УДК 552.3

## ПРИЗНАКИ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ В МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТАХ ШПИНЕЛЕВЫХ ЛЕРЦОЛИТОВ О-ВА ЖОХОВА, АРХИПЕЛАГ ДЕ-ЛОНГА, ВОСТОЧНАЯ АРКТИКА

© 2025 г. С. А. Силантьев<sup>а, \*</sup>, Д. Д. Бадюков<sup>а</sup>, А. Г. Ахметшин<sup>а</sup>, Е. А. Краснова<sup>а, b</sup>

<sup>а</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия <sup>b</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия

> \*e-mail: silantyev@geokhi.ru Поступила в редакцию 09.07.2024 г. После доработки 30.09.2024 г. Принята к публикации 09.10.2024 г.

Остров Жохова относится к архипелагу Де-Лонга, расположенному в восточном секторе континентального шельфа России в пределах Арктического бассейна. Остров представляет собой молодой вулканический центр и сложен лавовыми покровами шелочных оливин-порфировых базальтов и подчиненных лимбургитов. Проведенное исследование было направлено на выявление возможных региональных и геодинамических факторов, влияющих на специфику процесса частичного плавления и минеральные превращения в мантийных ксенолитах о-ва Жохова. Пять ксенолитов, отобранных из образцов щелочных базальтов о-ва Жохова, были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Полученные данные позволили прийти к выводу, что образование в мантийных ксенолитах о-ва Жохова высоконатровых стекол связано с реакционным взаимодействием шпинелевых лерцолитов с магматическим расплавом, родительским для вмещающих оливиновых базальтов. В то же время высококалиевые стекла, присутствующие внутри мантийных ксенолитов, были образованы *in situ* при плавлении первичной калийсодержащей фазы, которой, возможно, являлся флогопит. Образование в зонах контактовой перекристаллизации мантийных ксенолитов, контрастных по содержанию щелочей стекол, обусловлено эволюцией состава, ответственного за эту перекристаллизацию щелочного силикатного расплава, на ранних этапах захвата ксенолитов, характеризующегося натровой спецификой, сменяющейся позже на калиевую. На значительной площади Арктического бассейна в пределах крупной магматической провинции HALIP устанавливаются признаки активизации молодого внутриплитного магматизма, способствующего транспорту к поверхности вещества метасоматизированной малоглубинной мантии.

*Ключевые слова*: мантийные ксенолиты, внутриплитный магматизм, большие магматические провинции, мантийные плюмы

DOI: 10.31857/S0869590325020018 EDN: UHOJHO

#### введение

Остров Жохова расположен в восточной акватории Арктического бассейна и относится к архипелагу Де-Лонга, в центральной части которого установлены проявления внутриплитного магматизма, связанного, возможно, с молодым (0.4 млн лет) мантийным плюмом (Silantyev et al., 2004; Silantyev, 2019). По существующим представлениям вулканические острова архипелага Де-Лонга относятся к большой магматической провинции HALIP (Высокоширотная арктическая большая магматическая провинция — The High Arctic Large Igneous Province), включающей магматические комплексы мелового возраста, распространенные на огромной территории акватории Северного Ледовитого океана и прилегающих районов Сибири, Канады и Гренландии (Gaina et al., 2014). Лавы щелочных оливиновых базальтов и лимбургитов о-ва Жохова выносят к поверхности ксенолиты о-ва Жокова впервые были описаны в (Савостин и др., 1988). Как показали более поздние исследования, эти породы, являющиеся наиболее северным проявлением мантийного вещества в восточном секторе Азии, представляют древний (1.1 млрд лет) мантийный субстрат, обнаруживающий геохимические признаки неистощенной мантии:  $(La/Sm)_{cn} = 2.38$ ; Sm/Nd = 0.217) (Богдановский и др., 1993; Silantyev et al., 2004). К ассоциации ксенолитов корового происхождения относятся зеленокаменно-измененные микрогаббро с возрастом 152 млн лет (<sup>36</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar, Silantyev et al., 2004), а также кварциты и гранитогнейсы, циркон в которых имеет возраст 600–660 млн лет (U-Pb, Akinin et al., 2015). Неопротерозойский возраст гранито-гнейсов из коровых ксенолитов соответствует возрасту фундамента арктической акватории Чукотки и о-ва Врангеля, что может свидетельствовать об участии этих гранитоидов в строении корового разреза западного сектора континентального шельфа Восточно-Сибирского моря (Akinin et al., 2015).

Пять ксенолитов, отобранных из образцов щелочных базальтов о-ва Жохова, были изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа (FEG SEM TESCAN MIRA3). Во всех изученных ксенолитах было установлено присутствие расплавных включений в виде стекла, которые послужили предметом изучения. Проведенное исследование было направлено на выявление возможных региональных и геодинамических факторов, влияющих на специфику процесса частичного плавления и минеральные превращения в мантийных ксенолитах о-ва Жохова.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изученные образцы мантийных ксенолитов были отобраны во время двух полевых сезонов на о-ве Жохова, которые проводились в 1986 г. и 1988 г. в рамках совместной высокоширотной экспедиции ИО АН СССР и ГЕОХИ АН СССР (Савостин и др., 1988; Силантьев и др., 1991). Результаты проведенных полевых наблюдений показали, что о-в Жохова целиком сложен лавовыми покровами оливин-порфировых базальтов (рис. 1). В центральной, наиболее возвышенной части



Рис. 1. Расположение островов архипелага Де-Лонга и о-ва Жохова в восточном сегменте континентального шельфа Арктического бассейна.

На врезке — цифрами и пунктирными линиями обозначены маршруты, при проведении которых были отобраны изученные образцы. В районах маршрутов 1, 2, 4—6 обнажаются лавовые потоки щелочных оливиновых базальтов; маршрут 3 проходил на вершине сопки, сложенной эксплозивными породами, представленными лимбургитами. Красным незалитым прямоугольником обозначен район отбора изученных мантийных ксенолитов.

о-ва Жохова, увенчанной небольшой сопкой с характерными для вулканических построек эксплозивными формами рельефа, и к северу от нее распространены вулканические породы, представленные черными, красноватыми и ярко-рыжими разновидностями. В этом районе о-ва Жохова отмечаются обилие вулканического шлака и фрагменты вулканических бомб. По составу эти вулканические породы соответствуют лимбургитам. Во всех разновидностях базальтоидов о-ва Жохова фиксируются мелкие (размером не более 2 × 3 × 5 см) мантийные ксенолиты, которые резко выделяются на фоне темно-серых и черных вмещающих лав своим яблочно-зеленым цветом.

