

Научная статья
УДК 552.181
doi: 10.17223/25421379/36/6



ПАЛЕООСТРОВОДУЖНАЯ ПРИРОДА ГИПЕРБАЗИТОВ АЛАМБАЙСКОЙ ОФИОЛИТОВОЙ ЗОНЫ САЛАИРА (СЕВЕРО-ЗАПАД ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА ХРОМШПИНЕЛЕЙ

Алексей Васильевич Котляров¹, Федор Игоревич Жимулев², Аганак Анатолевич Хуурак³,
Марина Анатольевна Фидлер⁴, Никита Алексеевич Бехтерев⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ kotlyarov@igm.nsc.ru

² zhimulev@igm.nsc.ru

³ khuuraka@igm.nsc.ru

⁴ fidler@igm.nsc.ru

⁵ n.bekhterev@ngsu.ru

Аннотация. Офиолитовые зоны являются источником информации об океанических этапах развития складчатых областей континентов. Химический состав акцессорных хромшпинелидов из офиолитовых гипербазитов используется как один из инструментов для палеотектонических реконструкций. Представлены результаты электронно-зондового микроанализа на микроанализаторе JXA-8100 JEOL состава хромшпинели из серпентинизированных гипербазитов южного и северного ареалов Аламбайской офиолитовой зоны (АОЗ) Салаирского кряжа. Аламбайская офиолитовая зона сложена образованиями палеосубдукционной зоны, пространственно и генетически связанной с кембрийскими островодужными вулканитами Салаира. Хромшпинель из Белининского массива южного ареала АОЗ характеризуется повышенными значениями хромистости (75–92) и магнезиальности (32–55), типичными для высокодеплетированной литосферной мантии под островными дугами. На классификационных диаграммах, используемых для палеотектонических реконструкций, составы хромшпинели Белининского массива лежат в пределах полей «островные дуги», «преддуговые» или «бонинитовые». Хромшпинель из северного ареала АОЗ, включающего Верхне-Аламбайский и Тогул-Сунгайский массивы, образует две популяции зерен. Популяция зерен с повышенным содержанием титана (>1 %), соответствующая мантийным породам из зон плюмового внутриплитного магматизма, получена только из аллювия реки Степной Аламбай, ниже блока базальтов с геохимическими характеристиками ОИВ. Основная популяция, представленная высокохромистыми низкотитанистыми зёрнами характерна, как для Верхне-Аламбайского, так и для Тогул-Сунгайского массивов (хромистость 52–88, магнезиальность 35–68). Хромшпинель данной популяции также характерна для гипербазитов надсубдукционных обстановок (глубоководный желоб, преддуговой блок, островная дуга). Гипербазиты АОЗ представляют собой фрагменты литосферной мантии Салаирского сегмента Алтае-Кузнецкой островодужной системы, их формирование произошло на стадии заложения зоны субдукции и островной дуги, о чем свидетельствуют состав хромшпинели, типичный для бонинитовых серий, и современные тектонические модели, а эксгумация в аккреционную призму явилась результатом столкновения островодужной системы с аламбайским палеосимаунтом. Надсубдукционная природа гипербазитов АОЗ свидетельствует о возможности обнаружения месторождений платиноидов, связанных с массивами зоны.

Ключевые слова: офиолиты, Салаир, хромшпинель, островные дуги, субдукция, хромистость, магнезиальность, гипербазиты

Благодарности: Авторы благодарны д-ру геол.-минерал. наук В.А. Симонову за советы и обсуждение изложенного материала, д-ру геол.-минерал. наук И.С. Новикову и канд. геол.-минерал. наук Н.С. Тычкову за помощь в организации полевых работ, канд. техн. наук Е.С. Жимулевой за помощь в подготовке рукописи.

Источники финансирования: Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 23-27-00033.

Для цитирования: Котляров А.В., Жимулев Ф.И., Хуурак А.А., Фидлер М.А., Бехтерев Н.А. Палеоостроводужная природа гипербазитов Аламбайской офиолитовой зоны Салаира (северо-запад Центрально-Азиатского складчатого пояса) по данным изучения состава хромшпинелей // Геосферные исследования. 2025. № 3. С. 104–119. doi: 10.17223/25421379/36/6

PALAEOISLAND-ARC NATURE OF HYPERBASITES FROM THE ALAMBAY OPHIOLITE ZONE OF SALAIR (NORTHWEST CENTRAL ASIAN OROGENIC BELT) ACCORDING TO THE STUDY CR-SPINELS COMPOSITION

Alexey V. Kotlyarov¹, Fedor I. Zhimulev², Aganak A. Khuurak³, Marina A. Fidler⁴, Nikita A. Bekhterev⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia

¹ kotlyarov@igm.nsc.ru

² zhimulev@igm.nsc.ru

³ khuurakaa@igm.nsc.ru

⁴ fidler@igm.nsc.ru

⁵ n.bekhterev@g.nsu.ru

Abstract. Ophiolite zones are sources of information about the oceanic stage of orogen formation. The chemical composition of accessory Cr-spinels from ophiolite ultrabasites is used as one of the tools for paleotectonic reconstruction. This paper presents the results of electron probe microanalysis on the JXA-8100 JEOL microanalyzer of the composition of chrome-spinelides from the serpentinized hyperbasites of the southern and northern areas of Alambai ophiolite zone (AOZ) of Salair ridge. AOZ is composed of paleosubduction zone formations, spatially and genetically related to the Cambrian island-arc volcanic rocks. Cr-spinel from Belinsky massif of the southern AOZ area is characterized by increased values of chromium content (Cr# = 75–92 %) and magnesium content (Mg# = 32–55 %), which is typical for highly depleted lithospheric mantle under island arcs. Classification diagrams which are used for paleotectonic reconstructions show that the compositions of Cr-spinel of Belin massif lie within the fields of “island arcs,” “forearc,” or “boninite.” Chrome spinel from the northern area of AOZ, which includes the Upper Alambay and Togul-Sungai massifs, forms two populations of grains. A population of grains with a high titanium content (>1 %), corresponds to mantle rocks from zones of plume intraplate magmatism and was obtained only from the alluvial deposits of the Stepony Alambay River, below a block of basalts with OIB geochemical characteristics. The main population, represented by high-chromium, low-titanium grains, is typical for both Upper Alambay and Togul-Sungai massifs (Cr# = 52–88 %, Mg# = 35–68 %). Cr-spinel of this population is also typical for ultramafic rocks in suprasubduction settings (deep-sea trench, forearc block, island arc). The ultrabasites of AOZ are fragments of the lithospheric mantle of the Salair segment of the Altai-Kuznetsk island arc system; their formation occurred at the stage of the formation of the subduction zone and island arc, as evidenced by the composition of Cr-spinel typical for boninite series and by modern tectonic models [Stern et al., 2012], whilst exhumation into an accretionary prism was the result of the collision of the island-arc system with the Alambay paleoseamount. The suprasubduction nature of the ultramafic rocks of AOZ indicates the possibility of discovering platinum group metal deposits associated with the massifs of the zone.

Keywords: ophiolites, Salair, Cr-spinel, island arcs, subduction, Cr content, Mg content, ultramafic rocks

Acknowledgments: The authors are grateful to V.A. Simonov for advice and discussion of the presented data, I.S. Novikov and N.S. Tychkov for assistance in field work providing, and E.S. Zhimuleva for assistance in preparing the manuscript.

Source of financing: The study was supported by the Russian Science Foundation (project № 23-27-00033).

For citation: Kotlyarov A.V., Zhimulev F.I., Khuurak A.A., Fidler M.A., Bekhterev N.A. (2025) Palaeoisland-arc nature of hyperbasites from the Alambay ophiolite zone of Salair (northwest Central Asian orogenic belt) according to the study Cr-spinels composition. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 3. 104–119. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/36/6

Введение

Офиолитовые зоны являются источником информации об океанических этапах развития складчатых областей континентов (орогенов) [Flower, 2003; Stern et al., 2012; Condie, Stern, 2023]. Ассоциация и состав палеоокеанических пород отражают особенности процессов формирования океанической литосферы данного океанического бассейна. В офиолитовых зонах складчатых областей породы базит-гипербазитовой ассоциации палеоокеанической коры обычно встречаются в виде разобщенных тектонических блоков и подвержены сильным вторичным изменениям. В особенности это касается гипербазитов нижнего

слоя океанической коры и литосферной мантии, которые часто полностью серпентинизированы. В этом случае акцессорные хромшпинелиды остаются единственными первичными минералами, сохраняющими информацию о составе и условиях формирования гипербазитов. Химический состав хромшпинели используется как один из инструментов для палеотектонических реконструкций [Dick, Bullen, 1984; Barnes, Roeder, 2001; Stern et al., 2012].

В данной работе представлены результаты изучения состава хромшпинели из серпентинизированных гипербазитов Аламбайской офиолитовой зоны Салаирского кряжа (Салаира), проведено их сравнение с составами хромшпинели из других гипербазитовых

массивов Сибири и современных океанов и сделаны выводы об условиях формирования гипербазитов АОЗ.

Геологическое строение Аламбайской офиолитовой зоны

Аламбайская офиолитовая зона (АОЗ) расположена в осевой части раннепалеозойской Салаирской складчатой зоны и является северным звеном Аламбайско-Каимской зоны Салаира и Горного Алтая [Пинус и др., 1958; Коновалова, Прусевич, 1977; Шокальский и др., 2000; Токарев и др., 2002, 2019; Dobretsov et al., 2004; Долгушин и др., 2019; Zhimulev et al., 2024]. Раннепалеозойские комплексы Салаирского складчато-покровного сооружения включают тектонические пластины вулканических пород кислого и основного состава, известняков, а также терригенных пород, преимущественно вулканомикового состава. Возраст отложений нижнего структурного этажа охватывает все отделы кембрия и начало раннего ордовика [Фомичев, Алексеева, 1961; Бабин и др., 2007; Токарев и др., 2002, 2019a, 2019b; Vetrova et al., 2022]. Кембрийский вулканический комплекс Салаира формировался в обстановке энсиматической островной дуги [Зоненшайн, 1990; Berzin et al., 1994; Бабин и др., 2007; Ветрова и др., 2022].

АОЗ образует два линзовидных кулисообразно расположенных ареала, один из которых, называемый Тягун-Аламбайским, приурочен к средней части Салаира, а второй, Шалапский (Мартыново-Шалапский), образует осевую часть юго-западного фланга Салаира (рис. 1). Сложная, прерывистая и нелинейная форма АОЗ, вероятно, связана с позднепалеозойским расчешуиванием при надвигании Салаирского чешуйчатого аллохтона. Кроме того, пережимы и раздувы зоны могут иметь и первичную природу – расширенные участки зоны образованы фрагментами палеоокеанических островов в структуре офиолитового шва. В геоэлектрической структуре земной коры АОЗ проявлена проводящей аномалией, погружающейся субвертикально, по крайней мере до уровня средней коры (15–20 км) [Zhimulev et al., 2021, 2023].

