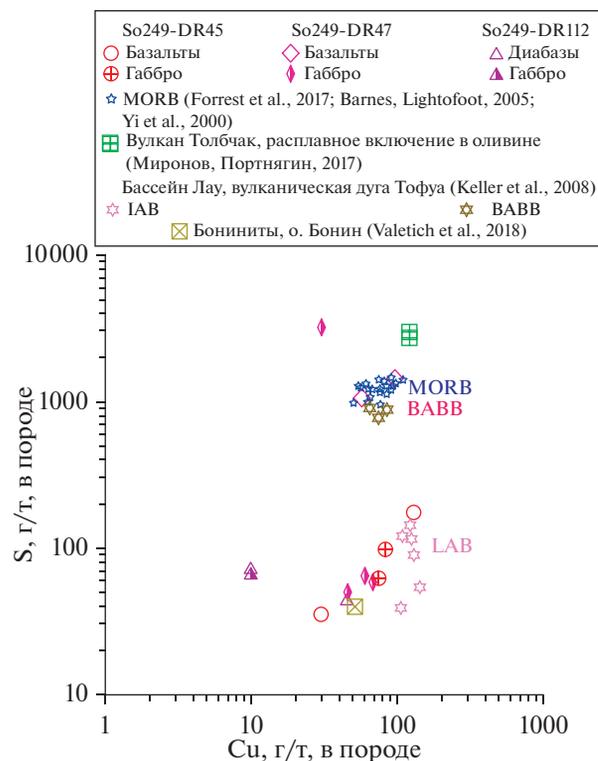


Рис. 3. Вариации содержания Cu и S в базальтах и диабазах хребтов Стелмейт (DR45-22, DR45-28, DR47-21, DR47-24) и Ширшова (DR112-13, DR112-14). Показаны также точки состава MORB по (Yi et al., 2000; Barnes, Lightfoot, 2005; Forrest et al., 2017), IAB (базальты островных дуг) и BABB (базальты задуговых бассейнов) по (Keller et al., 2008) и бонинитов о-ва Бонин по (Valetich et al., 2018).

Камчатки) характеризуется существенно более высокой концентрацией меди, чем в родительских для MORB расплавах (рис. 3).

Судя по характеру распределения концентраций Ni, Pt, Pd и Cu, нормированных к мантии, базальты и габбро, драгированные на хр. Стелмейт, близки к спектрам распределения этих элементов для MORB (рис. 4а, 4б), хотя, в случае образцов со ст. So249-DR45, имеют более высокие содержания Pt, Pd и Cu. Картина распределения ЭПГ, Ni и Cu, наблюдаемая в диабазах и габбро хр. Ширшова (рис. 4в), демонстрирует, что спектр нормализованных содержаний этих элементов в обр. DR112-13 (диабаз) напоминает спектр, свойственный MORB. Однако образцы DR112-14 (диабаз) и DR112-23 (габбро) близки по составу к габбро из расслоенных комплексов урало-алаякского типа, характерных для палеоколлизии-онных зон.

О ковариациях содержаний Cu, Ni и S в изученных породах можно судить по рис. 5. Этот рисунок демонстрирует отмеченную выше гетерогенность вулканических и субвулканических пород хр. Стел-

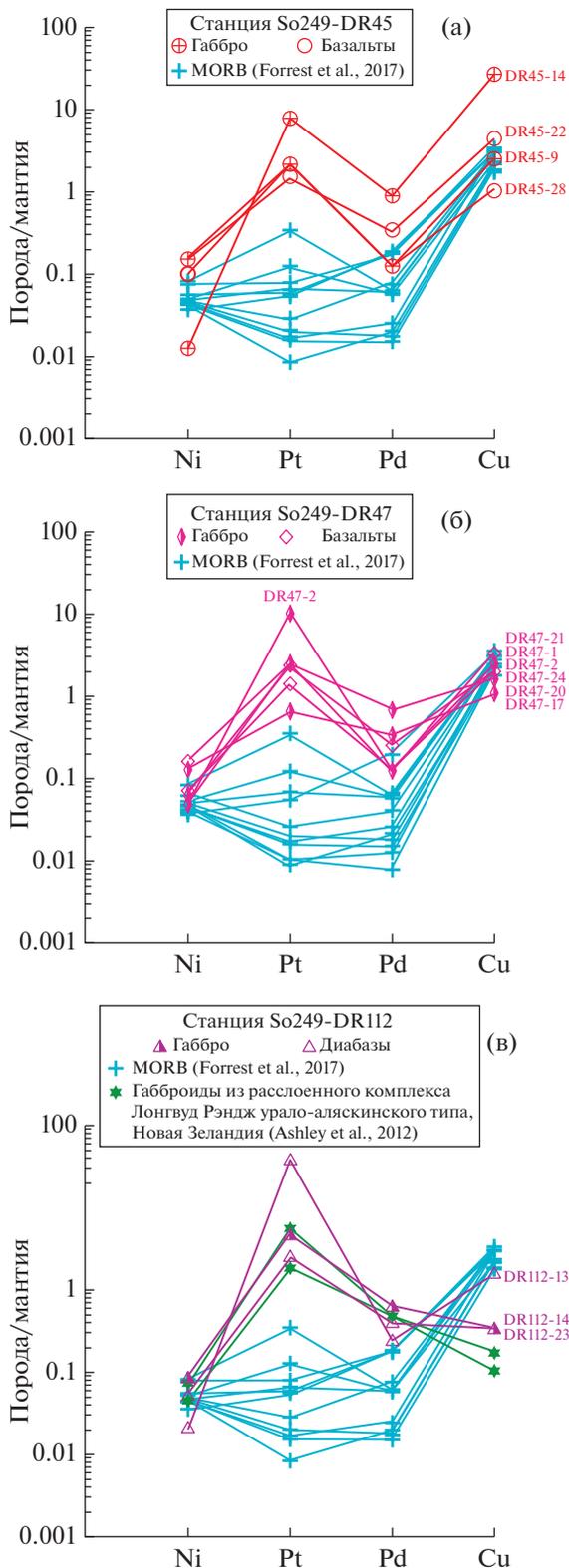


Рис. 4. Характер распределения элементов группы ЭПГ и никеля и меди, нормированных к примитивной мантии, по (Barnes, Maier, 1999), в габброидах, диабазах и базальтах, драгированных на хр. Стелмейт (а – ст. So249-DR45, б – ст. So249-DR47) и хр. Ширшова (в – ст. So249-DR112).

