

Научная статья
УДК 552.3: 550.4
doi: 10.17223/25421379/23/4

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКИХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ФУНДАМЕНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА



Владимир Александрович Симонов¹, Алексей Васильевич Котляров²,
Алексей Иванович Чернышов³, Алексей Николаевич Юричев⁴

^{1,2} Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

^{1,2} Казанский федеральный университет, Казань, Россия

^{3,4} Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

¹ kotlyarov@igm.nsc.ru

² kotlyarov@igm.nsc.ru

³ aich@ggf.tsu.ru

⁴ juratur@sibmail.com

Аннотация. Исследования палеозойских ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна свидетельствуют об участии магматических систем срединно-океанических хребтов в процессах последовательной (9,7–2,5 кбар) кристаллизации оливинов (1 560–1 470 °С) и клинопироксенов (1 355–1 100 °С) при формировании перидотитов Хултурского и Фестивального массивов. Образование пикритов Чкаловской площади происходило при падении *PT*-параметров в ходе кристаллизации оливина (1 540–1 490 °С, 12,8–7 кбар), клинопироксена (1 315–1 215 °С, 8–4,5 кбар) и амфибола (1 105–1 060 °С, 6,1–4,5 кбар) из островодужных и плюмовых расплавов.

Ключевые слова: ультраосновные комплексы, перидотиты, пикриты, Западно-Сибирский осадочный бассейн, клинопироксен, хромшпинелид, условия кристаллизации минералов

Благодарности: Авторы выражают благодарность рецензенту за критические замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, договора № 14.У26.31.0029.

Для цитирования: Симонов В.А., Котляров А.В., Чернышов А.И., Юричев А.Н. Условия формирования палеозойских ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна // Геосферные исследования. 2022. № 2. С. 57–77. doi: 10.17223/25421379/23/4

Original article
doi: 10.17223/25421379/23/4

FORMATION CONDITIONS OF PALEOZOIC ULTRABASIC COMPLEXES OF THE BASEMENT OF THE WEST SIBERIAN SEDIMENTARY BASIN

Vladimir A. Simonov¹, Alexey V. Kotlyarov², Alexey I. Chernyshov³, Alexey N. Yurichev⁴

^{1,2} V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

¹ Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

^{1,2} Kazan Federal University, Kazan, Russia

^{3,4} National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

¹ kotlyarov@igm.nsc.ru

² kotlyarov@igm.nsc.ru

³ aich@ggf.tsu.ru

⁴ juratur@sibmail.com

Abstract. Recent studies have shown the wide distribution of ultrabasic rocks in the basement of the West Siberian sedimentary basin [Kuzovatov et al., 1988, 1996; Bochkarev et al., 2003; Ivanov et al., 2003, 2007, 2009; Simonov et al., 2006–2010, 2012, 2018–2020; Stupakov et al., 2008]. The overwhelming majority of ultrabasic rocks of the West Siberia are dunite-harzburgite assemblages of ophiolite associations of Paleozoic age [Ivanov et al., 2007, 2009; Erokhin et al., 2008]. Another

more rare type of ultrabasic rocks in the basement of the West Siberian sedimentary basin is represented by picrites [Kuzovатов et al., 1988, 1996; Simonov et al., 2018, 2019] of the Early Paleozoic age [Simonov et al., 2020].

The article is a continuation of studies of ultrabasic complexes of the West Siberia. It is based on the results of processing the original (including partially previously published) data, obtained mainly during study of clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky and Festivalny massifs and also picrites of the Chkalovsky area.

The carried out studies of clinopyroxenes from peridotites of the Hultursky and Festivalny massifs indicate that its crystallization was connected with the “oceanic” magmatic trend, while clinopyroxenes from picrites of the Chkalovsky area are associated with the “island-arc-plume” magmatism. At the same time, clinopyroxenes from the peridotites are close to the data on minerals from ultrabasic rocks of standard ophiolites (Polar Urals).

Analysis of the composition of Cr-spinels showed that the evolution of ultrabasic complexes of the basement of the West Siberian sedimentary basin took place during the geodynamic situation changed from oceanic to island arc. In this case, clinopyroxene containing parageneses were formed both at the beginning (ocean) and at the end (island arc) of the history of evolution of ultramafic rocks.

Results of studying of the features of the distribution of rare-earth elements (as well as data on minerals) clearly indicate the participation of magmatic systems of mid-oceanic ridges in the formation of clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky massif, in contrast to picrite porphyrites of the Chkalovsky area, which are characterized by island-arc and plume melts.

As a whole, study of the Paleozoic clinopyroxene containing ultrabasic complexes of the basement of the West Siberian sedimentary basin (including computational modeling with the help of modern software WinPLtb [Yavuz, Yıldırım, 2018], COMAGMAT [Ariskin, Barmina, 2004], PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011]) testify about participation of mid-oceanic magmatic systems during successive (9.7–2.5 kbar) crystallization of olivines (1560–1470 °C) and clinopyroxenes (1355–1100 °C) of peridotites of Hultursky and Festivalny massifs. Formation of picrite porphyrites of the Chkalovsky area is connected with a drop in *PT* - parameters during crystallization of olivine (1540–1490 °C, 12.8–7 kbar), clinopyroxene (1315–1215 °C, 8–4.5 kbar) and amphibole (1105–1060 °C, 6.1–4.5 kbar) from the island arc and plume melts.

Keywords: ultrabasic complexes, peridotites, picrites, West Siberian sedimentary basin, clinopyroxene, Cr-spinel, conditions of mineral crystallization

Acknowledgments: The authors are grateful to the referee for critical remarks that contributed to the improvement of the article.

Source of financing: The work was performed on the state assignment of IGM SB RAS, with the financial support by the Ministry of Science and Higher Education (contract 14.Y26.31.0029).

For citation: Simonov, V.A., Kotlyarov, A.V., Chernyshov, A.I., Yurichev, A.N. (2022) Formation conditions of Paleozoic ultrabasic complexes of the basement of the West Siberian sedimentary basin. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 57–77. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/23/4

Введение

Исследования последних лет показали широкое распространение пород ультраосновного состава в фундаменте Западно-Сибирского осадочного бассейна [Кузоватов и др., 1988, 1996; Бочкарев и др., 2003; Иванов и др., 2003, 2007, 2009; Симонов и др., 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2018, 2019, 2020; Ступаков и др., 2008; Юричев, 2019, 2020 и др.] (рис. 1). Подавляющее большинство ультрабазитов Западной Сибири представляет дунит-гарцбургитовый комплекс офиолитовых ассоциаций, имеющих, судя по опубликованным материалам [Иванов и др., 2007, 2009; Ерохин и др., 2008], палеозойский возраст. Данные офиолиты привлекают к себе самое пристальное внимание в связи с тем, что, являясь фрагментами структур древних океанов, позволяют рассмотреть геодинамическую эволюцию фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна на наиболее ранних стадиях его развития. Существует и другой, гораздо более редкий, тип ультраосновных пород в фундаменте Западной Сибири, представленный

пикритами [Кузоватов и др., 1988, 1996; Симонов и др., 2018, 2019, 2020]. Проведенные исследования показали, что эти пикритовые комплексы имеют раннепалеозойский возраст и их формирование связано с развитием субдукционной зоны древнего океана [Симонов и др., 2020].

В целом анализ современного состояния исследований ультраосновных пород фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна свидетельствует, что, несмотря на важность и значительный интерес к этим объектам, многие вопросы, связанные с условиями их формирования, остаются открытыми. Это обусловлено прежде всего тем, что очень высокая степень вторичных преобразований ультрабазитов не дает возможности однозначно установить особенности генетических процессов с помощью традиционных геологических, петрологических и геохимических методов. Выходом в данной ситуации является изучение сохранившихся первичных минералов. В то же время в ультрабазитах фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна в большинстве случаев только хромшпинелиды сохраняют

свои свойства и несут важную информацию о происхождении и эволюции ультраосновных комплексов. В очень редких случаях присутствуют первичные оливины и пироксены.

В связи с этим большой интерес представляют ультраосновные породы (перидотиты) Хултурского и Фестивального массивов, в которых присутствуют хромшпинелиды, оливины, ортопироксены и клинопироксены [Иванов и др., 2009; Симонов и др., 2010, 2012; Юричев, 2019, 2020], а также ультрабазиты (пикриты) Чкаловской площади [Кузоватов и др., 1996; Симонов и др., 2018, 2019, 2020], содержащие клинопироксен и развивающийся по нему амфибол.

Предлагаемая статья является продолжением исследований ультраосновных комплексов Западной Сибири. Ее основу составляют результаты обработки оригинальных (в том числе и частично ранее опубликованных) данных, полученных в основном при исследовании клинопироксен содержащих пе-

ридитов Хултурского и Фестивального массивов, а также пикритов Чкаловской площади (см. рис. 1).

Условия формирования клинопироксен содержащих ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна установлены главным образом в результате изучения первичных минералов (клинопироксены, хромшпинелиды, оливины, ортопироксены, амфиболы) и обработки полученной информации с помощью современных расчетных программ. Большое значение имеют геохимические данные по распределению редкоземельных элементов в минералах и ультраосновных породах. Проведен сравнительный анализ всей полученной информации по ультрабазитам Западной Сибири с данными по эталонным объектам, представляющим структуры древних (офиолиты Полярного Урала и Горного Алтая) и современных (океаны Атлантический и Тихий) океанических областей.

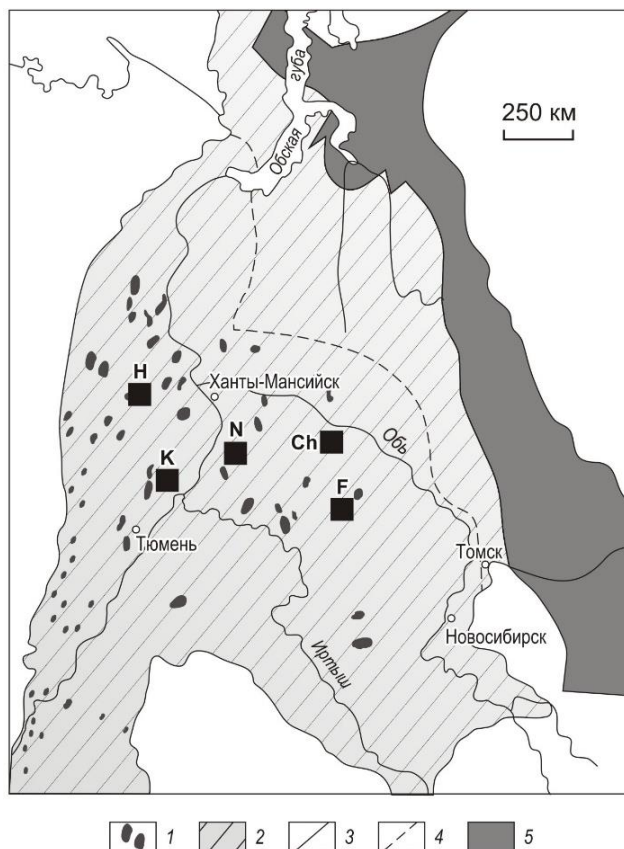


Рис. 1. Расположение клинопироксен содержащих ультраосновных комплексов в фундаменте Западно-Сибирского осадочного бассейна

1 – ультрабазиты; 2 – Западно-Сибирский бассейн; 3, 4 – восточные границы: герцинид (3) и гранитизации (4); 5 – байкалиды [Бочкарев и др., 2003]. Изученные ультраосновные комплексы: Хултурский (Н), Фестивальный (F), Немчиновский (N), Кальчинский (K). Чкаловская площадь – Ch

Fig. 1. Location of the clinopyroxene containing ultrabasic complexes in the basement of the West Siberian sedimentary basin

1 – ultrabasic rocks; 2 – West Siberian basin; 3, 4 – eastern borders: of Hercynides (3) and of granitization (4); 5 – Baikals [Bochkarev et al., 2003]. Studied ultrabasic complexes: Hultursky (H), Festivalny (F), Nemchinovsky (N), Kalchinsky (K). Chkalovsky area – Ch

Методы исследования

Исследования ультрабазитов из фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна проводились в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Анализы составов минералов и пород выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Новосибирск), в ИГМ СО РАН (Новосибирск) и в Томском региональном центре коллективного пользования НИ ТГУ (Грант МинОбрНауки РФ № 075-15-2021-693 (№ 13.ЦКП.21.0012).

Составы минералов проанализированы на рентгеновском микроанализаторе Camebax-micro в ИГМ СО РАН (Новосибирск). Ускоряющее напряжение составляло 20 кВ, ток поглощенных электронов – 40 нА, диаметр зонда 2–3 мкм, время счета 10 с на каждой аналитической линии. Пределы обнаружения (мас. %) компонентов следующие: SiO₂ – 0,007, TiO₂ – 0,032, Al₂O₃ – 0,011, FeO – 0,019, MnO – 0,034, MgO – 0,011, CaO – 0,008, Na₂O – 0,017, K₂O – 0,009, Cl – 0,017, P₂O₅ – 0,011. Стандартами служили: ортоклаз (OR), альбит (AB), диопсид (DI), гранат (O-145), базальтовое стекло (GL).

Первичные минералы из ультрабазитов анализировались также с помощью микрорентгеноспектрального метода на микроанализаторе JEOL JXA-8100 SuperProbe по методике, описанной в работе [Королюк и др., 2008].

Содержания редкоземельных элементов в ультрабазитах определены методом масс-спектрометрического анализа с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре ELEMENT 2 в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск) [Симонов и др., 2013], а также установлены методом ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой) на масс-спектрометре Finnigan Element в ИГМ СО РАН (Новосибирск). Пределы обнаружения для большинства редкоземельных элементов составляют от 0,01 до 0,06 ppm, для Eu, Ho, Lu – 0,003 ppm.

