

**В.С. Никифорова, А.М. Дурягина,  
Ю.М. Телегин, И.В. Таловина**

## **РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЖИЛЬНЫХ ПОРОДАХ СВЕТЛОБОРСКОГО ДУНИТ- КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА**

По результатам опробования рудопроявления Высоцкого в пределах Светлоборского массива в жильных породах наряду с аномалиями платины были выявлены повышенные содержания редких элементов, которые входят в две ассоциации: дунитовую (Co, Cr, Ni, Mn) и жильную (Pb, V, Cd, Cu, Hg). Платина стоит довольно обособленно от обеих групп и слабо тяготеет к Ag.

Ключевые слова: жильные породы, редкие элементы, Светлоборский массив, элементы платиновой группы, Платиноносный пояс Урала.

### **Введение**

**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.

Коренное платинометалльное оруденение Светлоборского массива представлено двумя минеральными ассоциациями: хромит-платиновой, приуроченной к хромититовым жилам центральной части дунитового ядра (нижнетагильский тип), и дунит-платиновой, приуроченной к тонкозернистым дунитам краевой части ядра, прорванных серией субпараллельных даек клинопироксенитов, горнблендитов и плагиоклазовых горнблендитов (иситов) [9]. Именно второму типу оруденения в последние годы уделяется особое внимание геологов-поисковиков.

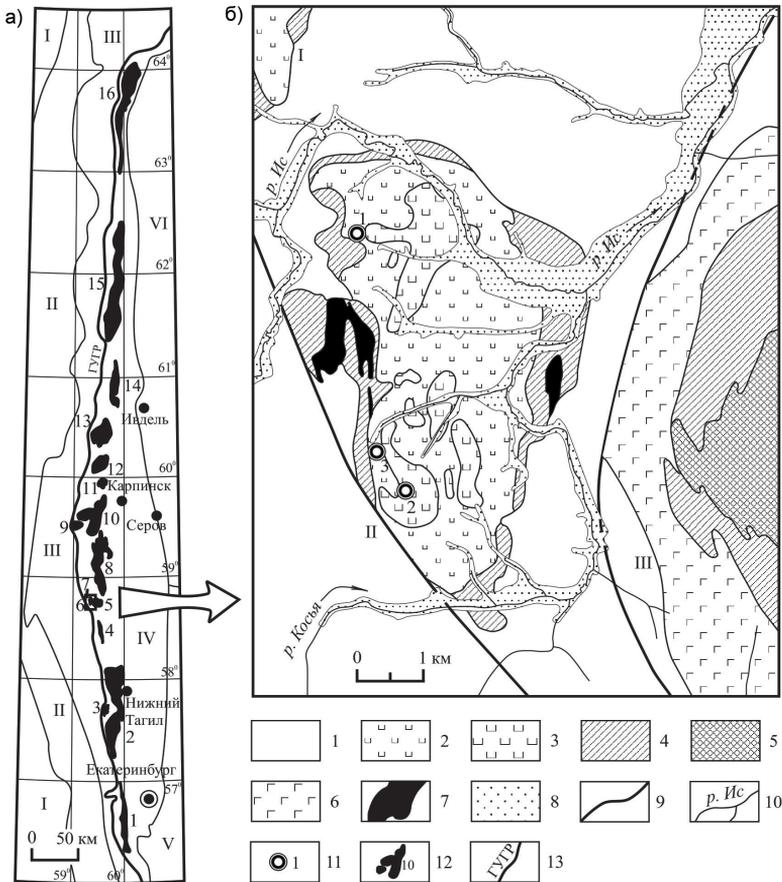
Как известно, металлы платиновой группы (МПГ) характеризуются низкими кларками, высокой изменчивостью распределения в земной коре, в связи с чем при геохимических поисках коренных месторождений наряду с определением собственно МПГ традиционно используются геохимические поиски по элементам-спутникам. Учитывая, что главные перспективы платинометалльного оруденения в пределах Платиноносного пояса Урала связаны с мафит-ультрамафитовыми массивами с различной степенью сульфидизации, основными индикаторами МПГ в них являются хром, никель и кобальт, а также титан, ванадий, медь, цинк [6, 8].

