

Михайлов В.В., Степанов С.Ю. Благороднометалльная минерализация, рудоконцентрирующие минералы Серебрянского камня // Новое в познании процессов рудообразования. VII Рос. молодеж. науч.-практ. школа. М.: ИГЕМ РАН, 2018. С. 263–267.

Мурзин В.В., Молошаг В.П., Волченко Ю.А. Парагенезис минералов благородных металлов в медно-железо-ванадиевых рудах волковского типа на Урале // Доклады АН СССР. 1988. Т. 300. № 5. С. 1200–1202.

Симонов В.А., Пучков В.Н., Приходько В.С., Ступаков С.И., Котляров А.В. Условия кристаллизации дунитов Нижнетагильского платиноносного ультраосновного массива (Урал) // Доклады академии наук. 2013. Т. 499. № 6. С. 692–695.

Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Антонов А.В., Козлов А.В., Варламов Д.А., Ханин Д.А., Золотарев А.А. Морфология, состав и онтогенез минералов платиновых металлов в хромититах зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 1. С. 60–83.

Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменущинского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 775–793.

McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Zaccarini F., Anikina E.V., Pushkarev E.V., Rusin I., Garuti G. Palladium and gold minerals from the Baronskoe-Kluevsky ore deposit (Volkovsky complex, Central Urals, Russia) // Mineralogy and Petrology. 2004. Vol. 82. P. 137–156.

**И.А. Кузьмин<sup>1</sup>, С.Ю. Степанов<sup>2</sup>, А.В. Корнеев<sup>3</sup>, Р.С. Паламарчук<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург  
kuzmin.kivanechka@yandex.ru

<sup>2</sup> – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>3</sup> – ООО «Индустрия», г. Петрозаводск

<sup>4</sup> – Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс

**Связь процессов концентрирования Pt  
со структурно-вещественными особенностями дунитов  
на примере зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Урала  
(научный руководитель – д.г.-м.н. А.В. Козлов)**

Преобладающая часть коренной платины в дунитах зональных массивов Урало-Аляскинского типа связана с хромитовой минерализацией [Заварицкий, 1928; Волченко и др., 2007; Толстых и др., 2011; Малич и др., 2017]. В ходе исследований редко обращалось внимание на характер распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) во вмещающих дунитах. Закономерности изменения содержания платины в дунитах, вмещающих хромит-платиновые рудные зоны, охарактеризованы только в работе [Кашин и др., 1953]. Нами впервые проведен анализ закономерностей распределения платины в дунитах с учетом их структурно-текстурных особенностей на основе материалов, полученных при изучении двух различных массивов Платиноносного пояса Урала: Светлоборского и Желтой Сопки. Выбор этих массивов в качестве объектов исследования обусловлен рядом факторов. Например, для дунитов Желтой Сопки характерна слабая степень серпентинизации, преобладание дунитов с первич-

но-магматическими структурами и отсутствие отчетливо выраженных хромит-платиновых зон. В Светлоборском массиве выявлено единственное рудопоявление в структуре Платиноносного пояса Урала, где платиноидная минерализация напрямую не связана с хромшпинелидами [Толстых и др., 2011].

Для исследования были отобраны штучные образцы в дунитах центральной части массива Желтой Сопки и керне разведочных скважин, пересекающих минерализованные платиновые зоны в дунитах Светлоборского массива (скважины №№ 018, 020 и 055). Содержания благородных металлов в пробах, отобранных на Желтой Сопке, определены методом ИСП МС (Центральная лаборатория ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург). Содержания Pt в керновых пробах проанализированы пробирным атомно-абсорбционным методом (ЗАО «РАЦ МИА», г. Санкт-Петербург).

По структурно-текстурным особенностям дуниты подразделяются на протогранулярные и рекристаллизованные, часто порфирокластические. Такая типизация наиболее близка номенклатуре, предложенной для дунитов Нижнетагильского массива [Шмелев, Филиппова, 2010]. Протогранулярные структуры подразделяются по зернистости на тонко-, мелко-, средне-, крупнозернистые и пегматоидные. Рекристаллизованные структурные разновидности дунитов обычно имеют тонкозернистое строение. В образцах с порфирокластическими структурами в качестве порфирокластов выступают реликты первичных зерен. Их размер варьирует от долей миллиметра до первых сантиметров.

Ранее анализ распределения ЭПГ в дунитах Платиноносного пояса Урала позволил установить, что пегматоидные и крупнозернистые разновидности обладают существенно меньшими концентрациями ЭПГ по сравнению со средне- и мелкозернистыми дунитами [Степанов, Козлов, 2018]. Исследования различных структурных типов дунитов массива Желтая Сопка подтверждают эту закономерность. Максимальные содержания Pt установлены в равномерно-мелкозернистых дунитах (до 50–60 мг/т), при этом в крупнозернистых и средне-крупнозернистых они обычно не превышают 20 мг/т. Содержания остальных ЭПГ составляют менее 10 мг/т, при этом общая тенденция повышенных содержаний ЭПГ в мелкозернистых дунитах сохраняется.