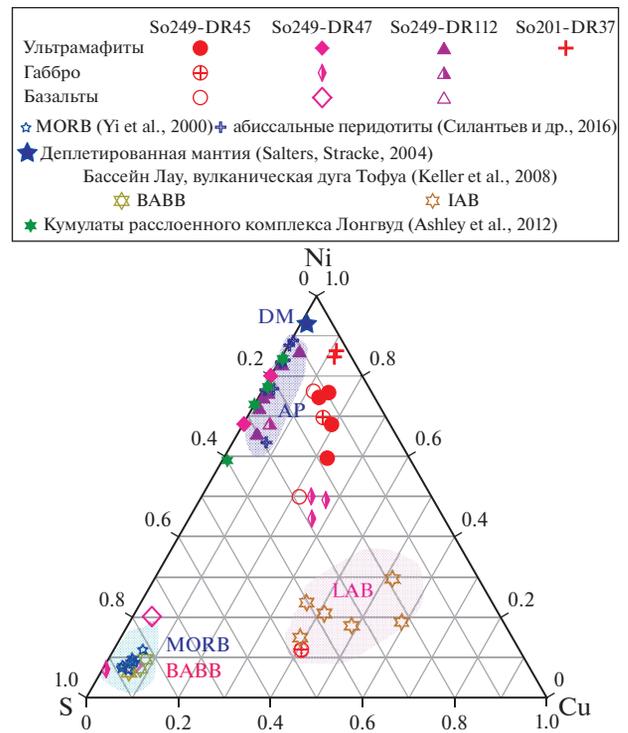


Рис. 5. Вариации содержаний Cu, Ni и S в породах мафит-ультрамафитовой ассоциации хребтов Стелмейт и Ширшова.

Показаны также поля составов MORB по (Yi et al., 2000); абиссальных перидотитов (AP) по (Силантьев и др., 2016); BABB – базальтов задуговых бассейнов, IAB – базальтов островных дуг по (Keller et al., 2008); кумулятивных пород расслоенного комплекса урало-алаякского типа по (Ashley et al., 2012). Состав деплетированной мантии (DM) приведен по (Salters, Stracke, 2004).

мейт, проявленную в присутствии здесь продуктов вулканизма, характерных для океанических (MORB) и задуговых (BABB) центров спрединга (обр. DR47-21, DR47-24) и близких по составу к базальтам островных дуг (IAT) – обр. DR45-22. Состав базальта (обр. DR45-28), возможно, близок к вулканитам внутриплитного типа, включающим OIB. В пользу этого предположения свидетельствуют изотопно-геохимические данные, приведенные в (Силантьев и др., 2019). Составы габброидов хр. Стелмейт в координатах рис. 5 сильно варьируют по содержанию серы и меди, в то время как габбро хр. Ширшова попадает в поле состава абиссальных перидотитов, включающее также точки состава кумулятивных пород мафит-ультрамафитовой ассоциации урало-алаякского типа.

Ультрамафиты

Дискриминационная диаграмма на рис. 6 (Garuti et al., 1997) позволяет прийти к заключению,

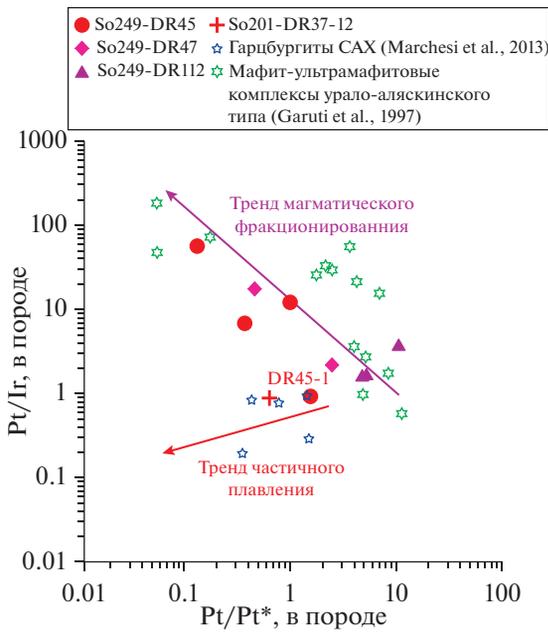


Рис. 6. Вариации отношений Pt/Pt^* и Pd/Ir в изученных ультраосновных породах хребтов Стелмейт и Ширшова.

Показаны также точки составов ультрамафитов урало-алаякского типа по (Garuti et al., 1997). Тренды частичного плавления и магматического фракционирования и формула расчета величины $Pt/Pt^* = (Pt/8.3)/[(Rh/1.6) \times (Pd/4.4)]^{1/2}$ приведены по (Garuti et al., 1997).

что большая часть образцов ультраосновных пород, драгированных на станциях So249-DR47 (хр. Стелмейт) и So249-DR112 (хр. Ширшова), относится к представителям расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексов урало-алаякского типа, как и было описано в (Силантьев и др., 2018, 2019). Возможно, ультрамафиты кумулятивного происхождения присутствуют также и на ст. So249-DR45, однако, следует заметить, что точка состава обр. DR45-1, драгированного на северо-западном окончании хр. Стелмейт, лежит вблизи мантийного тренда частичного плавления и состава мантийного лерцолита, драгированного в 201-м рейсе НИС “Зонне” на хр. Стелмейт примерно в 50 милях к юго-западу (ст. So201-DR37).

Ультрамафиты, отобранные как на ст. So249-DR47 хр. Стелмейт, так и на хр. Ширшова, обладают содержаниями никеля, платины, палладия, золота и меди, близкими к характерным для ультраосновных пород кумулятивных серий урало-алаякского типа (рис. 7б). Однако эти породы обнаруживают абсолютные содержания платины и золота, заметно превосходящие таковые в хорошо изученных пироксенитах, верлитах и дунитах Урала, данные по которым приведены в (Garuti et al., 1997). Особенно контрастно это отличие проявлено в породах хр. Ширшова. Максимальное со-

