

СВЯЗЬ ХИМИЗМА И РУДОНОСНОСТИ ГИПЕРБАЗИТОВ КАЛНИНСКОГО МАССИВА (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

Используя метод оценки потенциальной хромитовосности ультрамафитов по петрохимическим данным, исследована северная часть Калнинского гипербазитового массива. Сопоставление выделенных перспективных площадей с известными рудопроявлениями и рудными зонами подтверждает связь оруденения с химизмом вмещающих пород.

Ключевые слова: хромитит; гипербазит; петрохимия; поисковые работы; Западный Саян.

Калнинский гипербазитовый массив располагается в пределах Западно-Саянского офиолитового пояса, в северо-восточном окончании Куртушубинской ветви и относится к иджимскому комплексу [1–3] (рис. 1). Он имеет субизометричную форму, его площадь составляет примерно 65 км². Массив тектоническим нарушением разделен на Северный и Восточный блоки [4], объектом наших исследований являлся Северный блок (35 км²) субизометричной формы. Калнинский массив относится к Верхнеамыльскому потенциально хромитовосному району, где помимо него расположен Эргакский гипербазитовый массив; перспективы этих массивов на оруденение и история поиска руд подробно рассмотрены в ряде предыдущих исследований [2, 4–6 и др.]. В Калнинском массиве вкрапленные хромитовые руды также содержат повышенные концентрации платиновых минералов – изоферроплатины, тетраферроплатины и туламинита [5].

Массив сложен метаморфическими перидотитами и окружен тектоническим серпентинитовым меланжем. Перидотиты представлены породами реститового дунит-гарцбургитового комплекса. Северо-восточная часть исследуемого блока сложена главным образом дунитами. В юго-западной части массива наблюдается чередование дунитов и гарцбургитов, имеющее полосчатое строение северо-западного простирания. В гарцбургитах наблюдается струйчатость ортопироксена северо-западного простирания, которая является согласной с внутренней структурой исходного полосчатого дунит-гарцбургитового субстрата. Струйчатость ортопироксена и гарцбургитов часто подчеркивается трещинками кливажа, который прослеживается также и в дунитах.

Гарцбургиты и дуниты обычно имеют средне-, крупнозернистую структуру. Они в различной степени претерпели пластические деформации трансляционным скольжением в оливине и синтектонической рекристаллизацией с образованием порфирокластовых структур. Среди них можно выделить слабо, умеренно и интенсивно деформированные разновидности. В слабо деформированных дунитах и гарцбургитах зерна оливина имеют субизометричную, неправильную, реже удлиненную форму с размерами от 2 до 5–6 мм, отмечаются единичные индивиды до 8–10 мм и крупнее. Наиболее крупные индивиды имеют ксеноморфную форму с округлыми плавными, иногда заливообразными очертаниями. Для них характерно преимущественно однородное либо слабо выраженное неоднородное волнистое и субблоковое погаса-

ние, редко наблюдаются полосы пластического излома и отмечается их дезинтеграция на отдельные субблоки. Зерна средних размеров обычно имеют субизометричную либо вытянутую форму и нередко ориентированы субпараллельно, отражая направление директивности породы. С дальнейшим уменьшением размеров отмечается возрастание степени деформации зерен оливина, в них появляется неоднородное, волнистое, в различной степени выраженное от слабого до резкого, встречаются полосы пластического излома, нередко ориентированные под острым углом к удлинению индивидов. По границам отдельных пластически деформированных индивидов и их внутренних частей отмечаются признаки порфирокласте-за, обусловленные синтектонической рекристаллизацией с образованием мелкозернистых агрегатов и зоннок, при этом в мелких зернах сохраняется неоднородное погасание.

