

**В.С. Никифорова, Н.И. Воронцова,  
А.М. Дурягина, И.В. Таловина**

## **ЖИЛЬНЫЕ ПОРОДЫ СВЕТЛОБОРСКОГО МАССИВА И ИХ ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Описаны жильные породы Светлоборского массива, представлена их петрохимическая характеристика. Установлено, что эти жильные породы можно отнести к трем ассоциациям: ультрамафической (дуниты, хромититы, диопсидиты), мафической (мономинеральные горнблендиты и плагиоклазовые горнблендиты) и постмагматической гидротермально-метасоматической (серпентинитовые, хлоритовые и флогопит-вермикулитовые метасоматиты). Выявлено, что породы ультрамафической и мафической ассоциаций на треугольных диаграммах составов пород образуют отдельные, неперекрывающиеся между собой поля точек, которые при этом перекрываются полями пород жильной постмагматической ассоциации. Наиболее интересные с точки зрения платиноносности массива породы мафической ассоциации, которые отличаются от других жильных пород повышенной щелочностью и повышенной железистостью, что позволяет использовать эти характеристики как поисковый признак платинометалльного оруденения в пределах Светлоборского массива.

Ключевые слова: жильные породы, мафическая, ультрамафическая, постмагматическая ассоциация, платиновые металлы, Платиноносный пояс Урала, Светлоборский массив.

**С**ветлоборский клинопироксенит-дунитовый массив, площадью 20 км<sup>2</sup> находится близ г. Качканар на Среднем Урале. Массив входит в цепочку концентрически-зональных массивов Платиноносного Пояса Урала, имеет позднеордовикский возраст и залегает среди зеленых сланцев среднего-верхнего ордовика [2, 5]. Ядро массива площадью 14 км<sup>2</sup> состоит из дунитов, которые и слагают большую его часть. Центральная часть дунитового ядра сложена среднезернистыми и мелкозернистыми дунитами. Периферическая часть представлена тонкозернистыми дунитами, которые сменяются клинопироксенитовой оторочкой шириной от 250 м до 1,5 км, представленных каймой от верлитов до клинопироксенитов оливиновых и флогопитовых [2].

Промышленные содержания платины на Светлоборском массиве приурочены к пробам дунитов, залегающим в контакте с жильными телами мономинеральных и плагиоклазовых горнблендитов [6], поэтому изучение жильных пород массива представляет практический интерес.

По нашим данным, а также по результатам работ Ю.М. Телегина [6] жилы и дайки массива широко распространены, весьма разнообразны по составу и строению и приурочены, главным образом, к дунитовому ядру массива, составляя около 5% объема пород, а в периферических частях — до 40%. В пределах дунитового ядра они развиты повсеместно, но наиболее часто встречаются в приконтактных с клинопироксенитовой оторочкой зонах, где местами образуют дайковые кусты и штокверки.

Начало изучения жильных пород Светлоборского массива положено еще Н.К. Высоцким и А.Н. Заварицким, А.Г. Бетехтиным, которые отмечали развитие в дунитах массива жил и прожилков амфибол-пирокенового и серпентин-хлоритового состава. Наиболее подробно их изучал О.К. Иванов, который выделил ультрамафическую, габброидную, серпентинитовую и иситовую [2] ассоциации пород, с каждой из которой связаны жильные и дайковые тела. В последние годы горнблендиты Светлоборского массива, наряду с горнблендитами других массивов Урала, исследовались И.А. Готтман и Е.В. Пушкаревым [1, 5], которые представили их минералого-петрографический и химический состав, а также первые результаты датирования U-Pb методом по данным SHRIMP-II.

В пределах массива нами выделяется три ассоциации пород: ультрамафическая, мафическая и постмагматическая гидротермальная.