Вмешающие ксенолиты шелочные базальты о-ва Жохова по их минералогическим и структурным признакам можно разделить на три группы. К первой из них (наиболее распространенной) относятся пироксенсодержащие Ol-порфировые базальты, вкрапленники в которых представлены оливином, клинопироксеном и ортопироксеном, а в некоторых образцах и плагиоклазом. Вторую группу вулканитов составляют эффузивы, обнаруженные только в центральной части острова. Эти породы представлены *Ol*-порфировыми базальтами с редкими вкрапленниками клино- и ортопироксена. К третьей группе эффузивов о-ва Жохова относятся породы, сложенные вулканическим стеклом, в котором угадывается флюидальная текстура. В стекло погружены редкие вкрапленники оливина и пироксена. В работе (Silantyev et al., 2004) породы этой группы были отнесены к лимбургитам.

Мантийные ксенолиты, присутствующие в базальтовых лавах о-ва Жохова, представлены шпинелевыми лерцолитами. Как следует из врезки на рис. 1, их образцы были отобраны в обнажении, сложенном оливиновыми базальтами. Ксенолиты характеризуются линзовидной формой и обладают идиоморфнозернистой структурой. Краевые части ксенолитов обнаруживают признаки высокотемпературной перекристаллизации, проявленной в образовании вторичного мелкозернистого оливина (рис. 2). Изученные в настоящей работе пять образцов шпинелевых лерцолитов характеризуются выдержанным минеральным составом и состоят из идиоморфного оливина (40-60%), орто- и клинопироксена (30-40%) с размерами зерен до 2-3 мм и идиоморфной шпинели размерами зерен до 1 мм. В петрографическом отношении изученные ксенолиты достаточно однородны и представлены классическими шпинелевыми лерцолитами. Вмещающими породами для всех пяти изученных образцов являются темно-серые слабо пористые оливиновые базальты.

Петрографическое изучение пород осуществлялось с помощью поляризационного микроскопа Olympus BX 51, а определение состава минералов и стекол в полированных шлифах проводилось

ПЕТРОЛОГИЯ том 33 № 2 2025

с использованием сканирующего электронного микроскопа с полевым катодом (FEG SEM) TESCAN MIRA, оборудованного энергодисперсионным спектрометром ULTIM MAX 100 (Oxford Instruments) в ГЕОХИ РАН (Москва). Количественный анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1.4 нА при накоплении в спектре 10<sup>6</sup>-3 × 10<sup>6</sup> импульсов. Обработка данных проводилась под программным управлением Aztec 5.0. В качестве станлартов использовались минералы и соединения элементов. Точность определения главных элементов составляла около 2 отн. %, порог расчетного содержания примесных элементов составлял 3 . Для избежания потерь счета некоторых элементов, в частности Na, участки стекол анализировались на площадках размером около 10 × 10 мкм при их сканировании. Анализы некоторых участков систематически характеризовались низкими суммами (89-94 мас. %) при суммах на других участках 98-101 мас. %. Мы предполагаем, что заниженные суммы могут быть связаны с содержанием летучих компонентов, в частности  $H_2O$  или групп  $OH^-$ , хотя это предположение, безусловно, требует проверки спектрометрическими методами. Полученные аналитические данные свидетельствуют в пользу мнения, что метод ЭДС навряд ли применим для определения низких концентраций компонентов (Лаврентьев и др., 2015).

#### СОСТАВ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ПРИЗНАКИ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИНЕРАЛОВ В МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТАХ О-ВА ЖОХОВА

# Признаки перекристаллизации минералов в мантийных ксенолитах о-ва Жохова

Практически во всех работах, посвященных мантийным ксенолитам шпинелевых лерцолитов, выносимых к поверхности внутриплитными магматическими расплавами (например, Leeman, Ertan, 1998; Lustrino et al., 1999; Arai et al., 1995; Comin-Chiaramonti et al., 2009; Su et al., 2011; Wang et al., 2012; Ашихмин и др., 2018; Yudalevich, Vapnik, 2018), отмечаются признаки их перекристаллизации. Согласно цитируемым авторам, эта перекристаллизация отражает или декомпрессионное плавление материала ксенолитов по мере их транспорта, или его взаимодействие с вмещающим расплавом. Характерной особенностью перекристаллизации минеральных зерен внутри изученных ксенолитов, так же как в ксенолитах, упоминаемых в процитированных выше работах, являются губчатые (spongy) и ситовидные (sieve) структуры, развивающиеся в зонах перекристаллизации. Представительные анализы минеральных фаз мантийных ксенолитов о-ва Жохова приведены в табл. 1.



Губчатая структура, в строении которой вместе с мелкими выделениями стекла участвует новообразованный высокохромистый клинопироксен, близкий по составу к хромистому авгиту, отчетливо проявлена в обр. DLA-3 (рис. 3, табл. 1). В этом образце вторичный клинопироксен в реакционных каймах вокруг первичного клинопироксена обнаруживает, по сравнению с ним, более высокие содержания титана и хрома при более низких – алюминия и натрия (рис. 4). Оливин в изученных ксенолитах при его перекристаллизации становится менее магнезиальным и, по сравнению с первичным оливином, характеризуется более низкими содержаниями CaO и NiO (рис. 5). В обр. DLZ-2