В случае клинопироксенов содержания редкоземельных элементов установлены методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном микроанализаторе IMS-4f в Институте микроэлектроники и информатики РАН (Ярославль) по опубликованной ранее методике [Соболев, 1996]. Пределы обнаружения элементов – 0,01 ppm.

Для получения наиболее представительных выводов дополнительно использована информация других исследователей по составам пород и минералов, находящаяся в базе геохимических данных GEOROC [GEOROC].

При выяснении *PT*-параметров формирования ультрабазитов применялись различные методы.

Условия кристаллизации клинопироксенов установлены в результате расчетов по программе WinPLtb [Yavuz, Yildirim, 2018], а также при использовании ряда термобарометров [Перчук, 1980; Mercier, 1980; Perkins, Newton, 1980; Lindnsley, Dixon, 1983; Brey et al., 1990; Slavinskiy, 1993; Taylor, 1998; Nimis, Taylor, 2000; Ащепков, 2001].

На основе составов оливинов и сосуществующих с ними хромшпинелидов с помощью минералогического (Ol-Sp) геотермометра [Wan et al., 2008; Coogan et al., 2014] был выяснен температурный режим формирования клинопироксен содержащих перидотитов Фестивального массива на этапе субсолидусного минерального равновесия ультрабазитов.

При расчете давлений и температур заключительных этапов магматических процессов применены амфиболовые термобарометры [Ridolfi, Renzulli, 2012].

Полученные с помощью различных термобарометров *PT*-параметры кристаллизации минералов сравнивались между собой и тестировались при сопоставлении с информацией по эталонным объектам, а также с результатами применения программ расчетного моделирования PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011] и COMAGMAT [Ariskin, Barmina, 2004].

Особенности состава клинопироксен содержащих ультрабазитов

Главное внимание при проведении исследований ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна было уделено породам, содержащим такие первичные минералы, как клинопироксен, хромшпинель, оливин и ортопироксен.

Как было отмечено выше, в фундаменте Западно-Сибирского осадочного бассейна устанавливается два типа клинопироксен содержащих ультраосновных пород: ультрабазиты, являющиеся фрагментами дунит-гарцбургитовых комплексов офиолитовых ассоциаций, и пикриты кумулятивно-магматогенного происхождения.

Офиолитовые ультрабазиты. Наиболее представительные данные по клинопироксен содержащим офиолитовым ультрабазитам получены в результате исследования образцов, отобранных из керна скважин на Хултурском, Фестивальном и Немчиновском массивах (см. рис. 1).

Исследования ультраосновных пород из скважины 10367 Хултурского массива показали, что они слабо изменены и часто в их составе преобладают оливин, ортопироксен и клинопироксен, с незначительным содержанием серпентина (рис. 2, 1). По соотношению первичных минералов породы соответствуют клинопироксен содержащим перидотитам. По химическому составу, прежде всего по Al₂O₃ и

СаО, они близки к лерцолитам. На диаграмме Ni–Cr эти перидотиты обладают относительно низкими содержаниями никеля (до 647 г/т) и располагаются преимущественно в области ультраосновных куму-

лятов [Симонов и др., 2012]. По особенностям распределения редкоземельных элементов [Иванов и др., 2009] они отвечают лерцолитам срединно-океанических хребтов.

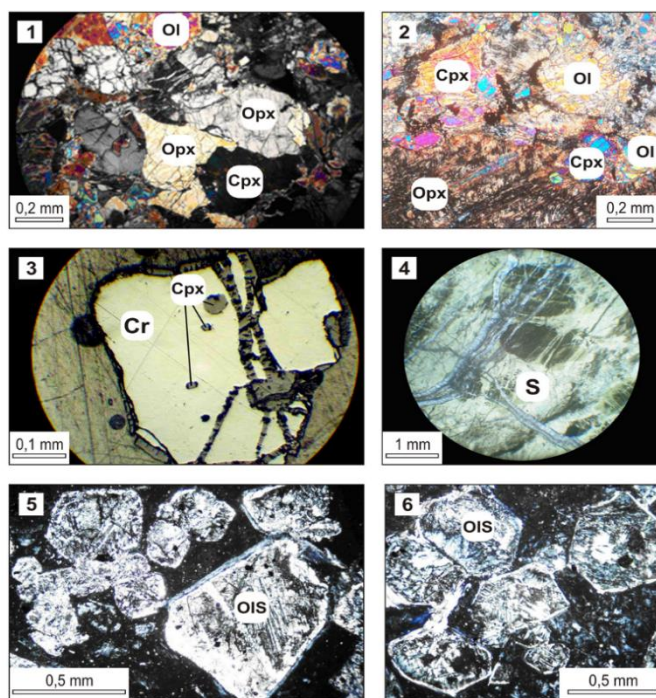


Рис. 2. Фотографии шлифов и аншлифов ультраосновных пород фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна

1, 2 – клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского (1) и Фестивального (2) массивов (Cpx – клинопироксен, Ol – оливин, Opx – ортопироксен); 3, 4 – серпентинизированные ультрабазиты Немчиновского (3) (Cpx – клинопироксен, Cr – хромшпинель) и апогарцбургитовые серпентиниты Кальчинского (4) (S – серпентин) массивов; 5, 6 – пикритовые порфириты Чкаловской площади (OIS – серпентинизированные вкрапленники оливина). 3 – отраженный свет; остальные фотографии – проходящий свет, поляризаторы скрещены

Fig. 2. Photographs of thin sections and polished sections of Ultrabasic rocks from the basement of the West Siberian sedimentary basin

1, 2 – clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky (1) and Festivalny (2) massifs (Cpx – clinopyroxene, Ol – olivine, Opx – orthopyroxene); 3, 4 – serpentinized ultrabasic rocks of the Nemchinovsky (3) (Cpx – clinopyroxene, Cr – Cr-spinel) and apogharzburgite serpentinites of the Kalchinsky (4) (S – serpentine) massifs; 5, 6 – picrite porphyrites of the Chkalovsky area (OIS – serpentinized olivine phenocrysts). 3 – reflected light; the rest of the photographs are transmitted light, the polarizers are crossed

Ультрабазиты Фестивального массива из скважин 1, 2 и 260 содержат значительное количество первичных минералов (оливин, клинопироксен и ортопироксен; см. рис. 2, 2), по соотношениям которых эти породы близки к лерцолитам.

Ультраосновные породы Немчиновского массива (скважина Немчиновская 40) интенсивно серпентинизированы, и клинопироксен сохранился только в виде кристаллических включений в хромшпинелиде (см. рис. 2, 3).

В целом необходимо подчеркнуть, что офиолитовые ультрабазиты с первичными клинопироксенами представлены единичными образцами среди преобладающей массы практически полностью серпенти-

низированных ультраосновных пород (апогарцбургитовые серпентиниты; см. рис. 2, 4), характерных для фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна.

Пикриты были исследованы нами в разрезе скважины Чкаловская 11 на Чкаловской площади (см. рис. 1). Изучение шлифов показало, что эти породы являются интенсивно измененными пикритовыми порфиритами с вкрапленниками оливина, полностью серпентинизированными и располагающимися в основной хлоритизированной и серпентинизированной мелкозернистой массе (см. рис. 2, 5; 2, 6). Присутствуют также вкрапленники клинопироксена, в значительной мере замещенные хлоритами. В от-

дельных образцах пикритов по пироксену развивается амфибол, образующий также самостоятельные фазы.

Составы первичных минералов в ультрабазитах

Среди первичных минералов в ультраосновных породах фундамента Западно-Сибирского осадочно-го бассейна особую роль играют клинопироксены, присутствующие как в офиолитовых ультрабазитах, так и в пикритах. Большое значение имеют хромшпинелиды, сохранившиеся даже в полностью серпентинизированных разностях ультрабазитов. Оливины позволили получить важную информацию об особенностях формирования клинопироксен содер-

жащих перидотитов. Амфиболы, развивающиеся по клинопироксенам, дали возможность установить параметры заключительных стадий магматической кристаллизации пикритов.

Клинопироксены из перидотитов Хултурского и Фестивального массивов по своему составу отвечают главным образом диопсидам, в отличие от пироксенов из пикритов Чкаловской площади, относящихся преимущественно к салитам и авгитам. Клинопироксены в хромшпинелидах из серпентинизированных ультрабазитов Немчиновского массива соответствуют по составу диопсидам и авгитам. Составы изученных клинопироксенов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Представительные анализы клинопироксенов из ультрабазитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна, мас. %

Table 1

Representative analyzes of clinopyroxenes from ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin, wt. %

№ п.п.	№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Сумма	Mg#
1	1	51,08	0,36	6,28	0,90	2,66	0,10	15,05	21,25	1,32	99,00	90,98
2	1/1Б	51,58	0,32	6,19	0,90	3,00	0,10	15,88	20,03	1,24	99,23	90,41
3	1/2	51,69	0,34	5,88	0,84	2,57	0,10	15,23	20,43	1,38	98,46	91,35
4	1/2А	51,71	0,39	6,13	0,93	2,41	0,08	14,83	20,81	1,43	98,73	91,64
5	1/3	51,78	0,35	6,25	0,88	2,98	0,10	15,64	20,23	1,30	99,51	90,34
6	1/3А	52,51	0,34	5,77	0,85	2,81	0,09	15,40	20,52	1,33	99,62	90,71
7	1/3Г	51,58	0,34	6,10	0,92	2,76	0,12	15,12	20,18	1,42	98,53	90,71
8	1/3Д	51,47	0,34	6,09	0,88	2,51	0,08	14,71	20,90	1,37	98,35	91,26
9	2/2Б	51,85	0,30	6,20	0,92	2,68	0,11	15,28	20,08	1,43	98,84	91,04
10	2/2Б-1	52,04	0,14	6,17	0,89	2,89	0,11	15,39	20,14	1,26	99,03	90,47
11	2/3	52,44	0,05	5,61	0,86	2,45	0,09	15,18	20,38	1,47	98,53	91,70
12	3/2	51,34	0,33	6,14	0,91	2,97	0,09	15,66	19,82	1,35	98,61	90,38
13	3/4Б	51,90	0,28	6,15	0,94	3,08	0,10	16,18	18,91	1,30	98,84	90,35
14	2/3А	52,02	0,36	6,09	0,89	2,81	0,12	15,23	20,36	1,33	99,21	90,62
15	2/3А-2	51,33	0,35	6,45	0,99	2,42	0,09	14,56	21,15	1,55	98,89	91,47
16	32	54,17	0,08	2,25	0,92	2,09	0,07	17,01	22,52	0,48	99,59	93,54
17	43	53,36	0,07	2,92	1,30	2,44	0,07	17,25	21,39	0,58	99,38	92,64
18	51	53,65	0,09	2,77	1,26	2,14	0,08	16,58	22,63	0,55	99,75	93,24
19	55	53,48	0,08	2,85	1,22	2,23	0,08	17,61	22,01	0,44	100,00	93,36
20	63	53,05	0,08	3,20	1,44	2,09	0,09	16,39	22,51	0,56	99,41	93,33
21	70	52,93	0,09	2,82	1,27	2,23	0,09	17,54	21,91	0,51	99,38	93,35
22	83	53,90	0,03	1,59	0,79	1,68	0,05	16,91	24,35	0,10	99,40	94,72
23	86	54,84	0,03	1,41	0,68	1,82	0,08	17,14	23,96	0,12	100,07	94,39
24	1	54,19	н.о.	0,78	0,79	1,77	0,11	18,40	24,00	0,18	100,22	94,88
25	2	54,13	н.о.	0,89	1,22	2,10	0,06	18,25	23,98	0,22	100,85	93,93
26	3	54,04	0,01	0,86	1,08	2,06	0,04	17,76	24,49	0,27	100,61	93,89
27	4	54,57	н.о.	0,78	1,10	1,85	0,06	17,74	24,09	0,23	100,42	94,47
28	5	54,36	н.о.	0,94	1,01	1,99	0,07	18,12	24,09	0,24	100,82	94,19
29	6	57,00	н.о.	1,48	0,94	2,04	0,04	24,67	14,28	0,08	100,54	95,57
30	7	56,12	0,01	3,11	1,27	2,36	0,02	22,44	13,47	0,31	99,11	94,43
31	9	59,42	н.о.	1,61	0,91	2,28	0,04	22,92	13,26	0,18	100,63	94,71
32	1-1	48,50	1,58	5,12	0,48	6,45	0,11	14,64	22,01	0,49	99,38	80,18
33	1-2	48,58	1,73	5,00	0,46	6,54	0,12	13,85	22,17	0,47	98,92	79,05
34	1-3	48,41	1,70	4,98	0,46	6,68	0,11	13,63	22,33	0,47	98,78	78,43
35	1-4	48,62	1,68	4,98	0,51	6,49	0,08	13,90	22,01	0,45	98,72	79,24
36	1-6	48,99	1,77	5,10	0,49	6,55	0,09	14,15	22,05	0,47	99,66	79,38
37	1-7	48,04	1,72	5,01	0,47	6,70	0,11	14,09	21,81	0,46	98,41	78,94
38	1-8	48,11	1,82	5,29	0,54	6,57	0,11	13,46	22,19	0,41	98,50	78,50

№ п.п.	№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Сумма	Mg#
39	1-10	48,18	1,87	5,43	0,51	6,68	0,11	13,32	22,12	0,42	98,64	78,04
40	1-11	48,54	2,05	5,38	0,38	6,73	0,11	13,76	21,92	0,49	99,36	78,46
41	1-12	47,81	2,01	5,24	0,38	7,03	0,11	13,78	21,23	0,49	98,08	77,74
42	1-14	48,54	1,76	4,98	0,46	6,74	0,09	14,20	21,17	0,51	98,44	78,97
43	1-16	48,22	1,67	4,91	0,57	6,49	0,14	13,67	22,07	0,44	98,18	78,96
44	1-17	47,89	1,83	5,36	0,58	6,48	0,09	13,44	22,14	0,44	98,26	78,71
45	1-18	48,43	1,73	4,95	0,50	6,45	0,12	13,71	21,82	0,50	98,21	79,11
46	1-19	48,24	1,74	4,90	0,50	6,49	0,09	13,81	21,91	0,46	98,14	79,13

Примечание. Из перидотитов Хултурского (1–15) и Фестивального (16–23) массивов; в хромшпинелидах из серпентинизированных ультрабазитов Немчиновского массива (24–31); из пикритов Чкаловской площади (32–46). Mg# = Mg·100/(Mg + Fe) (ф. ед.); н.о. – компонент не определен

Note: From peridotites of the Hultusky (1–15) and Festivalny (16–23) massifs; in Cr-spinels from serpentinized ultrabasic rocks of the Nemchinosky massif (24–31); from picrite porphyrites of the Chkalovsky area (32–46). Mg# = Mg·100/(Mg + Fe) (f. e.); н.о. – component not defined.