держание палладия, наблюдаемое в обр. DR47-6 (рис. 7б), вероятно, отражает присутствие пентландита в этой породе. Примечательно, что все образцы ультраосновных пород со ст. So249-DR45 обнаруживают более высокие значения содержания меди и золота как по сравнению с предшественниками мафит-ультрамафитовой ассоциации урало-алаякского типа, так и с абиссальными перидотитами (рис. 5 и 7а). Причем, характер спектра распределения нормализованных к примитивной мантии содержаний Pt , Pd , Au и Cu в ультрамафитах ст. So249-DR45 очень напоминает спектры, типичные для метасоматизированных мантийных пород палеоколлизийных зон, которые приведены в (Holwell et al., 2019). Картина распределения ЭПГ, Au и Cu , наблюдаемая на рис. 7а, судя по данным, представленным в (Holwell et al., 2019), предполагает участие в формировании ультраосновного субстрата ст. So249-DR45 резервуара SCLM (субконтинентальная литосферная мантия). Ультраосновные породы со ст. So249-DR45 и So201-DR37, обнаруживающие повышенное содержание меди, близки по составу к абиссальным перидотитам, импрегнированным магматическими расплавами. Эти породы отклоняются от поля состава “стерильных” абиссальных перидотитов таким же образом, как, например, изученные в (Ciazela et al., 2018) мантийные перидотиты осевой зоны Срединно-Атлантического хребта, характеризующиеся отчетливыми минералогическими и геохимическими признаками взаимодействия с магматическим расплавом. В пользу подобного сценария говорит то обстоятельство, что существенная часть изученных к настоящему времени образцов абиссальных перидотитов содержит прожилки габброидов. Следует заметить, что наблюдаемые вариации содержания серы в образцах ультрамафитов хр. Ширшова и ст. So-DR249-45 хр. Стелмейт, очевидно, преимущественно отражают процессы фракционирования родительского расплава или взаимодействия ультраосновного субстрата с чужеродным магматическим расплавом. В пользу этого предположения говорит отчетливо проявленная корреляция между содержаниями серы и железа в этих породах. Сложнее интерпретировать вариации содержания серы в ультраосновных породах ст. So249-DR47. В образцах с этой станции содержание серы не обнаруживает корреляции с содержанием железа, но коррелируется с содержанием никеля. Это может служить подтверждением высказанного выше предположения о пентландитовой минерализации в обр. DR47-6.

Как следует из табл. 2, содержание серы в ультрамафитах ст. So249-DR47 (обр. DR47-6) достигает 706 г/т. Столь высокое содержание серы характерно для полностью серпентинизированных океанических перидотитов (Alt et al., 2007). В работе (Klein, Bach, 2009) предполагалось, что накопление

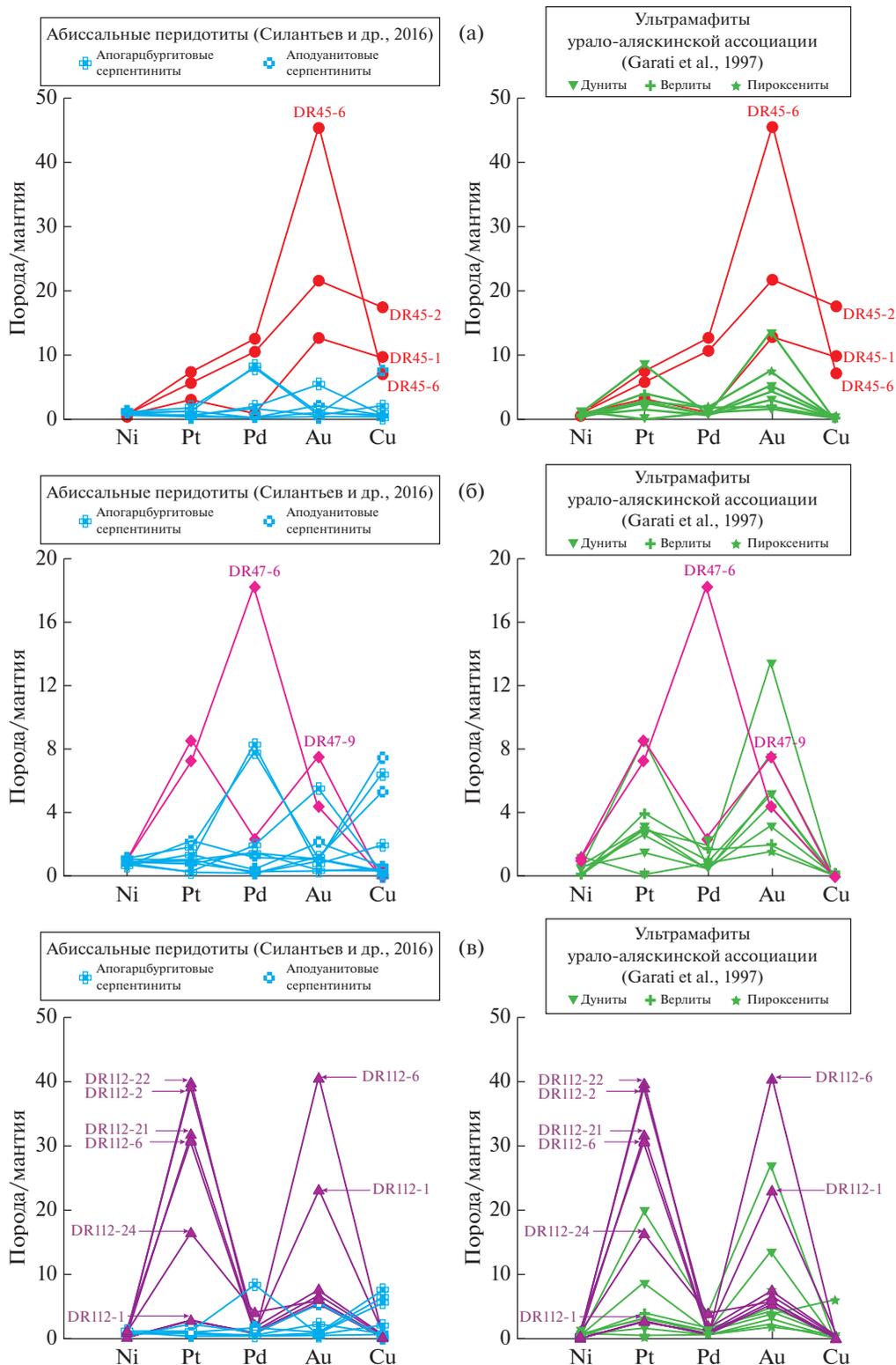


Рис. 7. Характер распределения элементов группы ЭПГ никеля, меди и золота, нормированных к примитивной мантии по (Barnes, Maier, 1999), в ультраосновных породах, драгированных на хребте Стелмейт (а – ст. So249-DR45, б – ст. So249-DR47) и хребте Ширшова (в – ст. So249-DR112). Для сравнения на рисунках, расположенных слева, показаны спектры распределения нормированных к примитивной мантии содержаний ЭПГ, Ni, Cu, Au, характерные для абиссальных перидотитов; на рисунках, расположенных справа, – для ультрамафитов урано-аласкинского типа.