Так как на Светлоборском массиве, в отличие от многих зональных массивов Урала, развит дунит-платиновый тип оруденения, связанный, по-видимому, с внедрением в дуниты жильных пород в тектонически ослабленных зонах [5], наиболее интересным представляется изучение геохимических особенностей этих пород и выявление в них элементов, ассоциирующих с платиной.

### **Краткое геологическое строение Светлоборского массива**

Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив относится к Качканарскому интрузивному комплексу и входит в цепочку концентрически-зональных массивов Платиноносного пояса Урала (рисунок). Имеет позднеордовикский возраст и залегает среди зеленых сланцев среднего-верхнего ордовика [4]. Форма массива линзовидная, вытянутая в субмеридиональном направлении, согласная с северо-западным простиранием вмещающих пород. Массив состоит из дунитового ядра и клинопироксенитовой оболочки, прослеживающейся почти по всей периферии массива. Центральную часть дунитового ядра слагают средне- и мелкозернистые дуниты. Мелкозернистые разновидности 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 развиваются маломощные элювиальные образования.

Периферическая часть ядра сложена тонкозернистыми дунитами, прорванными дайками, к которым нами отнесены многочисленные тела горнблендитов, иситов, диопсидитов значительной протяженности по простиранию и падению, имеющие интрузивные контакты с вмещающими дунитами, а также ассоциирующие с ними серпентиновые, хлоритовые и флогопит-



**Рис. 1.** Положение массивов Платиноносного пояса Урала и схематическая геологическая карта Светлоборского массива [4, 7]: 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 – Косьювинский, 10 – Кытлымский, 11 – Князепинский, 12 – Кумбинский, 13 – Денежинский, 14 – Помурский, 15 – Чистопский, Яллинг-Ньерский, 16 – Хорасюрский. 13 – Главный Уральский глубинный разлом. Структурно-минерагенические 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. ГУГР – главный уральский глубинный разлом; б) I – Вересовоборский клинопироксенит-дунитовый массив, II – Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив, III – Качканарский габбро-клинопироксенитовый массив; 1 – кытлымиты, зеленые сланцы вьейской 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 рудопроявления платины: 1 – Борт Лога №1, 2 – Травянистый Лог, 3 – Высоцкого

вермикулитовые жилы и прожилки. Хромитовые сегрегации на Светлоборском массиве встречаются редко: среди северного и южного поля средне- и мелкозернистых дунитов отмечаются небольшие редкие зоны развития жильных хромититов.

### **Методика и результаты работ**

В период 2003–2009 гг. под руководством ОАО «Урал-МПГ» на рудопроявлении Высоцкого Светлоборского массива проводились поисковые работы, в рамках которых с целью комплексной оценки рудоносности подлежащей поискам площади было проведено опробование канав на ряд редких элементов. Пробы (в количестве 535 штук) анализировались на Pt пробирным анализом с последующим определением методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (PG) и на ряд редких элементов (Ni, Co, Cr, Mn, V, Cu, Zn, Pb, Ag, Bi, Cd, Ge, Hg, B, As, Sb, Li, W, Sn, Mo, P, U) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с возбуждением в дуговом разряде (Arc-AES) в лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва). Качество лабораторных работ контролировалось внутрилабораторным контролем. Полученные данные обрабатывались методами математической статистики с использованием программного обеспечения Statistica 7.0 и Surfer 8. Средние концентрации платины и ряда редких элементов в жильных породах Светлоборского массива представлены в таблице.

Говоря об общих особенностях жильных пород Светлоборского массива, необходимо отметить повышенные содержания в них целого ряда высокозарядных и транзитных элементов относительно не только жильных пород сходных ультраосновных массивов Урала: Хабарнинского, Кытлымского и других [2], но и самих дунитов Светлоборского массива. Для жильных пород по сравнению с дунитами характерно повышенное содержание V, Cu, Pb, Cd, Mo и пониженными – Cr, Ni, Bi, W, Sn, P, при этом максимальные значения редких элементов характерны для мономинеральных и особенно плагиоклазовых горнблендитов (V, Ag, Cu, Pb, Cd, B, Li, As, Mo, Ge). Вероятно, повышенные содержания этих элементов контролируются летучей фазой, а их основными концентраторами становятся сульфиды и плагиоклаз [2].