По соотношению титана и железа клинопироксены из ультрабазитов Хултурского, Фестивального и Немчиновского массивов образуют совместно с пироксенами из гипербазитов офиолитов Полярного Урала и района разлома Вима (Срединно-Атлантический хребет – САХ) единую группу с минимальными значениями этих компонентов. При этом клинопироксены из пикритов Чкаловской площади обладают высокими содержаниями титана при относительно

повышенной железистости и близки к пироксенам из пикритов Гавайских островов и из базальтов внутриплитных океанических островов с эталонным плюмовым магматизмом типа ОИВ. Намечается определенный тренд одновременного роста TiO₂ и FeO (трассируемый данным по пироксенам из пикритов Камчатки) при переходе от клинопироксенов с океаническими характеристиками к пироксенам из ОИВ (рис. 3).

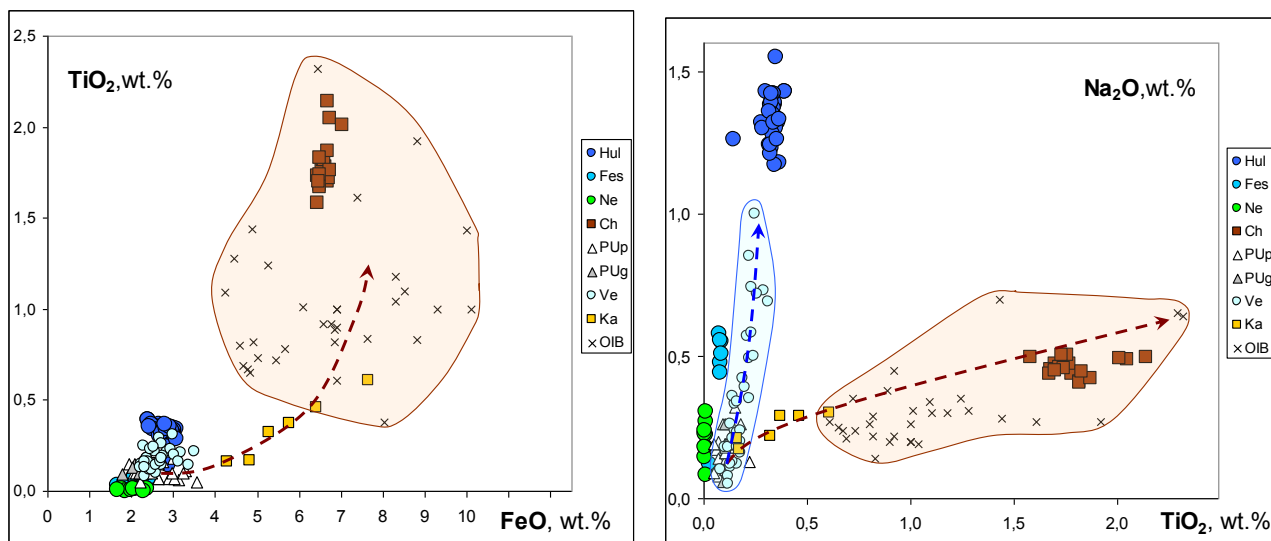


Рис. 3. Составы клинопироксенов из ультрабазитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна
Клинопироксены: из клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского (Hul, скважина 10367) и Фестивального (Fes) массивов; из серпентинизированных ультрабазитов Немчиновского (Ne) массива; из пикритовых порфиритов скважины Чкаловская 11 (Ch); из пироксенитов (PUp) и гарцбургитов (PUg) офиолитов Полярного Урала; из перидотитов района разлома Вима в Срединно-Атлантическом хребте (Ve); из пикритов Камчатки (Ka) и из базальтов внутриплитных океанических островов (OIB). Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Симонов и др., 2012; Белоусов, 2012; Brunelly et al., 2006; GEOROC]

Fig. 3. Compositions of clinopyroxenes from ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin
Clinopyroxenes: from clinopyroxene containing peridotites of the Hultusky (Hul, well 10367) and Festivalny (Fes) massifs; from serpentinized ultrabasic rocks of the Nemchinosky (Ne) massif; from picrite porphyrites from the Chkalovsky 11 (Ch) well; from pyroxenites (PUp) and harzburgites (PUg) of ophiolites of the Polar Urals; from the peridotites of the Vema Fracture Zone region on the Mid-Atlantic Ridge (Ve); from the picrites of Kamchatka (Ka) and from basalts of the within plate oceanic islands (OIB). The figure is built on the basis of original data using information from works [Simonov et al., 2012; Belousov, 2012; Brunelly et al., 2006; GEOROC]

На диаграмме Na₂O–TiO₂ клинопироксены из перидотитов Хултурского массива, обладая повышенными содержаниями натрия, располагаются на окончании тренда пироксенов из ультрабазитов разлома Вима (САХ). При этом кристаллики клинопироксена в хромитах серпентинитизированных ультрабазитов Немчиновского массива содержат минимум натрия и тесно ассоциируют с данными по пироксенам из ультрабазитов Полярного Урала. Клинопироксены из перидотитов Фестивального массива занимают промежуточное положение, и в целом эти три группы минералов располагаются в соответствии с трендом пироксенов разлома Вима (САХ). В то же время клинопироксены из пикритов Чкаловской площади (с максимумом титана при незначительных количествах натрия) приурочены к тренду пироксенов из пикритов Гавайских островов и из базальтов типа ОИВ (внутриплитный океанический плюмовый магматизм), фактически продолжающему тренд клинопироксенов из пикритов Камчатки (субдукционный островодужный магматизм) (см. рис. 3).

В целом выясняется, что клинопироксены из перидотитов Хултурского и Фестивального массивов связаны с «океаническим» трендом (минералы срединно-океанических хребтов), а клинопироксены из пикритов Чкаловской площади приурочены к «островодужно-плюмовому» тренду.

Хромшпинелиды наиболее устойчивы в ходе вторичных процессов и позволяют провести сравнительный анализ хромитов из хорошо сохранившихся перидотитов Хултурского и Фестивального массивов с минералами из апограбургиловых серпентинитов других районов Западной Сибири.

Хромшпинелиды из клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского массива (табл. 2) имеют низкие значения хромистости, явно отличаясь от хромитов из других ультрабазитов в Западной Сибири, и приурочены к полю минералов из гарбургилов района разлома Вима (САХ). Значительная часть хромшпинелидов из перидотитов Фестивального массива также располагается в поле океанических хромитов (район разлома 15°20', САХ), обладая при этом более высокими значениями Cr#. В целом данные по хромшпинелидам в ультрабазитах из Хултурского, Фестивального и Немчиновского массивов (а также из офиолитов Полярного Урала и Горного Алтая) образуют фактически единый тренд одновременного роста значений хромистости и падения магнезиальности, переходящий из океанической области в островодужную. Хромшпинелиды в серпентинитах Кальчинского массива с выдержанными значениями хромистости также фиксируют переход от поля хромитов в океанических породах к островодужному (рис. 4).

Таблица 2

Представительные анализы хромшпинелидов из клинопироксен содержащих перидотитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна, мас. %

Table 2

Representative analyzes of Cr-spinels from from clinopyroxene containing peridotites of the basement of the West Siberian sedimentary basin, wt. %

№ п.п.	Образец	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Mg#	Cr#
1	2,1	0,06	57,32	11,81	11,96	0,08	18,88	0,02	0,34	100,46	73,72	12,14
2	14	0,06	57,18	11,65	11,66	0,14	19,22	0,01	0,41	100,33	75,22	12,02
3	16	0,07	57,40	11,95	11,85	0,08	19,26	н.о.	0,36	100,97	74,74	12,25
4	17	0,06	57,02	11,46	11,88	0,08	19,29	0,01	0,42	100,22	75,47	11,88
5	18	0,07	56,78	11,63	12,14	0,12	19,00	0,01	0,39	100,13	74,56	12,08
6	20	0,08	56,74	11,98	12,03	0,09	19,31	0,01	0,43	100,67	75,36	12,41
7	22	0,08	56,78	11,85	12,17	0,09	19,13	0,01	0,41	100,51	74,78	12,28
8	24	0,08	56,03	11,60	12,14	0,12	19,01	0,01	0,38	99,37	75,15	12,19
9	25	0,08	56,87	11,81	12,19	0,07	19,34	0,01	0,38	100,74	75,28	12,23
10	27	0,06	57,14	11,73	11,92	0,08	19,20	н.о.	0,36	100,50	74,88	12,10
11	28	0,07	56,50	11,41	11,94	0,12	19,25	0,01	0,41	99,70	75,77	11,93
12	30	0,08	56,29	11,61	12,18	0,13	19,03	н.о.	0,36	99,67	74,96	12,15
13	33	0,09	56,15	11,73	11,96	0,10	19,12	0,01	0,41	99,56	75,42	12,29
14	34	0,08	56,97	11,85	12,16	0,13	19,20	н.о.	0,36	100,76	74,84	12,25
15	35	0,10	56,54	11,81	11,90	0,13	19,11	н.о.	0,38	99,97	75,04	12,29
16	36	0,07	56,35	12,00	11,86	0,13	19,23	0,01	0,39	100,04	75,55	12,50
17	38	0,07	56,36	11,61	12,21	0,11	18,93	0,04	0,42	99,75	74,71	12,14
18	39	0,08	56,35	11,45	12,32	0,15	18,85	0,03	0,37	99,61	74,47	12,00
19	41	0,08	56,93	11,89	11,84	0,13	19,09	0,01	0,36	100,32	74,70	12,29
20	42	0,06	56,50	11,73	11,82	0,07	19,29	0,01	0,37	99,85	75,68	12,22
21	43	0,08	56,20	11,64	12,14	0,13	18,99	0,01	0,29	99,47	74,86	12,20
22	46	0,08	56,42	11,43	12,49	0,10	18,94	0,01	0,41	99,87	74,55	11,96
23	47	0,09	56,26	11,71	12,03	0,12	18,99	0,01	0,39	99,59	74,90	12,25
24	51	0,10	55,77	11,47	13,99	0,14	18,39	0,15	0,38	100,38	72,74	12,12
25	56	0,08	56,14	11,03	12,36	0,10	19,06	0,01	0,35	99,13	75,34	11,65
26	63	0,07	56,22	11,50	12,01	0,09	19,22	0,01	0,42	99,54	75,77	12,07

№ п.п.	Образец	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Mg#	Cr#
27	20	0,09	27,70	41,40	16,09	0,11	13,93	н.о.	0,09	99,40	62,71	50,07
28	21	0,09	28,23	40,96	15,91	0,11	14,09	н.о.	0,06	99,45	63,21	49,32
29	22	0,06	25,40	44,46	15,98	0,12	13,66	н.о.	0,08	99,76	62,01	54,01
30	23	0,07	25,67	43,99	15,89	0,12	14,05	н.о.	0,07	99,86	63,44	53,48
31	24	0,06	28,52	41,17	15,73	0,12	14,30	н.о.	0,08	99,97	63,75	49,20
32	25	0,08	27,10	42,52	15,91	0,11	14,04	н.о.	0,07	99,82	63,03	51,28
33	28	0,04	29,24	39,33	16,44	0,12	13,75	н.о.	0,05	98,97	61,88	47,43
34	29	0,07	26,85	41,98	17,56	0,14	12,83	н.о.	0,05	99,48	58,40	51,19
35	30	0,05	24,96	43,43	18,88	0,14	12,23	н.о.	0,04	99,73	56,23	53,86
36	31	0,06	28,98	40,16	15,69	0,11	14,21	н.о.	0,05	99,27	63,61	48,18
37	32	0,04	29,72	39,56	16,94	0,14	13,50	н.о.	0,05	99,94	60,33	47,17
38	33	0,05	28,83	39,19	17,32	0,12	13,40	н.о.	0,04	98,95	60,56	47,70
39	34	0,06	29,78	38,91	16,32	0,11	14,08	н.о.	0,05	99,31	62,88	46,71
40	35	0,03	29,45	39,81	16,73	0,13	13,50	н.о.	0,05	99,69	60,53	47,56
41	36	0,03	24,46	43,49	19,95	0,15	11,64	н.о.	0,05	99,77	53,78	54,40
42	37	0,02	20,42	47,95	19,33	0,16	11,39	н.о.	0,05	99,31	53,76	61,17
43	38	0,05	20,61	47,64	18,74	0,14	11,77	н.о.	0,04	98,99	55,45	60,79
44	39	0,04	21,12	47,83	18,66	0,14	12,01	н.о.	0,04	99,85	55,95	60,31
45	41	0,01	20,87	47,10	19,71	0,15	11,61	н.о.	0,04	99,49	54,51	60,22
46	42	0,04	19,80	47,66	20,77	0,17	11,24	н.о.	0,06	99,74	53,06	61,76
47	43	0,04	19,72	49,06	19,21	0,15	11,95	н.о.	0,05	100,18	55,85	62,53
48	44	0,01	20,55	47,93	19,82	0,15	11,59	н.о.	0,05	100,11	54,26	61,01
49	45	н.о.	21,37	46,41	20,82	0,16	10,94	н.о.	0,05	99,75	51,50	59,30
50	46	0,02	21,50	46,04	21,11	0,17	11,03	н.о.	0,05	99,92	51,72	58,96

Примечание. Из перидотитов Хултурского (1–26) и Фестивального (27–50) массивов. Mg# = Mg × 100/(Mg + Fe²⁺), Cr# = Cr × 100/(Cr + Al) (ф. ед.); н.о. – компонент не определен.