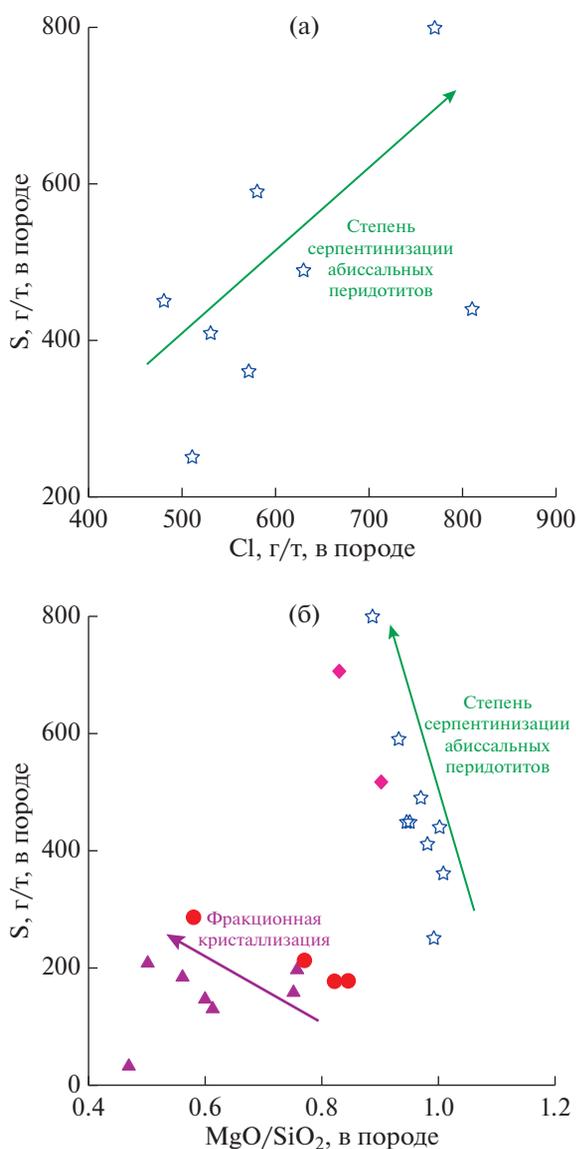


Рис. 8. Вариации отношений S и Cl в абиссальных перидотитах (а) и S и величины отношения MgO/SiO₂ (б) в абиссальных перидотитах и ультраосновных породах хребтов Стелмейт и Ширшова. Условные обозначения те же, что на рис. 6. Стрелками обозначены возможные тренды фракционной кристаллизации и степени серпентинизации ультрамафитов. Используемые составы абиссальных перидотитов приведены в табл. 3.

серы в интенсивно серпентинизированных перидотитах дна океана связано с ее выносом из первичных сульфидов мантийного субстрата, переносом “фронтом серпентинизации”, который трассирует перемещение гидротермально флюида, ответственного за серпентинизацию, и ее переотложением в породах, в которых степень серпентинизации достигает максимальных значений. Правдоподобность этого механизма наглядно демонстри-

рует рис. 8, на котором представлены сопряженные вариации содержания хлора и серы (рис. 8а) и величины параметра MgO/SiO₂ (рис. 8б), отражающие степень серпентинизации абиссальных перидотитов (см. также табл. 3). Вариации отношения MgO/SiO₂ в ультрамафитах расслоенных комплексов соответствуют также тренду фракционной кристаллизации. Однако, как видно из рис. 8б, тренды магматической и метаморфической эволюции состава ультрамафитов в использованных координатах отчетливо различаются. Следует заметить, что тренд, описывающий на рис. 8б изменение степени серпентинизации абиссальных перидотитов, определяется геохимическими эффектами, не связанными с вариациями модального содержания оливина в породе, а отражает привнос водным флюидом SiO₂ в ультраосновные породы при их серпентинизации (например, Malvoisin, 2015) и вынос серы из первичных сульфидов мантийного субстрата с ее переотложением в породах, в которых степень серпентинизации достигает максимальных значений (Klein, Vach, 2009). И.В. Кубракова с соавторами (2019) на основании результатов динамических экспериментов вода–порода с использованием природных образцов показали, что в ходе низкотемпературного преобразования абиссальных перидотитов Pd характеризуется существенно более высокой подвижностью чем Pt. Рисунок 9 демонстрирует ковариацию величины отношения Pt/Pd и содержания серы для в различной степени серпентинизированных абиссальных перидотитов, характер которой подтверждает это предположение.

ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА ИСТОЧНИКОВ МАГМАТИЗМА, УЧАСТВОВАВШИХ В ОБРАЗОВАНИИ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ХРЕБТОВ СТЕЛМЕЙТ И ШИРШОВА

Приведенные выше данные о характере распределения элементов группы платины и некоторых халькофильных элементов в мафит-ультрамафитовых комплексах хребтов Стелмейт и Ширшова позволяют дополнить полученные в (Силантьев и др., 2019) сведения о возможном составе источников их родительских расплавов. Наиболее контрастно геохимическое различие между изученными ультрамафитами проявлено в поведении меди, аномально высокое содержание которой установлено в породах ст. So249-DR45 (рис. 10а). Вариации содержания меди в ультраосновных породах хребтов Стелмейт и Ширшова, в отличие от содержания серы, не обнаруживают закономерных корреляций с индикаторами степени их изменения (например, величиной ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr). Однако, как следует из рис. 10б, аномально обогащенные медью ультрамафиты хр. Стелмейт характеризуются изотопным составом неодима, резко от-

Таблица 3. Содержания элементов группы платины, некоторых халькофильных элементов и хлора, а также значения величины отношения MgO/SiO₂ в абиссальных перидотитах

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8
	16ABP56-76	34L64-2	34L68-4	34L137-1	SeDR3-2-6	SeDR5-2	SeDR6-1-25	SeDR8-7-28
Ir	nd	0.80	1.10	2.20	nd	nd	nd	nd
Pt	6.00	2.00	6.00	2.00	13.00	6.00	4.00	16.00
Pd	6.00	8.00	33.00	1.00	31.00	1.00	1.00	5.00
Au	9.00	89.00	8.00	15.00	21.00	18.00	4.00	20.00
Cu	9.00	1.00	16.00	56.00	30.00	12.00	31.00	150.00
Ni	1500.00	1800.00	2000.00	1800.00	2500.00	1900.00	2200.00	1300.00
S	450.00	250.00	440.00	490.00	800.00	360.00	410.00	590.00
Cl	480.00	510.00	810.00	630.00	770.00	570.00	530.00	580.00
MgO/SiO ₂	0.95	0.99	1.00	0.97	0.89	1.01	0.98	0.93

Примечание. Все образцы отобраны в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта (САХ). 1 – гарцбургит (САХ, 15°30' с.ш.); 2–4 – гарцбургиты (САХ, 15°30' с.ш.); 5, 6 – гарцбургиты (САХ, 12°58' с.ш.); 7 – гарцбургит (САХ, 14°41' с.ш.); 8 – дунит (САХ, 14°45' с.ш.).

