

**А.М. Гайфутдинова, Ю.М. Телегин, И.В. Таловина,
С.О. Рыжкова, В.С. Никифорова**

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ, ЗОЛОТА И СЕРЕБРА СВЕТЛОБОРСКОГО ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА, ПЛАТИНОНОСНЫЙ ПОЯС УРАЛА

По результатам литогеохимического опробования почвообразующих элювиально-делювиальных отложений в пределах Светлоборского массива наряду с аномалиями платины были выявлены вторичные ореолы рассеяния золота, хрома и ряда элементов-примесей. Оценка этих ореолов с применением методики на основе двумерного моделирования позволила выделить перспективные аномалии платины, в первом приближении пространственно совпадающие с аномалиями хрома. При детальном рассмотрении данных с использованием методов многомерной статистики выявлено, что платина с хромом не коррелирует, что говорит о незначительном вкладе хромитового типа платиновой минерализации в коренное оруденение Светлоборского массива. Выявлено, что в элювиально-делювиальных подпочвенных отложениях практически все редкие элементы, за исключением платины, хрома, преимущественно рассеиваются под воздействием экзогенных процессов.

Ключевые слова: литогеохимическое опробование, вторичные ореолы рассеяния, Светлоборский массив, элементы платиновой группы.

Введение

В последнее время, в связи с истощением запасов россыпных месторождений платины в России вопрос поисков и освоения новых альтернативных источников платиновых металлов становится все более актуальным. С этой точки зрения наиболее интересными представляются массивы Платиноносного пояса Урала, освоенного промышленного региона, на фоне которого выделяется один из крупнейших россыпеобразующих в мире Светлоборский зональный дунит-клинопироксенитовый массив, перспективный на обнаружение коренных рудопроявлений платины.

Как известно, металлы платиновой группы (МПГ) характеризуются низкими кларками, высокой изменчивостью распределения в земной коре, в связи с чем при геохимических поисках

коренных месторождений наряду с определением собственно МПГ традиционно используются геохимические поиски по элементам-спутникам. Учитывая, что главные перспективы платинометалльного оруденения в пределах Платиноносного пояса Урала связаны с мафит-ультрамафитовыми массивами с различной степенью сульфидизации, основными индикаторами являются хром, никель и кобальт (хромитовый тип минерализации) титан, ванадий, медь, цинк (медно-титаномагнетитовый тип) и т.д. [2, 3]. Так как Светлоборский массив, как и многие другие массивы Урала, характеризуется довольно закрытой труднодоступной территорией, частично перекрытой корами выветривания и молодыми четвертичными образованиями, где механическая миграция элементов ослаблена и преобладает