Note. From peridotites of the Hultursky (1–26) and Festivalny (27–50) massifs. Mg × 100/(Mg + Fe²⁺), Cr# = Cr × 100/(Cr + Al) (f. e.); н.о. – component not defined.

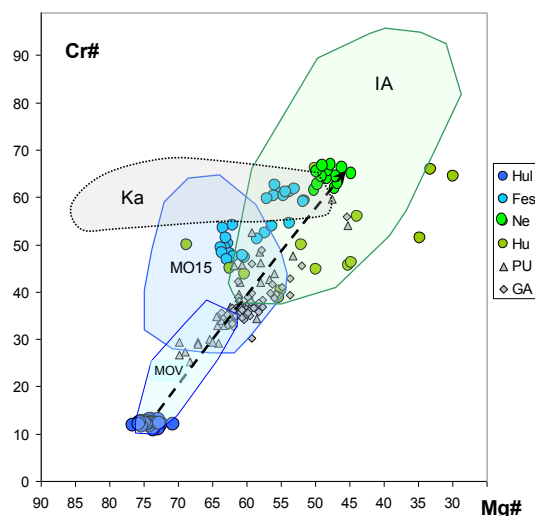


Рис. 4. Составы хромшпинелидов из ультрабазитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна
 Хромшпинелиды: из клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского (Hul, скважина 10367) и Фестивального (Fes) массивов; из серпентинизированных ультрабазитов Немчиновского (Ne) массива; из ультрабазитов (апогарцбургитовые серпентиниты) скважины 10368 на Хултурском массиве (Hu); из перидотитов (гарцбургиты) офиолитов Полярного Урала (PU) и Горного Алтая (GA). Поля хромшпинелидов: из апогарцбургитовых серпентинитов Кальчинского (Ka) массива (Западная Сибирь); из перидотитов (гарцбургиты) фундамента островных дуг и глубоководных желобов (IA), районов разломов 15°20' (MO15) и Вима (MOV) в Срединно-Атлантическом хребте. Cr# = Cr × 100 / (Cr + Al). Mg# = Mg × 100 / (Mg + Fe). Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Паланджан, 1992; Симонов и др., 1999, 2012; Белоусов, 2012; Куликова, 2018; Brunelly et al., 2006]

Fig. 4. Compositions of Cr-spinels from ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin
 Chromium spinels: from clinopyroxene containing peridotites of Hultursky (Hul, well 10367) and of Festivalny (Fes) massifs; from serpentinized ultrabasic rocks of the Nemchinovsky (Ne) massif; from ultrabasic rocks (apogarczburgite serpentinites) from well 10368 (Hu) of the Hultursky massif; from peridotites (harzburgites) of ophiolites of the Polar Urals (PU) and Gorny Altai (GA). Fields of Cr-spinels: from apogarczburgite serpentinites of the Kalchinsky (Ka) massif (West Siberia); from peridotites (harzburgites) of the basement of island arcs and deep-water troughs (IA), of 15°20' (MO15) and Vema (MOV) Fracture Zone regions on the Mid-Atlantic Ridge. Cr # = Cr × 100 / (Cr + Al). Mg # = Mg × 100 / (Mg + Fe). The figure is built on the basis of original data using information from works [Palandzhan, 1992; Simonov et al., 1999, 2012; Belousov, 2012; Kulikova, 2018; Brunelly et al., 2006]

В целом составы хромшпинелидов свидетельствуют о том, что эволюция ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна происходила (так же как и в случае типичных офиолитовых ассоциаций Урала и Сибири) при смене геодинамической ситуации от океанической до островодужной. При этом клинопироксен содержащие парагенезисы формировались как в начале (океан), так и в конце (островная дуга) истории развития ультрабазитов.

Оливины, занимающие существенную часть клинопироксен содержащих перидотитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна, различаются между собой по значениям форстеритового

компонента, показывая более магнезиальный характер минералов Фестивального массива по сравнению с данными по Хултурскому (табл. 3).

На диаграмме NiO–Fo оливины из перидотитов Хултурского массива перекрываются данными по оливинам из гарцбургитов офиолитов Полярного Урала и находятся в непосредственной близости к оливинам из перидотитов зоны разлома 15°20' (СХ) и офиолитов Горного Алтая. При этом оливины Фестивального массива располагаются полностью в поле минералов из гипербазитов района разлома 15°20' в тесной ассоциации с оливинами из ультраосновных пород офиолитов Горного Алтая (рис. 5).

Таблица 3

Представительные анализы оливинов из клинопироксен содержащих перидотитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна, мас. %

Table 3

Representative analyzes of olivines from clinopyroxene containing peridotites of the basement of the West Siberian sedimentary basin, wt. %

№ п.п.	№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Fo
1	1/1	41,07	0,01	н.о.	0,01	9,71	0,16	49,33	0,01	0,37	100,67	89,56
2	1/1А	41,15	0,01	н.о.	0,01	10,17	0,21	48,35	0,01	0,36	100,25	88,92
3	1/1Б	40,80	0,01	н.о.	0,02	10,18	0,22	47,07	0,02	0,31	98,63	88,66
4	1/1В	40,75	0,01	н.о.	0,02	9,70	0,15	48,25	0,01	0,35	99,22	89,40
5	1/1-Г	41,10	0,01	н.о.	0,02	9,51	0,15	49,83	0,01	0,33	100,96	89,89
6	1-Е	41,02	0,01	н.о.	0,01	9,70	0,13	49,29	0,01	0,33	100,51	89,62
7	1-Е	40,99	0,01	н.о.	н.о.	9,88	0,14	49,22	0,01	0,35	100,60	89,43
8	1-Е	40,75	н.о.	н.о.	0,01	9,85	0,15	48,79	0,02	0,32	99,88	89,38
9	0,50	39,98	0,01	н.о.	0,02	9,83	0,15	48,19	0,02	0,33	98,53	89,27
10	1/2-1	41,18	0,01	н.о.	0,00	9,73	0,16	49,15	0,02	0,32	100,56	89,56
11	1/3	40,34	0,01	н.о.	0,11	9,72	0,17	48,45	0,02	0,34	99,15	89,40
12	1/3А	40,19	0,01	н.о.	0,02	9,94	0,15	48,30	0,01	0,34	98,95	89,19
13	2-А	41,05	н.о.	н.о.	0,02	9,86	0,15	49,27	0,03	0,30	100,68	89,46
14	2-Б	40,53	0,01	н.о.	0,03	9,93	0,16	48,56	0,03	0,33	99,58	89,23
15	2-Б	39,89	н.о.	н.о.	0,02	9,79	0,15	47,95	0,04	0,31	98,15	89,25
16	2/3	40,54	0,01	н.о.	0,02	9,72	0,15	48,39	0,02	0,31	99,15	89,43
17	2/2	41,16	0,01	н.о.	0,03	9,93	0,16	48,90	0,01	0,33	100,53	89,32
18	2/2А	40,97	н.о.	н.о.	0,01	9,83	0,14	48,91	0,01	0,32	100,19	89,44
19	16	40,83	0,02	0,009	0,02	8,31	0,15	49,52	0,02	0,37	99,24	90,89
20	17	40,77	0,01	0,008	н.о.	8,24	0,13	50,42	0,01	0,36	99,94	91,14
21	18	40,66	н.о.	0,013	н.о.	8,30	0,13	50,50	0,01	0,36	99,98	91,10
22	21	40,99	н.о.	0,026	0,01	8,26	0,12	49,82	0,02	0,34	99,59	91,04
23	23	40,84	н.о.	0,011	н.о.	8,48	0,12	49,58	0,03	0,37	99,43	90,76
24	27	41,28	0,02	0,017	н.о.	8,58	0,13	48,91	0,03	0,36	99,32	90,56
25	29	40,95	0,01	0,015	0,03	8,38	0,13	49,65	0,03	0,36	99,53	90,88
26	30	41,00	н.о.	0,004	0,05	8,15	0,13	49,77	0,02	0,36	99,48	91,11
27	37	41,19	0,01	0,004	0,02	8,65	0,14	49,26	0,02	0,36	99,65	90,55
28	39	40,66	н.о.	0,017	0,01	8,39	0,12	49,69	0,03	0,36	99,28	90,87
29	42	40,71	н.о.	0,014	0,02	8,52	0,13	49,42	0,02	0,36	99,20	90,70
30	67	41,20	0,01	0,029	0,01	8,45	0,13	49,32	0,02	0,36	99,52	90,77
31	77	41,15	н.о.	0,009	н.о.	8,94	0,15	49,21	0,01	0,36	99,84	90,27
32	78	41,10	н.о.	0,006	0,01	8,98	0,15	48,89	0,02	0,34	99,50	90,18
33	79	40,97	н.о.	0,012	0,01	8,96	0,14	49,09	0,01	0,35	99,54	90,25
34	82	40,52	0,01	0,023	0,01	8,83	0,16	49,61	0,00	0,35	99,51	90,45
35	84	40,81	н.о.	0,005	0,01	8,75	0,15	49,43	0,03	0,36	99,55	90,47
36	85	40,76	н.о.	0,014	0,01	8,76	0,12	49,02	0,01	0,35	99,04	90,44
37	87	41,51	н.о.	0,031	0,01	8,80	0,14	48,88	0,03	0,35	99,76	90,33
38	89	40,99	0,01	0,021	0,03	8,56	0,14	49,65	0,02	0,38	99,80	90,68
39	91	41,50	н.о.	0,016	н.о.	8,13	0,13	49,13	0,01	0,39	99,31	91,01
40	93	40,59	н.о.	0,003	0,02	8,82	0,15	49,73	0,04	0,35	99,70	90,45
41	94	40,52	н.о.	0,014	н.о.	8,69	0,14	49,79	0,03	0,37	99,55	90,59
42	96	41,11	н.о.	0,022	0,02	8,91	0,15	49,02	0,02	0,37	99,64	90,24

№ п.п.	№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Fo
43	98	41,09	н.о.	0,010	н.о.	8,80	0,12	49,42	н.о.	0,36	99,81	90,48
44	99	40,69	0,01	0,019	н.о.	8,77	0,15	49,83	0,01	0,38	99,85	90,52
45	105	40,85	0,01	0,014	0,03	8,94	0,14	49,20	0,02	0,35	99,56	90,27
46	106	40,75	0,01	0,007	0,01	8,91	0,16	49,14	0,02	0,36	99,37	90,26

Примечание: Из перидотитов Хултурского (1–18) и Фестивального (19–46) массивов. Fo – значения форстеритового компонента; н.о. – компонент не определен.

Note: From peridotites of the Hultursky (1–18) and Festivalny (19–46) massifs. Fo – forsterite component; н.о. – component not defined.

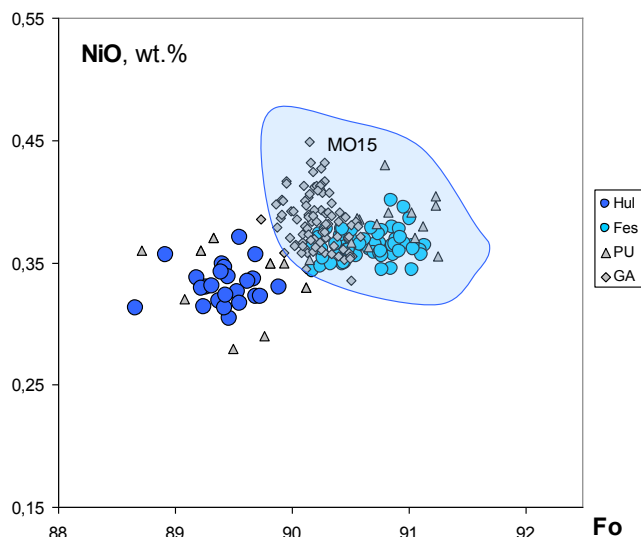


Рис. 5. Составы оливинов из ультрабазитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна

Оливины: из клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского (Hul, скважина 10367) и Фестивального (Fes) массивов; из перидотитов (гарцбургиты) офиолитов Полярного Урала (PU) и Горного Алтая (GA). MO15 – поле оливинов из перидотитов (гарцбургиты) зоны разлома 15°20' в Срединно-Атлантическом хребте. Fo – содержание форстеритового компонента в оливинах. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Савельева, 1987; Гончаренко, 1989; Симонов и др., 1999, 2012; Белоусов, 2012; Куликова, 2018]

Fig. 5. Compositions of olivines from ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin

Olivines: from clinopyroxene containing peridotites of Hultursky (Hul, well 10367) and of Festivalny (Fes) massifs; from peridotites (harzburgites) of ophiolites of the Polar Urals (PU) and Gorny Altai (GA). MO15 – field of olivines from peridotites (harzburgites) of the 15°20' Fracture Zone region on the Mid-Atlantic Ridge. Fo – content of forsterite component in olivine. The figure is built on the basis of original data using information from the works [Savelyeva, 1987; Goncharenko, 1989; Simonov et al., 1999, 2012; Belousov, 2012; Kulikova, 2018]

Амфиболы, преимущественно развивающиеся по клинопироксенам в пикритовых порфиритах Чкаловской площади, относятся в основном к кальциевым амфиболам. В отдельных случаях наблюдаются натриево-кальциевые амфиболы с $N_{av} = 0,68$. Благодаря повышенному (4–5 мас. %) содержанию титана большинство минералов отвечает керсутитам.