В составе офиолитовой зоны выделены аламбайский базальтовый, верхнеаламбайский дунит-гарцбургитовый и шалапский меланжевый геологические комплексы [Шокальский и др., 2000; Токарев и др., 2019a]. Также с АОЗ структурно ассоциирует тектоническая пластина амфиболитов, выделяемая в ангрепский метаморфический комплекс [Zhimulev et al., 2024]. Аламбайский базальтовый комплекс представ-

лен ассоциацией высокотитанистых толеитовых и субщелочных базальтов, по составу соответствующих ОІВ типу, с кремнистыми сланцами и микрокварцитами по кремням, содержащими углеродистое вещество и марганцевую минерализацию. Верхнеаламбайский дунит-гарцбургитовый комплекс образован апогарцбургитовыми и аподунитовыми серпентинитами с телами пироксенитов, габброидов и жилами хромититов. Всего известно около 20 крупных гипербазитовых тел площадью 2–50 км² и более 100 мелких, измеряемых десятками и сотнями метров. Все тела являются бескорневыми и имеют клиновидную или линзовидную форму [Долгушин и др., 2019]. Шалапский меланж представлен серпентинитовым и терригенным полимиктовым типом. Для серпентинитового меланжа характерны включения микрокварцитов, габбро, метабазальтов с геохимическими характеристиками ОІВ, в терригенном меланже преобладают блоки микрокварцитов, встречаются блоки известняков.

Все гипербазитовые тела представляют собой обособления серпентинитового меланжа в терригенном полимиктовом субдукционном меланже (рис. 1). Они ориентированы согласно сланцеватости вмещающих тонкозернистых граувакк, образующих матрикс терригенного меланжа. Одни из наиболее крупных и представительных гипербазитовых массивов – Тогул-Сунгайский и Верхне-Аламабайский, расположенные в пределах Тягун-Аламбайского ареала, и Белининский, приуроченный к Шалапскому ареалу [Пинус и др., 1958; Коновалова, Прусевич, 1977; Долгушин и др., 2019]. Тогул-Сунгайский массив имеет длину 12,5 км и ширину 0,5–1,7 км. Массив сложен преимущественно апогарцбургитовыми и аподунитовыми серпентинитами при подчиненной роли аподиопсидовых серпентинитов и габброидов. Верхне-Аламабайский вытянут в меридиональном направлении на 7 км при ширине от 0,75 до 2 км и занимает площадь 3,5 км². Массив сложен аподунитовыми и апогарцбургитовыми серпентинитами с небольшим количеством пироксенитов. Белининский массив представляет собой северную часть Белининско-Шалапского массива, который является самым крупным гипербазитовым массивом Салаира площадью около 50 км². Особенностью Белининского массива является широкое развитие габброидов, образующих блоки в серпентинитах. Серпентинизированные гипербазиты массива представлены дунитами, гарцбургитами, лерцолитами, вебстеритами и габбро-пироксенитами. Во всех массивах встречаются жилы хромититов. В крупных телах описаны постепенные переходы между дунитами и гарцбургитами, гарцбургитами и пироксенитами, пироксенитами и габбро.

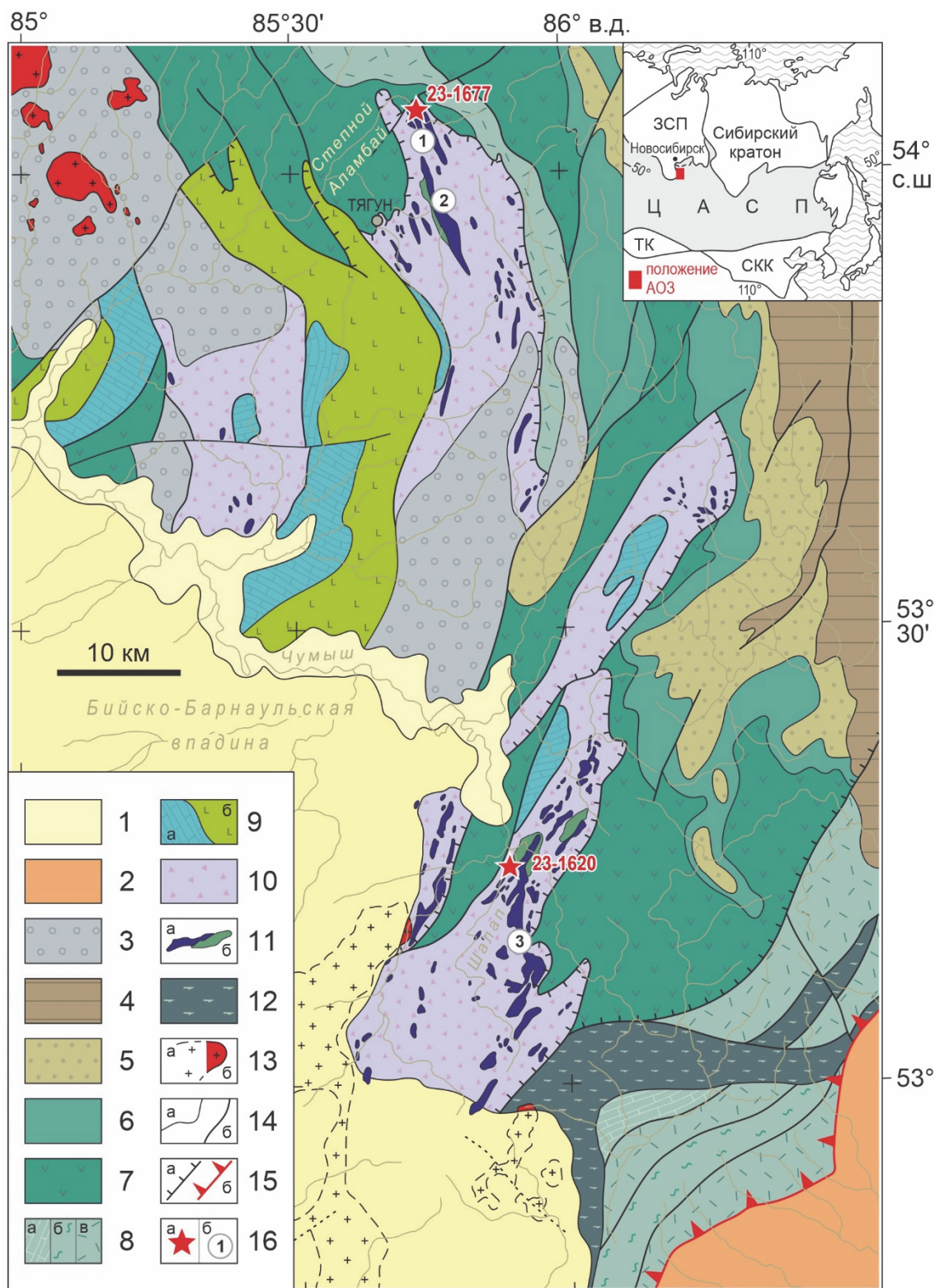


Рис. 1. Схема геологического строения Аламбайской офиолитовой зоны Салаира (АОЗ)

1 – четвертичные отложения; 2 – нижнемеловые отложения Неня-Чумышского прогиба; 3 – терригенные верхне-девонские и нижнекаменноугольные отложения Хмелевского прогиба; 4 – девонские известняки; 5 – карбонатно-терригенные отложения силура; 6 – ордовикские песчаники; 7 – кембрийско-нижнеордовикские туфы, лавы и песчаники островодужного происхождения; 8 – вулканогенные и осадочные породы Аламбайской зоны: а) известняки, б) углеродистые сланцы, алевролиты, микрокварциты, в) туфы, лавы и песчаники; 9 – а) карбонатный чехол палеоострова, б) базальты палеоокеанического острова; 10 – полимиктовый субдукционный меланж; 11 – нижнекембрийские офиолиты АОЗ: а) тектонизированные гипербазиты (дуниты, гарцбургиты, серпентиниты), б) габбро; 12 – раннекембрийские амфиболиты ангурепского метаморфического комплекса; 13 – нерасчлененные гранитные комплексы (позднедевонские, позднепермские); 14 – а) прочие границы, б) разломы; 15 – а) надвиги,

б) Баркинский надвиг, южная граница Салаира; 16 – а) точки отбора и номера отобранных образцов, б) участки расположения крупных гипербазитовых массивов: 1 – Верхне-Аламабайский; 2 – Тогул-Сунгайский; 3 – Белининско-Шалапский. Схема составлена А.В. Котляровым на основе экспедиционных исследований с использованием материалов из работ [Лоскутов, 1993; Бабин и др., 2007; Токарев и др., 2019а, 2019б; Zhimulev et al., 2024]

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the Alambay ophiolite zone of Salair (AOZ)

1 – Quaternary deposits; 2 – Lower Cretaceous deposits of the Ninya-Chumysh basin; 3 – clastic Upper Devonian and Lower Carboniferous; 4 – Devonian limestones; 5 – carbonate-clastic Silurian; 6 – Ordovician sandstones; 7 – Cambrian-Lower Ordovician tuffs, lavas and sandstones of island-arc origin; 8 – volcanogenic-sedimentary rocks of the Alambay zone: a) limestones, b) carbonaceous shales, siltstones, microquartzites, c) tuffs, lavas and sandstones; 9 – a) carbonate cap of the paleoisland, b) basalts of oceanic islands; 10 – clastic subduction mélange; 11 – Lower Cambrian ophiolite complexes AOZ: a) tectonized ultramafic rocks (dunites, harzburgites, serpentinites (violet)) and b) gabbro (green); 12 – Early Cambrian amphibolites of the Angurep metamorphic complex; 13 – undivided granite complexes (Late Devonian, Late Permian); 14 – a) other borders, b) faults; 15 – a) other thrust, b) Barka thrust, southern border of Salair; 16 – a) sampling points and numbers of selected samples; b) areas of detail study: 1 – Verkhne-Alamabay, 2 – Togul-Sungai, 3 – Belininsko-Shalapsky. The scheme was compiled by A.V. Kotlyarov on the basis of field observations using data from [Loskutov, 1993; Babin et al., 2007; Tokarev et al., 2019a, 2019b; Zhimulev et al., 2024]

Образцы и методы исследования

Для изучения были выделены фракции хромита из речных и пролювиальных отложений в области распространения гипербазитовых массивов (табл. 1).