В умеренно деформированных дунитах и гарцбургитах с признаками порфирокласте-за оливин представлен зернами с широкими вариациями размеров от долей миллиметра до 10 мм, иногда и более. Крупные зерна имеют округлые очертания, а средние и мелкие в зонах порфирокласте-за приобретают резкие очертания. Форма их субизометричная и неправильная, часто вытянутая, линзовидная. Удлиненные индивиды вытягиваются субпараллельно и отражают директивность породы. Зерна оливина интенсивно пластически деформированы, для них характерно отчетливо выраженное неоднородное субблоковое и волнистое погасание. Характерны многочисленные полосы пластического излома, которые нередко ориентированы диагонально, под острым углом к удлинению зерен, что свидетельствует об их интенсивно пластической деформации в условиях сдвига. Крупные индивиды часто дезинтегрированы на мелкие субблоки. Отмечается расчленение отдельных зерен на строго параллельные пластинчатые индивиды при ширине до 1,5 мм. Вероятно, что такие пластинчатые индивиды образовались в результате расчленения зерен вдоль полос пластического излома. Наблюдаются трещинки кливажа, ориентированные согласно директивности породы, вдоль которых отмечаются линейные зонки интенсивного порфирокласте-за, часто секущие средние и крупные зерна. В таких зонах происходит интенсивное дробление оливина с образованием мелко- и тонкозернистых агрегатов с размером индивидов обычно менее 0,5 мм, реже встречаются более крупные.

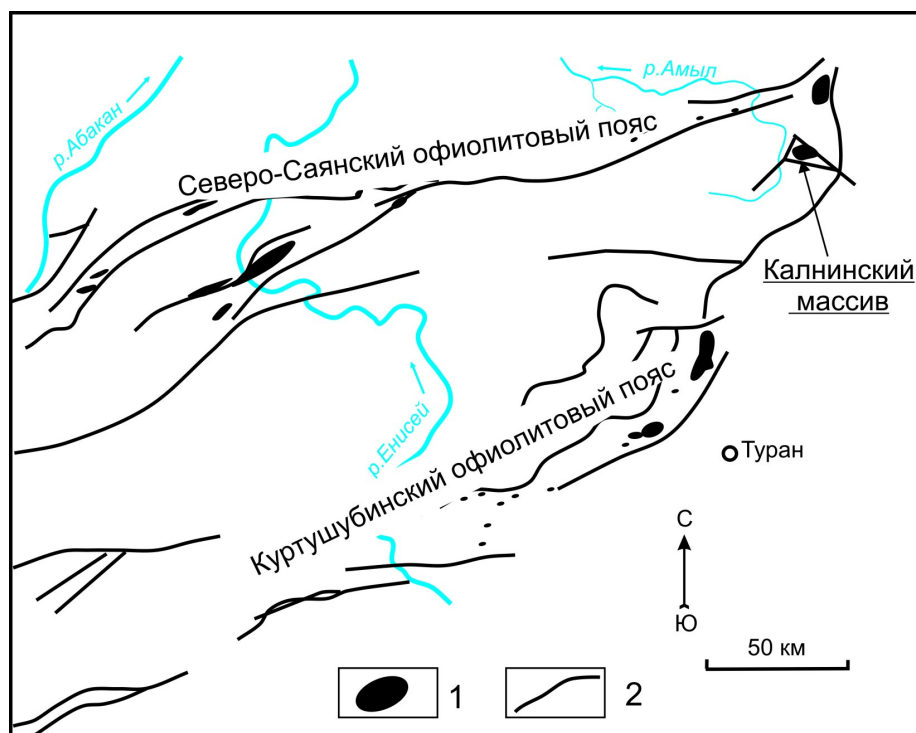


Рис. 1. Схема расположения Калнинского массива в структурах Западного Саяна [3]
1 – гипербазиты, 2 – основные тектонические нарушения