личным от свойственного резервуару DM. Низкие значения величины ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, наблюдаемые в некоторых серпентинитах срединно-океанических хребтов, могут указывать на длительное экспонирование этих пород на поверхности океанического дна (например, Delacour et al., 2008). Однако ультрамафиты ст. So249-DR45 не обнаруживают признаков низкотемпературных изменений, сопутствующих этой обстановке. Близкие к ним в геохимическом отношении аполерцолитовые серпентиниты ст. So249-DR37, возможно, экспонировались некогда над уровнем моря и не имеют отчетливых признаков низкотемпературного подводного выветривания (Силантьев и др., 2012).

С одной стороны, величина Sm/Nd в мантийном рестите возрастает с увеличением степени плавления (Fauge, 1986). С другой стороны, взаимодействие мантийного субстрата с просачивающимся сквозь него расплавом может провоцировать повторное обогащение мантийного вещества и приводить к существенному уменьшению величины отношения Sm/Nd. Выше было продемонстрировано сходство состава ультрамафитов ст. So249-DR45 с составом абиссальных перидотитов, импрегнированных базальтовым расплавом. Таким образом, можно предполагать, что вариации Sm/Nd отношения, наблюдаемые в этих породах, связаны с магматическим взаимодействием, а не с частичным плавлением ультраосновного субстрата. В пользу этого механизма свидетельствует также различия в значениях величины ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, наблюдаемые в ряду образцов ультрамафитов, отобранных на ст. So249-DR45. Изотопный состав ультраосновного субстрата, представленного обр. DR45-1, не позволяет относить эту породу к семейству абиссальных перидотитов. Изотопный состав неодима в этом образце присущ породам

древнего корового субстрата, не имеющего отношения к мантийным резервуарам, продуцирующим MORB: ε_{Nd} = -2.2 (рис. 10б, 11б, табл. 2). Представленные выше данные могут свидетельствовать о том, что в строении блока литосферы, погружающейся в Алеутский глубоководный желоб в районе станции драгирования So249-DR45, принимают участие ультраосновные породы древнего возраста, которые в ходе своей эволюции испытали магматическое или метасоматиче-

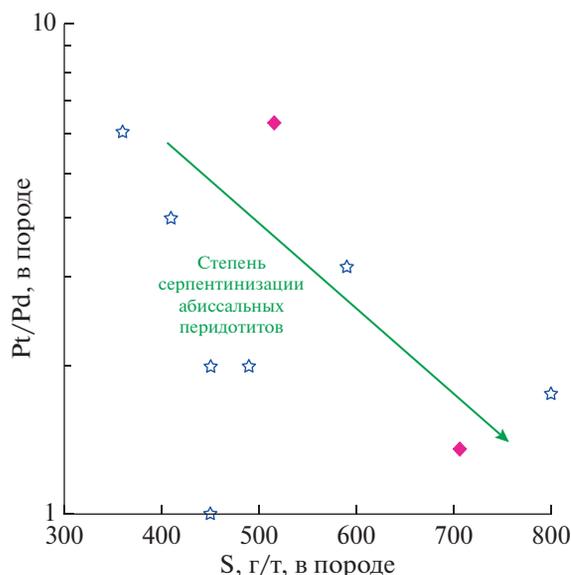


Рис. 9. Ковариация величины отношений Pt/Pd и содержания серы в абиссальных перидотитах и ультраосновных породах со ст. So249-DR47 хр. Стелмейт. Условные обозначения те же, что на рис. 6. Стрелкой обозначен возможный тренд степени серпентинизации ультрамафитов.

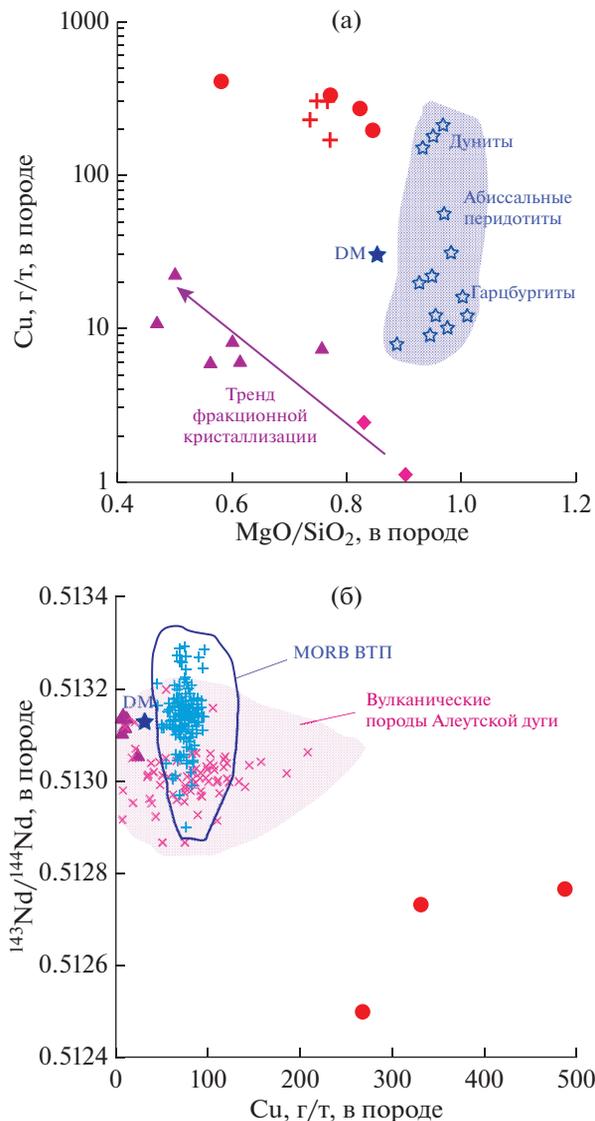


Рис. 10. Ковариации в изученных ультрамафитах содержания меди и отношения MgO/SiO_2 (а) и величины изотопного отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (б).