Образец (23-1677) отобран из пролювиальных отложений сухого лога, выработанного в пределах Белининского массива южного ареала АОЗ. Образец (23-1620) отобран из аллювиальных отложений верхнего течения реки Степной Аламбай, ниже по течению Верхне-Аламбайского гипербазитового массива, расположенного в северном ареале АОЗ. Хромит из

обоих образцов представлен хорошо ограненными октаэдрическими кристаллами, размер 0,2–2,0 мм.

Химический состав изучался методом микрозондового анализа в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск) на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 JEOL (аналитик В.Н. Королук). Данные о составе хромшпинелидов Тогул-Сунгайского гипербазитового массива центрального Салаира взяты из работы [Лоскутов, 1993], данные по другим офиолитовым комплексам Алтае-Саянской складчатой области из работ [Simonov et al., 1994, 2021, 2022; Chen et al., 2023].

Таблица 1

Местоположение отобранных образцов. Хромистость и магнизиальность проанализированных популяций

Table 1

Location of the selected samples. Chromium and magnesium content of the analyzed populations

№	Координаты	Положение образца	Mg#	Cr#
23–1620	53°10'44.39"C 85°51'54.65"B	Кора выветривания в пределах Белининского массива (южный ареал АОЗ)	32–55	75–92
23–1677	54° 3'39.07"C 85°44'46.52"B	Аллювиальные отложения реки Степной Аламбай ниже Верхне-Аламбайского массива (северный ареал АОЗ)	45–68	54–86
Данные из [Лоскутов, 1993]	Приблизительно 53°56'54"C 85°47'01"B	Тогул-Сунгайский массив, серпентинизированные дуниты и гарцбургиты (северный ареал АОЗ)	35–60	52–88

Mg# = $Mg \times 100 / (Mg + Fe^{2+})$. Cr# = $Cr \times 100 / (Cr + Al)$.

Результаты

Представительные анализы составов хромовых шпинелидов приведены в табл. 2. Вариации составов изученных хромитов значительны. На классификационной диаграмме Н.В. Павлова хромшпинелиды из аллювиальных отложений на юге АОЗ относятся главным образом к хромитам, для них характерна низкая глиноземистость и высокая хромистость при незначительной роли окисного железа. Хромшпинелиды северного аре-

ала имеют более широкий спектр – от субферриалюмохромита до хромита (рис. 2). На диаграмме TiO_2 – Cr_2O_3 они разделяются на две группы: первая (I) с низкими содержаниями TiO_2 <0,4 мас. % и высокими концентрациями Cr_2O_3 и вторая с высокими содержаниями титана в интервале 1,20–2,19 мас. % (II). Сопоставление данных с перидотитами Тогул-Сунгайского массива показывает, что для него, так же, как и для первой группы, характерны высокие концентрации Cr_2O_3 в интервале 37,9–61,2 мас. % (рис. 3).

Таблица 2

Представительные анализы хромшпинелидов, мас. %

Table 2

Representative analyses of chrome spinels, wt. %

№ п/п	№ шлиховой пробы	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	NiO	ZnO	Сумма	Mg#	Cr#
Северный ареал															
1	23-1677	н.о.	0,09	66,57	0,15	7,07	15,30	0,34	9,23	н.о.	0,05	0,15	98,94	47,42	86,33
2		н.о.	1,98	46,89	0,19	12,23	27,09	0,24	11,17	н.о.	0,16	0,11	100,06	51,99	72,01
4		н.о.	0,10	57,02	0,18	12,83	19,16	0,27	10,32	н.о.	0,07	0,20	100,14	50,62	74,88
5		н.о.	1,41	47,96	0,13	14,78	21,18	0,18	14,07	н.о.	0,23	0,05	99,99	64,45	68,53
7		н.о.	1,98	46,17	0,16	14,38	23,40	0,15	13,72	н.о.	0,28	0,07	100,31	62,13	68,29
11		н.о.	0,25	46,82	0,19	16,65	25,31	0,36	9,77	н.о.	0,07	0,17	99,61	47,34	65,36
12		н.о.	1,20	44,38	0,13	17,54	23,97	0,24	12,66	н.о.	0,22	0,05	100,40	58,03	62,92
21		н.о.	0,16	57,66	0,21	10,48	21,32	0,33	9,92	н.о.	0,03	0,12	100,22	49,06	78,68
22		н.о.	1,37	46,02	0,15	16,05	21,36	0,17	14,39	н.о.	0,26	0,03	99,80	65,56	65,79
24		н.о.	1,76	43,98	0,15	15,09	27,27	0,22	11,08	н.о.	0,18	0,08	99,82	51,34	66,16
25		н.о.	0,04	62,66	0,26	6,76	20,73	0,40	8,93	н.о.	0,04	0,14	99,97	45,62	86,15
26		н.о.	0,12	55,64	0,15	12,74	17,63	0,43	11,70	н.о.	0,07	0,15	98,62	57,73	74,56
27		н.о.	0,27	55,12	0,29	11,20	22,71	0,34	9,66	н.о.	0,09	0,12	99,79	47,82	76,75
30		н.о.	1,80	39,67	0,24	18,93	26,82	0,18	12,26	н.о.	0,25	0,09	100,23	55,31	58,44
31		н.о.	2,02	36,36	0,24	21,11	27,03	0,21	12,63	н.о.	0,21	0,11	99,93	56,24	53,61
32		н.о.	0,39	49,92	0,18	15,39	23,98	0,37	9,61	н.о.	0,06	0,15	100,04	46,52	68,51
36		н.о.	1,97	39,05	0,28	18,79	27,64	0,22	11,91	н.о.	0,19	0,07	100,11	53,64	58,24
37		н.о.	0,16	58,23	0,15	11,01	19,83	0,31	10,41	н.о.	0,03	0,15	100,28	51,22	78,01
38		н.о.	1,35	46,07	0,14	16,12	21,34	0,16	14,22	н.о.	0,25	0,03	99,69	64,91	65,72
39		н.о.	1,79	43,68	0,17	14,66	27,18	0,25	10,76	н.о.	0,19	0,09	98,77	50,54	66,65
40		н.о.	1,50	47,56	0,17	16,41	18,79	0,15	15,07	н.о.	0,24	0,06	99,95	68,04	66,04
42		н.о.	1,83	44,02	0,15	14,99	27,35	0,23	11,08	н.о.	0,17	0,06	99,87	51,20	66,34
Южный ареал															
46	23-1620	н.о.	0,12	66,88	0,12	6,18	15,22	0,22	9,01	н.о.	0,06	0,06	97,86	46,73	87,90
47		н.о.	0,21	61,12	0,10	8,89	18,04	0,28	11,08	н.о.	0,08	0,15	99,96	54,86	82,18
48		н.о.	0,09	63,34	0,18	7,88	18,14	0,29	8,22	н.о.	0,07	0,11	98,32	42,51	84,36
49		н.о.	0,10	61,57	0,14	10,61	17,63	0,25	9,31	н.о.	0,07	0,14	99,82	46,52	79,57
50		н.о.	0,08	68,69	0,17	4,90	17,12	0,36	7,55	н.о.	0,05	0,16	99,09	39,68	90,39
51		н.о.	0,09	58,40	0,25	13,02	18,07	0,33	9,23	н.о.	0,05	0,20	99,66	45,92	75,06
52		н.о.	0,06	68,80	0,25	4,57	17,77	0,27	7,07	н.о.	0,05	0,21	99,05	37,31	90,99
53		н.о.	0,08	69,01	0,22	4,50	17,76	0,29	7,06	н.о.	0,07	0,19	99,17	37,23	91,14
54		н.о.	0,07	66,34	0,15	6,08	17,66	0,30	8,52	н.о.	0,04	0,19	99,35	44,00	87,98
55		н.о.	0,11	61,75	0,17	8,94	19,61	0,28	7,93	н.о.	0,09	0,16	99,05	40,67	82,25
56		н.о.	0,16	58,82	0,25	13,36	17,20	0,26	8,83	н.о.	0,06	0,19	99,11	44,04	74,71
57		н.о.	0,23	56,74	0,17	11,99	19,87	0,27	10,49	н.о.	0,07	0,11	99,94	51,36	76,05
58		н.о.	0,15	64,51	0,09	8,67	15,48	0,35	9,89	н.о.	0,05	0,11	99,30	49,91	83,30
59		н.о.	0,23	61,02	0,12	10,42	17,97	0,24	9,08	н.о.	0,04	0,15	99,28	45,52	79,70
60		н.о.	0,05	68,32	0,21	5,16	16,57	0,34	7,86	н.о.	0,08	0,14	98,73	41,29	89,88
61		н.о.	0,09	66,90	0,15	6,22	16,68	0,32	8,59	н.о.	0,03	0,18	99,15	44,41	87,83
62		н.о.	0,16	64,20	0,16	6,05	20,22	0,39	8,40	н.о.	0,02	0,17	99,78	43,19	87,68
63		н.о.	0,17	63,09	0,15	7,94	18,76	0,29	8,08	н.о.	0,04	0,14	98,66	41,60	84,20
64		н.о.	0,17	61,18	0,18	8,80	21,68	0,33	6,10	н.о.	0,06	0,19	98,67	31,82	82,34
65		н.о.	0,19	60,56	0,14	10,71	17,31	0,25	10,06	н.о.	0,05	0,16	99,43	50,03	79,13
67		н.о.	0,08	66,59	0,13	7,02	15,25	0,28	9,13	н.о.	0,05	0,19	98,73	47,05	86,43

Примечание. 1–42 – хромшпинелиды из аллювия р. Степной Аламбай; 46–67 – хромшпинелиды из пролювиальных отложений в пределах Белинского массива.

Note. 1–42 – chrome-spinels from the alluvium of the Stepnoy Alambay River; 46–67 – chrome-spinels from proluvial deposits within the Belinsky Massif.