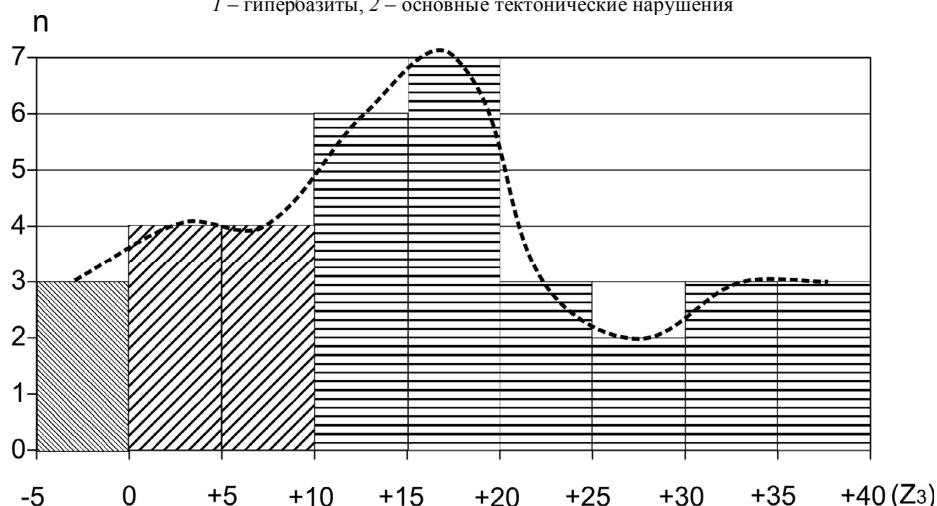


Рис. 2. Характер распределения дискриминатора хромитонности в гипербазитах Калнинского массива ($n = 35$).
 n – число анализов, штриховкой выделены неперспективные (тонкая косая штриховка, $Z_3 < 0$), благоприятные ($Z_3 > 0$) и наиболее благоприятные для оруденения (горизонтальная штриховка, $Z_3 > 10$) значения дискриминатора хромитонности. То же для хромитонных уральских серпентинитов ($n = 116$)

В интенсивно деформированных дунитах и гарцбургитах с порфирокластовой структурой выделяются два морфологических типа зерен оливина. Порфирокластовые индивиды имеют преимущественно удлиненную, лейстовидную форму с размерами по длине до 10 мм, иногда больше, при ширине до 4 мм. Они ориентированы субпараллельно, отражая директивность породы. Границы зерен неровные с резкими изгибами, зубчатые. Для них характерно резко выраженное неоднородное волнистое погасание, отмечаются многочисленные полосы пластического излома, обычно ориентированные диагонально к удлинению зерен. Основная масса породы сложена более мелкими рекристаллизованными зернами, часто имеющими удлинен-

ную форму и ориентированными согласно директивности породы. Их размер обычно не превышает 2 мм. Границы их также неровные, зубчатые. В них сохраняется волнистое погасание и полосы пластического излома, по границам которых они часто дезинтегрируются на отдельные индивиды. Часто в рекристаллизованных зернах отмечается перистое расположение полос пластического излома по отношению к директивности породы, что свидетельствует об их образовании при высокой скорости пластического течения и при сравнительно низких температурах, при этом релаксация напряжений начинает реализовываться в виде образования многочисленных полос пластического излома в двух взаимно перпендикулярных направлени-

ях. Породы нередко рассекаются многочисленными трещинками и зонками, вдоль которых наблюдается порфиороклястез с образованием тонкодробленых мелко- и тонкозернистых агрегатов оливина.

Дуниты массива представляют наибольший металлогенический интерес. На желтых корочках выветривания в дунитах постоянно отмечается заметная аксессуарная вкрапленность хромшпинелидов, ее содержание достигает 5%, а в рудных зонах их содержание возрастает. Нередко зерна хромшпинелидов обнаруживают цепочечное и струйчатое расположение в северо-западном направлении согласно внутренней полосчатой структуре массива. В зонах оруденения количество хромшпинелидов существенно возрастает и может значительно варьировать от 10 до 50–70% с образованием от убоговкрапленных до густовкрапленных руд. Зоны оруденения имеют линейное северо-западное простирание, их мощность, как правило, не превышает 10–15 м. Для них характерно полосчатое строение, обусловленное различной концентрацией хромшпинелидов в дунитовом субстрате. Ширина отдельных полосок обычно менее 10 см, нередко внутри них отмечается согласное директивное расположение как отдельных зерен хромшпинелидов, так и их агрегатов. Полосчатость в рудных зонах согласна внутренней структуре массива. Среди полосчатых вкрапленных рудных зон иногда встречаются маломощные жилки массивных хромитов (до 1,5 см), полностью сложенные хромшпинелидами, которые обнаруживают как согласное, так и несогласное расположение с полосчатостью и, очевидно, являются более поздними образованиями. Непосредственно в Калнинском массиве выделено 7 рудоносных зон протяженностью 900–3000 м и мощностью 70–500 м. Состав хромшпинелидов высокохромистый (55,08–65,33% Cr_2O_3) и относительно невысоко глиноземистый 3,95–16,02% (в среднем 9,41%). Содержание же в рудах трехокси хрома 2,73–37,83%, в среднем 17,4% [2].