В связи со слабым проявлением хромит-платиновой минерализации в массиве Желтая Сопка средние содержания ЭПГ в средне- и мелкозернистых дунитах (43.8 мг/т при среднем содержании Pt 23.4 мг/т) могут быть выбраны в качестве среднего для дунитов зональных клинопироксенит-дунитовых массивов, что не противоречит результатам многочисленных исследований [Auge et al., 2005; Волченко и др., 2007; Пилюгин и др., 2015].

На примере скважины № 055 рассмотрим распределение Pt в дунитах с первичными структурами. Скважина вскрывает средне- равномернозернистые, порфировидные средне-крупнозернистые и крупнозернистые дуниты и на небольшом интервале (около 1.5 м) пересекает тело дунитовых пегматитов (рис.). Большая часть пород содержит 2–3 % хромшпинелида и только в области фациального перехода равномерно-среднезернистых дунитов к порфировидным средне-крупнозернистым дунитам его содержание возрастает до 7–8 %. Наименьшие содержания Pt характерны для интервала (187.7–198.2 м, 0.032 г/т Pt, в среднем), на котором пересечены крупнозернистые дуниты с телами дунитовых пегматитов. Слегка повышенные содержания Pt (около 0.07 г/т) характерны для среднезернистых и порфировидных средне-крупнозернистых дунитов (~0.1 г/т), окружающих тело крупнозернистых дунитов. Максимальная концентрация Pt установлена в интервале повышенной вкрапленности акцессорного хромшпинелида в дунитах (27.3–62.0 м, 0.18 г/т Pt, в среднем).

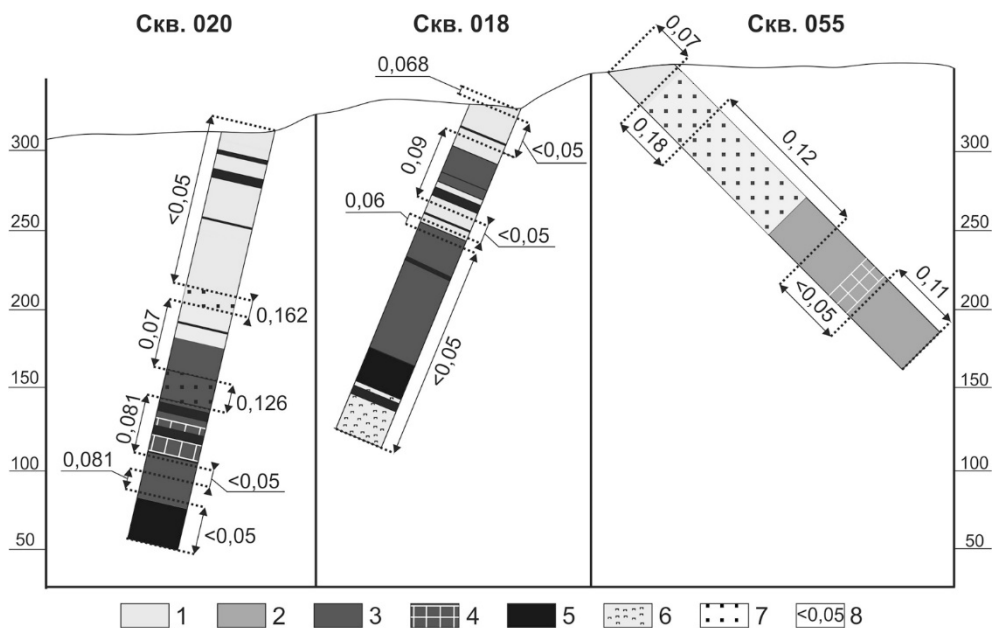


Рис. Сводная схема разрезов по скважинам №№ 020, 018 и 055 (слева направо).

1–4 – дуниты: средне- и равномернозернистые (1), порфириовидные, средне-крупнозернистые (2), рекристаллизованные полиэдрически-зернистые (3), пегматоидные (4); 5 – дайки флогопитовых пироксенитов, роговообманковых перидотитов, иситов; 6 – пироксениты; 7 – повышенные содержания хромитов (более 5 %); 8 – средние содержания Pt, г/т.

Для оценки распределения Pt в рекристаллизованных дунитах охарактеризованы разрезы двух скважин в пределах рудопоявления им. Н.К. Высоцкого. В скважине № 018 (см. рис.) разрез дунитов можно подразделить на четыре интервала: 0.0–38.5 м – равномерно-среднезернистые дуниты, 38.5–58.4 м – рекристаллизованные полиэдрически-зернистые дуниты с порфирукластами кристаллов оливина, 58.4–86.3 м – равномерно-среднезернистые дуниты, 86.3–175 м – полностью рекристаллизованные полиэдрически-зернистые дуниты. В скважине установлены три интервала с повышенными средними содержаниями Pt: 0–5 м (68 мг/т), 25–74 м (91 мг/т), пространственно сопряженный с первым интервалом рекристаллизованных дунитов 38.5–58.4 м, и 84–103 м (62 мг/т), совпадающий с кровлей мощного фрагмента разреза, сложенного полиэдрически-зернистыми разновидностями дунитов 86.3–175.2 м.