Spl	DLA-1 <sup>8</sup>	0.3	0.8	43.92	21.33	13.44	0.3	<0.1	19.04	<0.1	<0.1	<0.1	99.17	й оли- анный
	DLA-1 <sup>7</sup> ]	0.2	0.3	51.37	14.97	11.15	0.4	<0.1	20.46	<0.1	<0.1	<0.1	98.96	зованны збразов тет
	DLZ-2 <sup>8</sup>	0.9	0.2	51.59	15.59	10.08	0.3	<0.1	20.58	0.3	<0.1	<0.1	99.63	вообраз (; <sup>5</sup> новос базальтс
	DLZ-2 <sup>7</sup>	0.3	<0.1	59.09	8.47	9.05	0.5	<0.1	21.71	<0.1	<0.1	<0.1	99.16	с. 8); <sup>2</sup> но 3 каймах
	DLA-46	46.07	3.79	6.53	0.4	7.35	<0.1	<0.1	12.64	22.02	0.6	<0.1	99.68	том (рис роксен 1
	DLA-4 <sup>5</sup>	54.68	0.2	0.86	2.04	3.73	<0.1	0.2	19.00	18.63	1.03	<0.1	100.28	с базаль инопиј тной зо
	DLA-3 <sup>4</sup>	52.08	0.5	3.76	1.32	3.20	<0.1	0.1	17.55	20.57	0.6	<0.1	99.58	НОЛИТА С ННЫЙ КЛ
	DLA-3 <sup>3</sup>	50.37	0.5	7.05	1.14	3.37	<0.1	0.1	16.02	19.46	2.17	<0.1	100.23	ны ксен разован
Cpx	DLA-1 <sup>4</sup>	52.63	0.7	3.99	1.47	3.08	<0.1	<0.1	17.10	21.12	0.7	<0.1	100.93	тной зо новооб илоксен
	DLA-1 <sup>3</sup>	51.29	0.3	6.22	1.05	2.86	<0.1	<0.1	15.67	18.77	1.63	<0.1	97.89	уконтак оксен; <sup>4</sup> оксен; <sup>4</sup>
	DLZ-2 <sup>4</sup>	54.00	0.4	1.97	1.23	3.38	<0.1	0.1	18.69	20.04	0.5	<0.1	100.50	г из эндс инопир анный
	DLZ-2 <sup>3</sup>	52.30	0.4	5.84	0.6	2.62	<0.1	<0.1	14.75	20.69	1.8	<0.1	99.27	і оливин іный кл
	DLZ-1 <sup>4</sup>	52.23	0.4	3.80	0.9	2.88	<0.1	<0.1	17.40	21.02	0.5	<0.1	99.16	зпервич зпервич м. <sup>6</sup> ново
	DLZ-1 <sup>3</sup>	52.50	0.4	6.21	0.7	2.68	<0.1	0.1	15.06	20.26	1.7	<0.1	99.97	ообразс рис. 8);
Opx	DLZ-2	56.01	<0.1	3.51	0.2	6.72	<0.1	0.2	33.71	0.4	<0.1	<0.1	100.78	О. <sup>1</sup> Нов UЛБТОМ ( ИЛТИТА С б
	DLZ-1	54.51	0.1	4.17	0.3	6.26	<0.1	0.2	32.93	0.7	<0.1	<0.1	99.26	как Fe а с база
10	DLA-4 <sup>2</sup>	39.53	<0.1	<0.1	<0.1	16.63	0.2	0.3	43.24	0.2	<0.1	<0.1	100.11	гавлено енолит-
	DLA-4 <sup>1</sup>	40.44	<0.1	<0.1	<0.1	12.71	0.2	0.2	46.81	0.2	<0.1	<0.1	100.56	ю предс зоны кс
	DLA-3	40.72	<0.1	<0.1	<0.1	9.93	0.3	0.2	48.43	0.1	<0.1	<0.1	99.93	се желез актной из энлок
	DLA-1	38.93	<0.1	<0.1	<0.1	17.47	0.2	0.4	42.08	0.2	<0.1	<0.1	99.29	ние. *В( 30Конт;
Компоненты		$SiO_2$	TiO <sub>2</sub>	$AI_2O_3$	$Cr_2O_3$	FeO*	NiO	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	Сумма	Примеча Вин из эк клинопит

Таблица 1. Представительные ЭДС анализы основных минералов в ксенолитах (мас. %)

ПЕТРОЛОГИЯ том 33 № 2 2025

7

(не затронутая перекристаллизацией) шпинель; <sup>8</sup>новообразованная шпинель из внешней каймы.



**Рис. 3.** Перекристаллизация пироксена в обр. DLA-3 с образованием губчатой структуры в кайме, обрамляющей первичный клинопироксен и сложенной вторичным пироксеном.

Здесь и далее изображение в обратнорассеянных электронах. *Ol* – оливин, *Cpx*<sub>1</sub> – первичный клинопироксен, *Cpx*<sub>2</sub> – вторичный клинопироксен.

наблюдаются ситовидные каймы вокруг первичной шпинели (рис. 6). Вторичная шпинель в этих каймах обнаруживает более высокие содержания хрома и титана при более низкой магнезиальности по сравнению с первичной шпинелью (табл. 1; рис. 7).

Проявления реакций минералообразования. происходящих после захвата ксенолитов расплавом, связаны преимущественно с образованием вторичных минеральных фаз на границе (контакте) ксенолита и базальтового расплава. Наглядно эта перекристаллизация проявлена в обр. DLA-4, в котором в приконтактовой зоне ксенолита наблюлается перекристаллизация крупных зерен ортопироксена с образованием двух реакционных кайм: внутренней, состоящей из оливина, клинопироксена и стекла; и внешней – сложенной оливином, шпинелью, клинопироксеном и стеклом (рис. 8). Оливин во внешней кайме отличается по составу от этой фазы, присутствующей во внутренней кайме, более высоким содержанием кальция и меньшей магнезиальностью (табл. 1, 2). По сравнению с пироксеном из внутренней каймы, пироксен во внешней кайме характеризуется более высокими содержаниями алюминия, кальция и титана при более низком содержании хрома и низкой магнезиальности. Шпинель во внешней зоне практически полностью замешена хромистым титаномагнетитом. Ранее подобное поведение шпинели в аналогичном случае было описано в (Wang et al., 2012).

Близкие к описанным выше тренды изменения состава минералов, слагающих шпинелевые лерцолиты из мантийных ксенолитов о-ва Жохова, были представлены в работе (Никитина и др., 2023). К этому следует добавить, что указанные тренды минералообразования являются универсальной чертой для мантийных ксенолитов того же петрографического типа, что и ксенолиты о-ва Жохова, связанных с проявлениями внутриплитного



**Рис. 4.** Вариации содержаний Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (а) и Na<sub>2</sub>O (б) в клинопироксене из изученных шпинелевых лерцолитов при их перекристаллизации.



**Рис. 5.** Вариации содержаний MgO и CaO (а) и NiO (б) в оливине из изученных ксенолитов при их перекристаллизации.

магматизма. Подобные тренды перекристаллизации мантийных ксенолитов шпинелевых лерцолитов были установлены ранее в (Arai et al., 1995; Lustrino et al., 1999; Litasov et al., 2003; Ionov et al., 2005; Kovacs et al., 2007; Aliani et al., 2009; Su et al., 2011; Wang et al., 2012; Ашихмин и др., 2018).