По сравнению с жильными породами, дуниты значительно обогащены элементами группы железа (Cr, Ni, Co, Mn), что, вероятно, связано также с широким развитием в них «рядовой» хромитовой вкрапленности и ее полным отсутствием в породах

*Средние содержания Pt и других редких элементов в жильных породах Светлоборского массива, г/т*

Элемент	Диопсидиты		Горнblendиты мономинеральные		Горнblendиты плагноклазовые		Серпентиновые метасоматиты	
	x	s	x	s	x	s	x	s
Pt	0,049	0,035	0,047	0,047	0,016	0,013	0,048	0,111
Транзитные элементы								
Cr	1691,7	142,2	1528,4	279,8	684,5	259,7	1335,4	373,2
Mn	1236,1	186,0	1344,5	257,4	1313,2	284,9	1264,6	299,8
Ni	393,9	135,0	297,1	65,7	213,3	138,5	319,1	120,3
Co	98,8	27,3	71,5	17,2	55,5	27,0	77,5	24,4
V	44,2	10,2	138,4	30,9	146,1	39,1	96,5	24,6
Ag	<0,2	0,0	<0,2	0,0	<0,2	0,1	<0,2	0,0
Cu	18,8	4,0	28,6	5,8	41,8	18,7	26,3	7,5
Zn	98,4	17,1	101,1	13,2	86,7	13,4	96,8	17,9
Pb	14,6	3,0	18,1	5,1	20,3	4,8	18,2	4,7
Bi	0,6	0,1	0,6	0,1	0,5	0,2	0,6	0,1
Cd	<2	0,0	1,6	0,8	2,1	0,9	1,3	0,6
Ge	2,0	0,2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,0	0,2
Hg	1,7	0,7	1,6	0,7	1,7	0,9	1,8	1,0
B	24,3	5,4	30,0	9,1	33,8	11,7	30,3	8,4
As	3,2	1,6	2,9	1,0	3,4	1,8	3,1	1,4
Li	24,5	5,4	23,9	2,9	26,7	7,7	25,9	5,7
W	3,5	0,6	3,5	0,8	2,3	0,6	3,1	0,8
Sn	7,2	1,2	5,9	1,7	3,6	0,8	5,8	1,7
Mo	1,6	1,2	1,6	1,0	2,3	1,4	1,7	1,0
P	155,3	43,2	229,4	91,5	223,4	107,0	173,1	59,4
n	36	31	38	207				

Продолжение таблицы

Элемент	Хлоритовые метасоматиты		Флогопит-вермикули- товые метасоматиты		Дуниты	
	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>
Pt	0,063	0,090	0,028	0,048	0,104	0,229
Транзитные элементы						
Cr	1208,2	357,2	598,8	250,9	2633,3	766,9
Mn	1042,3	201,5	720,0	158,9	2172,5	700,8
Ni	211,5	53,0	93,9	48,5	535,9	164,9
Co	57,3	9,1	29,8	7,3	134,9	33,2
V	66,8	15,5	78,5	14,9	56,0	34,3
Ag	<0,2	0,0	<0,2	0,0	<0,2	0,0
Cu	16,9	2,7	20,9	4,9	19,1	6,7
Zn	69,2	8,9	60,5	7,2	138,3	38,4
Pb	15,3	2,8	17,0	3,1	11,2	3,9
Bi	0,4	0,1	0,3	0,1	1,5	4,4
Cd	1,3	0,5	1,3	0,5	1,1	0,3
Ge	2,3	0,4	2,0	0,3	2,0	0,2
Hg	1,8	1,2	1,5	0,7	1,3	1,0
B	22,5	5,0	26,4	5,0	26,3	13,5
As	3,2	1,5	3,3	1,6	4,2	11,7
Li	20,3	2,7	18,6	3,2	26,4	4,9
W	2,7	0,5	1,8	0,4	5,5	1,8
Sn	5,8	1,5	3,8	0,9	10,6	4,0
Mo	2,0	1,1	1,4	1,0	1,7	1,6
P	103,3	43,1	83,5	34,6	245,9	101,6
n	39	34	150			
Примечание: <i>x</i> – среднее, <i>s</i> – стандартное отклонение, <i>n</i> – количество проб.						