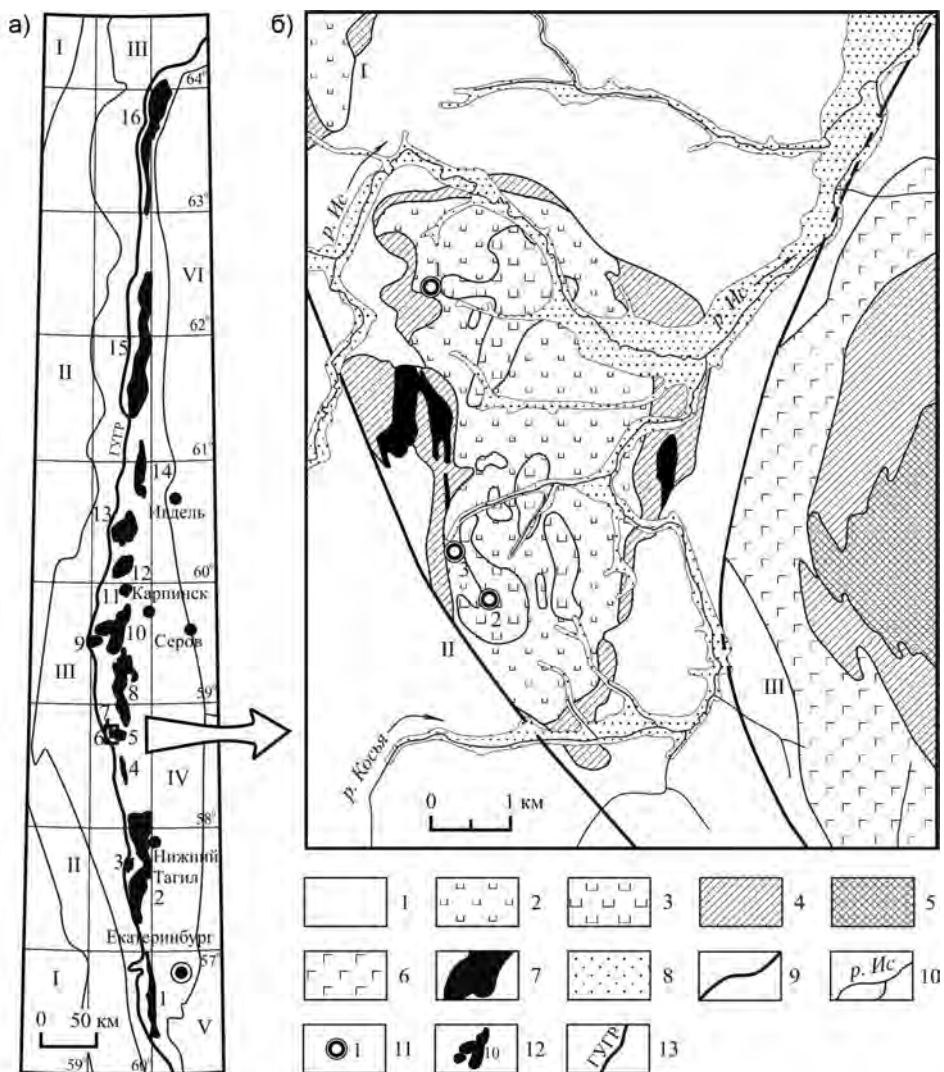


Рис. 1. Положение массивов Платиноносного пояса Урала и схематическая геологическая карта Светлоборского массива [1, 6]: а) 12 – массивы Платиноносного пояса Урала цифрами 1-16: 1 – Ревдинский, 2 – Тагило-Баранчинский, 3 – Нижнетагильский, 4 – Арбатский, 5 – Качканарский, 6 – Светлоборский, 7 – Вересовоборский, 8 – Павдинский, 9 – Косьюинский, 10 – Кытлымский, 11 – Княпинский, 12 – Кумбинский, 13 – Денежкинский, 14 – Помурский, 15 – Чистопский, Ялпинг-Ньерский, 16 – Хорасюрский. 13 – Главный Уральский глубинный разлом. Структурно-минерогенические мегазоны Уральской складчатой системы: I – Предуральский краевой прогиб, II – Западно-Уральская, III – Центрально-Уральская, IV – Тагило-Магнитогорская, V – Восточно-Уральская, VI – чехол Западно-Сибирской платформы. ГУТР – главный уральский глубинный разлом; б) I – Вересовоборский клинопироксенит-дунитовый массив, II – Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив, III – Качканарский габбро-клинопироксенитовый массив; 1 – кытлымиты, зеленые сланцы выйской свиты среднего верхнего ордовика; 2 – тонко- и мелкозернистые дуниты; 3 – средне- и крупнозернистые дуниты; 4 – клинопироксениты; 5 – титаномagnetитовые клинопироксениты; 6 – габбро; 7 – горнблендиты; 8 – платиноносные аллювиальные отложения; 9 – тектонические нарушения; 10 – гидросеть; 11 – некоторые рудопоявления платины: 1 – Борт Лога № 1, 2 – Травянистый Лог, 3 – Высоцкого

физико-химическая, предпочтение отдается опробованию по нижним горизонтам рыхлых элювиально-делювиальных отложений или подстилающих их кор выветривания.