#### Состав и происхождение стекол из мантийных ксенолитов о-ва Жохова

Во всех изученных ксенолитах было установлено присутствие расплавных включений, обнаруживающих значительные вариации состава, охватывающие широкую область на классификационной диаграмме  $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$  от фоидитов до трахитов (рис. 9, табл. 2). При этом точки состава стекол, измеренных во внутренних частях ксенолитов, ложатся на тренд, соответствующий всему спектру вариаций состава вмещающих оливиновых базальтов (табл. 2). Как видно из рис. 9, точки состава стекол, присутствующих в зоне контакта ксенолита с вмещающими вулканитами или вблизи нее (в том числе внутри ксенолита), обр. DLA-4, располагаются значительно выше (по оси  $(Na_2O + K_2O))$  относительно указанного тренда. Изученные закалочные стекла по составу могут быть отнесены к двум группам: натровой (Na<sub>2</sub>O ≥ 4 мас. %) и калиевой, в которой при низком содержании натрия (Na<sub>2</sub>O ≤ 0.3 мас. %) содержание К<sub>2</sub>О варьирует от 10 до 16 мас. % (табл. 2, рис. 10). Стекла, присутствующие в изученных образцах, по характеру их локализации относятся к нескольким группам: 1) мелкие амебовидные формы в минеральных фазах (преимущественно в клинопироксене), слагающих ксенолиты; 2) интерстициальные (межзерновые) или жильные обособления в ксенолитах (рис. 12 и 3), мелкие выделения в реакционных зонах на контакте ксенолитов и вмещающих оливиновых базальтов (рис. 8 и 12). Рисунки 10 и 11 демонстрируют вариации состава изученных стекол в зависимости от их локализации. Результаты



**Рис. 6.** Перекристаллизация шпинели в мантийном ксенолите, обр. DLZ-2.  $Spl_1$  – первичная шпинель,  $Spl_2$  – вторичная шпинель, Ol – оливин, Gl – стекло.



Рис. 7. Вариации хромистости и магнезиальности (а); содержание TiO<sub>2</sub> (б) в шпинели из изученных ксенолитов.



**Рис. 8.** Перекристаллизация ортопироксена в зоне контакта мантийного ксенолита с вмещающим оливиновым базальтом, обр. DLA-4.

сравнительного анализа вариаций состава стекол натровой группы, так же как их морфологические особенности, позволяют предполагать, что они были образованы при взаимодействии ксенолитов с магматическим расплавом, родительским для вмещающих оливиновых базальтов. Аномально высокое содержание  $K_2O$  в стеклах калиевой группы внутри ксенолитов и то обстоятельство, что, в

отличие от стекол натровой группы, локализованных в межзерновом пространстве или в жильных обособлениях, они образуют разобщенные мелкие включения во вмещающих минеральных фазах, возможно, свидетельствуют о том, что эти стекла были образованы *in situ* при плавлении первичной калийсодержащей фазы, которой, возможно, являлся флогопит (рис. 11 и 12). По (Lustrino et al., 1999) возможная реакция, по которой происходит образование этих стекол, выглядит следующим образом:  $0.9Cpx_1 + 0.5Spl_1 + 0.7Phl_1 =$ =  $3.8Cpx_2 + 0.6Spl_2 + 0.1Ol_2 + 1.0K$ -melt (Стекло), где индексы 1 и 2 обозначают первичные и вторичные фазы соответственно. Подобный механизм образования калийсодержащих расплавов в мантийных ксенолитах шпинелевых лерцолитов описан во многих работах, посвященных изучению ареалов внутриплитного магматизма (например, Yaxley, Kamenetsky, 1999; Ашихмин и др., 2018). Следует заметить, что предложенная схема образования высококалиевых стекол в мантийных ксенолитах о-ва Жохова противоречит существующим сведениям о присутствии флогопита в мантийных шпинелевых лерцолитах преимущественно в виде интерстиций между зернами оливина и пироксена или жильных обособлений (например, Lustrino et al., 1999), в то время как в изученных образцах эти стекла образуют амебовидные формы внутри клинопироксена.

Для реконструкции механизма происхождения расплавных включений различного состава, установленных в мантийных ксенолитах о-ва Жохова, полезно рассмотреть соотношения между ними в различных участках внутри тела ксенолитов (см. выше) и в зонах их контакта с

### ПРИЗНАКИ ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ В МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТАХ

DFY-44	58.91	0.2	23.67	<0.1	0.6	<0.1	0.3	<0.1	15.95	99.88	зокруг ис. 8).
DFV-43	64.91	0.3	19.72	<0.1	0.6	0.5	1.0	6.8	4.28	98.45	аймы н rom (p
DFV-45	52.58	9.6	20.06	<0.1	1.3	0.5	2.1	0.3	11.17	89.27	ней ка базалы
DFV-45	54.19	0.2	20.48	<0.1	9.0	0.7	1.69	0.1	13.11	91.02	нутрен ита с (
DFV-41	47.14	<0.1	30.17	<0.1	0.7	<0.1	1.26	16.34	2.59	98.20	о из ві Ксенол
DFV-41	50.82	0.1	29.49	<0.1	0.6	<0.1	9.6	16.58	1.53	99.73	<sup>3</sup> стекл такта
DFY-4	50.37	0.5	19.32	0.4	2.18	5.90	10.13	8.80	19.98	99.75	олита; не кон
DFV-4	58.77	<0.1	25.22	<0.1	0.2	0.2	7.08	7.16	0.5	99.05	N KCCH
DFY-4	61.44	<0.1	23.25	<0.1	0.2	0.2	4.81	8.03	0.9	98.73	внутр роксен
DFY-3	54.54	0.4	20.76	0.1	2.53	8.29	6.72	5.39	0.5	99.38	стекло
DFV-3	55.81	0.7	19.62	0.3	1.54	3.72	11.97	5.88	0.5	100.14	roe K ( kpyr o
DFV-3	56.76	0.5	23.33	<0.1	0.7	1.51	8.82	6.26	0.5	98.35	; <sup>2</sup> 60ra Mbi BC
DFV-3	58.88	0.7	22.89	<0.1	0.6	0.6	5.89	7.35	0.95	98.18	юлита юй кай
DFV-3	59.73	0.3	23.18	<0.1	0.4	0.2	5.51	7.51	0.9	97.77	и ксен внешн
DLA-1	48.95	0.2	30.64	0.9	0.8	0.3	2.2	13.48	1.93	100.54	внутр ло из
DLA-1	57.09	0.3	26.30	1.53	0.98	0.7	6.09	7.32	0.6	101.00	стеклс ; <sup>4</sup> стен
DLA-1	61.00	0.5	24.69	<0.1	0.7	0.2	5.96	7.77	0.8	101.56	ое Na рис. 8
DFY-1	63.60	0.3	21.29	<0.1	0.3	0.1	2.81	7.19	3.06	98.63	<sup>1</sup> Borat (btom (
DLA-1	66.42	0.4	20.56	<0.1	0.3	0.2	1.4	6.88	4.47	100.56	c FeO. 5 базал
DFZ-7	50.17	0.1	27.90	4.80	1.77	1.33	9.00	5.00	0.2	100.31	но как лита (
DFZ-3	55.93	<0.1	26.39	<0.1	0.4	0.3	9.17	5.64	0.3	98.05	ставле ксенс
DFZ-5	56.7	0.2	26.27	<0.1	0.8	0.2	8.27	6.43	0.5	99.39	о пред нтакта
DFZ-5	67.50	0.5	19.06	<0.1	0.6	0.2	0.3	6.23	5.95	100.31	железо
DFZ-1	53.14	0.2	28.28	<0.1	1.00	0.2	11.02	4.92	0.3	66	*Bce: Ha B 3C
DFZ-1	54.10	0.2	29.21	<0.1	0.84	0.2	11.87	4.65	0.3	101.36	чание. роксеі
компоненты	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма	Приме ортопи