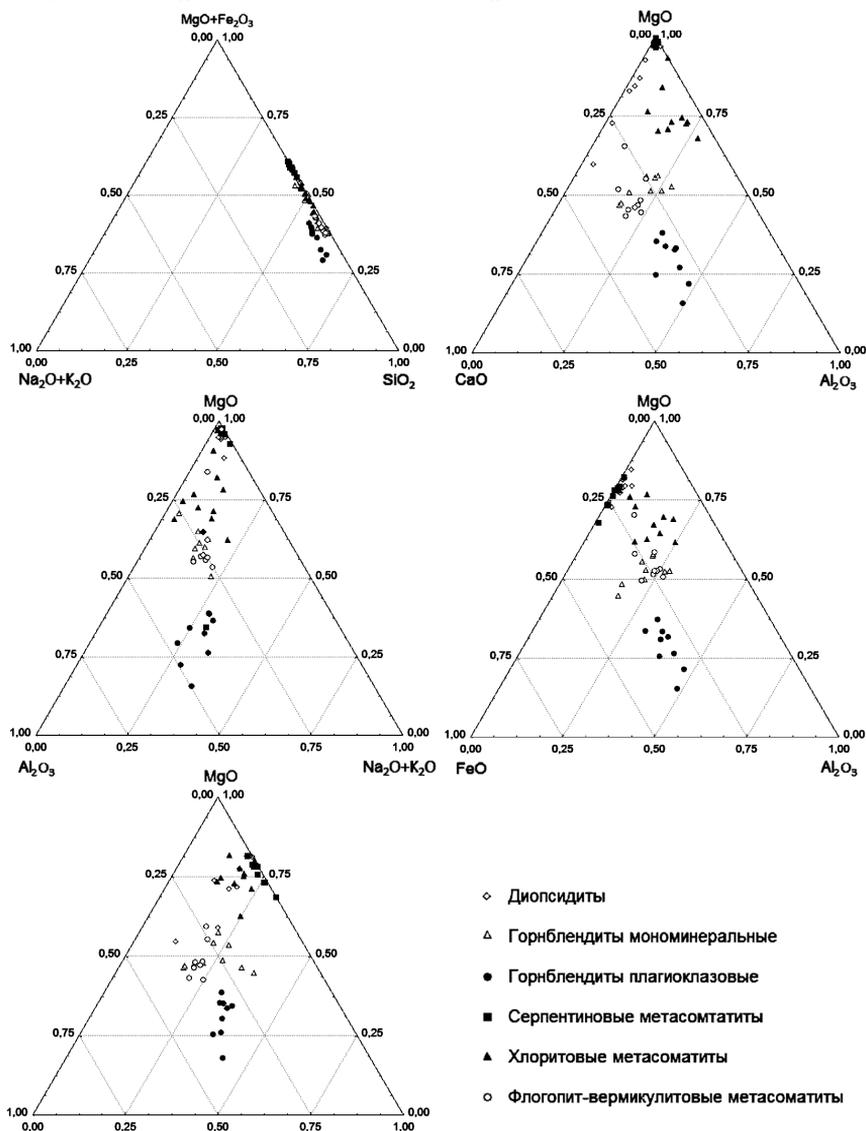
В таблице приведены средние содержания петрогенных оксидов в изученных жильных породах массива. Определение содержания проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа в лаборатории рентгенографии Фрайбергской горной академии (Германия), аналитик R. Möckel. Полученные аналитические данные подтверждают наличие ассоциаций, выделенных по геологическим и минералого-петрографическим признакам. Во всех изученных соотношениях главных петрогенных оксидов (рисунок) точки частных анализов пород объединяются в группы, соответствующие выделенным ассоциациям. Интересно, что на всех диаграммах группа плагиоклазовых горнблендитов отличается значительной автономией, тогда как остальные группы в той или иной мере накладываются друг на друга.