жильного комплекса. Интересно отметить, что в дунитах Нижнетагильского массива, где породы дайково-жильного комплекса имеют крайне ограниченное распространение, содержания редких, в том числе редкоземельных, элементов на порядок ниже по сравнению с дунитами Светлоборского массива [3, 7]. Это дает основания предположить, что внедрение жильных пород горнблендитового, иситового, диопсидитового состава способствует накоплению во вмещающих их дунитах редких, особенно некогерентных для ультрамафитов, элементов.

Распределение платины в жильных породах крайне неравномерное (таблица). В дунитах повышенные содержания платины (до 8,8 г/т) наблюдаются в единичных пробах, которые, скорее всего, соответствуют концентрациям платины типа «хромитовых шпиров» и не имеют промышленных перспектив. Средние же содержания платины варьируют от 0,016 г/т в плагиоклазовых горнблендитах до 0,104 г/т – во вмещающих дунитах.

На основе анализа корреляционной матрицы можно сделать выводы о взаимосвязях элементов в дунитах и жильных породах Светлоборского массива. Во-первых, обращает на себя внимание практически полное отсутствие корреляции платины с хромом во всех породах, за исключением дунитов, где она очень слабая ( $r = +0,11$  при  $r_{\text{крит}} = 0,10$  для 410 проб, 95%-вероятности), что говорит о незначительном вкладе хромитового типа платиновой минерализации в коренное орудование Светлоборского массива. Платина в жильных породах не проявляет с остальными редкими элементами сильных корреляционных зависимостей. Слабые положительные связи характерны для нее с Co ( $r = +0,11$  при  $r_{\text{крит}} = 0,10$  для 338 проб, 95%-вероятности), и слабые отрицательные – с V ( $r = -0,11$ ).

В целом, по результатам многомерной статистики выделяются две контрастные ассоциации химических элементов: дунитовая (Co, Cr, Ni, Mn) и жильная (Pb, V, Cd, Cu, Hg). Платина стоит довольно обособленно и слабо тяготеет к Ag, не имея с ним сильных корреляционных связей.

В заключение следует отметить, что жильные породы Светлоборского массива характеризуются повышенными содержаниями целого ряда редких, в том числе некогерентных для ультрамафитов, элементов (V, Ag, Cu, Pb, Cd, B, Li, As, Mo, Ge), которые, вероятно, концентрируются в сульфидах, плагиоклазе и других минералах. В дунитах Светлоборского массива в зонах развития дайковых и жильных пород платина не имеет положительных корреляционных взаимоотношений с хромом и слабо тяготеет к Ag.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гайфутдинова А. М., Телегин Ю. М., Таловина И. В., Рыжкова С. О., Никифорова В. С.* Вторичные ореолы рассеяния элементов платиновой группы, золота и серебра Светлоборского дунит-клинопироксенитового массива, Платиноносный пояс Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 312–318.
2. *Готтман И. А., Пушкарев Е. В.* Геологические данные о магматической природе горнблендитов в габбро-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа // Литосфера. – 2009. – № 2. – С. 78–86.
3. *Дурягина А. М., Воронцова Н. И., Николаева Е. С.* Геология и минералого-геохимические особенности коры выветривания Нижнетагильского и Светлоборского массивов Среднего Урала // Записки Горного института. – 2015. – т. 212. – С. 40–49.
4. *Иванов О. К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. – 488 с.
5. *Козлов А. П., Чантурия В. А., Сидоров Е. Г., Толстых Н. Д., Телегин Ю. М.* Крупно-объемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаяскинского типа и перспективы их освоения // Геология рудных месторождений. – 2011. – т. 53. – № 5. – С. 417–435
6. *Лазаренков В. Г., Таловина И. В.* Геохимия элементов платиновой группы. – СПб.: Изд-во «Галарт», 2001. – 266 с.
7. *Пилюгин А. Г., Таловина И. В., Дурягина А. М., Никифорова В. С.* Геохимические особенности платиноносных дунитов Светлоборского и Нижнетагильского массивов Платиноносного пояса Урала // Записки Горного института. – 2015. – т. 212. – С. 50–61.
8. *Золоев К. К., Волченко Ю. А., Коротеев В. А., Малахов И. А. и др.* Платинometальное оруженение в геологических комплексах Урала. – Екатеринбург: 2001. – 199 с.
9. *Телегин Ю. М., Телегина Т. В., Толстых Н. Д.* Геологические особенности рудопоявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платиноносного пояса Урала / Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Т. 2. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. – С. 212–215. **ИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Никифорова Виктория Сергеевна*<sup>1</sup> – аспирант,