Таблица 2. Представительные ЭДС анализы стекол в ксенолитах и контактовой зоне (мас. %)

#### СИЛАНТЬЕВ и др.



**Рис. 9.** Вариации содержания (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) и SiO<sub>2</sub> в стеклах из изученных шпинелевых лерцолитов. Поля состава вулканических пород различной щелочности приведены по (Cox et al., 1979). Состав вмещающих изученных ксенолитов *Ol*-базальтов и лимбургитов о-ва Жохова приведены по (Silantyev et al., 2004). Составы стекол DLA-1, DLA-3, DLZ-1 и DLZ-2 измерены внутри ксенолитов. 1 – щелочные базальты, вмещающие мантийные ксенолиты, Канарские о-ва (Wulff-Pederson et al., 1999). Составы натровых (2) и калиевых (3) расплавных включений в мантийных ксенолитах, выносимых щелочными базальтами в различных регионах Земли (Coltorti et al., 2000).

вмещающими оливиновыми базальтами. Очень наглядно подобного рода соотношения демонстрируют рис. 8 и 13, на которых представлена приконтактовая зона ксенолита, обр. DLA-4, в которой произошла перекристаллизация крупных зерен ортопироксена с образованием вокруг них реакционных кайм, в строении одной из которых (внутренней) участвует стекло натрового типа, в то время как другая (внешняя) сложена стеклом с высоким содержанием калия. Вмещающий ксенолит, обр. DLA-4, щелочной базальт вблизи области контакта, наряду с оливином и клинопироксеном, содержит зерна лейцита, нефелина и плагиоклаза андезин-олигоклазового состава (рис. 14, табл. 3). Примечательно, что в ранней работе (Silantyev et al., 2004) при обычном петрографическом изучении шелочных оливиновых базальтов и лимбургитов о-ва Жохова присутствие в них лейцита

и нефелина установлено не было. К этому следует добавить, что состав натровых стекол, расположенных внутри ксенолита вблизи зоны контакта в обр. DLA-4, воспроизводит стехиометрию нефелина (рис. 9, табл. 2) и, возможно, соответствует составу расплавных включений во вмещающем базальтоиде. Обе зоны перекристаллизации ортопироксена на контакте с вмещающими базальтами характеризуются четко выраженной губчатой структурой, причем внутренняя зона, по сравнению с внешней, – более мелкозернистая. Во внутренней зоне натровое стекло ассоциирует с оливином и высокохромистым клинопироксеном, а высококалиевое стекло во внешней - с оливином, менее хромистым клинопироксеном и хром-шпинелью. Судя по существующим данным, подобные описанным выше реакционные зоны являются характерным признаком взаимодействия ксенолитов мантийных



**Рис. 10.** Вариации содержаний Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O (а); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> (б) в стеклах из изученных шпинелевых лерцолитов. Состав нефелина и лейцита приведен в табл. 2. *Lct* – лейцит, *Nph* – нефелин.



**Рис. 11.** Вариации содержаний Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (а) и Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и SiO<sub>2</sub> (б) в изученных стеклах. Состав флогопита из мантийных шпинелевых лерцолитов приведен по (Yaxley, Kamenetsky, 1999). Составы нефелина и лейцита приведены в табл. 2.

шпинелевых лерцолитов со щелочными базальтовыми расплавами (Arai, Abe, 1995; Yudalevich, Vapnik, 2018). Натровые стекла из внутренней, ближней к ортопироксену, каймы отличаются от калиевых стекол внешней каймы также более высоким содержанием  $SiO_2$  (рис. 10 и 11), что согласуется с данными, приведенными в (Litasov et al., 2003; Miller et al., 2012) и свидетельствующими об образовании стекол с подобным составом при инконгруэнтном плавлении ортопироксена. В работе (Arai, Abe, 1995) предположено, что внутренняя зона, окаймляющая ортопироксен, образуется при реакционном взаимодействии этой фазы с магматическим расплавом по следующей схеме: ортопироксен + расплав (щелочной базальт) = оливин + + клинопироксен + обогащенный SiO<sub>2</sub> расплав.



**Рис. 12.** Положение в мантийных ксенолитах о-ва Жохова высококалиевых (амебовидные выделения в клинопироксене) и высоконатровых (обособления в интерстициях и жилах) стекол, обр. DLA-4.

Аналогичными минералогическими и геохимическими чертами характеризуются внутренние реакционные зоны, установленные в мантийных ксенолитах о-ва Жохова. Таким образом, можно предполагать, что высоконатровые стекла в зонах контакта мантийных ксенолитов о-ва Жохова с вмещающими оливиновыми базальтами образовались при реакционном взаимодействии ортопироксена ксенолитов со щелочным базальтовым расплавом.

В пользу этого механизма образования в ксенолитах о-ва Жохова стекол с натровой специализацией говорит отмеченное выше совпадение вариации параметров их состава с трендом вариации состава оливиновых базальтов, который отражает эволюцию их родительского расплава по мере его фракционирования. Интерпретация происхождения высококалиевых стекол из внешних реакционных зон, развитых по ортопироксену, нуждается в более комбинированном подходе. С. Араи и Н. Абэ (Arai, Abe, 1995) считают, что хромистая шпинель из внешней зоны перекристаллизации ортопироксена была образована из расплава, являющегося продуктом смешения обогащенного SiO<sub>2</sub> расплава из внутренней зоны с более примитивным щелочным расплавом. Близкая схема образования высококалиевых стекол в мантийных ксенолитах предложена в (Coltorti et al., 2000). Авторы цитируемой работы полагают, что образование высококалиевых стекол в мантийных ксенолитах шпинелевых лерцолитов отражает эволюцию состава щелочного



**Рис. 13.** Контакт ксенолита с базальтом, обр. DLA-4. *Орх* — ортопироксен ксенолита; 1 — внутренняя зона; 2 — внешняя зона; 3 — вмещающий базальт. Изображение в обратнорассеянных электронах.