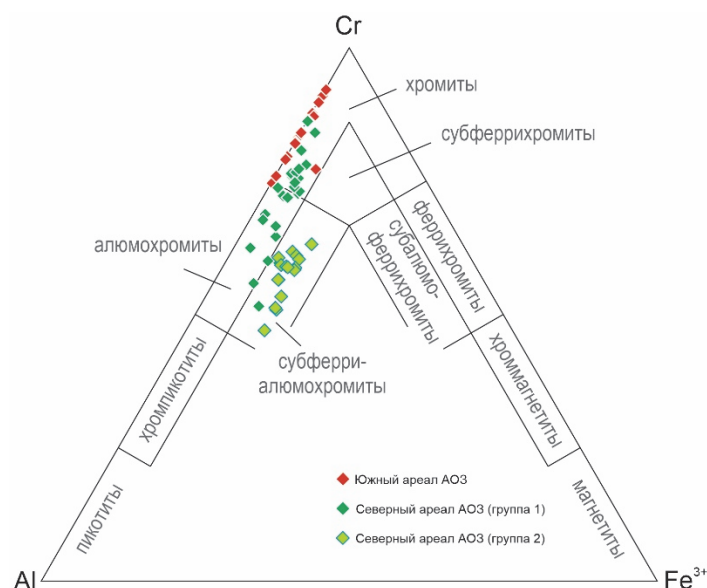


Рис. 2. Положение хромшпинелидов АОЗ на диаграмме Н.В. Павлова [Павлов, 1949]

Fig. 2. The position of the chrome-spinelides of AOZ in the diagram of N.V. Pavlov [Pavlov, 1949]

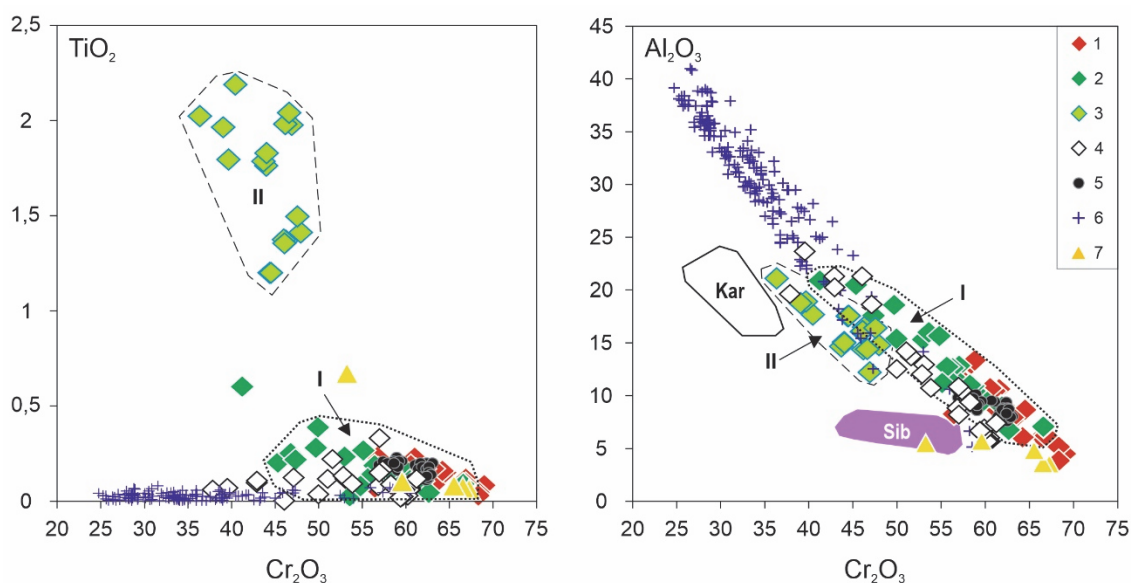


Рис. 3. Диаграммы $\text{TiO}_2\text{--Cr}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$ (мас. %) для хромшпинелидов АОЗ

1 – хромшпинелиды из южного ареала АОЗ; 2, 3 – хромшпинелиды из аллювиальных отложений р. Степной Аламбай первой (I) и второй (II) группы (северный ареал АОЗ); 4 – хромшпинелиды из дунитов и серпентинитов Тогул-Сунгайского массива [Лоскутов, 1993]; 5 – рудные хромиты Кемпирсайского массива, Южный Урал [Симонов, 1993]; 6 – из перидотитов Чаган-Узунских офиолитов, Горный Алтай [Chen et al., 2023]; 7 – бонинитов Горного Алтая [Simonov et al., 1994].

Поля составов хромшпинелидов: из дунитов Карашатского массива, Южная Тува (Kar) и ультрабазитов юга Сибирской платформы (Sib, массивы Кондер, Инагли, Чад). Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов из работ [Лоскутов, 1993; Симонов, 1993; Simonov et al., 1994, 2022; Chen et al., 2023]

Fig. 3. $\text{TiO}_2\text{--Cr}_2\text{O}_3$ and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$ (wt. %) diagrams for chrome-spinelides of AOZ

1 – chrome-spinelides from the southern area of AOZ; 2, 3 – chrome-spinelides from alluvial deposits of the Stepnoy Alambai River of the first (I) and second (II) groups (northern area of AOZ); 4 – chrome-spinelides from the dunites and serpentinites of Togul-Sungai massif [Loskutov, 1993]; 5 – ore chromites of Kempirsai massif, Southern Urals [Simonov, 1993]; 6 – from the peridotites of Chagan-Uzun ophiolites, Gorny Altai [Chen et al., 2023]; 7 – from the boninites of Gorny Altai [Simonov et al., 1994].

Fields of chrome-spinelides compositions from the dunites of: Karashat massif, South Tuva (Kar) and Siberian platform (Sib, Konder, Inagli, Chad massifs). The figure is based on original data including materials from the papers [Loskutov, 1993; Simonov, 1993; Simonov et al., 1994, 2022; Chen et al., 2023]

Обсуждение результатов

Сопоставление составов хромитов АОЗ с другими гипербазитовыми массивами. Составы хромитов северного и южного ареала АОЗ, для которых характерны наиболее высокие значения хрома, на вариационных диаграммах $\text{TiO}_2 - \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{FeO}_{\text{tot}}$ соответствуют рудным хромитам Кемпирсайского массива Южного Урала и хромитам из вулканитов бонинитовых серий аккреционной призмы Кузнецко-Алтайской островной дуги (рис. 3, 4). Сопоставление данных по гипербазитам АОЗ с перидотитами Чаган-Узунского офиолитового массива Горного Алтая показывает, что для последнего характерно преобладание шпинелидов с более низким содержанием хрома. На диаграмме $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{FeO}_{\text{tot}}$ точки составов хромитов из перидотитов Тогул-Сунгайского и Чаган-Узунского массивов образуют вертикально вытянутое поле, расположенное в крест линии

тренда (синяя пунктирная линия), включающего составы хромшпинелидов (с расплавленными включениями) из океанических пород Центральной Атлантики и из дунитов Карашатского расслоенного массива Южной Тувы. Все изученные хромиты из четвертичных отложений АОЗ существенно отличаются от концентрически-зональных щелочно-ультраосновных массивов юга Сибирской платформы (Кондер, Инагли и Чад).

Геодинамические условия формирования перидотитов АОЗ по данным изучения хромшпинелидов. Интерпретация геодинамических условий образования гипербазитов по особенностям состава хромшпинелидов используется многими исследователями [Dick, Bullen, 1984; Bonatti, Michael, 1989; Савельева, 1987; Паланджан, 1992; Симонов, 1993; Simonov et al., 1994, 2016, 2021, 2022; Савельев и др., 2008; Савельев, 2013; Arai, 1994, 1992; Pearce et al., 2000; Kamenetsky et al., 2001; Горнова, 2011; Sklyarov et al., 2020; Симонов и др., 2024].

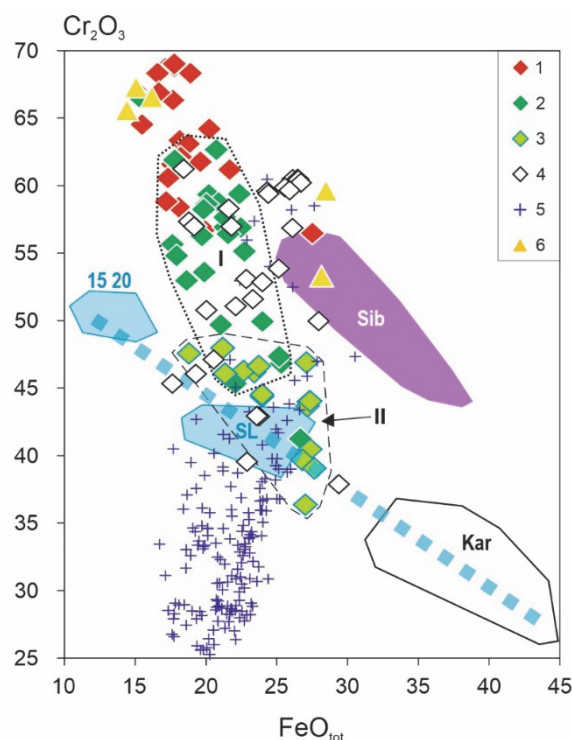


Рис. 4. Диаграмма $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{FeO}_{\text{tot}}$ (мас. %) для хромшпинелидов из четвертичных отложений АОЗ

1 – хромшпинелиды из четвертичных отложений р. Чумыш (южный ареал АОЗ); 2, 3 – хромшпинелиды из четвертичных отложений р. Степной Аламбай (северный ареал АОЗ); 4 – хромшпинелиды из дунитов и серпентинитов Тогул-Сунгайского массива [Лоскутов, 1993]; 5 – из перидотитов Чаган-Узунских офиолитов, Горный Алтай [Chen et al., 2023]; 6 – бонинитов Горного Алтая [Simonov et al., 1994]. Поля составов хромшпинелидов: из троктолитов района Сьерра-Леоне (SL) и из перидотитов зоны разлома 15°20' (15 20) в Центральной Атлантике [Simonov et al., 2022]

Fig. 4. $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{FeO}_{\text{tot}}$ (wt. %) diagram for the chrome-spinelides from the quaternary sediments of AOZ

1 – chrome-spinelides from quaternary deposits of the Chumysh River (southern area of AOZ); 2, 3 – chrome-spinelides from quaternary deposits of the Stepnoy Alambai River (northern area of the AOZ); 3 – chrome-spinelides from the dunites and serpentinites of Togul-Sungai massif [Loskutov, 1993]; 4 – from the peridotites of Chagan-Uzun ophiolites, Gorny Altai [Chen et al., 2023]; 5 – boninites of the Altai Mountains [Simonov et al., 1994]. Fields of chrome-spinelide compositions: from the troctolites of the Sierra Leone region (SL) and from the peridotites of the fault zone 15°20' (15 20) in the Central Atlantic [Simonov et al., 2022]

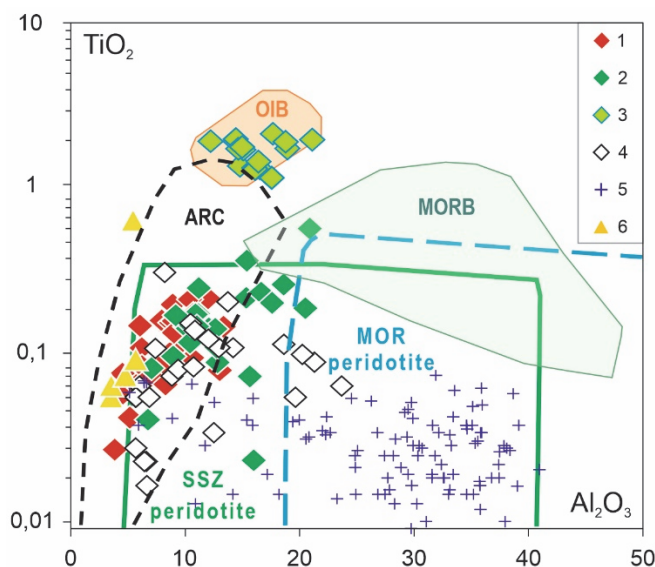


Рис. 5. Диаграмма $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ (мас. %) для хромшпинелидов из четвертичных отложений АОЗ