e-mail: irrevictory@gmail.com,

*Дурягина (Гайфутдинова) Асия Минякуповна*<sup>1</sup> –

кандидат геолого-минералогических наук, ассистент,

e-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru,

*Телегин Юрий Михайлович* – директор,

e-mail: yuritelegin@mail.ru,

ООО «Prospector», 620075, Екатеринбург,

*Таловина Ирина Владимировна*<sup>1</sup> – доктор геолого-минералогических

наук, профессор, зав. кафедрой,

e-mail: i.talovina@gmail.com,

<sup>1</sup> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

**V.S. Nikiforova, A.M. Duryagina, Yu.M. Telegin, I.V. Talovina**  
**RARE ELEMENTS IN VEINED ROCKS**  
**OF THE SVETLOBORSKY**  
**DUNITE-CLINOPYROXENITE MASSIF**  
**OF THE PLATINUM BELT OF THE URALS**

According to the sampling results of Visotsky ore occurrence within the Svetloborsky massif together with platinum, anomalies of some rare elements were identified. Geochemically they are divided into two associations: dunite (Co, Cr, Ni, Mn) and veined (Pb, V, Cd, Cu, Hg). Platinum is quite apart from these groups and weakly tends to Ag with having no correlations with him.

Key words: veined rocks, rare elements, the Svetloborsky massif, Platinum group elements, the Platinum belt of the Urals

#### AUTHORS

*Nikiforova V.S.*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: irrevictory@gmail.com,

*Duryagina (Gayfutdinova) A.M.*<sup>1</sup>, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistance Lecturer, e-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru,

*Telegin Yu.M.*, Director, e-mail: yuritelegin@mail.ru, LTD «Prospector», 620075, Ekaterinburg, Russia,

*Talovina I.V.*<sup>1</sup>, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Chair, e-mail: i.talovina@gmail.com,

<sup>1</sup> National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

#### REFERENCES

1. Gayfutdinova A. M., Telegin Yu. M., Talovina I. V., Ryzhkova S. O., Nikiforova V. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 1, pp. 312–318.
2. Gottman I. A., Pushkarev E. V. *Litosfera*. 2009, no 2, pp. 78–86.
3. Duryagina A. M., Vorontsova N. I., Nikolaeva E. S. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015, vol. 212, pp. 40–49.
4. 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.
5. Kozlov A. P., Chanturiya V. A., Sidorov E. G., Tolstykh N. D., Telegin Yu. M. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 2011, vol. 53, no 5, pp. 417–435
6. Lazarenkov V. G., Talovina I. V. *Geokhimiya elementov platinovoy gruppy* (Geochemistry of platinum group elements), Saint-Petersburg, Izd-vo «Galart», 2001, 266 p.
7. Pilyugin A. G., Talovina I. V., Duryagina A. M., Nikiforova V. S. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015, vol. 212, pp. 50–61.
8. Zoloev K. K., Volchenko Yu. A., Koroteev V. A., Malakhov I. A. *Platinometal'noe orudnenenie v geologicheskikh kompleksakh Urala* (PGE mineralization in geological complexes of the Urals), Ekaterinburg, 2001, 199 p.
9. Telegin Yu. M., Telegina T. V., Tolstykh N. D. *Ul'trabazit-bazitovye komplekсы skladchatykh oblastey i svyazannye s nimi mestorozhdeniya*. T. 2 (Mafic-ultramafic complexes of folded regions and related fields, vol. 2), Ekaterinburg, IGiG UrO RAN, 2009, pp. 212–215.