Точки составов MORB Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) – крестики, вулканической Алеутской островной дуги – косые крестики, приведены по (Костицын, 2004). Данные об изотопном составе Nd в изученных образцах приведены в (Силантьев и др., 2019). Условные обозначения те же, что на рис. 2–5.

ское преобразование. Возможно, подобная ситуация имела место также в районе ст. So201-DR37, на которой ранее были драгированы ультраосновные породы со сходными геохимическими особенностями. Полученные результаты, как следует из рис. 11а, не противоречат высказанному в (Краснова и др., 2013; Силантьев и др., 2019) предположению о том, что магматические расплавы, влиянию которых подвергался этот аномальный ультраосновной субстрат, были связаны с тем же источником, что и наиболее древние вулканические постройки Гавайско-Императорской цепи.

Геохимические параметры ультраосновных пород, драгированных на ст. So249-DR47, с одной

стороны, роднят их с кумулятивными ультрамафитами урало-аляскинского типа, с другой – по ряду особенностей (содержания S, Ni, величина MgO/SiO) они близки к абиссальным перидотитам. Следует заметить, что практически все образцы ультраосновных пород этой станции представлены в различной степени милонитизированными разновидностями, что подтверждает высказанное ранее предположение о расположенной вблизи этой станции драгирования разломной зоне. Возможно, в этой акватории пространственно совмещены различные в геохимическом и геодинамическом отношении ультраосновные породы. К сожалению, как уже было отмечено выше, определить изотоп-

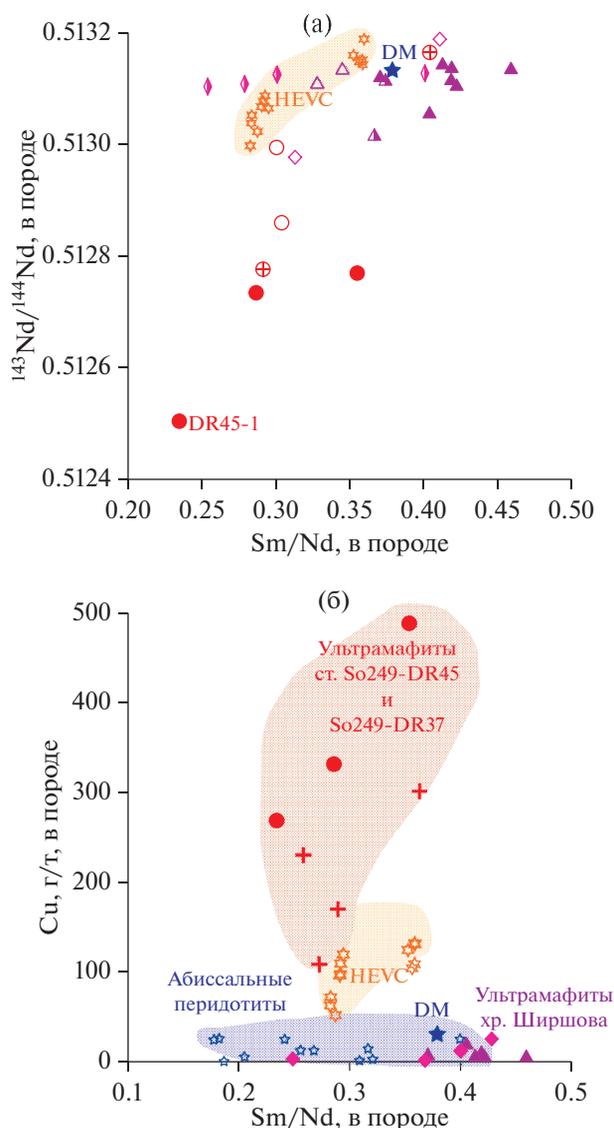


Рис. 11. Ковариации изотопного состава неодиима (а), величины отношения Sm/Nd (б) и содержания меди в изученных породах. Шестиконечные звездочки – состав базальтов подводных гор Детройт и Мейджи из Гавайско-Императорской вулканической цепи (HEVC), по (Regelous et al., 2003). Условные обозначения те же, что на рис. 2–5.

ные маркеры геодинамического режима формирования этих пород не удалось из-за очень низкого содержания в них Nd.

Все приведенные в настоящей статье данные об изотопно-геохимических характеристиках ультраосновных пород хр. Ширшова убедительно продемонстрировали их принадлежность к мафит-ультрамафитовой ассоциации, типичной для палеоколлизийных зон. Таким образом, предположение об образовании мафит-ультрамафитовой ассоциации хр. Ширшова в задуговом центре спрединга, высказанное в (Силантьев и др., 1985, 2018), получило подтверждение. Близость изотопного состава Nd в этих породах ($\epsilon_{\text{Nd}} = 7.7-9.6$)

к резервуару DM позволяет предполагать, что источником родительских для них расплавов послужило вещество мантийного клина. Возможным представителем субстрата мантийного клина является обр. DR112-24, который представлен апогартбургитовым серпентинитом, характеризующимся низким содержанием Sc и высокими содержанием Ni и отношениями Sm/Nd, MgO/SiO₂, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

Рассмотренные в настоящей работе данные о характере распределения меди, никеля, серы и ЭПГ в базальтоидах и габбро хребтов Стелмейт и Ширшова, так же как вариации в них изотопного состава Nd, позволяют более уверенно судить о возможных генетических связях между изучен-

ными плутоническими и вулканическими породами. Установлена отчетливая сопряженная гетерогенность вулканических и плутонических пород, драгированных на ст. So249-DR45 (хр. Стелмейт), проявленная в присутствии здесь двух контрастных в геохимическом отношении мафит-ультрамафитовых ассоциаций, одна из которых не связана с деплетированным источником DM, продуцирующими MORB (ультрамафиты: DR45-1, 2, 5, 6; габбро: DR45-9; базальты: DR45-22). Другая ассоциация пород этой станции была сформирована в процессе эволюции магматических расплавов, отделившихся от источника DM (габбро: обр. DR45-14; базальт: обр. DR45-28). В геодинамическом отношении последняя ассоциация пород в равной степени вероятности может включать продукты магматизма, характерные как для океанических, так и для задуговых центров спрединга. Ультрамафиты, габброиды и базальты ст. So249-DR47 (хр. Стелмейт) образуют однородную группу, родительские расплавы для которой, судя по приведенным геохимическим данным, были образованы при плавлении сильно деплетированного мантийного источника, близкого к DM. Следует заметить, что приведенные выше данные об изотопном составе вулканических пород западного окончания хр. Стелмейт не позволяют исключать возможности присутствия здесь продуктов вулканизма, связанных с Гавайско-Императорской вулканической цепью. Представленные выше изотопно-геохимические характеристики ультрамафитов, габбро и диабазов хр. Ширшова демонстрируют отчетливую принадлежность этих пород к единому магматическому комплексу, типичному для палеоколлизийных зон и образованному за счет плавления мантийного клина над зоной субдукции.