Особенности распределения редкоземельных элементов в минералах и породах из ультраосновных комплексов

Особенности поведения редкоземельных элементов при формировании ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна рассмотрены при изучении их содержания в кли-

нопироксенах (табл. 4) из ультрабазитов и в самих клинопироксен содержащих породах (табл. 5).

В случае **клинопироксенов** из перидотитов Хултурского массива спектры распределения редкоземельных элементов обладают резким положительным наклоном с явным истощением легкими компонентами и по форме близки к графикам пироксенов в ультрабазитах из современных и древних (офиолиты) океанических структур. Они практически совпадают с полем клинопироксенов из ультраосновных пород зоны разлома Вима (САХ) и имеют определенные отличия от данных по минералам из ультрабазитов офиолитовых ассоциаций Полярного Урала в области тяжелых лантаноидов (рис. 6).

Для **клинопироксен содержащих перидотитов** Хултурского массива характерны существенно мень-

шие содержания редкоземельных элементов, чем в пикритах (см. табл. 5). На диаграмме распределения редкоземельных элементов в ультрабазитах фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна спектры клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского массива имеют положительный наклон [Симонов, Медведев и др., 2013], близки по форме к графикам нормальных базальтов срединно-океани-

ческих хребтов и располагаются в поле абиссальных (океанических) перидотитов. При этом они существенно отличаются от данных по перидотитам из Идзу-Бонин-Марианской островодужной системы (Тихий океан) и из офиолитов Горного Алтая, имеющих бонинитоподобные спектры, с которыми фактически совпадают графики апогарцбургитовых серпентинитов Кальчинского массива (рис. 7).

Таблица 4

Содержания редкоземельных элементов в клинопироксенах из перидотитов Хултурского массива, ppm

Table 4

Content of rare earth elements in clinopyroxenes from peridotites of the Hultursky massif, ppm

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
La	0,03	0,05	0,09	0,03	0,02	0,05	0,03
Ce	0,15	0,22	0,40	0,15	0,12	0,13	0,14
Nd	1,14	1,07	0,97	1,06	1,10	1,05	1,08
Sm	0,98	1,10	0,93	0,93	1,05	1,09	1,00
Eu	0,42	0,44	0,38	0,39	0,43	0,43	0,44
Gd	1,91	1,60	1,61	1,62	1,73	1,73	1,74
Dy	2,53	2,50	2,49	2,34	2,45	2,15	2,42
Er	1,96	1,93	1,98	1,88	1,88	1,90	1,81
Yb	1,99	1,81	1,83	1,61	1,76	1,71	1,88

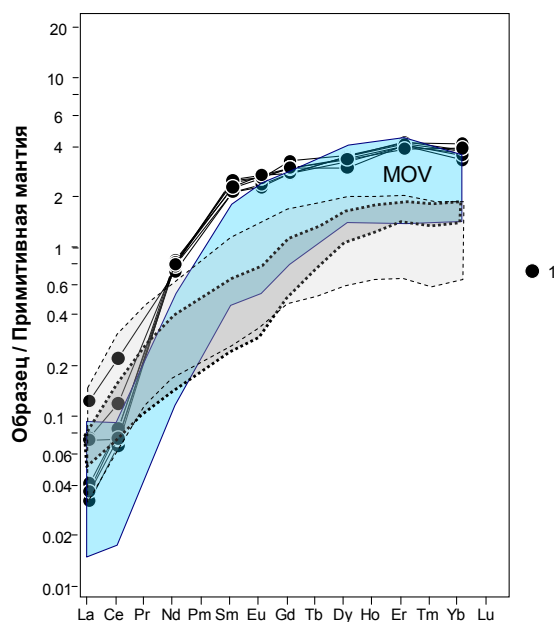


Рис. 6. Распределение редкоземельных элементов (нормированных к примитивной мантии) в клинопироксенах из ультрабазитов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна

1 – клинопироксены из клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского массива. MOV – клинопироксены из перидотитов зоны разлома Вима (САХ). Серым цветом показаны поля клинопироксенов из перидотитов (точечные границы) и клинопироксенитов (пунктирные границы) из офиолитов Полярного Урала. Значения элементов нормированы к составу примитивной мантии согласно [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Симонов и др., 2012; Белоусов, 2012; Brunelli et al., 2006]

Fig. 6. Distribution of rare earth elements (normalized to the primitive mantle) in clinopyroxenes from ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin

1 – clinopyroxenes from clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky massif. MOV – clinopyroxenes from the Vema Fracture Zone region (Mid-Atlantic Ridge) peridotites. The fields of clinopyroxenes from peridotites (pointed boundaries) and clinopyroxenites (dotted boundaries) from ophiolites of the Polar Urals are shown in gray. The element values are normalized to the composition of the primitive mantle according to [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. The figure is built on the basis of original data using information from the works [Simonov et al., 2012; Belousov, 2012; Brunelli et al., 2006]

Содержания редкоземельных элементов в ультрабазитах фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна, ppm

Content of rare earth elements in ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin, ppm

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
La	0,10	0,06	0,15	0,03	0,04	0,03	4,50	5,00	5,20	5,10	4,30
Ce	0,22	0,13	0,34	0,11	0,08	0,05	9,80	10,30	11,30	10,20	8,80
Pr	0,03	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	1,36	1,39	1,53	1,33	1,16
Nd	0,20	0,15	0,28	0,16	0,04	0,02	5,60	5,70	6,30	5,50	5,00
Sm	0,10	0,09	0,11	0,11	0,01	0,01	1,50	1,63	1,66	1,44	1,38
Eu	0,04	0,03	0,03	0,05	0,00	0,00	0,49	0,55	0,58	0,51	0,43
Gd	0,22	0,16	0,18	0,22	0,02	0,01	1,82	1,83	1,8	1,75	1,63
Tb	0,05	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,31	0,3	0,3	0,29	0,27
Dy	0,36	0,27	0,29	0,36	0,02	0,01	1,85	1,79	1,91	1,67	1,64
Ho	0,09	0,06	0,07	0,09	0,00	0,00	0,38	0,37	0,36	0,33	0,33
Er	0,27	0,17	0,21	0,26	0,01	0,01	1,00	1,01	1,05	0,87	0,81
Tm	0,04	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12
Yb	0,31	0,19	0,23	0,28	0,02	0,02	0,95	0,95	0,93	0,75	0,72
Lu	0,05	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,14	0,13	0,13	0,11	0,11

Примечание: 1–4 – клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского массива; 5, 6 – апогарцбургитовые серпентиниты Кальчинского массива; 7–11 – пикритовые порфириды Чкаловской площади.

Note: 1–4 – clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky massif; 5, 6 – apogarzburgite serpentinites of the Kalchinsky massif; 7–11 – picrite porphyrites of the Chkalovsky area.

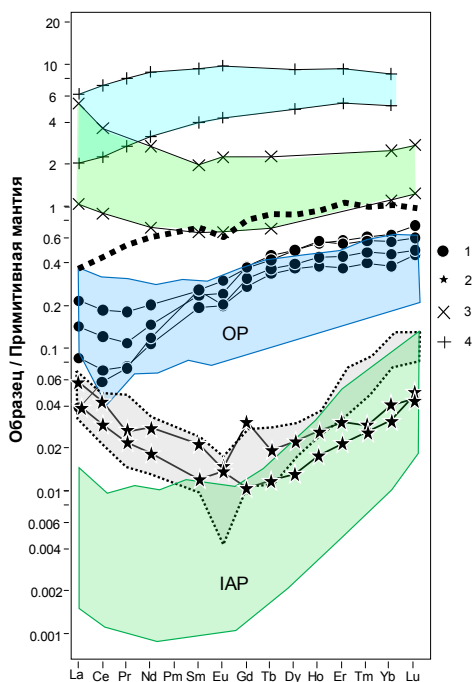


Рис. 7. Распределение редкоземельных элементов (нормированных к примитивной мантии) в ультрабазитах фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна

1 – клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского массива; 2 – апогарцбургитовые серпентиниты Кальчинского массива; 3 – поле бонинитов; 4 – поле нормальных базальтов срединно-океанических хребтов типа N-MORB. Поля ультрабазитов: OP – абиссальные перидотиты, IAP – перидотиты Идзу-Бонин-Марианской островодужной системы (Тихий океан). Точечными линиями показаны поле гарцбургитов (серое) и тренд пироксенитов из офиолитов Горного Алтая. Значения элементов нормированы к составу примитивной мантии согласно [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Добрецов и др., 1985; Шараськин, 1992; Иванов и др., 2009; Симонов и др., 1999, 2012; Горнова, 2011; Симонов и др., 2013; Куликова, 2018; Parkinson et al., 1998; Niu, 2004]

Fig. 7. Distribution of rare earth elements (normalized to the primitive mantle) in ultrabasic rocks of the basement of the West Siberian sedimentary basin

1 – clinopyroxene containing peridotites of the Hultursky massif; 2 – apogarzburgite serpentinites of the Kalchinsky massif; 3 – field of boninites; 4 – field of normal basalts of mid-oceanic ridges of the N-MORB type. Fields of ultrabasic rocks: OP – abyssal peridotites, IAP – peridotites of the Izu-Bonin-Mariana island arc system (Pacific ocean). The pointed lines show the harzburgite field (gray) and the pyroxenite trend from the ophiolites of Gorny Altai. The element values are normalized to the composition of the primitive mantle according to [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. The figure is built on the basis of original data using information from works [Dobretsov et al., 1985; Sharaskin, 1992; Ivanov et al., 2009; Simonov et al., 1999, 2012; Gornova, 2011; Simonov et al., 2013; Kulikova, 2018; Parkinson et al. 1998; Niu, 2004]

В целом, как и в случае хромшпинелидов, мы видим эволюцию свойств ультрабазитов Западной Сибири от океанических (клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского массива) к островодужным (апогарбургитовые серпентиниты Кальчинского массива). Для перидотитов Хултурского массива данные как по клинопироксенам, так и по породе в целом свидетельствуют об их океаническом (срединно-океанические хребты) происхождении.

Пикритовые порфириды Чкаловской площади обладают спектрами распределения редкоземельных элементов с отрицательным наклоном и заметным обогащением легкими лантаноидами. Они находятся в поле обогащенных легкими лантаноидами пикритов Камчатки и близки к полю пикритов Гавайских островов, а также похожи на графики расплавленных

включений в оливинах из пикритов гайота Кастор (Тихий океан), отличаясь от последних в общем меньшими содержаниями элементов (рис. 8).

В целом результаты изучения особенностей распределения редкоземельных элементов подтверждают информацию, полученную при анализе минералов. Прежде всего редкоземельные элементы (как и данные по клинопироксенам) отчетливо свидетельствуют об участии магматических систем срединно-океанических хребтов при формировании клинопироксен содержащих перидотитов, в отличие от пикритов, для которых характерны островодужные и плюмовые расплавы. Также редкоземельные элементы (как и хромшпинелиды) показывают эволюцию характеристик офиолитовых ультрабазитов Западной Сибири от океанических к раннеостроводужным (с бонинитами).

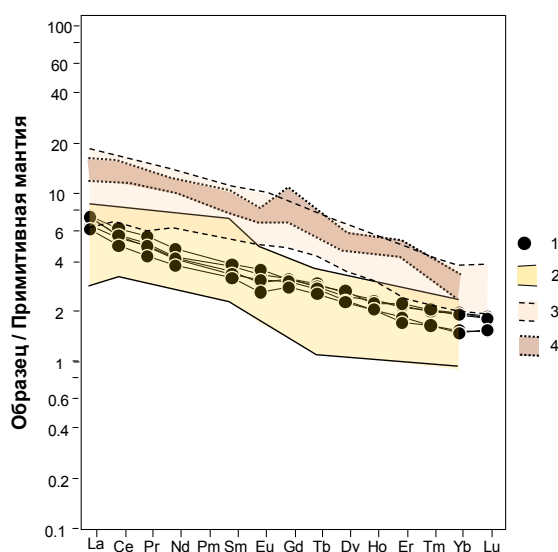


Рис. 8. Распределение редкоземельных элементов (нормированных к примитивной мантии) в пикритах фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна

1 – пикритовые порфириды скважины Чкаловская 11; 2 – поле обогащенных легкими лантаноидами пикритов Камчатки; 3 – поле пикритов Гавайских островов; 4 – поле расплавленных включений в оливинах из пикритов гайота Кастор (Тихий океан). Значения элементов нормированы к составу примитивной мантии согласно [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием информации из работ [Симонов и др., 2004, 2020; Давыдова, 2014; Перепелов, 2014; GEOROC]

Fig. 8. Distribution of rare earth elements (normalized to primitive mantle) in picrites of the basement of the West Siberian sedimentary basin

1 – picrite porphyrites of the Chkalovsky 11 well; 2 – field of Kamchatka picrites enriched with light lanthanides; 3 – picrite field of the Hawaiian Islands; 4 – field of melt inclusions in olivines from picrites of Castor guyot (Pacific ocean). The element values are normalized to the composition of the primitive mantle according to [McDonough et al., 1992; Rollinson, 1993]. The figure is built on the basis of original data using information from works [Simonov et al., 2004, 2020; Davydova, 2014; Perepelov, 2014; GEOROC]

***PT*-параметры кристаллизации клинопироксен содержащих ультраосновных комплексов**

Учитывая особенности клинопироксен содержащих ультрабазитов, выражающиеся прежде всего в наличии первичных минералов, *PT*-условия кристаллизации ультраосновных пород из фундамента Западно-

Сибирского осадочного бассейна были выяснены на основе анализа составов клинопироксенов, оливинов, хромшпинелидов и амфиболов с использованием расчетного моделирования.