Поля составов хромшпинелидов: из перидотитов срединно-океанических хребтов (MOR peridotites) и надсубдукционных зон (SSZ peridotites), из плюмовых базальтов океанических островов (OIB) островных дуг (ARC) и срединно-океанических хребтов. Рисунок построен с использованием данных из работ [Kamenetsky et al., 2001]. Остальные условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 5. $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ (wt. %) for the chrome-spinelides from the quaternary deposits of AOZ

Fields of chrome-spinelide compositions: from peridotites of mid-oceanic ridges (MORP) and subduction zones (SSZP), from plume basalts of oceanic islands (OIB), from island arcs (ARC) and mid-oceanic ridges. The figure is constructed using data from the works [Kamenetsky et al., 2001]. For the remaining symbols, go to Fig. 4

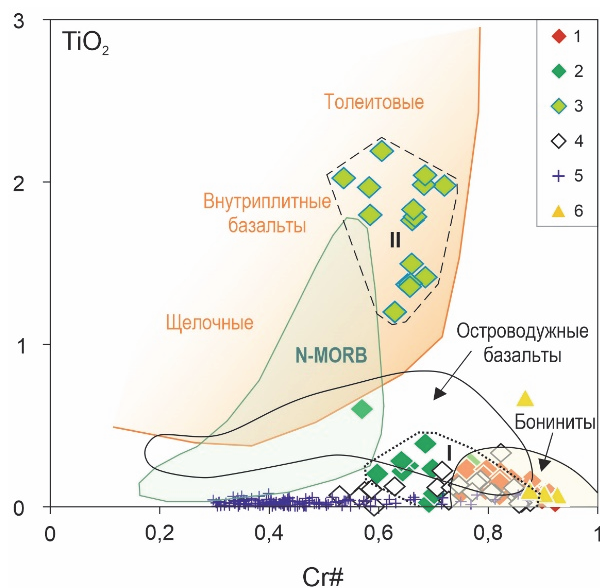


Рис. 6. Диаграмма $\text{TiO}_2 - \text{Cr\#}$ для хромшпинелидов из четвертичных отложений АОЗ

Поля составов хромшпинелидов из вулканических пород [Lee, 1999]. Остальные условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 6. $\text{TiO}_2 - \text{Cr\#}$ diagram for the chrome-spinelides from the quaternary deposits of AOZ

Fields of chrome-spinelide compositions from volcanic rocks [Lee, 1999]. For the remaining symbols, go to Fig. 4

Применительно к гипербазитам из современных океанических структур известна закономерность, выраженная в том, что хромшпинелиды глубоководных желобов и основания островных дуг являются более хромистыми по сравнению с хромитами перидотитов срединно-океанических хребтов [Савельев и др., 2008].

Хромистость (Cr\#) определяется как процентное отношение хрома к сумме хрома и алюминия $\text{Cr\#} = 100(\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al}))$. Хромистость в пределах 30–50 % характерна для хромшпинели из перидотитов срединно-океанических хребтов и трансформных разломов. Высокая хромистость шпинели (50–80 %) типична

для ультраосновных реститов, драгированных в пределах глубоководных желобов и залегающих в основании островных дуг [Паланджан, 1992; Савельев, 2013]. Согласно работам [Dick, Bullen, 1984], наиболее деплетированные перидотиты с хромистостью более 60 % встречаются в литосфере преддуговых блоков.

На диаграммах $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{TiO}_2 - \text{Cr\#}$ составы хромшпинелидов из реки Степной Аламбай (северный ареал АОЗ) образуют две группы. Группа высокотитанистых хромитов из аллювия реки Степной Аламбай (3) была сформирована при участии плюмового источника. Она представлена компактным полем с максимальными содержаниями титана (1,0–2,2 мас. %), перекрывающимися с данными по шпинелям из плюмовых базальтов океанических островов (ОИБ). Хромшпинелиды с низкими содержаниями титана на диаграмме $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ соответствуют мантийным перидотитам субдукционных зон (SSZ) и

хромитам из островодужных вулканических комплексов (ARC). На диаграмме $\text{TiO}_2 - \text{Cr\#}$ составы этих хромшпинелидов также частично располагаются в полях островодужных базальтов или бонинитов (см. рис. 5, 6).

В речные отложения, зерна высокотитанистого хромита попали из базальтов ОИБ-типа, слагающих крупные тектонические блоки и пластины в Верхне-Аламбайском гипербазитовом массиве и в терригенном субдукционном меланже. Акцессорный хромит в виде тугоплавких включений был захвачен и вынесен базальтовой магмой из плюмового мантийного источника. Подобного состава хромиты не выявлены в Тогул-Сунгайском и Белинском массивах, где опробовались коренные гипербазиты или пролювиальные отложения в пределах гипербазитовых массивов, а блоки ОИБ-базальтов отсутствуют.

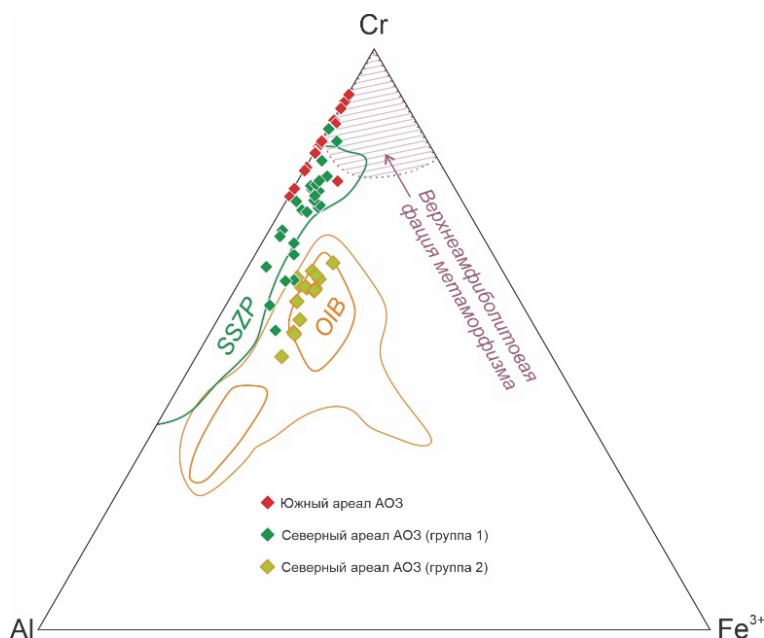


Рис. 7. Положение хромшпинелидов из четвертичных отложений АОЗ на диаграмме Al–Cr–Fe³⁺

Поля составов шпинелей из различных геодинамических обстановок по материалам [Parkinson et al., 1998; Barnes, Roeder, 2001]. Поле верхнеамфиболитовой фации метаморфизма дано по источнику [Muntener et al., 2000]

Fig. 7. The position of the chrome-spinels from the quaternary deposits of AOZ in the Al–Cr–Fe³⁺ diagram

Fields of spinel compositions from various geodynamic settings are based on data from [Parkinson et al., 1998; Barnes, Roeder, 2001]. Field of Upper-amphibolite facies are given by the source [Muntener et al., 2000]

На треугольной диаграмме Al–Cr–Fe³⁺ точки составов хромшпинелидов северного и южного ареалов АОЗ образуют вытянутое поле вдоль стороны Al–Cr, с диапазоном хромистости от 65 до 92 %, и попадают в поля хромшпинелей из примитивных островных дуг (SSZP). При этом для южного ареала АОЗ характерно наличие более хромистой хромшпинели (75–92 %). Формирование высокохромистых зерен вероятно

происходило за счет выноса Al_2O_3 при метаморфизме перидотитов в условиях максимальных температур амфиболитовой фации [Muntener et al., 2000]. Применительно к шпинелям из лавовых фаций (группа 2) точки составов укладываются в максимум плотности значения поля базальтов океанических островов (см. рис. 7).

На диаграмме Cr# – Mg# хромшпинелиды из обоих ареалов образуют единый тренд роста Cr# и падения

магнезиальности. По этим характеристикам хромиты из ультрабазитов офиолитов Салаира резко отличаются от хромшпинелидов из ультраосновных пород Чаган-Узунского массива (Горный Алтай) и из гипербазитов Атлантического океана, располагаясь в поле хромитов из перидотитов фундамента островных дуг (рис. 8).

Высокие значения хромистости шпинелей и их близость по составу к хромитам из бонинитов можно объяснить воздействием на материнские перидотиты бонинитовых расплавов на начальной стадии субдукции. Анализ состава хромшпинелидов АОЗ показал, что преобладающая часть точек с повышенной хромистостью минерала соответствует надсубдукционным офиолитам, популяция, связанная с базальтами

ОИВ представлена высокотитанистой хромшпинелью, хромшпинелиды с составами типичными для срединно-океанических хребтов выявлены не были.

Обстановка формирования АОЗ. Полученные данные по составам хромшпинели из гипербазитов хорошо согласуются с геохимическими данными по базальтам АОЗ. Базальты АОЗ представляют собой внутриплитные образования океанических островов (ОИВ), а амфиболиты ангурепского комплекса и габбро из серпентинитового меланжа являются островодужными породами [Zhimulev et al., 2024]. Таким образом, пород с геохимическими или минералогическими характеристиками срединно-океанических хребтов не выявлено ни в базитовых, ни в гипербазитовых ассоциациях АОЗ.

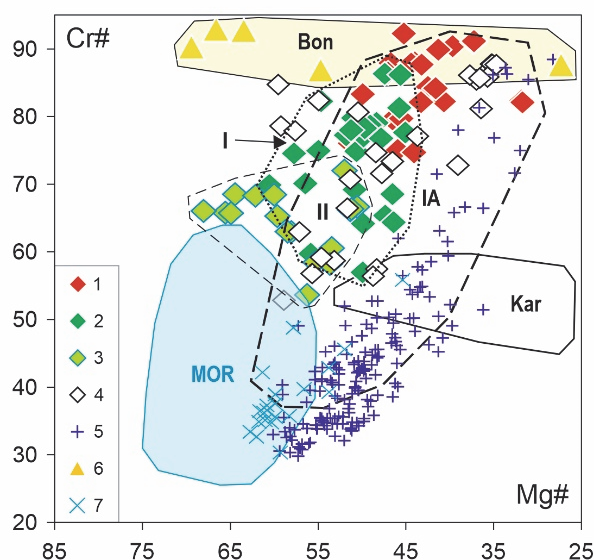


Рис. 8. Диаграмма Cr# – Mg# для хромшпинелидов из четвертичных отложений АОЗ

1 – хромшпинелиды из четвертичных отложений южного ареала АОЗ; 2,3 – хромшпинелиды из четвертичных отложений северного ареала АОЗ; 4 – хромшпинелиды из дунитов и серпентинитов Тогул-Сунгайского массива [Лоскутов, 1993]; 5 – из перидотитов Чаган-Узунских офиолитов, Горный Алтай [Chen et al., 2023]; 6 – бонинитов Горного Алтая [Simonov et al., 1994]; 7 – гарцбургитов Чаган-Узунского массива [Simonov et al., 2021].