силикатного расплава, ответственного за перекристаллизацию материала мантийных ксенолитов и имеющего на ранних этапах захвата ксенолитов натровую специфику, сменяющуюся позже



**Рис. 14.** Базальт, обр. DLА-4. *Оl* – оливин, *Cpx* – клинопироксен, *Pl* – олигоклаз, *Lct* – лейцит, *Nph* – нефелин. Изображение в обратнорассеянных электронах.

Оксиды	6	Dl	Срх		-	Pl	L	ct	Nph	
SiO <sub>2</sub>	37.88	38.43	49.84	50.09	58.39	62.37	55.06	55.12	47.74	47.45
TiO <sub>2</sub>	<0.1	<0.1	2.27	2.25	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.1	<0.1	4.91	4.80	25.77	23.65	23.25	23.32	32.46	32.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
FeO*	22.36	22.48	7.43	7.54	1.03	0.4	0.3	0.2	0.7	0.8
MnO	0.5	0.6	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
MgO	38.22	38.46	13.19	13.42	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
CaO	0.3	0.2	21.41	21.51	6.14	5.01	0.2	0.1	1.23	1.25
Na <sub>2</sub> O	<0.1	<0.1	0.7	0.5	6.76	8.01	<0.1	<0.1	16.82	16.58
K <sub>2</sub> O	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	1.36	1.49	21.42	21.57	1.90	2.10
Сумма	99.26	99.74	99.89	100.48	99.45	100.93	100.32	100.43	100.89	100.50

Таблица 3. Представительные ЭДС анализы основных минералов из базальта (мас. %), обр. DLA-4

\*Все железо представлено как FeO.

на калиевую. В пользу этого механизма образования реакционной зональности, наблюдаемой на контакте ксенолитов о-ва Жохова с оливиновыми базальтами, говорит контрастный состав стекол внутренней и внешней зон вокруг ортопироксена и широкое распространение в базальтах контактовой зоны лейцита (табл. 2, рис. 14). К этому следует добавить, что в изученных образцах установлено закономерное увеличение щелочности в стеклах по направлению от внутренних частей ксенолитов к их контакту с вмещающими вулканическими породами (рис. 9). В этом контексте то обстоятельство, что внутренняя (натровая) кайма на контакте ксенолита с вмещающим базальтом предшествует по времени своего образования более поздней – высококалиевой, также указывает на смену геохимической специализации расплава, участвующего в перекристаллизации ксенолита. Другим подтверждением правдоподобности схемы, предложенной в (Coltorti et al., 2000), следует считать установленную ранее смену в узком интервале времени геохимической специализации внутриплитного вулканизма о-ва Жохова в ряду оливиновые базальты (обр. DL-19: SiO<sub>2</sub> = 50.40 mac. %, Na<sub>2</sub>O = 3.83 mac. %, K<sub>2</sub>O = 1.67 мас. %; 5.62-0.53 млн лет) – лимбургиты (обр. DL-34: SiO<sub>2</sub> = 42.60 мас. %, Na<sub>2</sub>O = = 4.00 мас. %, K<sub>2</sub>O = 2.80 мас. %; 4.21–1.90 млн лет) (Silantyev et al., 2004). Следует заметить, что высокое содержание натрия и калия в реакционных зонах вокруг ортопироксена нельзя объяснить одним лишь механизмом его инконгруэнтного плавления (Auer et al., 2020). Существенный вклад в образование расплавных включений с высоким содержанием шелочей, согласно (Shaw, 1999; Auer et al., 2020), вносят процессы диффузии и смешения, происходящие в реакционной зоне и

сопровождающие частичное плавление мантийных ксенолитов. Представленные выше данные о характере локализации и состава стекол в изученных ксенолитах шпинелевых лерцолитов позволяют предполагать, что контрастность состава двух зон перекристаллизации ортопироксена в обр. DLA-4 отражает эволюцию состава расплава, родительского для вмещающих щелочных базальтов по мере его транспорта к поверхности. В то же время об этом свидетельствуют тренды изменения состава закалочных стекол и характер их соотношений с трендами вариаций состава вмещающих оливиновых базальтов и лимбургитов.

#### ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Ассоциация шелочных базальтов и выносимых ими мантийных ксенолитов, установленная на о-ве Жохова, в петрографическом и геохимическом отношениях очень напоминает аналогичный комплекс пород, распространенных в северо-западной части архипелага Шпицберген, расположенного в 2800 км к западу от островов Де-Лонга, в западном секторе континентального шельфа Арктического бассейна (Silantyev, 2019). Оба островных архипелага по существующим представлениям относятся к крупной магматической провинции HALIP (например, Gaina et al., 2014). Архипелаг Шпицберген, как и архипелаг Де-Лонга, расположен на внешней границе общего для них континентального шельфа по соседству со срединно-океаническим хребтом (СОХ): Арктический срединно-океанический хребет и хр. Гаккеля соответственно. В мировой системе СОХ хребет Гаккеля, как и Арктический срединно-океанический хребет, относятся к специ-

#### СИЛАНТЬЕВ и др.

фическому классу хребтов, характеризующихся ультранизкими скоростями спрединга (Dick et al., 2003; Pedersen et al., 2010). Три четвертичных вулканических центра архипелага Шпицберген (Сверрефьелл, Сигурдфьелл, Хальвданпигген), образованных в результате инициации в этом регионе активного внутриплитного магматизма, связанного, возможно, с деятельностью расположенной вблизи горячей точки Ермак, выносят к поверхности ксенолиты мантийных лерцолитов и нижнекоровых пород (Skjelkvale et al., 1989; Treiman, 2012). В мантийных ксенолитах архипелага Шпицберген фиксируются признаки частичного плавления, напоминающие установленные в настоящем исследовании (Ашихмин и др., 2018). Как и в случае о-ва Жохова, мантийные лерцолиты архипелага Шпицберген представлены породами с четкими признаками обогащения сильно несовместимыми элементами (Ionov, 1998; Ionov et al., 2002; Silantyev et al., 2004; Ашихмин и др., 2018; Ашихмин, Скублов, 2019). Данные, приведенные в (Ionov et al., 2002; Silantyev et al., 2004), указывают на то, что изотопный состав Sr и Nd в породообразующих минералах лерцолитов из мантийных ксенолитов островов Жохова и Шпицберген обнаруживает сходство. В то же время амфибол, отмеченный в лерцолитах архипелага Шпицберген, так же как предполагаемое присутствие флогопита в лерцолитах о-ва Жохова, свидетельствуют в пользу метасоматического преобразования мантийного субстрата в обоих регионах.