Офиолитовые ультрабазиты. Расчеты по пироксеновым термометрам и барометрам [Перчук, 1980; Perkins, Newton, 1980; Brey et al., 1990; Slavin-

skiy, 1993; Taylor, 1998; Nimis, Taylor, 2000; Ащепков, 2001] свидетельствуют, что клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского массива формировались при температурах около 1 100–1 220 °С и давлении 15–21 кбар [Симонов и др., 2012]. Близкие параметры образования этих ультрабазитов были получены ранее: 1 109–1 206 °С, 10,5 кбар [Иванов и др., 2009].

Приведенные выше температуры вполне обычны для кристаллизации клинопироксенов, в то время как давления 15–21 кбар (что соответствует глубинам для базальтовых систем около 50–70 км) являются весьма завышенными для магматизма срединно-океанических хребтов, в условиях которых (судя по составам ультрабазитов и слагающих их минералов) формировались клинопироксен содержащие перидотиты Хултурского и Фестивального массивов. В частности, генерация первичных магм для расплавов типа N-MORB в зонах разломов 15°20' и Вима в Срединно-Атлантическом хребте происходила на глубинах около 40–50 км (12–15 кбар) [Симонов и др., 1999, 2001]. Соответственно, кристаллизация минералов из этих расплавов должна идти на более высоких уровнях – менее 12 кбар. В связи с этим для уточнения параметров формирования клинопироксен содержащих перидотитов были использованы программы COMAGMAT [Ariskin, Varmina, 2004] и PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011].

Для моделирования по программе COMAGMAT состав исходного расплава был оценен на основе данных по соотношениям первичных минералов (оливин, ортопироксен, клинопироксен) в шлифах клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского и Фестивального массивов. Были рассмотрены различные соотношения минералов, характерные для разных шлифов. Наиболее непротиворечивые результаты моделирования получены при использовании следующих составов высокомагнезиальных расплавов: Хултурского (34,6 мас. % MgO, оценен по шлифу с соотношениями: оливин 39 % + ортопироксен 38 % + клинопироксен 24 %) и Фестивального (36,1 мас. % MgO, оценен по шлифам со средними соотношениями: оливин 42 % + ортопироксен 32 % + клинопироксен 26 %) массивов. Расчеты по программе COMAGMAT проводились для равновесной декомпрессионной кристаллизации от 10 кбар. Буфер QFM. $dp/dF = 0,1 \text{ mol}$. Содержание воды – 0,2 мас. %, согласно данным по нормальным магматическим системам типа N-MORB в Срединно-Атлантическом хребте [Симонов и др., 1999]. В результате было выяснено, что оливины Хултурского массива начинали кристаллизоваться при 1 560–1 555 °С (9,7–9,4 кбар), а клинопироксены – 1 340–1 300 °С (4–3,7 кбар). При этом оливины Фестиваль-

ного массива кристаллизовались начиная с 1 470 °С (6,6 кбар), а клинопироксены – около 1 340 °С (2,6 кбар).

Расчеты ликвидусных параметров образования минералов с использованием программы PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011] на основе состава расплава начала кристаллизации клинопироксена, полученного с помощью COMAGMAT, показали, что максимальные температуры формирования клинопироксенов Хултурского массива при 4–3,5 кбар составляли 1 310–1 270 °С. Параметры ликвидусной кристаллизации клинопироксенов Фестивального массива – 1 355–1 325 °С при 2,5 кбар. Эти данные подтверждают приведенные выше результаты моделирования по программе COMAGMAT условий кристаллизации рассмотренных клинопироксенов.

Расчеты по программе WinPLtb [Yavuz, Yildirim, 2018] с использованием данных по расплавам начала образования клинопироксена, полученных с помощью COMAGMAT, и информации по составам пироксенов показали возможность кристаллизации минерала при более низких температурах: 1 220–1 100 °С в случае Хултурского массива и около 1 270 °С для Фестивального.

В целом имеющиеся в настоящее время данные свидетельствуют о том, что перидотиты Хултурского массива формировались в ходе последовательной (падение давления от 9,7 до 3,5 кбар) магматогенной кристаллизации минералов: оливин (начало образования 1 560–1 555 °С) и клинопироксен (1 340–1 270–1 220–1 100 °С). Образование перидотитов Фестивального массива начиналось при более низких параметрах (ликвидусная кристаллизация оливина происходила при 1 470 °С и 6,6 кбар). При этом клинопироксены кристаллизовались при относительно более высоких температурах (1 355–1 270 °С) и пониженных давлениях – около 2,5 кбар.

Использование составов оливинов и сосуществующих с ними хромшпинелидов дало возможность с помощью минералогического (Ol-Sp) геотермометра [Wan et al., 2008; Coogan et al., 2014] выяснить, что формирование клинопироксен содержащих перидотитов Фестивального массива могло происходить и при достаточно низких температурах – 1165–1005 °С. Эти параметры характеризуют, наиболее вероятно, субсолидусный этап установления минерального равновесия ультрабазитов.

Пикритовые порфириты. Основой для выяснения *PT*-параметров кристаллизации пикритовых порфиритов послужили данные по составам первичных минералов – клинопироксена и амфибола.

Использование клинопироксеновых термобарометров [Перчук, 1980; Mercier, 1980; Lindnsley, Dixon, 1983] показывает широкий температурный диапазон (1 040–1 270 °С) кристаллизации пироксена при ми-

нимальных давлениях (0,4–1,5 кбар), а также высокие температуры (1 293–1 318 °С) при давлениях 4,5–4,7 кбар [Симонов и др., 2020].

Расчеты по программе WinPLtb [Yavuz, Yildirim, 2018] показали, что можно выделить основной уровень *PT*-параметров кристаллизации клинопироксенов из пикритовых порфиритов Чкаловской площади: 6,9–8,1 кбар, 1 275–1 300 °С. Эти параметры протестированы с помощью программ PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011] и COMAGMAT [Ariskin, Varmina, 2004]. При расчетном моделировании были использованы следующие исходные характеристики магматической системы: состав наименее измененного пикритового порфирита (С-11-15, с MgO 24,14 мас. %), в котором были изучены клинопироксены; содержание воды – 0,6 мас. % (согласно данным по расплавленным включениям в минералах из ультраосновных пород офиолитов Южной Тувы); буфер QFM.

Расчеты по программе PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011] показали, что ликвидусная кристаллизация клинопироксена из пикритового расплава при давлении 7 кбар происходила в диапазоне 1 275–1 325 °С. Использование программы COMAGMAT [Ariskin, Varmina, 2004] свидетельствует о равновесии авгит–расплав при температуре около 1 300 °С (при давлении 7 кбар и пикритовом составе расплава). Таким образом, результаты моделирования по этим программам хорошо согласуются с рассчитанными по [Yavuz, Yildirim, 2018] данными по *PT*-параметрам кристаллизации клинопироксенов в глубинных условиях. Расчеты по тем же программам (PETROLOG, COMAGMAT) в условиях максимальных (7–8 кбар) давлений показало, что оливин пикритовых порфиритов кристаллизовался при температурах 1 490–1 540 °С [Симонов и др., 2020].

С помощью программы [Ridolfi, Renzulli, 2012] выяснено, что кристаллизация амфиболов пикритовых порфиритов происходила в основном при давлениях 4,5–6,1 кбар и температурах 1 060–1 105 °С [Симонов и др., 2020].

Последние исследования пикритовых порфиритов Чкаловской площади показали, что, вероятнее всего, они формировались в островодужных палеогеодинамических условиях, близких к системам Камчатки (см. данные, приведенные выше, а также в статье [Симонов и др., 2020]). В связи с этим логичным является проведение сравнительного анализа с *PT*-параметрами магматических систем вулканов Камчатки, при участии которых формировались ультрабазиты. В частности, имеются данные о том, что минералы перидотитов Авачинского вулкана кристаллизовались при давлениях до 13,8 кбар в промежуточной камере, находящейся на глубине 30–40 км [Добрецов и др., 2017]. Соответственно, было вы-

полнено расчетное моделирование с помощью программы COMAGMAT [Ariskin, Varmina, 2004] кристаллизации расплава, начиная с давления 13 кбар. Расчеты проводились для равновесной декомпрессионной кристаллизации расплава состава пикритового порфирита образца С-11-18 (MgO 21,86 мас. % и CaO 8,02 мас. %) [Симонов и др., 2020]. Буфер QFM. $dP/dF = 0,1$ mol. Содержание воды – 0,6 мас. % В результате выяснено, что оливины начинали кристаллизоваться при 1 495 °С (12,8 кбар), а клинопироксены – 1 245 °С (7,6 кбар).

Расчеты ликвидусных параметров образования минералов пикритов Чкаловской площади с использованием программы PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011] на основе состава расплава начала кристаллизации клинопироксена, полученного с помощью COMAGMAT, показали, что температуры формирования клинопироксена при 7,6 кбар составляют 1 312–1 256–1 215 °С. Эти данные подтверждают приведенные выше результаты моделирования по программе COMAGMAT декомпрессионной кристаллизации, начиная с 13 кбар.

В целом, с учетом имеющейся в настоящее время информации ([Симонов и др., 2020] и данные настоящей статьи) можно сделать вывод, что пикритовые порфириты Чкаловской площади формировались при последовательной кристаллизации минералов: оливин (1 540–1 490 °С, 12,8–7 кбар) – клинопироксен (1 315–1 215 °С, 8–4,5 кбар) – амфибол (1 105–1 060 °С, 6,1–4,5 кбар).

Выводы

1. Проведенные исследования клинопироксенов из перидотитов Хултурского и Фестивального массивов свидетельствуют, что их кристаллизация происходила при участии магматических систем, близких по своим свойствам к расплавам современных океанических хребтов, а образование клинопироксенов из пикритов Чкаловской площади связано с островодужно-плюмовым магматизмом. При этом клинопироксены из перидотитов близки к данным по минералам из ультрабазитов эталонных офиолитов (Полярный Урал).

2. Анализ состава хромшпинелидов показал, что эволюция ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна происходила при смене геодинамической ситуации от океанической до островодужной. При этом клинопироксен содержащие парагенезисы формировались как в начале (океан), так и в конце (островная дуга) истории развития ультрабазитов.

3. Результаты изучения особенностей распределения редкоземельных элементов в ультрабазитах

(как и данные по минералам) свидетельствуют об участии магматических систем срединно-океанических хребтов при формировании клинопироксен содержащих перидотитов Хултурского массива, в отличие от пикритовых порфиритов Чкаловской площади, для которых характерны островодужные и плюмовые расплавы.

4. В целом исследования палеозойских клинопироксен содержащих ультраосновных комплексов фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна свидетельствуют об участии магматических си-

стем (близких к расплавам срединно-океанических хребтов) в ходе последовательной (9,7–2,5 кбар) кристаллизации оливинов (1 560–1 470 °С) и клинопироксенов (1 355–1 100 °С) при формировании перидотитов Хултурского и Фестивального массивов. Образование пикритов Чкаловской площади происходило при падении *PT*-параметров в ходе кристаллизации оливина (1 540–1 490 °С, 12,8–7 кбар), клинопироксена (1 315–1 215 °С, 8–4,5 кбар) и амфибола (1 105–1 060 °С, 6,1–4,5 кбар) из островодужных и плюмовых расплавов.