Поля составов хромшпинелидов: из дунитов Карашатского массива (Kar); из ультрабазитов Срединно-Атлантического хребта (MOR), из перидотитов фундамента островных дуг и глубоководных желобов (IA) [Симонов и др., 2024], Bon – хромиты из бонинитов Горного Алтая [Simonov et al., 1994]. $Cr\# = Cr \cdot 100 / (Cr + Al)$. $Mg\# = Mg \cdot 100 / (Mg + Fe^{2+})$. Рисунок построен на основе оригинальных данных и материалов из работ [Паланджан, 1992; Simonov et al., 2021]

Fig. 8. Cr# – Mg# Diagram for the chrome-spinelides from the quaternary deposits of AOZ

1 – chrome-spinelides from the quaternary deposits of the southern area of the AOZ; 2, 3 – chrome-spinelides from the quaternary deposits of the northern area of the AOZ; 3 – chrome-spinelides from the dunites and serpentinites of Togul-Sungai massif [Loskutov, 1993]; 4 – from peridotites of Chagan-Uzun ophiolites, Gorny Altai [Chen et al., 2023]; 5 – from Gorny Altai boninites [Simonov et al., 1994]; 6 – Chagan-Uzun massif harzburgites [Simonov et al., 2021].

Fields of chrome-spinelide compositions: from the dunites of Karashat massif (Kar); from the ultrabases of the Mid-Atlantic ridge (MOR), from the peridotites of the basement of island arcs and trenches (IA) [Simonov et al., 2024], Bon – chromites from the boninites of the Altai Mountains [Simonov et al., 1994]. $Cr\# = Cr \cdot 100 / (Cr + Al)$. $Mg\# = Mg \cdot 100 / (Mg + Fe^{2+})$. The figure is based on the original data and materials from the works [Palanjyan, 1992; Simonov et al., 2021]

В последние десятилетия установлено, что большая часть офиолитовых зон складчатых областей об-

разована надсубдукционными офиолитами, представляющими собой образования преддугового блока

океанической литосферы и ранних этапов островодужного магматизма, включая магматизм бонинитового типа [Stern et al., 2012; Condie, Stern, 2023].

Образование преддугового блока связывается с процессами заложения субдукционной зоны в результате разрыва океанической литосферы вдоль границы между литосферными блоками различного возраста, плотности и мощности (например, трансформного разлома) и последующего отката назад (roll-back) зоны глубоководного желоба. Этот процесс на первой стадии приводит к локальному спредингу, образуя протопреддуговой блок из новообразованной океанической коры с базальтами типа MORB, затем, по мере начала погружения и частичного плавления субдуцирующей плиты, формируются бонинитовые вулканы и островодужные толеиты, вместе составляющие породную ассоциацию преддугового блока и энзиматической островной дуги. Как показано в работе [Stern et al., 2012] фрагменты литосферы преддуговых блоков имеют наибольшие возможности быть обдуцированы и войти в состав континентальной земной коры при смене тектонического режима субдукции с растяжения на сжатие. Применительно к АОЗ результаты изучения состава хромитов, в совокупности с ранее проведенными исследованиями [Zhimulev et al., 2024] позволяют заключить, что формирование гипербазитов АОЗ связано с заложением Салаирского сектора Алтае-Кузнецкой островодужной системы, а их тектоническая экструзия в аккреционный клин произошла в результате столкновения островной дуги с цепью океанических островов, в рамках модели, примененной ранее к офиолитовым зонам Горного Алтая [Buslov, 1996; Dobretsov et al., 2004; Safonova et al., 2004].

Металлогенические следствия. Известно, что высокая степень частичного плавления мантии, характерная для зон субдукции, производит бонинитовую магму, обогащенную элементами платиновой группы (ЭПГ) [Prichard, Brough, 2009]. В хромититах из кумулятов бонинитовой магмы ЭПГ могут образовывать рудные концентрации. Платиноиды были выявлены в коренном залегании в гипербазитах Тогул-Сунгайского массива, а также в россыпях АОЗ, пространственно связанных с выходами гипербазитов (россыпи рек Иродов Лог, Таловка), а хромититы То-

гул-Сунгайского массива содержат повышенные содержания ЭПГ [Гусев, Кукоева, 2011]. Установление высокой степени деплетирования мантийных пород АОЗ указывает на мобильность ЭПГ в магматическом процессе и возможность образования рудных концентраций в коренном залегании и в россыпях, пространственно связанных с различными массивами АОЗ.

Заключение

Хромшпинель из Белининского массива южного ареала АОЗ характеризуется повышенными значениями хромистости (75–92) и магнезиальности (32–55), типичными для высокодеплетированной литосферной мантии под островными дугами. На классификационных диаграммах, используемых для палеотектонических реконструкций, составы хромшпинели Белининского массива лежат в пределах полей «островные дуги», «преддуговые» или «бонинитовые».

Хромшпинель из северного ареала АОЗ, включающего Верхне-Аламбайский и Тогул-Сунгайский массивы, образует две популяции зерен. Популяция зерен с повышенным содержанием титана (> 1 %), соответствующая мантийным породам из зон плюмового внутриплитного магматизма, получена только из аллювия реки Степной Аламбай, ниже блока базальтов с геохимическими характеристиками ОИВ. Основная популяция, представленная высокохромистыми низкотитанистыми зернами, характерна как для Верхне-Аламбайского так и для Тогул-Сунгайского массивов. Хромшпинель данной популяции также характерна для гипербазитов надсубдукционных обстановок (глубоководный желоб, преддуговой блок, островная дуга).

Гипербазиты АОЗ представляют собой фрагменты литосферной мантии Салаирского сегмента Алтае-Кузнецкой островодужной системы, их формирование произошло на стадии заложения зоны субдукции и островной дуги, о чем свидетельствует состав хромшпинели, типичный для бонинитовых серий, и современные тектонические модели [Stern et al., 2012], а эксгумация в аккреционную призму явилась результатом столкновения островодужной системы с аламбайским палеосимаунтом.

Надсубдукционная природа гипербазитов АОЗ свидетельствует о возможности обнаружения месторождений платиноидов, связанных с массивами зоны.

Список источников

Бабин Г.А., Гусев Н.И., Юрьев А.А., Уваров А.Н., Дубский В.С., Черных А.И., Шигрев А.Ф., Чусовитина Г.Д., Кораблева Т.В., Косякова Л.Н., Ляпунов И.А., Митрохин Д.В., Бычков А.И., Некипелый В.Л., Савина Ж.Н., Егоров А.С., Шор Г.М., Алексеенко В.Д., Булычев А.В., Радюкевич Н.М., Николаева Л.С., Богомолов В.П., Шипов Р.В., Суслова С.В., Сазонов В.А., Юрьева В.В., Хлебникова Т.В., Кондрашова А.К., Терета Н.Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 – Новокузнецк. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с.

Ветрова Н.И., Ветров Е.В., Летникова Е.Ф. Петрологическая модель формирования кислых вулканитов печеркинской свиты (северо-западная часть Салаирского кряжа) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67, № 4.

- Горнова М.А.** Геохимия и петрология надсубдукционных перидотитов : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. 2011.
- Гусев А.И., Кукоева М.А.** Платина и платиноиды в офиолитах Салаира, Алтая и Горной Шории // Успехи современного естествознания. 2011. Т. 11. С. 20–24.
- Долгушин С.С., Жабин В.В., Лоскутов И.Ю., Садур О.Г.** Перспективы создания базы хромового сырья Сибири. Новосибирск : СНИИГиМС, 2019. 239 с.
- Жимулев Ф.И., Котляров А.В., Травин А.В., Фидлер М.А., Хуурак А.А.** Шалапский меланж Аламбайской офиолитовой зоны Салаира (северо-запад Центрально-Азиатского складчатого пояса), геологическое строение и особенности состава амфиболитов и зеленокаменных базальтов // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15? № 3. С. 757. doi[^] 10.5800/GT-2024-15-3-0757
- Зоненшайн Л.П.** Тектоника литосферных плит территории СССР. М. : Недра, 1990. 328 с.
- Коновалова Н.А., Прусевич О.Г.** Дунит-гарцбургитовые массивы Кузнецкого Алатау и Салаира (Геологические особенности, условия формирования, хромитоносность). Новосибирск, 1977. 166 с.
- Лоскутов И.Ю.** Альпинотипные гипербазиты Центрального Салаира : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. 1993.
- Павлов Н.В.** Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов. 1949. 88 с.
- Паланджан С.А.** Типизация мантийных перидотитов по геодинамическим обстановкам формирования. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1992. 104 с.
- Пинус Г.В., Кузнецов В.А., Волохов И.М.** Гипербазиты Алтае-Саянской складчатой области. М. : Госгеолтехиздат, 1958. 295 с.
- Савельев Д.Е.** Состав акцессорных хромшпинелидов из ультрабазитов Южного Урала как отражение геодинамической обстановки формирования массивов // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. Т. 1, № 18. С. 17–25.
- Савельев Д.И., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А.** Геология, петрохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.
- Савельева Г.Н.** Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М. : Наука. 1987. 246 с.
- Симонов В.А.** Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск : ОИГМ СО РАН, 1993. 247 с.
- Симонов В.А., Котляров А.В., Куликова А.В.** Условия формирования палеоокеанических комплексов Алтае-Саянской складчатой области/ Новосибирск : Сибирское отделение РАН, 2024. 309 с. doi[^] 10.53954/9785605099505
- Токарев В.Н., Куртигешев В.С., Ефремова Н.М.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000 (издание второе). Серия Кузбасская. Лист N-45-XXVI (Целинное): объяснительная записка. М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019а. 233 с.
- Токарев В.Н., Шатилова Г.А., Котик О.П.** Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XIV (Гурьевск). Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2002. 188 с.
- Токарев В.Н., Юрьев А.А., Косякова Л.Н., Глаас Г.А.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXI (Проклоповск): объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019б. 210 с.
- Фомичев В.Д., Алексеева Л.Э.** Геологический очерк Салаира. М. : Госгеолтехиздат, 1961. 218 с.
- Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борнсов С.М., Гусев Н.И., Токарев В.Н., Зыбин В.А., Дубский В.С., Мурзин О.В., Кривчиков В.А., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Федосеев Г.С., Титов А.В., Сергеев В.П., Лихачёв Н.Н., Мамлин А.Н., Котельников Е.И., Кузнецов С.А., Зейферт Л.Л., Яшин В.Д., Носков Ю.С., Уваров А.Н., Федак С.И., Гусев А.И., Выставной С.А.** Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 188 с.
- Arai S.** Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // Mineral Mag. 1992. V. 56. P. 173–184.
- Arai S.** Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // Chemical Geology. 1994. V. 113. P. 191–204.
- Barnes S.J., Roeder P.L.** The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // Journal of Petrology. 2001. V. 42, No. 12. С. 2279–2302. doi: 10.1093/petrology/42.12.2279
- Berzin N.A., Coleman R., Dobretsov N.L., Zonenshain L.P., Xiao X., Chang E.Z.** Geodynamic map of the western part of the paleo-Asian ocean // Russian Geology and Geophysics. 1994. V. 35. P. 8–28.
- Bonatti E., Michael P.J.** Mantle peridotites from continental rifts to ocean basins to subduction zones // Earth and Planetary Science Letters. 1989. V. 91, No. 3–4. P. 297–311. doi: 10.1016/0012-821X(89)90005-8
- Buslov M.M.** Intracollision collision and role in the evolution of an accretionary wedge: The Kurai zone of Gorny Altai // Russian Geology and Geophysics. 1996. V. 37. P. 74–84.
- Chen M., Zheng J., Dai H.-K., Xiong Q., Sun M., Buslov M.M., Zhou X., Liu J.** Boninitic melt percolation makes depleted mantle wedges rich in silica // Geology. 2023. V. 51, No. 8. P. 791–795. doi: 10.1130/G51050.1
- Condie K.C., Stern R.J.** Ophiolites: Identification and tectonic significance in space and time // Geoscience Frontiers. 2023. V. 14, No. 6. P. 101680.
- Dick H.J.N., Bullen T.** Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1984. V. 86. P. 54–76.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., Yu U.** Fragments of oceanic islands in accretion–collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian–Early Cambrian time // Journal of Asian Earth Sciences. 2004. V. 23, No. P. 673–690. doi: 10.1016/S1367-9120(03)00132-9
- Flower M.F.J.** Ophiolites, historical contingency, and the Wilson cycle // Ophiolite Concept Evol. Geol. Thought. 2003. V. 373. Boulder, Colorado : The Geological Society of America. P. 111–135. doi: 10.1130/0-8137-2373-6.111
- Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S.** Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // Journal of Petrology. 2001. V. 42, No. 4. P. 655–671.