Геохимические и изотопные особенности вулканических пород архипелагов Де-Лонга и Шпицберген указывают на их связь с внутриплитным магматизмом, индуцированным мантийным плюмом. Щелочные базальты архипелагов Шпицберген и Де-Лонга перекрываются по возрасту: 1.61– 0.86 млн лет и 5.62–0.53 млн лет соответственно (Treiman, 2012; Silantyev et al., 2004). Таким образом, можно предполагать, что плюмовый магматизм спровоцировал магматическую активизацию Арктической пассивной континентальной окраины России одновременно на ее западном и восточном флангах.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования позволяют сформулировать ряд выводов, способствующих развитию существующих представлений о различных аспектах мантийного магматизма в акватории современного Арктического бассейна и полезных для построения адекватных геодинамических моделей образования и эволюции крупной магматической провинции HALIP.

Образование в мантийных ксенолитах о-ва Жохова высоконатровых стекол связано с реакционным взаимодействием шпинелевых лерцолитов с магматическим расплавом, родительским для вмещающих оливиновых базальтов.

Высококалиевые стекла, присутствующие внутри мантийных ксенолитов, были образованы *in situ* при плавлении первичной калийсодержащей фазы, которой, скорее всего, являлся флогопит.

Образование в зонах контактовой перекристаллизации мантийных ксенолитов, контрастных по содержанию щелочей стекол, возможно, обусловлено эволюцией состава, ответственного за эту перекристаллизацию щелочного силикатного расплава, имеющего на ранних этапах захвата ксенолитов натровую специфику, сменяющуюся позже на калиевую.

Плюмовый магматизм спровоцировал магматическую активизацию крупной магматической провинции HALIP, расположенной в пределах Арктической пассивной континентальной окраины России, одновременно на ее западном и восточном флангах.

Благодарности. Авторы выражают признательность А.В. Гирнису и анонимному рецензенту за полезные замечания, которые позволили значительно улучшить содержание статьи, а также К.А. Лоренцу за помощь при обработке аналитических данных, полученных на электронном микроскопе TESCAN MIRA3.

Источники финансирования. Настоящее исследование осуществлялось за счет средств, выделяемых из бюджета на исследования в рамках госзадания ГЕОХИ РАН, ведущиеся по теме "Процессы, контролирующие образование и эволюцию литосферы Земли".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ашихмин Д.С., Скублов С.Г. Неоднородность состава ксенолитов мантийных перидотитов из щелочных базальтов вулкана Сверре, архипелаг Шпицберген // Зап. Горного ин-та. 2019. Т. 239. С. 483–491.

Ашихмин Д.С., Скублов С.Г., Мельник А.Е. и др. Геохимия породообразующих минералов в мантийных ксенолитах из базальтов вулкана Сверре, архипелаг Шпицберген // Геохимия. 2018. № 8. С. 820–828.

Богдановский О.Г., Силантьев С.А., Карпенко С.Ф. и др. Древние мантийные ксенолиты в молодых вулканических породах острова Жохова, архипелаг Де-Лонга // Докл. АН СССР. 1993. Т. 330. № 6. С. 750–753.

Лаврентьев Ю.Г., Карманов Н.С., Усова Л.В. Электронно-зондовое определение состава минералов: микроанализатор или сканирующий электронный микроскоп? // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 8. С. 1473—1482. Никитина Л.П., Марин Ю.Б., Сироткин А.Н. и др. Петрография и минералогия мантийных ксенолитов в кайнозойских щелочных базальтах о. Жохова (арх. Новосибирские острова) как отражение этапов эволюции мантии // Минералого-геохимические исследования для решения проблем петро- и рудогенеза, выявления новых видов минерального сырья и их рационального использования и Федоровская сессия. Материалы конференции. Годичное собрание РМО. Санкт-Петербург, 10–12 октября. 2023. С. 48–50.

Савостин Л.А., Силантьев С.А., Богдановский О.Г. Новые данные о вулканизме о-ва Жохова, архипелаг Де-Лонга, Арктический бассейн // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302. № 6. С. 1443–1447.

Силантьев С.А., Богдановский О.Г., Савостин Л.А., Кононкова Н.Н., Магматизм архипелага Де-Лонга (Восточная Арктика): петрология и петрохимия эффузивных пород и ассоциирующих с ними ксенолитов (острова Жохова и Вилькицкого) // Геохимия. 1991. № 2. С. 267–277.

Akinin V.V., Gottlieb E.S., Miller E.I. et al. Age and composition of basement beneath the De-Long archipelago, Arctic Russia, based on zircon U-Pb geochronology and O-Hf isotopic systematics from crustal xenoliths in basalts of Zhokhov Island // Arktos. 2015. V. 1.  $\mathbb{N}_{2}$  9.

doi: 10.1007/s41063-015-0016-6

*Aliani P., Nta flos T., Bjerg E.* Origin of melt pockets in mantle xenoliths from southern Patagonia, Argentina // J. South Amer. Earth Sci. 2009. V. 28. P. 419–428.

*Arai S., Abe N.* Reaction of orthopyroxene in peridotite xenoliths with alkali-basalt melt and its implication for genesis of alpine-type chromitite // Amer. Mineral. 1995. V. 80. P. 1041–1047.

*Auer A., Brenna M., Scott J.M.* Influence of host magma alkalinity on trachytic melts formed during incongruent orthopyroxene dissolution in mantle xenoliths // New Zealand J. Geol. Geophys. 2020. V. 63. № 4. P. 547–561.

*Coltorti M., Beccaluva L., Bonadiman C. et al.* Glasses in mantle xenoliths as geochemical indicators of metasomatic agents // Earth Planet. Scie. Lett. 2000. V. 183. P. 303–320.

*Comin-Chiaramonti P., Lucassen F., Girardi V.A.A. et al.* Lavas and their mantle xenoliths from intracratonic Eastern Paraguay (South America Platform) and Andean Domain, NW-Argentina: a comparative review // Mineral. Petrol. 2009.

doi:10.1007/s00710-009-0061-6

*Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J.* The Interpretation of igneous rocks. London: G. Allen & Unwin, 1979. 450 p.

http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1

ПЕТРОЛОГИЯ том 33 № 2 2025

*Dick H.J.B., Lin J., Shouten H.* An ultraslow-spreading class of ocean ridge // Nature. 2003. V. 426. P. 405–412.

*Gaina C., Medvedev S., Torsvik T.H. et al.* 4D Arctic: A glimpse into the structure and evolution of the arctic in the light of new geophysical maps, plate tectonics and tomographic models // Surv. Geophys. 2014. V. 35. P. 1095–1122.

doi:10.1007/s10712-013-9254-y

*Ionov D.A.* Trace element composition of mantlederived carbonates and coexisting phases in peridotite xenoliths from alkali basalts // J. Petrol. 1998. V. 39.  $\mathbb{N}$  11–12. P. 1931–1941.