В заключение, резюмируя приведенные в настоящей работе и накопленные к настоящему времени петролого-геохимические данные (Силантьев и др., 2012, 2016, 2018, 2019; Краснова и др., 2013), можно сформулировать несколько выводов, принципиальных для уточнения и возможной ревизии общепринятой модели строения и тектонической эволюции мел-палеогеновой литосферы этого региона, представленной в (Lonsdale, 1988). Согласно модели, предложенной П. Лонсдэйлом, литосфера этой акватории имеет меловой возраст и в районе разломной зоны Стелмейт относится к древней зоне трансформного разлома Кула-Пацифик. Расположенный внутри этой разломной зоны поперечный хребет, согласно (Lonsdale, 1988), был образован при тектоническом взбросе блока древней океанической литосферы вдоль трансформного разлома. Новые данные о строении тихоокеанской литосферы, субдуцируемой под западный сегмент Алеутской островной дуги, свидетельствуют о том, что реальное строение западного окончания хр. Стелмейт не соответствует модели,

предполагающей его принадлежность к каноническому типу разреза океанической литосферы, состоящего из генетически связанных магматических пород, образованных из мантийных резервуаров, родительских для MORB. Разрез литосферы этого региона включает мафит-ультрамафитовые комплексы, происхождение которых отражает эволюцию расплавов и мантийного субстрата, не имеющих отношения к мантийным источникам магматизма океанического типа. Вместе с тем предположенная в модели П. Лонсдэйла тектоническая ремобилизация литосферы в районе хр. Стелмейт находит подтверждение по результатам драгирования, проведенного на станциях So249-DR47 и So201-DR37. Тектонические вертикальные перемещения в этом регионе привели к совмещению блоков литосферы, сформированных, возможно, в контрастных геодинамических обстановках. Среди этих литосферных блоков могли присутствовать фрагменты магматических комплексов, образованных при супрасубдукционном магматизме и идентичных в изотопно-геохимическом отношении мафит-ультрамафитовой ассоциации пород хр. Ширшова, расположенного непосредственно к северу от северо-западного сегмента хр. Стелмейт.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность М.В. Портнягину, К. Хернле и Р. Вернеру за тесное сотрудничество в ходе проведения 201-го и 249-го рейсов НИС “Зонне”. Автор глубоко признателен рецензентам А.В. Гирнису и Е.В. Шаркову за конструктивные замечания и ценные рекомендации, способствующие улучшению манускрипта.

Источники финансирования. Рейсы So201 и So249 проводились в рамках проектов КАЛЬМАР (2009 г.) и БЕРИНГ (2016 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки ФРГ. Настоящее исследование осуществляется при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00001а и средств, выделяемых из бюджета на исследования, ведущиеся по теме 0137-2018-0004 “Проблемы образования и эволюции литосферы океанов и континентов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Костицын Ю.А.* Sm-Nd и Lu-Hf изотопные системы Земли: отвечают ли они хондритам? // Петрология. 2004. Т. 12. № 5. С. 451–466.
- Краснова Е.А., Портнягин М.В., Силантьев С.А. и др.* Двухстадийная эволюция мантийных перидотитов разломной зоны Стелмейт (Северо-Западная Пацифика) // Геохимия. 2013. Т. 51. № 9. С. 759–772.
- Кубракова И.В., Тютюнник О.А., Силантьев С.А.* Подвижность растворенных форм палладия и платины при взаимодействии вода – порода в хлоридных средах: моделирование поведения ЭПГ при взаимодействии океанических серпентинитов с дериватами мор-