Формирование хромитового оруденения, очевидно, осуществлялось в дунитах в зонах интенсивного высокотемпературного пластического течения вдоль полосчатости дунит-гарцбургитового субстрата массива. В процессе пластического течения происходила сегрегация хромшпинелидов в отдельные параллельные полосы, которая сопровождалась «выдавливанием» из них пластического оливина. В результате неравномерного «выдавливания» оливина сформировались хромитовые рудные образования от убого вкрапленных до густо вкрапленных. На последующих стадиях в локальных участках наибольших деформаций сформировались маломощные мономинеральные хромитовые жилки с массивной текстурой, из которых оливин был полностью удален. Полученные результаты позволяют предположить, что в Калнинском массиве хромитовое оруденение представлено преимущественно вкрапленными рудами с широкими вариациями содержаний хромшпинелидов.

Для оценки перспектив рассматриваемой площади нами был использован метод оценки потенциа-

ной хромитовосности гипербазитовых массивов по их химическому составу [7]. Данный метод позволяет выделять наиболее перспективные объекты для детальных работ на основании имеющихся петрохимических данных по различным массивам региона, а также определить перспективные участки для поиска хромитовых руд в пределах гипербазитового массива. Для этого необходимы силикатные анализы гипербазитов, выполненные по сравнительно равномерной сетке опробования, с соответствующей привязкой точек отбора проб. Параметры сети опробования определяются масштабом работ и размером объекта. В идеальном случае, при наличии проб по профилям скважин и (либо) расчлененном рельефе (наличии третьей координаты точки), возможно прогнозирование перспективных участков на глубину.

Краткое описание методики прогнозной оценки по петрохимическим данным. В каждой пробе силикатным химическим анализом определяются содержания SiO_2 , MgO , FeO , Fe_2O_3 (упрощенная схема) и дополнительно TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , Cr_2O_3 , ППП (полный вариант). Далее рассчитывается комплексный показатель Z :

$$1) Z_1 = y_1 M - y_2 h - y_3;$$

$$2) Z_2 = x_1 M - x_2 h - x_3 \text{SiO}_2 - x_4 \text{TiO}_2 + x_5 \text{Al}_2\text{O}_3 - x_6 \text{Fe}_2\text{O}_3 + x_7 \text{FeO} - x_8 \text{MnO} + x_9 \text{MgO} + x_{10} \text{Cr}_2\text{O}_3 - X_{11},$$

где y_{1-3} , x_{1-11} – константы, $M = \text{MgO}/\text{SiO}_2$, $h = \text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$, содержание окислов даны в массовых процентах. Положительные величины свидетельствуют о наличии хромитовосных (вещающих хромовые руды) пород. Построение изолиний параметра (как для двухмерного, так и для трёхмерного опробования) позволяет выделить перспективные участки по положительным аномалиям [8]. Вышеуказанные уравнения рассчитаны методом линейных дискриминантных функций по данным более чем 300 полных силикатных анализов Уральской складчатой области. Эффективность методики 90–95% (теоретическая ошибка 5–10%).