*Ionov D.A., Mukasa S.B., Bodinier J.-L.* Sr-Nd-Pb isotopic compositions of peridotite xenoliths from Spitsbergen: numerical modelling indicates Sr-Nd decoupling in the mantle by melt percolation metasomatism // J. Petrol. 2002. V. 43. № 12. P. 2261–2278.

*Ionov D.A., Prikhodko V.S., Bodinier J.-L. et al.* Lithospheric mantle beneath the south-eastern Siberian craton: petrology of peridotite xenoliths in basalts from the Tokinsky Stanovik // Contrib. Mineral. Petrol. 2005. V. 149. P. 647–665.

Kovacs I., Hidas K., Hermann J. et al. Fluid induced melting in mantle xenoliths and some implications for the continental lithospheric mantle from the Minusinsk Region (Khakasia, southern Siberia) // Geol. Carpathica. 2007. V. 58. № 3. P. 211–228.

*Leeman W.P., Ertan I.E.* Diverse invasive melts in Cascadia mantle xenoliths: No subduction connection // Goldschmidt Conference. Toulouse. 1998. P. 875–876.

Litasov K.D., Simonov V.A., Kovyazin S.V. et al. Interaction between mantle xenoliths and deepseated melts: Results of etudy of melt inclusions amd interstitial glasses in peridotites from basanites of the Vitim Volcanic field // Russ. Geol. Geophys. 2003. V. 44.  $N_{2}$  5. P. 417–431.

Lustrino M., Melluso L., Morra V. Origin of glass and its relationships with phlogopite in mantle xenoliths from central Sardinia (Italy) // Per. Mineral. 1999. V. 68.  $\mathbb{N}$  1. P. 13–42.

*Miller C., Zanetti A., Thöni M. et al.* Mafic and silica-rich glasses in mantle xenoliths from Wau-en-Namus, Libya: Textural and geochemical evidence for peridotite-melt reactions // Lithos. 2012. V. 128–131. P. 11–26.

*Pedersen R.B., Rapp H.T., Thorseth I.H. et al.* Discovery of a black smocker vent and vent fauna at the Arctic Mid-Ocean Ridge // Nature Communications. 2010. 1:126.

doi: 10.1038/ncomms1124. www.nature.com/naturecommunications

*Silantyev S.* Neogene withinplate magmatism of De-Long Islands: Footprint of young mantle plume of the Eastern Arctic Basin // 7-th International Science

Conference. Large Igneous Province. Tomsk, Russia. Abstract Vol. 2019. P. 128–129.

Silantyev S.A., Bogdanovskii O.G., Fedorov P.I. et al. Intraplate magmatism of the De-Long Islands: A response to the propagation of the ultraslow-spreading Gakkel Ridge into the passive continental margin in the Laptev Sea // Russ. J. Erath Sci. 2004. V. 6. No 3. P. 1–31.

Shaw C.S. Dissolution of orthopyroxene in basanitic magma between 0.4 and 2 GPa: further implications for the origin of Si-rich alkaline glass inclusions in mantle xenoliths // Contrib. Mineral. Petrol. 1999. V. 135.  $N^{\circ}$  2–3. P. 114–132.

Skjelkvale B.-L., Amundsen H.E.F., O'Reilly S.Y. et al. A primitive alkali basaltic stratovolcano and associated eruptive centers, Northwestern Spitsbergen: Volcanology and tectonic significance // J. Volcanology and Gepthermal Res. 1989. V. 37. P. 1–19.

Su B.-X., Zhang H.-F., Sakyi P.A. et al. The origin of spongy texture in minerals of mantle xenoliths from the Western Qinling, central China // Contrib. Mineral. Petrol. 2011. V. 161. P. 465–482. *Treiman A.H.* Eruption age of the Sverrefjellet volcano, Spitsbergen Island, Norway // Polar Res. 2012. V. 31. doi:10.3402/polar.v31i0.17320

Wang Y., Baofu Han, Griffin W.L. et al. Postentrainment mineral-magma interaction in mantle xenoliths from Inner Mongolia, Western North China Craton // J. Earth Sci. 2012. V. 23. № 1. P. 54–76.

Wulff-Pedersen E., Neumann E.R., Vannucci R. et al. Silicic melts produced by reaction between peridotite and infiltrating basaltic melts: ion probe data on glasses and minerals in veined xenoliths from La Palma, Canary Islands // Contrib. Mineral. Petrol. 1999. V. 137. No 1–2. P. 59–82.

*Yaxley G.M., Kamenetsky V.* In situ origin for glass in mantle xenoliths from southeastern Australia: insights from trace element compositions of glasses and metasomatic phases // Earth Planet. Sci. Lett. 1999. V. 172. P. 97–109.

*Yudalevich Z., Vapnik Y.* Xenocrysts and megacrysts of alkaline olivine-basalt-basanite-nephelinite association Makhtesh Ramon (Israel): Interaction with carrier magmas and crystallographic transformations // Lithosphere (Russia). 2018. V. 18 (5A). P. 57–77.

## Partial Melting Features in Mantle Xenoliths of Spinel Lherzolites of Zhokhov Island, De-Long Archipelago, Eastern Arctic

S. A. Silantyev<sup>1</sup>, D. D. Badyukov<sup>1</sup>, A. G. Akhmetshin<sup>1</sup>, E. A. Krasnova<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Vernadsky Institute of RAS, Moscow, Russia <sup>2</sup>Moscow Lomonosov State University, Geosciences Department, Moscow, Russia

Zhokhov Island beongs to the De-Long Archipelago located in the Eastern sector of the Russian continental shelf within the Arctic Basin. The Island is a young volcanic center and is composed of lava flowsalkaline olivine-porphyry basalts and subordanate limburgites. The study was aimed at identifying possible regional and geodynamic factors influencing the specifics of the partial melting process and mineral transformations in mantle xenoliths of Zhokhov Island. Five xenoliths selected from samples of alkali basalts on Zhokhov Island were studied using a scanning electron microscope. The data obtained allowed us to conclude that the formation of high-sodium glasses in the mantle xenoliths of Zhokhov Island is associated with the interaction between Spinel Lherzolites and parental for host Olivine Basalts magmatic melt. At the same time, high-potassium glasses inside mantle xenoliths were formed in situ during the melting of a primary potassium-containing pgase which may have been Phlogopite. The formation of two distinct contrasting in composition zones of recrystallization in contact between mantle xenoliths and host basalt is due to the evolution of composition of the alkaline silicate melt carried xenoliths. Signs of activation of young intraplate magmatism facilitating the transport of fragments of metasomatized shallow mantle are established in a large area of the Arctic Basin.

Keywords: mantle xenolith, within-plate magmatism, large igneous province, mantle plume