Геологическое строение. Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив относится к Качканарскому интрузивному комплексу и входит в цепочку концентрически-зональных массивов Платиноносного пояса Урала (рис. 1). Имеет позднеордовикский возраст и залегает среди зеленых сланцев среднего-верхнего ордовика [1]. Форма массива линзовидная, вытянутая в субмеридиональном направлении, согласная с северо-западным простиранием вмещающих пород. Массив состоит из дунитового ядра и пироксенитовой оболочки. Центральную часть дунитового ядра слагают средне- и мелкозернистые дуниты. Мелкозернистые разности образуют несколько крупных полей в северной и южной половинах массива, среднезернистые – небольшие зоны на территории этих полей, а крупнозернистые разновидности имеют довольно ограниченное распространение. По дунитам развивается маломощная прерывистая кора выветривания (до 10 м) и элювиально-делювиальные отложения (до 1,5–2 м).

Хромитовые сегрегации на Светлоборском массиве встречаются редко: среди северного и южного поля средне- и мелкозернистых дунитов отмечаются две зоны развития жильных хромититов. Периферическая часть ядра сложена тонкозернистыми дунитами, прорванными дайками клинопироксенитов, магнетитовых клинопироксенитов, хромдиопсидитов, флогопит-хромдиопсидитовых пород, горнблендитов, горнблендит-пегматитов, апатитовых горнблендитов и иситов. Клинопироксенитовая оболочка прослежена почти по всей периферии массива. Платинометалльное оруденение Светлоборского массива представ-

лено двумя минеральными ассоциациями: хромит-платиновой, приуроченной к эпигенетическим хромититовым жилам центральной части дунитового ядра (нижнетагильский тип), и платиноносных дунитов, приуроченной к тонкозернистым дунитам краевой части ядра, прорванных серией субпараллельных даек клинопироксенитов, горнблендитов и иситов [6].

Методика и результаты работ.

В период 2003–2009 гг. под руководством ОАО «Урал-МПГ» на Светлоборском массиве проводились поисковые работы, в рамках которых были поставлены площадные геохимические работы по вторичным ореолам рассеяния. Литогеохимическое опробование производилось путем отбора рыхлого глинистого и песчано-глинистого делювиально-элювиального подпочвенного материала весом 200–300 г по сети 200х40 м со сгущением опробования на отдельных наиболее аномальных участках до сети 100х40 м. Отдельные профиля, расположенные на расстоянии 400 м друг от друга, пересекали весь массив, захватывая не только дуниты, но и пироксениты обрамления массива.

С целью комплексной оценки рудоносности подлежащей поискам площади полученные пробы (1059) анализировались на Pt, Pd, Au пробирным анализом в лаборатории Лэйкфилд, ЮАР (SGS Lakefield Research Africa, Johannesburg), и на ряд редких элементов (Ni, Co, Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Ba, Sr) спектральным анализом в ОАО «Уральская центральная лаборатория». Качество лабораторных работ контролировалось внутрилабораторным и геологическим контролем. Полученные данные обрабатывались методами математической статистики с использованием программного обеспечения Statistica 6.0 и Surfer 8. Средние концентрации ЭПГ и ряда редких элементов в элю-

Средние содержания ЭПГ, Au и редких элементов в элювиально-делювиальных отложениях, г/т

Элемент	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Благородные металлы				
Pt	0,025	0,056	0	0,7
Pd	0,008	0,018	0	0,32
Au	0,005	0,024	0	0,44
Элементы группы железа				
Cr	467	327	4	4000
Ti	601	165	60	1000
Mn	203	212	70	5100
Ni	48	46	4	200
Co	9	5	1,5	60
V	20	14	0,8	230
Транзитные элементы				
Cu	6	2	1	40
Zn	9	10	2,5	300
Pb	1,2	0,9	0	19
Ag	0,009	0,037	0	1,015
P	43	52	0	900
As	0	2	0	40
Sb	1	1	0	4
Крупноионные литофильные элементы				
Ba	48	16	1,5	100
Sr	7	9	0	60

виально-делювиальных отложениях представлены в табл. 1.

Распределение платины крайне неравномерное (табл. 1), повышенные содержания платины (0,3–0,7 г/т) наблюдаются в нескольких пробах (северная и центральная части Светлоторского массива), которые, скорее всего, соответствуют концентрациям платины типа «хромитовых шпиров» и не имеют промышленных перспектив. Что касается остальных платиноидов, то было выявлено лишь несколько проб с повышенными содержаниями золота и палладия (0,1–0,5 г/т), то есть специфика оруденения монометаллическая.