**Содержания петрогенных элементов (%) в жильных породах  
Светлоборского массива**

Оксид	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	39,85	35,22	35,80	35,12	36,42	38,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	9,18	13,63	0,39	6,38	7,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,48	12,26	11,80	11,89	7,05	7,51
MnO	0,14	0,15	0,18	0,17	0,15	0,11
MgO	33,83	19,93	10,96	37,93	28,98	18,89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,70	0,14	0,02	0,30	0,28	0,12
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,89	1,02	0,02	0,20	0,55
CaO	5,32	8,09	11,06	0,41	2,74	12,04
Na <sub>2</sub> O	0,11	0,90	2,02	0,08	0,25	0,50
K <sub>2</sub> O	0,00	0,50	1,04	0,07	0,12	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,71	0,44	0,06	0,03	0,02
SO <sub>3</sub>	0,01	0,05	0,03	0,04	0,03	0,01
п.п.п.	8,08	7,27	7,53	9,77	12,36	12,21
Σ	97,32	95,28	95,51	96,26	95,02	97,54
*f	0,11	0,21	0,38	0,14	0,11	0,17
Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	0,11	1,04	3,06	0,12	0,44	0,80
Примечание. 1–6 – жильные породы: 1 – ультрамафической ассоциации – диопсидиты, 2–3 – мафической ассоциации: 2 – горнблендиты мономинеральные, 3 – горнблендиты плагиоклазовые; 4–6 – породы постагматической гидротермальной ассоциации: 4 – серпентиновые матасоматиты, 5 – хлоритовые метасоматиты, 6 – флогопит-вермикулитовые метасоматиты; *f – «железистость» – $f = 0,5Fe_2O_3 / (0,5Fe_2O_3 + MgO)$ .						

Ультрамафическая ассоциация является самой ранней в изученной последовательности пород (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>) [2]. В данной ассоциации жильных пород нами выделено два этапа – дунитовый и клинопироксенитовый. К дунитовому этапу относятся, помимо собственно дунитов, прежде всего, хромититы, тела которых в дунитах Светлоборского массива редки по сравнению с соседними зональными массивами. По О.К. Иванову [2], основная масса хромититовых жил приурочена к фронту перекристаллизации дунитов. Нашими коллегами в дунитах Светлоборского массива выделяют и подробно описаны хромититы трех петрографических типов: жильные и прожилково-вкрапленные, связанные с линейными тектоническими зонами и узлами их пересечений; вкрапленные, получающие развитие в полях средне-, крупнозернистых и пегматоидных дунитов [3, 4], поэтому их подробную характеристику здесь мы опускаем.

К клинопироксенитовому этапу относятся, главным образом, диопсидитовые жилы и прожилки мощностью от первых миллиметров до 10–15 см, распространенные в породах дунитового ядра и занимающие секущее положение по отношению к дунитам, хромититам и клинопироксенитам оболочки мас-



Треугольные диаграммы составов жильных пород Светлогорского массива

сива. Диопсидитовые жилы выполняют линейные трещины и зоны дробления северо-западного, реже широтного простирания. Часто они содержат ксенолиты вмещающих дунитов, вытянутых вдоль жил в количестве до 20–30% от объема жил. Петрохимически это высокомагнезиальные породы, относительно низкой железистости ( $f = 0,11$ ).

В работах О.К. Иванова [2], а в последнее время И.А. Готтман [1] на основе петрографического изучения среди пород, причисляемых нами к мафической ассоциации, выделяются мономинеральные клинопироксеновые, магнетитовые, флогопитовые горнблендиты мономинеральные и плагиоклазовые (иситы). Жильные горнблендиты развиты в западной и восточной частях массива на контакте клинопироксенитов с вмещающими их кытлымитами, реже – внутри клинопироксенитовой оболочки в виде линз и полос шириной до 250 м. Горнблендиты выполняют линейные трещины и зоны дробления северо-западного, реже широтного простирания и крутого падения преимущественно в восточном направлении. Редкие дайки горнблендитов в дунитах переходят в клинопироксениты с узкими приконтактовыми оторочками горнблендита. На контакте дунитов и клинопироксенитов возникает реакционная кайма. В то же время И.А. Готтман [1] показана магматическая природа горнблендитов. Мономинеральные горнблендитовые жилы часто переходят в плагиоклазовые горнблендиты, которые по старой номенклатуре называются иситами. Последние, впервые выделенные здесь Л. Дюпарком в 1913 г., пользуются широким распространением в дунитах массива. Простирание жил плагиоклазовых горнблендитов чаще всего меридиональное, падение крутое, до вертикального. Мощность жил составляет до 10 см, в отдельных случаях до 3 и более метров.