- ской воды // Геохимия. 2019. № 3.
<https://doi.org/10.1134/S0016702919030078>
- Кубракова И.В., Набиуллина С.Н., Тютюнник О.А. Определение ЭПГ и золота в геохимических объектах: опыт использования спектрометрических методов // Геохимия. 2020. Т. 65. № 4. С. 328–342.
- Миронов Н.Л., Портнягин М.В. Связь окислительно-восстановительных условий плавления мантии и содержания меди и серы в первичных магмах на примере Толбачинского Дола (Камчатка) и хребта Хуан де Фука (Тихий океан) // Петрология. 2018. Т. 26. № 2. С. 140–162.
- Силантьев С.А., Баранов Б.В., Колесов Г.М. Геохимия и петрология амфиболитов хребта Ширшова, Берингово море // Геохимия. 1985. № 12. С. 1694–1705.
- Силантьев С.А., Новоселов А.А., Краснова Е.А. и др. Окварцевание перидотитов разломной зоны Стелмейт (северо-запад Тихого океана): Реконструкция условий низкотемпературного выветривания и их тектоническая интерпретация // Петрология. 2012. Т. 20. № 1. С. 1–20.
- Силантьев С.А., Кубракова И.В., Тютюнник О.А. Характер распределения сидерофильных и халькофильных элементов в серпентинитах океанической литосферы как отражение магматической и внутрикоревой эволюции мантийного субстрата // Геохимия. 2016. № 12. С. 1059–1075.
- Силантьев С.А., Кубракова И.В., Портнягин М.В. и др. Ультрамафит-мафитовая ассоциация плутонических комплексов хребтов Ширшова (Берингово море) и Стелмейт (северо-западная акватория Тихого океана): геодинамическая интерпретация геохимических данных // Петрология. 2018. Т. 26. № 5. С. 511–534.
- Силантьев С.А., Костицын Ю.А., Шабыкова В.В. и др. Геодинамическая природа источников магматизма северо-западной акватории Тихого океана: интерпретация данных об изотопном составе Sr и Nd в породах северного сегмента хребта Стелмейт, котловины Ингенстрем и хребта Ширшова // Петрология. 2019. Т. 27. № 6. С. 715–736.
- Alt J.C., Shanks W.C. III, Bach W. et al. Hydrothermal alteration and microbial sulfate reduction in peridotite and gabbro exposed by detachment faulting at the Mid-Atlantic Ridge, 15–20° N (ODP Leg 209): A sulfur and oxygen isotope study // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2007. V. 8. № 8.
<https://doi.org/10.1029/2007GC001617>
- Ashley P., Craw D., Mackenzie D. et al. Mafic and ultramafic rocks, and platinum mineralisation potential, in the Longwood Range, Southland, New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 2012. V. 55. № 1.
<https://doi.org/10.1080/00288306.2011.623302>
- Barnes S.-J., Lightfoot M.P. Formation of magmatic nickel sulfide ore deposits and processes affecting their copper and platinum group element contents // Econom. Geol. Inc. 100th Anniversary Vol. Society of Economic Geologists. 2005. P. 179–213.
- Barnes S.-J., Maier W.D. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids // Eds. R.R. Keays, C.M. Lesher, P.C. Lightfoot, C.E.G. Farrow. Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application in mineral exploration. Geological Association of Canada. 1999. Short Course Notes. V. 13. P. 69–106.
- Ciazela J., Koepke J., Dick H.J.B. et al. Sulfide enrichment at an oceanic crust-mantle transition zone: Kane Megamullion (23° N, MAR) // Woods Hole Open Access Server. Geology and Geophysics. Preprint. 2018;
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.03.027>,
<https://hdl.handle.net/1912/10383>
- Delacour A., Fruh-Green G.L., Frank M. et al. Sr- and Nd-isotope geochemistry of the Atlantis Massif (30° N, MAR): Implications for fluid fluxes and lithospheric heterogeneity // Chemical Geology. 2008. V. 254. P. 19–35.
- Faure G. Principles of Isotope Geology. N.Y.: John Wiley & Sons, 1986. 520 p.
- Forrest A., Kelley K.A., Schilling J.-G. S, Se and Te contents of basalts from the Reykjanes Ridge and SW Iceland Rift Zone // Interdisciplinary Earth Data Alliance (IEDA). 2017;
<https://doi.org/10.1594/IEDA/100700>
- Garuti G., Fershtater G., Bea F. et al. Platinum-group elements as petrological indicators in mafic-ultramafic complexes of the central and southern Ural preliminary results // Tectonophysics. 1997. V. 276. P. 181–194.
- Holwell D.A., Florentini M., McDonald I. et al. A metasomatized lithospheric mantle control on the metallogenic signature of post-subduction magmatism // Nature Communications. 2019. V. 10.
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-11065-4>
- Keller N.S., Arculus R.J., Hermann J., Richards S. Submarine back-arc lava with arc signature: Fonualei Spreading Center, northeast Lau Basin, Tonga // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. № B08S07.
<https://doi.org/10.1029/2007JB005451>
- Klein F., Bach W. Fe–Ni–Co–O–S Phase Relations in Peridotite–Seawater Interactions // J. Petrology. 2009. V. 50. № 1. P. 37–59.
<https://doi.org/10.1093/petrology/egn071>
- Lonsdale P. Paleogene history of the Kula plate: Offshore evidence and onshore implications // Geol. Soc. Amer. Bull. 1988. V. 100. P. 733–754.
- Li Y.-B., Kimura J.-I., Machida S. et al. High-Mg adakite and low-Ca boninite from a Bonin Fore-arc Seamount: Implications for the reaction between Slab Melts and Depleted Mantle // J. Petrol. 2013. V. 54. № 6. P. 1149–1175.
- Malvoisin B. Mass transfer in the oceanic lithosphere: Serpentinization is not isochemical // Earth Planet. Sci. Lett. 2015. V. 430. P. 75–85.
- Plank P., Langmuir C.H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // Chemical Geology. 1998. V. 145. P. 325–394.
- Regelous M., Hofmann A.W., Abouchami W., Galer S.J.G. Geochemistry of Lavas from the emperor seamounts, and the geochemical evolution of hawaiian magmatism from 85 to 42 Ma // J. Petrol. 2003. V. 44. № 1. P. 113–140.

Salter V.J.M., Stracke A. Composition of the depleted mantle // *Geochem. Geophys. Geosystems*. 2004. V. 5. № 5. <https://doi.org/1.1029/2003GC000597>

Valetich M.J., Mavrogenes J., Arculus R., Umino S. Evolution of chalcophile elements in the magmas of the Bonin Is-

lands // *Chemical Geology*. 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.07.011>

Yi W., Halliday A.N., Alt J.C. et al. Cadmium, indium, tin, tellurium, and sulfur in oceanic basalts: Implications for chalcophile element fractionation in the Earth // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105. № B8. P. 18.927–18.948.

Mafic-Ultramafic Complexes of Stalemate (NW Pacific) and Shirshov (Bering Sea) Ridges: Geochemical Similarities and Differences

S. A. Silantyev¹, I. V. Kubrakova¹, and S. N. Nabiullina¹

¹*Vernadsky Institute, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Main goal of this study is estimation and geodynamic interpretation of content and character of distribution of highly siderophile and chalcophile elements in rock samples from mafic-ultramafic assemblage sampled at Stalemate Ridge (NW Pacific) and Shirshov Rise (Bering Sea). All samples examined were collected during 249th Cruise of German R/V “Sonne”. These mafic-ultramafic rock complexes situated on opposite sides of Aleutian Island Arc may carry important information on constriction and composition of the old Pacific lithosphere subducted under Aleutian Arc as well as on products of suprasubduction magmatism in back-arc basin of the Bering Sea. New data presented in this paper evidenced for assumption that real construction of the North-Western segment of Stalemate Ridge doesn't corresponds to generally accepted model assuming that lithosphere here corresponding to canonic ocean type. Sequence of lithosphere in area studied includes mafic-ultramafic complexes which origin doesn't related with mantle reservoirs of the oceanic type (e.g. DM). At the same time the tectonic remobilization of the lithosphere occurred in this area of the NW Pacific suggested by (Lonsdale, 1988) is confirmed by the results of dredging carried out at sites located on the Northwestern flank of the Stalemate Ridge. Vertical movements in this region led to the combination of lithospheric blocks formed possibly in contrasting geodynamic settings. Perhaps among these lithospheric blocks fragments of magmatic complexes formed by suprasubduction magmatism and identical in their isotope geochemistry (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ¹⁴³Sr/¹⁴⁴Sr) to mafic-ultramafic assemblage of the Shirshov Rise present.

Keywords: PGE geochemistry, mantle, back-arc spreading center, subduction, Stalemate Ridge, Shirshov Rise