Список источников

- Ашепков И.В.** Клинопироксеновый барометр для глубинных пород // XIV Российское совещание по экспериментальной минералогии, 2–4 октября 2001 г. : тез. докл. Черноголовка, 2001. С. 250.
- Белоусов И.А.** Петрология и геохимия пород мантийного разреза Войкаро-Сыньинского массива, Полярный Урал : дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2012. 268 с.
- Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Дещеня Н.П.** Палеозой и триас Западной Сибири (комплексные исследования) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1-2. С. 120–143.
- Гончаренко А.И.** Деформации и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1989. 404 с.
- Горнова М.А.** Геохимия и петрология надсубдукционных перидотитов : дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Иркутск, 2011. 300 с.
- Давыдова М.Ю.** Происхождение и эволюция магм вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки) : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2014. 15 с.
- Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Медведев В.Н., Скляров Е.В.** Офиолиты и олистостромы Восточного Саяна // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск : Наука, 1985. С. 34–58.
- Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Кулаков И.Ю., Котляров А.В.** Проблемы фильтрации флюидов и расплавов в зонах субдукции и общие вопросы теплофизического моделирования в геологии // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 5. С. 701–722.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Федоров Ю.Н.** Офиолиты доюрского основания Южно-октябрьской площади приуральской части Западно-Сибирского мегабассейна // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности : Всерос. науч. конф. Тюмень ; Новосибирск : ИНГ СО РАН, 2008. С. 80–82.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Амон Э.О., Ерохин Ю.В., Бороздина Г.Н.** О возрасте и составе офиолитов фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Доклады Академии наук. 2007. Т. 413, № 4. С. 535–540.
- Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В.** История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 4. С. 484–501.
- Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. и др.** Основные черты строения доюрского фундамента Шаимского нефтегазоносного района // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск : ИздатНаукаСервис, 2003. Т. 1. С. 102–113.
- Королюк В.Н., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Нигматулина Е.Н.** О точности электроннозондового анализа породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 3. С. 221–225.
- Кузоватов Н.И., Татьяна Г.М., Саев В.И.** О новой находке пикритовых порфиритов на юго-востоке Западно-Сибирской плиты // Актуальные вопросы геологии Сибири : тез. докл. науч. конф., посвящ. 100-летию открытия Том. гос. ун-та [22–24 нояб. 1988 г. / отв. ред. А.И. Гончаренко. Томск, 1988. Т. 1. С. 129–130.
- Кузоватов Н.И., Саев В.И., Татьяна Г.М.** Магматизм фундамента юго-восточной части Западно-Сибирской плиты (Томская область) // Геология и экология. 1996. Т. 1. С. 88–98.
- Куликова А.В.** Условия формирования базит-ультрабазитовых и метабазитовых комплексов Курайской аккреционной зоны (Горный Алтай) : дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2018. 173 с.
- Паланджан С.А.** Типизация мантийных перидотитов по геодинамическим обстановкам формирования. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1992. 104 с.
- Перепелов А.Б.** Кайнозойский вулканизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Иркутск, 2014. 41 с.
- Перчук Л.Л.** Пироксеновый барометр и пироксеновые геотермы // Доклады Академии наук СССР. 1980. Т. 233, № 6. С. 1196–2000.
- Савельева Г.Н.** Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М. : Наука, 1987. 246 с.
- Симонов В.А., Глазырин Ю.Е., Ковязин С.В.** Параметры магматических и гидротермальных систем в западной части трансформного разлома Вима (Центральная Атлантика) // Металлогения древних и современных океанов – 2001. История месторождений и эволюция рудообразования. Миасс : ИМин УрО РАН, 2001. С. 77–84.
- Симонов В.А., Ковязин С.В., Колобов В.Ю.** Физико-химические параметры магматических систем гайота Кастор (Тихий океан) // Доклады Академии наук. 2004. Т. 398, № 4. С. 529–532.
- Симонов В.А., Шелепаев Р.А., Котляров А.В.** Физико-химические параметры формирования расслоенного габбро-гипербазитового комплекса в офиолитах Южной Тувы // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные

с ними месторождения : материалы Третьей междунар. конф. Екатеринбург : Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2009. Т. 2. С. 195–198.

Симонов В.А., Иванов К.С., Ступаков С.И., Ерохин Ю.В., Каячев Н.Ф. Мантийные ультрамафитовые комплексы фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного осадочного мегабассейна // *Литосфера*. 2012. № 3. С. 31–48.

Симонов В.А., Филиппов Ю.Ф., Котляров А.В., Сараев С.В., Ступаков С.И. Особенности формирования пикритов в фундаменте Западно-Сибирского нефтегазоносного осадочного бассейна // *Петрология магматических и метаморфических комплексов*. Томск : Изд-во Том. ЦНТИ, 2018. Вып. 10. С. 353–354.

Симонов В.А., Конторович В.А., Ступаков С.И., Филиппов Ю.Ф., Сараев С.В., Котляров А.В. Условия формирования палеозойских пикробазальтовых комплексов фундамента Западно-Сибирской плиты // *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 486, № 5. С. 577–582.

Симонов В.А., Конторович В.А., Котляров А.В., Сараев С.В., Филиппов Ю.Ф., Ступаков С.И. Условия развития раннепалеозойского базальтового и пикритового магматизма Западной Сибири // *Геология и геофизика*. 2020. Т. 61, № 11. С. 1476–1498.

Симонов В.А., Колобов В.Ю., Пейве А.А. Петрология и геохимия геодинамических процессов в Центральной Атлантике. Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1999. 224 с.

Симонов В.А., Клец А.Г., Ступаков С.И., Ковязин С.В. Особенности гипербазитов из фундамента Западно-Сибирской плиты // *Офиолиты: петрология, металлогения и геодинамика : материалы Междунар. науч. конф. Екатеринбург : Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2006. С. 226–228.*

Симонов В.А., Ступаков С.И., Иванов К.С. Составы хромшпинелидов из гипербазитов фундамента западной части Западно-Сибирского бассейна // *Петрология магматических и метаморфических комплексов : материалы Всерос. петрограф. конф. Томск : ЦНТИ, 2007. Вып. 6. С. 137–138.*

Симонов В.А., Клец А.Г., Иванов К.С., Ступаков С.И. Особенности эволюции мантийных палеоокеанических комплексов из фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности : Всерос. науч. конф. Тюмень–Новосибирск : ИНГТ СО РАН, 2008. С. 194–197.*

Симонов В.А., Ступаков С.И., Иванов К.С., Каячев Н.Ф. Перидотиты из фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности : материалы II Всерос. науч. конф., Тюмень, 27–29 апреля 2010. Новосибирск : Гео, 2010. С. 143–146.*

Симонов В.А., Медведев А.Я., Ступаков С.И., Котляров А.В. Геохимические особенности ультраосновных пород фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного осадочного бассейна // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. Иркутск : Ин-т земной коры СО РАН, 2013. Вып. 11. С. 210–212.

Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // *Петрология*. 1996. Т. 4, № 3. С. 228–239.

Ступаков С.И., Симонов В.А., Бочкарев В.С., Клец А.Г., Ковязин С.В., Лукомская К.Г. Особенности хромшпинелидов из гипербазитов офиолитовых ассоциаций фундамента Западно-Сибирской плиты // *Горные ведомости*. 2008. № 1. С. 6–10.

Шараськин А.Я. Тектоника и магматизм окраинных морей в связи с проблемами эволюции коры и мантии. М. : Наука, 1992. 163 с.

Юричев А.Н. Ультрамафиты из фундамента Западно-Сибирской плиты (Томская область) // *Проблемы геологии и освоения недр : тр. XXIII Междунар. симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых*. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2019. Т. 1. С. 132–134.

Юричев А.Н. Акцессорная рудная минерализация из ультрамафитов фундамента Западно-Сибирской плиты (Томская область) // *Новое в познании процессов рудообразования : тр. молодых ученых, посвящ. 90-летию ИГЕМ РАН*. М. : ИГЕМ РАН, 2020. С. 168–171.

Ariskin A.A., Barmina G.S. COMAGMAT: Development of a magma crystallization model and its petrologic applications // *Geochemistry International*. 2004. V. 42 (supp. 1). P. S1–S157.

Brey G.P., Köhler T., Nickel K.G. Geothermobarometry in four-phase lherzolites. I. Experimental results from 10 to 60 kbar // *Journal of Petrology*. 1990. V. 31. P. 1313–1352.

Brunelli D., Seyler M., Cipriani A., Ottolini L., Bonatti E. Discontinuous Melt Extraction and Weak Refertilization of Mantle Peridotites at the Vema Lithospheric Section (Mid-Atlantic Ridge) // *Journal of Petrology*. 2006. V. 47 (4). P. 745–771.

Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N. Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces // *Chemical Geology*. 2014. V. 368. P. 1–10.

Danyushevsky L.V., Plechov P.Yu. Petrolog 3: Integrated software for modeling crystallization processes // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2011. V. 12 (7). Q07021.

GEOROC. URL: <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>

Lindsley D.H., Dixon S.A. Pyroxene thermometry // *Mineralogy*. 1983. V. 68. P. 477–493.

McDonough W.F., Sun S., Ringwood A.E., Jagoutz E., Hofman A.W. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1992. P. 1001–1012. (S.R. Taylor Symposium volume; v. 56).

Mercier J.C.C. Single-pyroxene thermobarometry // *Tectonophysics*. 1980. V. 70. P. 1–37.

Nimis P., Taylor W.R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. V. 139 (5). P. 541–554.

Niu Y. Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath mid-ocean ridges // *Journal of Petrology*. 2004. V. 45 (12). P. 2423–2458.

Parkinson I.J., Pearce J.A. Peridotites from the Izu-Bonin-Mariana forearc (ODP Leg 125): evidence for mantle melting and melt-mantle interaction in a supra-subduction zone setting // *Journal of Petrology*. 1998. V. 39 (9). P. 1577–1618.

Perkins D., Newton R.C. Garnet-pyroxene equilibria in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ (CMAS): prospects for simplified ('T-independent') lherzolite barometry and an eclogite-barometer // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1980. V. 75. P. 291–300.

- Ridolfi F., Renzulli A.** Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 °C and 2.2 GPa // *Contr. Mineral. Petrol.* 2012, V. 163 (5). P. 877–895.
- Rollinson H.R.** Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. London : Longman Scientific and Technical, 1993. 352 p.
- Slavinskiy V.V.** Thermobarometer of xenoliths from deep-seated rocks // *Intern. Geology. Rev.* 1993. V. 35 (1). P. 48–58.
- Taylor W.R.** An experimental test of some geothermometer and geobarometer formulations for upper mantle peridotites with application to the thermobarometry of fertile lherzolite and garnet websterite // *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen.* 1998. V. 172. P. 381–408.
- Wan Z., Coogan L.A., Canil D.** Experimental calibration of aluminum partitioning between olivine and spinel as a Geothermometer // *American Mineralogist.* 2008. V. 93. P. 1142–1147.
- Yavuz F., Yildirim D.K.** Windows program for pyroxene-liquid thermobarometry // *Periodico di Mineralogia.* 2018. V. 87. P. 149–172.

References

- Ashchepkov I.V. *Klinopiroksenovyy barometr dlya glubinykh porod* [Clinopyroxene barometer for deep rocks] // XIV Russian meeting on experimental mineralogy, October 2–4, 2001: Abstracts. report Chernogolovka, 2001. pp. 250. In Russian
- Belousov I.A. *Petrologiya i geokhimiya porod mantiynogo razreza Voykaro-Syn'inskogo massiva, Polyarnyy Ural* [Petrology and geochemistry of rocks in the mantle section of the Voikaro-Syn'insky massif, Polar Urals] Diss. cand. geol.-min. sciences. Moscow: Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS. 2012. 268 p. In Russian
- Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Deshchenya N.P. *Paleozoy i trias Zapadnoy Sibiri (kompleksnyye issledovaniya)* [Paleozoic and Triassic of Western Siberia (comprehensive research)] // *Russian Geology and Geophysics.* 2003. V. 44(1–2). pp. 120–143. In Russian
- Goncharenko A.I. *Deformatsiya i petrostrukturnaya evolyutsiya al'pinotipnykh giperbazitov* [Deformation and petrostructure evolution alpinotype ultrabasites]. Tomsk: Tomsk. Univ., 1989. 404 p. In Russian
- Gornova M.A. *Geokhimiya i petrologiya nadsuduktivnykh peridotitov* [Geochemistry and petrology of suprasubduction peridotites] Diss. doct. geol.-min. sciences. Irkutsk: Institute of Geochemistry SB RAS. 2011. 300 p. In Russian
- Davydova M.Yu. *Proiskhozhdeniye i evolyutsiya magm vulkanicheskogo tsentra Uksichan (Sredinnyy khrebet Kamchatki)* [The origin and evolution of magmas of the Uksichan volcanic center (Sredinny ridge of Kamchatka)] Author's abstract of diss. cand. geol.-min. sciences dis. Vladivostok: ITG FEB RAS. 2014. 15 p. In Russian
- Dobretsov N.L., Konnikov E.G., Medvedev V.N., Sklyarov Ye.V. *Ofiolity i olistostromy Vostochnogo Sayana* [Ophiolites and olistostromes of the Eastern Sayan] // *Riphean-Lower Paleozoic ophiolites of Northern Eurasia.* Novosibirsk: Nauka, 1985. pp. 34–58. In Russian
- Dobretsov N.L., Simonov V.A., Kulakov I.YU., Kotlyarov A.V. Migration of fluids and melts in subduction zones and general aspects of thermophysical modeling in geology // *Russian Geology and Geophysics.* 2017. V. 58(5). pp. 571–585.
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S., Fedorov Yu.N. *Ofiolity doyrskogo osnovaniya Yuzno-oktyabrskoi ploskadi priural'skoi chasti Zapadno-Sibirskoi megabasseina* [Ophiolites of Pre-Jurassic basement of South-October square of near Ural part of West-Siberian mega basin] // *Basement, structures of frame of West-Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of oil and gas presence.* Tumen – Novosibirsk/ INGG SB RAS. 2008. pp. 80–82. In Russian
- Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Amon E.O., Yerokhin Yu.V., Borozhdina G.N. *O vozraste i sostave ofiolitov fundamenta Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseina* [On the age and composition of ophiolites of the basement of the West Siberian oil and gas megabasin] // *Doklady Akademii Nauk.* 2007. V. 413 (4). pp. 535–540. In Russian
- Ivanov K.S., Koroteyev V.A., Pecherkin M.F., Fedorov Yu.N., Yerokhin Yu.V. The western part of the west Siberian Petroleum Megabasin: geologic history and structure of the basement // *Russian Geology and Geophysics.* 2009. V. 50 (4). pp. 365–379.
- Ivanov K.S., Kormil'tsev V.V., Fedorov Yu.N. et al. *Osnovnyye cherty stroyeniya doyrskogo fundamenta Shaimskogo neftegazonosnogo rayona* [The main features of the structure of the pre-Jurassic basement of the Shaim oil and gas region] // *Ways of realizing the oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. Khanty-Mansiysk: IzdatNaukaServis,* 2003. V. 1. pp. 102–113. In Russian
- Koroluk V.N., Lavrentiev Yu.G., Usova L.V., Nigmatulina E.N. *O tochnosti elektronnozondovogo analiza porodoobrazuyuschih mineralov na mikroanalizatore JXA-8100* [About accuracy of electronzonde analysis of rock forming minerals on the microanalyser JXA-8100] // *Russian Geology and Geophysics.* 2008. V. 49 (3). pp. 221–225. In Russian
- Kuzovatov N.I., Tat'yanin G.M., Sayev V.I. *O novoy nakhodke pikritovykh porfirитov na yugo-vos-toke Zapadno-Sibirskoy plity* [On a new find of picrite porphyrites in the southeast of the West Siberian plate] // *Actual problems of geology of Siberia: abstract report scientific conf., dedicated 100th anniversary of the opening of the Tomsk state university* [22–24 Nov. 1988 / otv. ed. A.I. Goncharenko. Tomsk, 1988. V. 1. pp. 129–130. In Russian
- Kuzovatov N.I., Sayev V.I., Tat'yanin G.M. *Magmatizm fundamenta yugo-vostochnoy chasti Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast')* [Magmatism of the basement of the southeastern part of the West Siberian plate (Tomsk region)] // *Geology and ecology.* 1996. V. 1. pp. 88–98. In Russian
- Kulikova A.V. *Usloviya formirovaniya bazit-ul'trabazitovykh i metabazitovykh kompleksov Kurayskoy akkretionnoy zony (Gornyy Altay)* [Formation conditions of mafic-ultramafic and metabasic complexes of the Kurai accretion zone (Gorny Altai)]. Diss. cand. geol.-min. sciences. Novosibirsk: Institute of Geology and Mineralogy SB RAS. 2018. 173 p. In Russian
- Palandzhan S.A. *Tipizatsiya mantiynykh peridotitov po geodinamicheskim obstanovkam formirovaniya* [Typification of mantle peridotites according to the geodynamic settings of formation]. Magadan: SVKNII FEB RAS, 1992. 104 p. In Russian
- Perpelov A.B. *Kaynozoy'skiy vulkanizm Kamchatki na etapakh smeny geodinamicheskikh obstanovok* [Cenozoic volcanism of Kamchatka at the stages of changing geodynamic settings]. Author's abstract of diss. doct. geol.-min. sciences. Irkutsk, Institute of Geography SB RAS, 2014. 41 p. In Russian
- Perchuk L.L. *Piroksenovyy barometr i piroksenovyye geotermiy* [Pyroxene barometer and pyroxene geotherms] // *Doklady Akademii Nauk USSR.* 1980. V. 233 (6). pp. 1196–2000. In Russian
- Savel'yeva G.N. *Gabbro-ul'trabazitovyye komplekсы ofiolitov Urala i ikh analogi v sovremennoy okeanicheskoy kore* [Gabbro-ultrabasic complexes of the Ural ophiolites and their analogues in the modern oceanic crust]. Moscow: Nauka, 1987. 246 p. In Russian