Плагиоклазовые горнблендиты содержат плагиоклаз в количестве до 15–20%, который при выветривании превращается в белую массу. В пестром составе даек массива часто встречаются своеобразные «рыхлые» дайки – это сильно выветрелые дайки плагиоклазовых горнблендитов. При этом их центральные части зачастую представлены серпентин-талък-хлорит-флогопитовым агрегатом с прожилками розоватого карбоната. Как отмечалось, эти горные породы заметно выделяются по геохимическим данным, образуя обособленные поля точек на диаграммах петрохимического состава.

Породы мафической ассоциации отличаются от других жильных пород повышенной щелочностью и повышенной железисто-

стью ( $f = 0,21$  – горнблендиты и  $f = 0,38$  – плагиоклазовые горнблендиты), что говорит о более высокотемпературной среде их образования по сравнению с другими жильными породами.

Породы ультрамафической и мафической ассоциаций образуют на диаграммах (рисунок) отдельные, непересекающиеся между собой поля точек, которые перекрываются уже полями пород жильных постмагматических ассоциаций.

Постмагматическая гидротермально-метасоматическая ассоциация жильных пород в работах О.К. Иванова называется серпентинитовой ассоциацией. Мы выделяем в ее составе серпентиновые, хлоритовые и флогопит-вермикулитовые жилы и прожилки. Все эти породы образовались в заключительную гидротермально-метасоматическую стадию развития массива.

Серпентиновые жилы и прожилки в дунитах в наибольшей степени развиты на контакте дунитов с клинопироксенитовой каймой, ширина зон развития от 50 до 600 м, а также в тектонических зонах – на границе дунитов с вмещающими зелеными сланцами и кытлымитами. Мощность серпентинитовых прожилков от первых сантиметров в собственно дунитах до 1–2 м в тектонических зонах. В дунитах черные антигоритовые прожилки субпараллельны или пересекаются, образуя крупнопетельчатую сеть с размером ячеек ~3–5 см, на отдельных участках она настолько густая, что участки вмещающего дунита выглядят реликтами – обломками в серпентинитовой матрице.

Флогопит-вермикулитовые жилы и прожилки установлены как в клинопироксенитах оболочки массива, так и в горнблендитовых дайках. Эти метасоматические образования слагают линзы и полосы в основном в западной и частично в восточной краевых частях массива в зонах вторичного изменения клинопироксенитов в виде зоны шириной до 250 м. В коре выветривания, довольно широко развитой в пределах дунитового ядра массива, флогопит замещается вермикулитом.

Хлоритовые жилы мощностью до 2–3 см наиболее развиты в периферической и средней частях массива и обычно тяготеют к участкам развития горнблендитов, а также образуют штокверки в катаклазированных серпентинизированных дунитах.

Породы постмагматической ассоциации на диаграммах составов образуют, как правило, три дифференцированных поля точек серпентиновых, хлоритовых и флогопит-вермикулитовых метасоматитов, которые могут перекрываться с полями составов жильных пород ультрамафической и мафической ассоциаций. В частности, хлоритовые метасоматиты практически

повсеместно перекрывают поля точек горнблендитов, демонстрируя петрохимически близкий состав.