Из других элементов, кроме платины, резко аномальным является хром. Аномалии платины пространственно совмещены с аномалиями хрома, одна-

ко последние распространены гораздо шире, в то время как перспективные аномалии платины очень локальны (рис. 2). Слабо аномальные поля, совмещенные с аномалиями хрома, образуют никель и кобальт. В незначительной степени повышенные концентрации характерны для титана. Они приурочены к фронтальным частям аномальных полей хрома. Повышенных содержаний каких-либо иных попутных компонентов обнаружено не было.

Основные аномалии платины в целом приурочены к западной границе полей перекристаллизованных средне- и крупнозернистых дунитов центра ядра и мелко-тонкозернистых дунитов периферии. Аномалии имеют вытянутый характер, простираясь в целом в меридиональном направ-

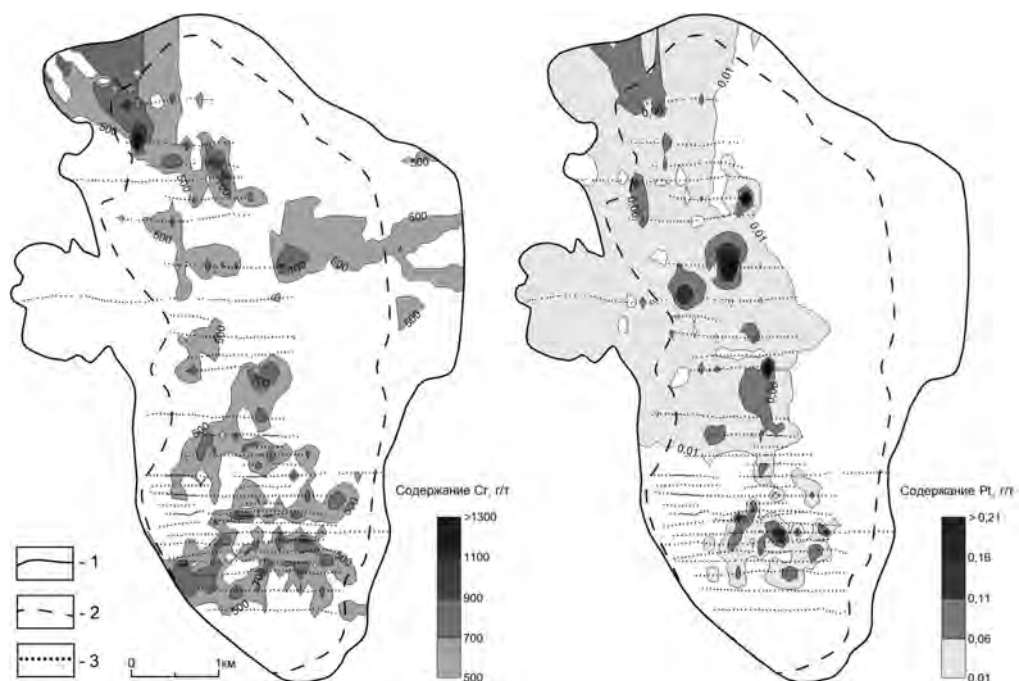


Рис. 2. Вторичные ореолы рассеяния платины (справа) и хрома (слева), г/т: 1 – граница Светлоборского массива, 2 – контур дунитового ядра; 3 – точки отбора проб рыхлых элювиально-делювиальных отложений

лени. Самыми значимыми являются сближенные аномалии, образующие аномальное поле в южной части массива, и единичные, расположенные примерно в 1,5 км по простиранию на север. Протяженность их до 300 м, ширина до 100 м. Содержания платины в центральных частях аномалий превышает 0,1 г/т. Максимальное содержание платины составляет 7,2 г/т. Фоновые содержания составляют 0,02–0,04 г/т. Несмотря на то, что уровень содержаний платины довольно низкий, строение ореольной системы свидетельствует об определенном уровне ее упорядоченной организации, а значит, позволяет предполагать наличие повышенных содержаний платины в залегающих под аномалиями коренных породах.