- Lee Y.I. Geotectonic significance of detrital chromian spinel: a review // *Geosciences Journal*. 1999. V. 3, No. 1. P. 23–29. doi: 10.1007/BF02910231
- Muntener O., Hermann J., Tromsdorff V. Cooling history and exhumation of lower-crustal granulite and upper mantle (Malenco, Eastern Central Alps) // *Journal of Petrology*. 2000. V. 41 (2). P. 175–200.
- 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 the supra-subduction zone setting // *Journal of Petrology*. 1998. V. 39. P. 1577–1618.
- Pearce J.A., Barker P.F., Edwards S.J., Parkinson I.J., Leat P.T. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2000. V. 139, No. 1. P. 36–53. doi: 10.1007/s004100050572
- Prichard H.M., Brough C.P. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits // *New Dev. Magmat. Ni-Cu PGE Depos.* Geological publishing house. ed. Beijing. 2009. P. 277–290.
- Safonova I.Yu., Buslov M.M., Iwata K., Kokh D.A. Fragments of Vendian–Early Carboniferous Oceanic Crust of the Paleo-Asian Ocean in Foldbelts of the Altai–Sayan Region of Central Asia: Geochemistry, Biostratigraphy and Structural Setting // *Gondwana Research*. 2004. V. 7, No. 3. P. 771–790. doi: 10.1016/S1342-937X(05)71063-7
- Simonov V., Vasil'ev Yu.R., Kotlyarov A., Nikolenko E., Alifirova T., Sharygin V., Aulbach S. Physicochemical Parameters of Ultrabasic Magmatic Systems of the Northeastern Siberian Platform (Data on Melt Inclusions in Chromian Spinel) // *Russian Geology and Geophysics*. 2022. V. 63. P. 1354–1373. doi: 10.2113/RGG20204313
- Simonov V.A., Dobretsov N.L., Buslov M.M. Boninite series in structures of the Paleo-Asian ocean // *Russian Geology and Geophysics*. 1994. V. 35, No. 7–8. P. 182–199.
- Simonov V.A., Kulikova A.V., Kotlyarov A.V., Kolotilina T.B. Paleogeodynamics of magmatic and metamorphic processes of formation of ultramafic rocks of Chagan-Uzun massif (ophiolites of Gorny Altai) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021. V. 12, No. 4. P. 826–850. doi: 10.5800/GT-2021-12-4-0557
- Simonov V.A., Puchkov V.N., Prikhod'ko V.S., Stupakov S.I., Kotlyarov A.V., Karmanov N.S., Stepanov A.S. Physicochemical conditions of crystallization of dunites of the Nizhnii Tagil Pt-bearing massif (Middle Urals) // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57, No. 6. P. 868–890.
- Sklyarov E.V., Lavrenchuk A.V., Fedorovsky V.S., Pushkarev E.V., Semenova D.V., Starikova A.E. Dismembered Ophiolite of the Olkhon Composite Terrane (Baikal, Russia): Petrology and Emplacement // *Minerals*. 2020. V. 10, No. 4. P. 305. doi: 10.3390/min10040305
- Stern R.J., Reagan M., Ishizuka O., Ohara Y., Whattam S. To understand subduction initiation, study forearc crust: To understand forearc crust, study ophiolites // *Lithosphere*. 2012. V. 4, No. 6. P. 469–483.
- Vetrova N.I., Vetrov E.V., Letnikova E.F., Soloshenko N.G. Age of the Kinterep formation of the Northwestern Salair: chemostratigraphy and U–Pb zircon dating // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. doi: 10.5800/GT-2022-13-2s-0597
- Zhimulev F.I., Pospeeva E.V., Novikov I.S., Potapov V.V. Deep structure of the Salair fold-nappe terrane (NW CAOБ) according to magnetotelluric sounding // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021. V. 12, No. 1. P. 125–138. doi: 10.5800/GT-2021-12-1-0517
- Zhimulev F.I., Pospeeva E.V., Potapov V.V., Novikov I.S., Kotlyarov A.V. Salair–Gornaya Shoria Junction (Northwestern Central Asian Orogenic Belt): Deep Structure and Tectonics from Magnetotelluric Data // *Russian Geology and Geophysics*. 2023. V. 64, No. 5. P. 558–570. doi: 10.2113/RGG20224479

References

- Babin G.A., Gusev N.I., Yur'ev A.A., Uvarov A.N., Dubskiy V.S., Chernykh A.I., Shchigrev A.F., Chusovitina G.D., Korableva T.V., Kosyakova L.N., Lyapunov I.A., Mitrokhin D.V., Bychkov A.I., Nekipelov V.L., Savina Zh.N., Egorov A.S., Shor G.M., Alekseenko V.D., Bulychiev A.V., Radyukevich N.M., Nikolaeva L.S., Bogomolov V.P., Shipov R.V., Suslova S.V., Sazonov V.A., Yur'eva V.V., Khlebnikova T.V., Kondrashova A.K., Tereda N.F. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-45 - Novokuznetsk. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Altae-Sayan Series. List N-45 - Novokuznetsk. Explanatory Note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2007. 665 p. In Russian
- Vetrova N.I., Vetrov E.V., Letnikova E.F. *Petrologicheskaya model' formirovaniya kislykh vulkanitov pecherkinskoy svity (severo-zapadnaya chast' Salairskogo kryazha)* [Petrological model of the formation of acidic volcanics of the Pechorkinskaya suite (northwestern part of the Salair ridge)] // *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences* [Bulletin of St. Petersburg University]. 2022. V. 67. No. 4. pp. 591–613. In Russian
- Gornova M.A. *Geokhimiya i petrologiya nadsubduksionnykh peridotitov* [Geochemistry and petrology of suprasubduction peridotites]. Diss. dokt. geol.-min. nauk. 2011. 300 p. In Russian
- Gusev A.I., Kukoeva M.A. *Platina i platioidy v ofiolitakh Salaira, Altaya i Gornoy Shorii* [Platinum and platinoids in ophiolites of Salair, Altai and Mountain Shoria] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science]. 2011. V. 11. pp. 20–24. In Russian
- Dolgushin S.S., Zhabin V.V., Loskutov I.Yu., Sadur O.G. *Perspektivy sozdaniya bazy khromovogo syr'ya Sibiri* [Prospects for the creation of a chrome raw material base in Siberia]. Novosibirsk: SNIIGIMS, 2019. 239 p. In Russian
- Zonenshayn L.P. *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR* [Tectonics of lithospheric plates in the USSR]. Moscow: Nedra, 1990. 328 p. In Russian
- Zhimulev F.I., Kotlyarov A.V., Travin A.V., Fidler M.A., Khuurak A.A. The Shalap mélange of the Alambay Salair ophiolite zone (north-west of the Central Asian orogenic belt), geological structure and features of the amphibolites and greenstone basalt composition // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2024. T. 15. In Russian
- Konovalova N.A., Prusevich O.G. *Dunit-gartsburgitovye massivy Kuznetskogo Alatau i Salaira (Geologicheskie osobennosti, usloviya formirovaniya, khromitonosnost')* [Dunit-harzburgite massifs of the Kuznetsk Alatau and Salair (Geological features, formation conditions, chromite content)]. Novosibirsk. 1977. 166 p. In Russian
- Loskutov I.Yu. *Al'pinotipnye giperbazity Tsentral'nogo Salaira* [Alpine-type hyperbasites of Central Salair]. Dissertatsiya k.g.-m.n. Novosibirsk. 1993. In Russian