Таким образом, в результате полевых геологических наблюдений и обработки полученных аналитических данных установлено, что жильные породы Светлоборского массива можно отнести к трем ассоциациям: ультрамафической, мафической и постмагматической гидротермально-метасоматической. Породы ультрамафической и мафической ассоциаций на треугольных диаграммах состава образуют отдельные, непересекающиеся между собой поля точек, которые перекрываются полями жильных пород постмагматической ассоциации. Наиболее интересные с точки зрения платиноносности породы мафической ассоциации отличаются от других жильных пород повышенной щелочностью и повышенной железистостью ( $f = 0,21$  – горнблендиты и  $f = 0,38$  – плагиоклазовые горнблендиты), что позволяет использовать эти характеристики как поисковый признак платиноносности в пределах Светлоборского массива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Иванов О. К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. – Екатеринбург: Уральский университет, 1997. – 488 с.
3. Пилюгин А. Г., Лазаренков В. Г., Воронцова Н. И., Таловина И. В., Козлов А. П., Антонов А. В., Кемпе У. Платиноносные жильные хромититы Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива, Средний Урал // Записки Горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 249–257.
4. Пилюгин А. Г., Таловина И. В., Дулягина 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.
5. Пушкарев Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение Нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литология. – 2007. – № 3. – С. 28–65.
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. Т. 2. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. – С. 212–215. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Никифорова Виктория Сергеевна* – аспирант, e-mail: irrevictory@gmail.com,  
*Воронцова Наталья Ивановна* – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, e-mail: natvoron@yandex.ru,

Дурягина (Гайфутдинова) Асия Минякуповна – кандидат геолого-минералогических наук, ассистент, e-mail: gayfutdinovaam@yandex.ru,

Таловина Ирина Владимировна – доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: i.talovina@gmail.com, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 550.842.  
553.491

**V.S. Nikiforova, N.I. Vorontsova, A.M. Duryagina, I.V. Talovina**  
**VEIN ROCKS OF THE SVETLOBORSKY MASSIF**  
**AND THEIR PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS**

The article deals with the relationship and petrochemical characteristics of vein rocks of the Svetloborsky massif. There are ultramafic (dunites, chromitites, diopsidites), mafic (monomineral and plagioclase hornblendites) and postmagmatic hydrothermal (serpentinite, chlorite and phlogopite-vermiculite,) associations were determined. It was found that the rocks of ultramafic and mafic associations in the triangular diagram of the rocks composition form a separate, non-overlapping field of points, which overlap with the fields of postmagmatic rocks. The investigation of vein rocks Svetloborsky array is interest of due to the fact potential affinity of platinum industry. The mafic rocks are characterized by the increased alkalinity and ferruginosity ( $f = 0,21$  – hornblendites and  $f = 0,38$  – plagioclase hornblendites), which possible to use as a search feature for platinum mineralization within the Svetloborsky massif.

Key words: vein rocks, mafic, ultramafic, postmagmatic association, Ural Platinum Belt, the Svetloborsky massif.

**AUTHORS**

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

*Vorontsova N.I.*<sup>1</sup>, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,

Assistant Professor, e-mail: natvoron@yandex.ru,

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

*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. Gottman I. A., Pushkarev E. V. *Litosfera*. 2009, no 2, pp. 78–86.
2. Ivanov O. K. *Kontsentricheski-zonal'nye piroksenit-dunitovye massivy Urala* (Concentric-zoned pyroxenite-dunite massifs of the Urals), Ekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta, 1997, 488 p.
3. Pilyugin A. G., Lazarenkov V. G., Vorontsova N. I., Talovina I. V., Kozlov A. P., Antonov A. V., Kempe U. *Zapiski Gornogo instituta*. 2013, vol. 200, pp. 249–257.
4. Pilyugin A. G., Talovina I. V., Duryagina A. M., Nikiforova V. S. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015, vol. 212, pp. 50–61.
5. Pushkarev E. V., Anikina E. V., Garuti Dzh., Zakkarini F. *Litologiya*. 2007, no 3, pp. 28–65.
6. Telegin Yu. M., Telegina T. V., Tolstykh N. D. *Ul'trabazit-bazitovye kompleksy skladchatykh oblastey i svyazannye s nimi mestorozhdeniya*. Т. 2 (Ultramafic-mafic complexes of folded regions and related deposits, vol. 2), Ekaterinburg, IGIG Uro RAN, 2009, pp. 212–215.