На основе анализа корреляционной матрицы можно сделать выводы о взаимосвязях элементов во вторич-

ных ореолах рассеяния Светлоборского массива. Во-первых, обращает на себя внимание довольно высокий коэффициент корреляции между Au-Pd (0,65). При этом ЭПГ не проявляют сильной корреляционной связи с другими элементами, за исключением Pt, характеризующейся средними положительными связями с Ni (0,34), Co, Mn (0,57) и слабыми положительными – с Cr (0,36) и отрицательными – с Ti (-0,35) и Ba (-0,47), что может указывать на совместное накопление с образованием минералов состава Pt-Fe-Ni-Cu, которые описывались Н.Д. Толстых [7]. Палладий и золото характеризуются лишь положительной значимой корреляцией с Cu (0,46 и 0,56 соответственно). В целом, по результатам многомерной статистики во вторичных ореолах рассеяния выделяются две контрастные ассоциации: хромитовая (Cr, Ti, Ni, Co, Mn)

и халькофильная (Au, Pd, Ag, Cu). Платина тяготеет к обеим группам, но в большей степени к первой. В минералогическом отношении это проявляется в преобладании минералов состава Pt-Fe-Ni-Cu [6, 7] в дунитах и изредка в хромитах. Палладий, в свою очередь, более подвижный элемент в экзогенном процессе по сравнению с платиной [9]. Он преимущественно рассеивается, либо концентрируется на геохимических барьерах более глубоких горизонтов, тогда как платина, хотя и обнаруживает сходное поведение, но с очень слабым эффектом, в элювиально-делювиальных отложениях подвижна только в высококислотных и высоко-хлоридных водах [8]. Возможно, что это одна из причин предпочтительной концентрации платины в верхней зоне гипергенного профиля.

Таким образом, среди элементов платиновой группы во вторичных ореолах рассеяния концентрируется преимущественно платина. Палладий, серебро и другие редкие элементы в основном рассеиваются. Наряду с платиной отчетливо выявляются аномалии хрома, которые лишь в первом при-

ближении совпадают с платиновыми. При более детальном рассмотрении выясняется, что платина ассоциирует как с группой Cr-Ti-Ni-Co-Mn, так и с Au-Pd-Ag-Cu, имея при этом низкие коэффициенты корреляции с хромом, что говорит о незначительном вкладе хромитового типа платиновой минерализации в коренное оруденение Светлоборского массива. Это подтверждается также и почти полным отсутствием крупных самородков платины в россыпях светлоборских логов [4], столь характерных для этого типа минеральной ассоциации, как, например, на Нижнетагильском массиве Платиноносного пояса Урала [1].

В заключение следует отметить, что выявленные в пределах Светлоборского массива и кратко охарактеризованные выше вторичные ореолы рассеяния платины, хрома и других редких элементов позволили нам положительно оценить перспективы обнаружения в пределах рассматриваемой площади рудопроявлений платины и рекомендовать продолжение в этом рудном поле детальных поисково-оценочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. – 488 с.
2. Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Белоглазов И.Н., Володин В.И. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения. – СПб: Недра, 2006. – 188 с.
3. Лазаренков В.Г., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы. – СПб.: Изд-во «Галарт», 2001. – 266 с.
4. Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротева В.А., Малахов И.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. – Екатеринбург, 2001. – 199 с.
5. Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И. Платиноиды и золото в оксидно-силикатных никелевых рудах Буруктальского и Уфалейского месторождений, Урал // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 5. – С. 474–487.
6. Телегин Ю.М., Телегина Т.В., Толстых Н.Д. Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платиноносного пояса Урала / Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. – Т. 2. – С. 212–215.
7. Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 6. – С. 775–793.
8. Fuchs A.W., Rose A.W. The Geochemical Behaviour of Platinum and Palladium in the Weathering Cycle in the Stillwater Complex, Montana. // Econ. Geol., 1974, v. 69, no 3, pp. 332–346.
9. Traoré D., Augé T. Alteration and supergene evolution of Platinum-Group Minerals in the Pirogues Mineralization, New Caledonia Ophiolite. Abstr. 10-th Intern. Plat. Symp., 2005, pp. 588–591. **ГИАБ**