Simonov V.A., Glazyrin Yu.E., Kovyazin S.V. *Parametry magmaticheskikh i gidrotermal'nykh sistem v zapadnoy chasti transformogo razloma Vima (Tsentral'naya Atlantika)* [Parameters of magmatic and hydrothermal systems in the western part of the Vema transform fault (Central Atlantic)] // *Metallogeny of ancient and modern oceans – 2001. History of deposits and evolution of ore formation*. Mias: IMin UB RAS. 2001. pp. 77–84. In Russian

Simonov V.A., Kovyazin S.V., Kolobov V.Yu. *Fiziko-khimicheskiye parametry magmaticheskikh sistem gayota Kastor (Tikhyy okean)* [Physicochemical parameters of the magmatic systems of the Castor guyot (Pacific Ocean)] // *Doklady Akademii Nauk*. 2004. V. 398 (4). pp. 529–532. In Russian

Simonov V.A., Shelepaev R.A., Kotlyarov A.V. *Fiziko-khimicheskiye parametry formirovaniya rassloyennogo gabbro-giperbazitovogo kompleksa v ofiolitakh Yuzhnoy Tuvy* [Physicochemical parameters of the formation of a layered gabbro-hyperbasite complex in ophiolites of South Tuva] // *Ultrabasite-basic complexes of folded regions and associated deposits. Materials of the third international conference*. Ekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UrB RAS. 2009. V. 2. pp. 195–198. In Russian

Simonov V.A., Ivanov K.C., Stupakov S.I., Yerokhin Yu.V., Kayachev N.F. *Mantiynnye ul'tramafitovyye komplekсы fundamenta Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo osadochnogo megabasseyina* [Mantle ultramafic complexes of the basement of the West Siberian petroleum-bearing sedimentary megabasin] // *Lithosphere*. 2012. No. 3. pp. 31–48. In Russian

Simonov V.A., Filippov Yu.F., Kotlyarov A.V., Saraev S.V., Stupakov S.I. *Osobennosti formirovaniya pikritov v fundamente Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo osadochnogo basseyna* [Peculiarities of picrite formation in the basement of the West Siberian oil and gas bearing sedimentary basin] // *Petrology of magmatic and metamorphic complexes. Issue 10*. Tomsk, Publishing house of Tomsk CSTI. 2018. pp. 353–354. In Russian

Simonov V.A., Kontorovich V.A., Stupakov S.I., Filippov Yu.F., Sarayev S.V., Kotlyarov A.V. *Setting of the formation of Paleozoic picrite basalt complexes in the West Siberian Plate basement* // *Doklady Earth Sciences*. 2019. V. 486 (2). pp. 613–6616

Simonov V.A., Kontorovich V.A., Kotlyarov A.V., Saraev S.V., Filippov Yu.F., Stupakov S.I. *Conditions of Early Paleozoic basaltic and picritic magmatism in West Siberia* // *Russian Geology and Geophysics*. 2020. V. 61 (11). pp. 1476–1498. In Russian

Simonov V.A., Kolobov V.Yu., Peyve A.A. *Petrologiya i geokhimiya geodinamicheskikh protsessov v Tsentral'noy Atlantike* [Petrology and geochemistry of geodynamic processes in the Central Atlantic]. Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS, NPC UIGGM, 1999. 224 p. In Russian

Simonov V.A., Klets A.G., Stupakov S.I., Kovyazin S.V. *Osobennosti giperbazitov iz fundamenta Zapadno-Sibirskoy plity* [Features of hyperbasites from the basement of the West Siberian plate] // *Ophiolites: petrology, metallogeny and geodynamics. Materials of the International Scientific Conference*. Ekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UrB RAS. 2006. pp. 226–228. In Russian

Simonov V.A., Stupakov S.I., Ivanov K.S. *Sostavy khromshpinelidov iz giperbazitov fundamenta zapadnoy chasti Zapadno-Sibirskogo basseyna* [Compositions of Cr-spinels from basement hyperbasites of the western part of the West Siberian basin] // *Petrology of magmatic and metamorphic complexes. Issue 6. Materials of the All-Russian Petrographic Conference*. Tomsk: CNTI. 2007. pp. 137–138. In Russian

Simonov V.A., Klets A.G., Ivanov K.S., Stupakov S.I. *Osobennosti evolyutsii mantiynykh paleoceanicheskikh kompleksov iz fundamenta Zapadno-Sibirskogo osadochnogo basseyna* [Features of the evolution of mantle paleo-oceanic complexes from the basement of the West Siberian sedimentary basin] // *Foundation, framing structures of the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and oil and gas content problems*. All-Russian Scientific Conference. Tyumen - Novosibirsk: INGG SB RAS. 2008. pp. 194–197. In Russian

Simonov V.A., Stupakov S.I., Ivanov K.S., Kayachev N.F. *Peridotity iz fundamenta Zapadno-Sibirskogo osadochnogo basseyna* [Peridotites from the basement of the West Siberian sedimentary basin] // *Foundation, framing structures of the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and oil and gas potential. Materials of the II All-Russian Scientific Conf.*, Tyumen, April 27-29. 2010. Novosibirsk: publishing house "Geo", 2010. pp. 143–146. In Russian

Simonov V.A., Medvedev A.Ya., Stupakov S.I., Kotlyarov A.V. *Geokhimicheskiye osobennosti ultraosnovnykh porod fundamenta Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo osadochnogo basseina* [Geochemical peculiarities of ultrabasic rocks of basement of West Siberian oil and gas sedimentary basin] // *Geodynamic evolution of lithosphere of Central Asia mobile belt (from ocean to continent)*. Is. 11. Irkutsk: Institute of Earth Crust SB RAS, 2013. pp. 210–212.

Sobolev A.V. *Vklyucheniya rasplavov v mineralakh kak istochnik printsipial'noy petrologicheskoy informatsii* [Inclusions of melts in minerals as a source of fundamental petrological information] // *Petrology*. 1996. V. 4 (3). pp. 228–239. In Russian

Stupakov S.I., Simonov V.A., Bochkarev V.S., Klets A.G., Kovyazin S.V., Lukomskaya K.G. *Osobennosti khromshpinelidov iz giperbazitov ofiolitovykh assotsiatsiy fundamenta Zapadno-Sibirskoy plity* [Features of Cr-spinels from hyperbasites of ophiolite associations of the basement of the West Siberian plate] // *Gornye vedomosti*. 2008. No. 1. pp. 6–10. In Russian

Sharas'kin A.Ya. *Tektonika i magmatizm okrainnykh morey v svyazi s problemami evolyutsii kory i mantii* [Tectonics and magmatism of marginal seas in connection with the problems of the evolution of the crust and mantle]. Moscow: Nauka. 1992. 163 p. In Russian

Yurichev A.N. *Ul'tramafity iz fundamenta Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast')* [Ultramafites from basement of the West Siberian plate (Tomsk region)] // *Problems of geology and development of mineral resources. Proceedings of the XXIII International Symposium of students and young scientists named after academician M.A. Usov*. V. 1. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2019. pp. 132–134. In Russian

Yurichev A.N. *Akcessornaya rudnaya mineralizatsiya iz ul'tramafitov fundamenta Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast')* [Accessory ore mineralization from ultramafites of basement of the West Siberian plate (Tomsk region)] // *New in knowledge of ore formation processes. Works of young scientists dedicated to the 90th anniversary of IGEM RAS*. Moscow: IGEM RAN. 2020. pp. 168–171. In Russian

Ariskin A.A., Barmina G.S. *COMAGMAT: Development of a magma crystallization model and its petrologic applications* // *Geochemistry International*. 2004. V. 42 (Supp. 1). pp. S1–S157.

Brey G.P., Köhler T., Nickel K.G. *Geothermobarometry in four-phase lherzolites. I. Experimental results from 10 to 60 kbar* // *Journal of Petrology*, 1990. V. 31. pp. 1313–1352.

Brunelli D., Seyler M., Cipriani A., Ottolini L., Bonatti E. *Discontinuous Melt Extraction and Weak Refertilization of Mantle Peridotites at the Vema Lithospheric Section (Mid-Atlantic Ridge)* // *Journal of Petrology*. 2006. V. 47, No. 4. pp. 745–771.

Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N. *Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces* // *Chemical Geology*. 2014. V. 368. pp. 1–10.

- Danyushevsky L.V., Plechov P.Yu. Petrolog 3: Integrated software for modeling crystallization processes // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 29 July 2011. 2011. 12(7). Q07021.
GEOROC <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>
- Lindsley D.H., Dixon S.A. Pyroxene thermometry // *Mineralogy*. 1983. V. 68. pp. 477–493.
- McDonough W.F., Sun S., Ringwood A.E., Jagoutz E., Hofman A.W. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1992, S.R. Taylor Symposium volume, V. 56. pp. 1001–1012.
- Mercier J.C.C. Single-pyroxene thermobarometry // *Tectonophysics*. 1980. V. 70. pp. 1–37.
- Nimis P., Taylor W.R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2000. V. 139, No. 5. pp. 541–554.
- Niu Y. Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath mid-ocean ridges // *Journal of Petrology*. 2004. V. 45, No. 12. pp. 2423–2458.
- Parkinson I.J., Pearce J.A. Peridotites from the Izu-Bonin-Mariana forearc (ODP Leg 125): evidence for mantle melting and melt-mantle interaction in a supra-subduction zone setting // *Journal of Petrology*. 1998. V. 39. No. 9. pp. 1577–1618.
- Perkins D., Newton R.C. Garnet-pyroxene equilibria in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ (CMAS): prospects for simplified ('T-independent') lherzolite barometry and an eclogite-barometer // *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1980. V. 75. pp. 291–300.
- Ridolfi F., Renzulli A. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 °C and 2.2 GPa // *Contr. Mineral. Petrol.*, 2012, V. 163, No. 5, pp. 877–895.
- Rollinson H.R. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, London, 1993, 352 p.
- Slavinskiy V.V. Thermobarometer of xenoliths from deep-seated rocks // *Intern. Geology. Rev.*, 1993. V. 35, No. 1. pp. 48–58.
- Taylor W.R. An experimental test of some geothermometer and geobarometer formulations for upper mantle peridotites with application to the thermobarometry of fertile lherzolite and garnet websterite // *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*. 1998. V. 172. pp. 381–408.
- Wan Z., Coogan L.A., Canil D. Experimental calibration of aluminum partitioning between olivine and spinel as a Geothermometer // *American Mineralogist*. 2008. V. 93. pp. 1142–1147.
- Yavuz F., Yildirim D.K. Windows program for pyroxene-liquid thermobarometry // *Periodico di Mineralogia*. 2018. V. 87. pp. 149–172.

Информация об авторах:

Симонов В.А., доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; научный сотрудник, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия; научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Котляров А.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Чернышов А.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии, геолого-географического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Юричев А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория геохронологии и геодинамики, доцент, кафедра петрографии, геолого-географического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: juratur@sibmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Simonov V.A., Dr. Sci. (Geol.-Miner.). Chief Scientific Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS; Scientific Researcher, Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia; Scientific Researcher, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Kotlyarov A.V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Scientific Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; Scientific Researcher, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Chernyshov A.I., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Head of the Department of Petrography, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Yurichev A.N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Scientific Researcher, Laboratory of Geochronology and Geodynamics, Associate Professor, Department of Petrography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: juratur@sibmail.com

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 14.06.2022

The article was submitted 08.06.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 14.06.2022