Для оценки северной части Калнинского массива обработаны 35 силикатных анализов из более чем 50 имеющихся разных авторов [5] и А.И. Чернышова. Часть анализов отбракована по причине отсутствия раздельного определения окисного и закисного железа. Из опыта предыдущих работ установлено, что наиболее оптимальным («контрастным») является суммирование упрощенного и полного показателя ($Z_3 = Z_1 + Z_2$). Характер его распределения по данному объекту приведен на рис. 2. Как видим, преобладающими являются положительные значения показателя, что свидетельствует о перспективности массива в целом. Полученный тип распределения дискриминатора близок к такому в рудных выборках серпентинитов Урала (рис. 2) [9]. Отличием являются лишь значения Z_3 , большие 30, что нами объясняется присутствием силикатных анализов наименее выветрелых пород скважины с глубин, больших 100 м. Это можно рассматривать как благоприятный фактор для прогноза оруденения на глубину.

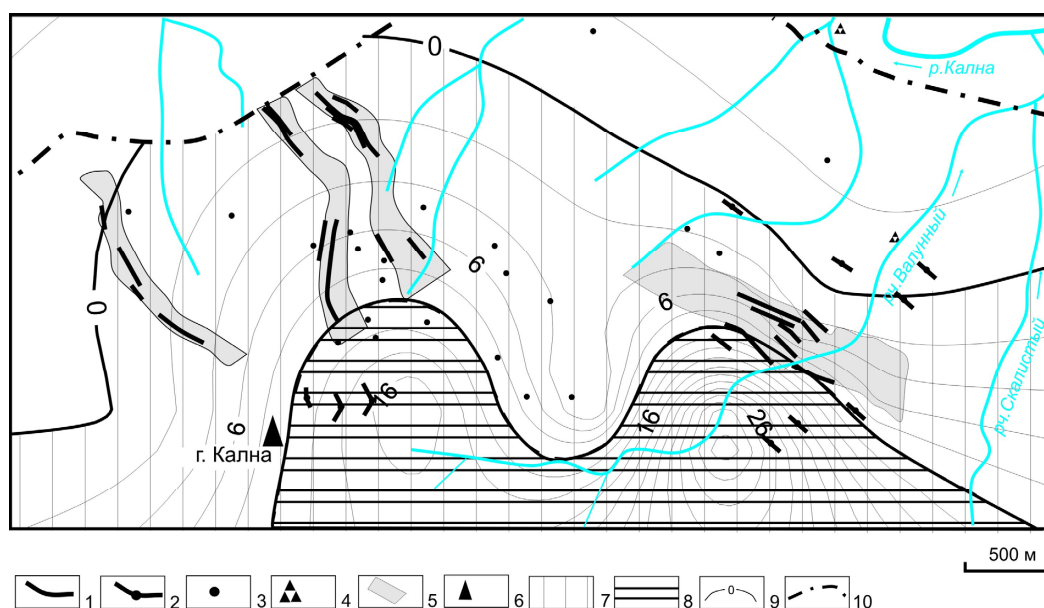


Рис. 3. Оценка хромитонности северной части Калнинского массива по петрохимическим данным.
 1–5 – известные рудопроявления хромитов по С.Г. Катанову (2003 г.): 1 – пласты, линзы, шлиры, эшелонированные по падению и простиранию, 2 – отдельные линзы, шлиры (вне масштаба), 3 – единичные шлиры, «струйки», 4 – аллювиальные гальки, валуны, 5 – рудоносные горизонты вкрапленных хромитов; 6 – горные вершины; 7 – перспективные площади на хромититы, выделенные по комплексному петрохимическому показателю; 8 – наиболее перспективные площади ($Z_3 > 10$); 9 – изолинии дискриминатора хромитонности; 10 – северная граница массива

Построение изолиний дискриминатора хромитонности (Z_3) на площади северного окончания массива (рис. 3) показывает, что имеющиеся рудоносные зоны [4] попадают в выделенные по изолиниями потенциально благоприятные площади. Удлинение аномальных зон дискриминатора близко к простиранию протектонической отдельности дунитов Аз. 295–335° (угол падения 60–70° на ЮЗ), вдоль которой залегают хромитовые тела [6]. Более

того, наиболее перспективные участки ($Z_3 > 10$) находятся южнее известных рудоносных площадей, где детальные поисковые работы не проводились. Это позволяет предполагать их продолжение по простиранию.