Гайфутдинова Асия Минякуповна – аспирант, e-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»;
Телегин Юрий Михайлович – директор, e-mail: yuritegin@mail.ru, ООО «Prospector»;
Таловина Ирина Владимировна – доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: i.talovina@gmail.com,
Рыжкова Светлана Олеговна – кандидат геолого-минералогических наук, секретарь ученого совета, e-mail: ryzhkova@spmi.ru,
Никифорова Виктория Сергеевна – аспирант, e-mail: irrevictory@gmail.com, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 550.842.553.491

SECONDARY DISPERSION HALOS OF PLATINUM GROUP ELEMENTS, GOLD AND SILVER OF THE SVETLOBORSKY DUNITE-CLINOPYROXENITE MASSIF, PLATINUM BELT OF THE URALS

Gayfutdinova A.M., Graduate Student, e-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru, National Mineral Resource University «University of Mines»;
Telegin Yu.M., Director, e-mail: yuritegin@mail.ru, LTD «Prospector»;
Talovina I.V., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: i.talovina@gmail.com,
Ryzhkova S.O., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Secretary of the Academic Council, e-mail: ryzhkova@spmi.ru,
Nikiforova V.S., Graduate Student, e-mail: irrevictory@gmail.com, National Mineral Resource University «University of Mines».

According to the results of lithogeochemical sampling of soil-forming eluvial-deluvial sediments within the Svetloborsky massif together with platinum, anomalies of gold, chromium and some trace elements were identified. Evaluation of these halos using the method of two-dimensional modeling allowed to identify prospective anomalies of platinum, which in a first approximation, spatially are coincident with the anomalies of chromium. More detailed analysis of data using multivariate statistical methods revealed that platinum are not correlated with chromium, indicating a minor contribution of chromite type of platinum mineralization in the primary mineralization of the Svetloborsky massif. Also it was revealed that in the eluvial-deluvial subsurface sediments almost all trace elements, except for platinum and chromium, are mostly dispersed under the influence of exogenous processes.

Key words: lithogeochemical sampling, secondary dispersion halos, the Svetloborsky massif, Platinum group elements.

REFERENCES

1. Ivanov O.K. *Kontsentricheski-zonal'nye piroksenit-dunitovye massivy Urala* (Concentrically zoned pyroxenite-dunite massifs of the Urals), Ekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta, 1997, 488 p.
2. Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Beloglazov I.N., Volodin V.I. *Platinovye metally v gipergennykh nikel-nykh mestorozhdeniyakh i perspektivy ikh promyshlennogo izvlecheniya* (Platinum metals in the supergene nickel deposits and prospects for industrial extraction), Saint-Petersburg, Nedra, 2006, 188 p.
3. Lazarenkov V.G., Talovina I.V. *Geokhimiya elementov platinovoi gruppy* (Geochemistry of platinum group elements), Saint-Petersburg, Izd-vo «Galart», 2001, 266 p.
4. Zoloev K.K., Volchenko Yu.A., Koroteev V.A., Malakhov I.A. *Platinometal'noe orudnenie v geologicheskikh kompleksakh Urala* (PGE mineralization in geological complexes of the Urals), Ekaterinburg, 2001, 199 p.
5. Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Vorontsova N.I. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2003, no 5, pp. 474–487.
6. Telegin Yu.M., Telegina T.V., Tolstykh N.D. *Ul'trabazit-bazitovye kompleksy skladchatykh oblastei i svyazannye s nimi mestorozhdeniya* (Mafic-ultramafic complexes of folded regions and related fields), Ekaterinburg: IGIG UrO RAN, 2009, vol. 2, pp. 212–215.
7. Tolstykh N.D., Telegin Yu.M., Kozlov A.P. *Geologiya i geofizika*, 2011, vol. 52, no 6, pp. 775–793.
8. Fuchs A.W., Rose A.W. The Geochemical Behaviour of Platinum and Palladium in the Weathering Cycle in the Stillwater Complex, Montana. *Economic Geology*, 1974, vol. 69, no 3, pp. 332–346.
9. Traoré D., Augé T. Alteration and supergene evolution of Platinum-Group Minerals in the Pirogues Mineralization, New Caledonia Ophiolite. *Abstr. 10-th Intern. Plat. Symp.*, 2005, pp. 588–591.