- Pavlov N.V. *Khimicheskiy sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnykh intruzivov* [Chemical composition of chrome spinels in relation to the petrographic composition of ultramafic intrusive rocks]. 1949. 88 p. In Russian
- Palandzhan S.A. *Tipizatsiya mantiynykh peridotitov po geodinamicheskim obstanovkam formirovaniya* [Typification of mantle peridotites based on geodynamic formation settings]. Magadan: SVKNII DVO RAN, 1992. 104 p. In Russian
- Pinus G.V., Kuznetsov V.A., Volokhov I.M. *Giperbazity Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Ultrabasites of the Altai-Sayan folded region]. Moscow: Gosgeoltekhizdat. 1958. 295 p. In Russian
- Savel'ev D.E. *Sostav aktsessornykh khromshpinelidov iz ul'trabazitov Yuzhnogo Urala kak otrazhenie geodinamicheskoy obstanovki formirovaniya massivov* [Composition of accessory chromospinelldes from ultrabasites of the Southern Urals as a reflection of the geodynamic environment of massif formation] // *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Perm University Bulletin. Geology]. 2013. V. 1. No.18. pp. 17–25. In Russian
- Savel'ev D.I., Snachev V.I., Savel'eva E.N., Bazhin E.A. *Geologiya, petrogeokhimiya i khromitnosnost' gabbro-giperbazitovykh massivov Yuzhnogo Urala* [Geology, petrogeochemistry and chromite content of gabbro-ultramafic massifs of the Southern Urals]. Ufa: DizaynPoligrafServis, 2008. 320 p. In Russian
- Savel'eva G.N. *Gabbro-ul'trabazitovye komplekсы ofiolitov Urala i ikh analogi v sovremennoy okeanicheskoy kore* [Gabbro-ultramafic complexes of Ural ophiolites and their analogues in the modern oceanic crust]. Moscow: Nauka, 1987. 246 p. In Russian
- Simonov V.A. *Petrogenezis ofiolitov (termobarogeokhimicheskie issledovaniya)* [Petrogenesis of ophiolites (thermobarogeochemical studies)]. Novosibirsk: OIGGM SO RAN, 1993. 247 p. In Russian
- Simonov V.A., Kotlyarov A.V., Kulikova A.V. *Usloviya formirovaniya paleookeanicheskikh kompleksov Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti*. Novosibirsk: SO RAN, 2024. 309 p. In Russian
- Tokarev V.N., Kurtigeshev V.S., Efremova N.M. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000 (izdanie vtoroe). Seriya Kuzbasskaya. List N-45-XXVI (Tselinnoe): ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000 (second edition). Kuzbass Series. List N-45-XXVI (Tselinnoe): explanatory note]. Moscow: Moskovskiy filial FGBU «VSEGEI», 2019a. 233 p. In Russian
- Tokarev V.N., Shatilova G.A., Kotik O.P. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-XIV (Gur'evsk). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second Edition. Kuzbass Series. List N-45-XIV (Guryevsk). Explanatory Note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2002. 188 p. In Russian
- Tokarev V.N., Yur'ev A.A., Kosyakova L.N., Glaas G.A. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-XXI (Prokop'evsk): ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Second Edition. Kuzbass Series. List N-45-XXI (Prokopyevsk): explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2019b. 210 p. In Russian
- Fomichev V.D., Alekseeva L.E. *Geologicheskii ocherk Salaira* [Geological overview of Salair]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1961. 218 p. In Russian
- Shokal'skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M., Gusev N.I., Tokarev V.N., Zybin V.A., Dubskiy V.S., Murzin O.V., Krivchikov V.A., Kruk N.N., Rudnev S.N., Fedoseev G.S., Titov A.V., Sergeev V.P., Likhachev N.N., Mamlin A.N., Kotel'nikov E.I., Kuznetsov S.A., Zeyfert L.L., Yashin V.D., Noskov Yu.S., Uvarov A.N., Fedak S.I., Gusev A.I., Vystavnoy S.A. *Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoy chasti Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Correlation of igneous and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo». 2000. 188 p. In Russian
- Arai S. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // *Mineral Mag.* 1992. T. 56. pp. 173–184.
- Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // *Chemical Geology*. 1994. T. 113. pp. 191–204.
- Barnes S.J., Roeder P.L. The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // *Journal of Petrology*. 2001. T. 42. № 12. pp. 2279–2302. doi: 10.1093/petrology/42.12.2279
- Berzin N.A., Coleman R., Dobretsov N.L., Zonenshain L.P., Xiao X., Chang E.Z. Geodynamic map of the western part of the paleo-Asian ocean // *Russian Geology and Geophysics*. 1994. T. 35. pp. 8–28.
- Bonatti E., Michael P.J. Mantle peridotites from continental rifts to ocean basins to subduction zones // *Earth and Planetary Science Letters*. 1989. T. 91. No. 3–4. pp. 297–311. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(89\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(89)90005-8).
- Buslov M.M. Intrasubduction collision and role in the evolution of an accretionary wedge: The Kurai zone of Gorny Altai // *Russian Geology and Geophysics*. 1996. T. 37. pp. 74–84.
- Chen M., Zheng J., Dai H.-K., Xiong Q., Sun M., Buslov M.M., Zhou X., Liu J. Boninitic melt percolation makes depleted mantle wedges rich in silica // *Geology*. 2023. T. 51. No.8. pp. 791–795. <https://doi.org/10.1130/G51050.1>.
- Condie K.C., Stern R.J. Ophiolites: Identification and tectonic significance in space and time // *Geoscience Frontiers*. 2023. T. 14. № 6. pp. 101680.
- Dick H.J.N., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1984. T. 86. pp. 54–76.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., Yu U. Fragments of oceanic islands in accretion–collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian–Early Cambrian time // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2004. T. 23. No. 5. pp. 673–690. doi: 10.1016/S1367-9120(03)00132-9
- Flower M.F.J. Ophiolites, historical contingency, and the Wilson cycle. In: *Ophiolite Concept Evol. Geol. Thought*, 2003. vol. 373, Boulder, Colorado: The Geological Society of America, pp. 111–135. doi: 10.1130/0-8137-2373-6.111
- Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // *Journal of Petrology*. 2001. T. 42. No. 4. pp. 655–671.
- Lee Y.I. Geotectonic significance of detrital chromian spinel: a review // *Geosciences Journal*. 1999. T. 3. No. 1. pp. 23–29. <https://doi.org/10.1007/BF02910231>.
- Müntener O., Hermann J., Tromsdorff V. Cooling history and exhumation of lower-crustal granulite and upper mantle (Malenco, Eastern Central Alps) // *Journal of Petrology*. 2000. V. 41 (2). pp. 175–200.
- 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 the supra-subduction zone setting // *Journal of Petrology*. 1998. V. 39. pp. 1577–1618.

Pearce J.A., Barker P.F., Edwards S.J., Parkinson I.J., Leat P.T. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2000. T. 139. No. 1. pp. 36–53. doi: 10.1007/s004100050572

Prichard H.M., Brough C.P. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits. In: . New Dev. Magmat. Ni-Cu PGE Depos. Geological publishing house. ed, Beijing, pp. 277–290.

Safonova I.Yu., Buslov M.M., Iwata K., Kokh D.A. Fragments of Vendian-Early Carboniferous Oceanic Crust of the Paleo-Asian Ocean in Foldbelts of the Altai-Sayan Region of Central Asia: Geochemistry, Biostratigraphy and Structural Setting // Gondwana Research. 2004. T. 7. No. 3. pp. 771–790. doi: 10.1016/S1342-937X(05)71063-7

Simonov V., Vasil'ev Yu.R., Kotlyarov A., Nikolenko E., Alifirova T., Sharygin V., Aulbach S. Physicochemical Parameters of Ultrabasic Magmatic Systems of the Northeastern Siberian Platform (Data on Melt Inclusions in Chromian Spinel) // Russian Geology and Geophysics. 2022. T. 63. pp. 1354–1373. doi: 10.2113/RGG20204313

Simonov V.A., Dobretsov N.L., Buslov M.M. Boninite series in structures of the Paleo-Asian ocean // Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics). 1994. T. 35. No. 7–8. pp. 182–199.

Simonov V.A., Kulikova A.V., Kotlyarov A.V., Kolotilina T.B. Paleogeodynamics of magmatic and metamorphic processes of formation of ultramafic rocks of Chagan-Uzun massif (ophiolites of Gorny Altai) // Geodynamics & Tectonophysics. 2021. T. 12. No. 4. pp. 826–850. doi: 10.5800/GT-2021-12-4-0557

Simonov V.A., Puchkov V.N., Prikhod'ko V.S., Stupakov S.I., Kotlyarov A.V., Karmanov N.S., Stepanov A.S. Physicochemical conditions of crystallization of dunites of the Nizhnii Tagil Pt-bearing massif (Middle Urals) // Russian Geology and Geophysics. 2016. T. 57. No. 6. pp. 868–890.

Sklyarov E.V., Lavrenchuk A.V., Fedorovsky V.S., Pushkarev E.V., Semenova D.V., Starikova A.E. Dismembered Ophiolite of the Olkhon Composite Terrane (Baikal, Russia): Petrology and Emplacement // Minerals. 2020. T. 10. No. 4. pp. 305. doi: 10.3390/min10040305

Stern R.J., Reagan M., Ishizuka O., Ohara Y., Whattam S. To understand subduction initiation, study forearc crust: To understand forearc crust, study ophiolites // Lithosphere. 2012. T. 4. No. 6. pp. 469–483.

Vetrova N.I., Vetrov E.V., Letnikova E.F., Soloshenko N.G. Age of the Kinterep formation of the Northwestern Salair: chemostratigraphy and U-Pb zircon dating // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0597.

Zhimulev F.I., Pospeeva E.V., Novikov I.S., Potapov V.V. Deep structure of the Salair fold-nappe terrane (NW CAOB) according to magnetotelluric sounding // Geodynamics & Tectonophysics. 2021. T. 12. No. 1. pp. 125–138. doi: 10.5800/GT-2021-12-1-0517

Zhimulev F.I., Pospeeva E.V., Potapov V.V., Novikov I.S., Kotlyarov A.V. Salair–Gornaya Shoria Junction (Northwestern Central Asian Orogenic Belt): Deep Structure and Tectonics from Magnetotelluric Data // Russian Geology and Geophysics. 2023. T. 64. No. 5. pp. 558–570. doi: 10.2113/RGG20224479

Информация об авторах:

Котляров А.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Жимулев Ф.И., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: zhimulev@igm.nsc.ru

Хуурак А.А., инженер, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: khuurakaa@igm.nsc.ru

Фидлер М.А., кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: fidler@igm.nsc.ru

Бехтерев Н.А., лаборант, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: n.bekhterev@g.nsu.ru

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Kotlyarov A.V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: kotlyarov@igm.nsc.ru

Zhimulev F.I., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: zhimulev@igm.nsc.ru

Khuurak A.A., Engineer, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: khuurakaa@igm.nsc.ru

Fidler M.A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Junior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: fidler@igm.nsc.ru

Bekhterev N.A., Laboratory Assistant, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: n.bekhterev@g.nsu.ru

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

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 15.04.2024; одобрена после рецензирования 19.02.2025; принята к публикации 29.08.2025

The article was submitted 15.04.2024; approved after reviewing 19.02.2025; accepted for publication 29.08.2025