Полученные результаты подтверждают связь особенностей химизма гипербазитов с наличием в них хромового оруденения, что позволяет рекомендовать разработанную методику для поисковых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Петроструктурная эволюция ультрамафитов Калнинского хромитонного массива в Западном Саяне // Геотектоника. 2013. № 4. С. 31–36.
2. Забияка А.И. Верхнеамыльский хромитонный район (к совершенствованию прогнозно-поисковой модели) // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск : Изд-во КНИИГГиМС, 2008. Вып. 9. С. 193–205.
3. Пинус Г.В., Кузнецов Ю.А., Волохов И.М. Гипербазиты Алтае-Саянской складчатой области. М. : Изд-во АН СССР, 1958. 296 с.
4. Еханин Д.А. Геология и рудоносность Калнинского ультрабазитового массива : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Красноярск, 2010. 22 с.
5. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И., Катанов С.Г. Перспективы хромитонности гипербазитов Верхнеамыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. Красноярск, 2002. С. 314–324.
6. Курганьков П.П., Целюк И.Н., Власов А.В., Юркин В.В., Сержантов Н.Ф., Махнеева Н.А. Перспективы хромитонности юга Красноярского края на примере Калнинского гипербазитового массива // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Красноярск, 2010. С. 40–46.
7. Лоскутов И.Ю., Велинский В.В. Петрохимические критерии оценки хромитонности альпинотипных гипербазитов // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 60–69.
8. Лоскутов И.Ю. Петрохимический метод поиска хромитовых руд в альпинотипных серпентинитах // Геология и минерагения Сибири. Новосибирск : СНИИГГиМС, 2010. С. 129–133.
9. Лоскутов И.Ю. Альпинотипные гипербазиты Центрального Салаира : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск, 1993. 21 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 26 октября 2015 г.

RELATION BETWEEN CHEMISTRY AND ORE CONTENT OF ULTRABASITES IN THE KALNA MASSIF (WESTERN SAYAN)

Tomsk State University Journal, 2015, 400, 366–370. DOI: 10.17223/15617793/400/57

Loskutov Ilya Yu. Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: ilia63@mail.ru; losk@sniiggims.ru

Chernyshov Alexey I. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: aich@ggf.tsu.ru
Kicheeva Anna V. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: aich@ggf.tsu.ru
Keywords: chromitite; ultrabasic; petrochemistry; prospecting; Western Sayan.

The Kalna ultrabasic massif is situated in the Western Sayan ophiolitic belt, at the northeastern termination of the Kurtushubinsky fault branch. It pertains to the Idzhim complex. The ultramafite body is isometric and deformed by sublatitudinal and NW-trending tectonic faults. The body includes the northern and eastern blocks. The northern block is 35 km², and its northern termination is a direct target of research. Within the massif there are dunites, harzburgites, chrysotile-antigorite and antigorite-lizardite-chrysotile serpentinites with highly subordinate quantity of large-crystalline diopsidites in form of lenses up to 20 m thick. In the northern part of the body there prevail dunites, and to the southwest there is a banded dunite-harzburgite complex. Contacts with the host rock are of tectonic type with serpentinite melange. The area under study is situated in the Upper Amur potentially chromite-bearing region with the nearby Ergak ultrabasic massif. Within the Kalna massif there are seven ore-bearing zones with an extent of 900–3000 m and a thickness of 70–500 m. Chromite ores are rare, medium, and dense inclusions of chromite varieties, among which there are 1 cm thick veinlets. Chromespinelides are high-chromium, up to 65.33 % of Cr₂O₃, average alumina content is 9.41 %. The authors used the method of evaluation of chromite-bearing potential of ultrabasic massifs based on their chemical composition to estimate the potential of the studied area. The method has been derived from data on reference targets in the Urals by linear discriminant functions based on more than 300 silicate analyses. Two complex petrochemical factors were derived, with their positive values defining that ultrabasic composition is favorable for localizing chromite mineralization, and their negative values indicating that it is not. The method is entirely empirical and is not directly connected with other criteria of chromite ore prospecting. Thirty-five analyses of silicates made by different authors were processed. A sum of two discriminators (Z_3) was used, which gives the most contrast anomalies. The derived distribution pattern of the factor resembles that in the ore-bearing serpentinites in the Urals, and its isolines at the northern termination of the massif show that all existing ore-bearing zones are within the areas with positive values. Prolongation of positive anomalous zones of the discriminator resembles extension of ore bodies. Moreover, the most promising sites to localize mineralization ($Z_3 > 10$) are situated to the south of the known ore-bearing areas that have not been subjected to detailed exploration, which suggests their strike continuation. The findings support relation between chemistry features of ultramafites and occurrence of chromite mineralization in them. This allows us to recommend using the method in prospecting.

REFERENCES

1. Chernyshov, A.I. & Yurichev, A.N. (2013) Petrostructural evolution of ultramafic rocks of the Kalninsky chromite-bearing massif, Western Sayan. *Geotektonika – Geotectonics*. 47:4. pp. 31–36.
2. Zabiya, A.I. (2008) Verkhneamyl'skiy khromitnosnyy rayon (k sovershenstvovaniyu prognoznno-poiskovoy modeli) [Verkhneamyl'sk chromite-bearing area (improving the forecasting and prospecting model)]. In: *Geologiya i poleznye iskopaemye Krasnoyarskogo kraya* [Geology and Mineral Resources of Krasnoyarsk Krai]. Is. 9. Krasnoyarsk: Izd-vo KNIIGiMS.
3. Pinus, G.V., Kuznetsov, Yu.A. & Volokhov, I.M. (1958) *Giperbazity Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Ultramafic rocks of the Altai-Sayan folded area]. Moscow: Izd-vo AN SSSR.
4. Ekhanin, D.A. (2010) *Geologiya i rudonosnost' Kalninskogo ul'trabazitovogo massiva* [Geology and ore capacity of Kalna ultrabasic massif]. Abstract of Geology and Mineralogy Cand. Diss. Krasnoyarsk.
5. Krivenko, A.P. et al. (2002) Perspektivy khromitnosnosti giperbazitov Verkhneamyl'skogo rayona v Zapadnom Sayane [Prospects of chromite-bearing of ultramafic rocks of Verkhneamyl'sk district in the Western Sayan]. In: Serdyuk, S.S. (ed.) *Mineral'nye resursy Krasnoyarskogo kraya* [Mineral resources of Krasnoyarsk Krai]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS.
6. Kurgan'kov, P.P. et al. (2010) Perspektivy khromitnosnosti yuga Krasnoyarskogo kraya na primere Kalninskogo giperbazitovogo massiva [Prospects of chromite-bearing of the south of Krasnoyarsk Krai on the example Kalna ultramafic massif]. In: Makarov, V.A. et al. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Tsentral'noy Sibiri* [Geology and Mineral Resources of Central Siberia]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskgeol's'emka.
7. Loskutov, I.Yu. & Velinskiy, V.V. (1989) Petrokhimicheskie kriterii otsenki khromitnosnosti al'pinotipnykh giperbazitov [Petrochemical evaluation criteria of chromite-bearing of Alpine ultramafic rocks]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*. 12. pp. 60–69.
8. Loskutov, I.Yu. (2010) Petrokhimicheskiy metod poiska khromitovykh rud v al'pinotipnykh serpentinitakh [Petrochemical search method of chromite ore in the Alpine serpentinites]. In: Chernykh, A.I. & Rodin, R.S. (eds) *Geologiya i mineragiya Sibiri* [Geology and metallogeny of Siberia]. Novosibirsk: SNIIGiMS.
9. Loskutov, I.Yu. (1993) *Al'pinotipnye giperbazity Tsentral'nogo Salaira* [Alpine ultramafic rocks of Central Salair]. Abstract of Geology and Mineralogy Cand. Diss. Novosibirsk.

Received: 26 October 2015