В скважине № 020 наблюдается более сложный разрез: 0.0–119.3 м – равномерно-среднезернистые дуниты, 119.3–169.5 м – полиэдрически-тонкозернистые рекристаллизованные дуниты, 169.5–210.5 м – частично рекристаллизованные крупнозернистые и пегматоидные дуниты, 210.5–238.5 – полностью рекристаллизованные полиэдрически-тонкозернистые дуниты. В этой скважине установлены менее мощные интервалы по сравнению со скважиной № 018, но обладающие высокими средними содержаниями Pt: 103.0–106.0 м (162 мг/т) и 150.4–164.0 м (126 мг/т). В этих интервалах отмечена повышенная вкрапленность акцессорного хромшпинелида (до 10 %). В интервалах 106.0–150.4 и 164–208 м среднее содержание Pt повышено и близко к 80 мг/т.

Анализ обширной выборки результатов проведенных геохимических исследований и сопоставление с опубликованными данными позволили выбрать среднее содержание ЭПГ в дунитах Платиноносного пояса Урала – около 55 мг/т, характерное преимущественно для дунитов с первичными средне- или мелкозернистыми структурами. Меньшие содержания ЭПГ характерны для крупнозернистых и особенно пегматоидных дунитов.

В дунитах обнаружены области с повышенными содержаниями Pt. Они контролируются фаціальным переходом между крупно- и среднезернистыми дунитами, в пределах которого развиты дуниты с порфиroidными структурами и повышенной вкрапленностью хромшпинелида. Эта закономерность особенно ярко выражена в разрезах, вскрытых скважинами № 020 и № 055. При этом вокруг обогащенных Pt фрагментов разреза отсутствуют симметричные обедненные ореолы, дуниты обладают первичными структурами и не несут следов гидротермально-метасоматической переработки. Совокупность этих фактов позволяет сделать вывод, что неравномерное распределение Pt с образованием обогащенных зон происходило в ходе кристаллизации дунитов на магматическом этапе развития клинопироксенит-дунитовых массивов.

Перекристаллизация дунитов – это единственный наложенный процесс, оказывающий влияние на распределение Pt. В краевых частях областей развития рекристаллизованных полиэдрически-тонкозернистых дунитов наблюдается двукратное превышение содержания Pt относительно среднего содержания этого металла в дунитах зональных массивов.

Анализ полученных результатов позволил установить, что на распределение Pt в дунитах наибольшее влияние оказывают два процесса. В первую очередь, ее неравномерное распределение связано с процессами кристаллизации дунитов и сопутствующего формирования хромит-платинового оруденения. В ходе этих процессов могут возникать хромит-платиновые зоны, аналогичные промышленно значимым рудным телам Нижнетагильского массива. Частичное перераспределение Pt может быть инициировано перекристаллизацией дунитов. Этот процесс широко развит в краевых частях дунитовых «ядер» и приводит к формированию минерализованных зон с непромышленными содержаниями Pt.

*Авторы признательны директору заповедника «Денежкин Камень» Анне Евгеньевне Квашиной за содействие в подготовке фактического материала для исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00151\19).*

## Литература

Волченко Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А., Оже Т. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений Уральского типа // Литосфера. 2007. № 4. С. 73–101.

Заварицкий А.Н. Коренные месторождения платины на Урале. Л.: Изд-во Геологического комитета, 1928. 56 с.

Кашин С.А., Козак С.С., Николаева Л.А., Тихомиров К.П. Минералогические и петрохимические особенности пород платиноносной формации Среднего Урала и некоторые закономерности распределения платины. М.: НИИ НИГРИЗОЛОТО МЦМ СССР, 1956. 112 с.

Малич К.Н., Степанов С.Ю., Баданина И.Ю., Хиллер В.В. Коренная платиноидная минерализация зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 4. С. 440–444.

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. 51–61.

Степанов С.Ю., Козлов А.В. Структурно-вещественные закономерности проявления хромит-платинового оруденения в клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 206–209.

Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 775–793.

Шмелев В.Р., Филиппова С.С. Структура и механизм формирования Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива (Средний Урал) // Геотектоника. 2010. № 4. С. 65–86.

Auge T., Genna A., Legendre O., Ivanov K.S., Volchenko Yu.A. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 707-732.

**В.В. Михайлов<sup>1</sup>, С.Ю. Степанов<sup>2</sup>, П.Л. Путилов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург  
mvvsevolodovich@yandex.ru

<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург

**Связь медно-благороднометалльной минерализации  
и геохимических особенностей амфиболовых габбро  
массива Серебрянского камня, Северный Урал  
(научный руководитель – д.г.-м.н. А.В. Козлов)**

Единственным промышленно значимым объектом с медно-благороднометалльным оруденением в пределах Платиноносного пояса Урала (ППУ) является Волковское месторождение. Руды этого месторождения залегают в габбро Волковского массива. Среди пород, слагающих ППУ, преобладают габброиды, рудоносность которых оценена не в полной мере. Наиболее перспективными объектами на медно-благороднометалльное оруденение из числа интрузивных массивов ППУ являются Павдинский габброидный комплекс, массив Серебрянского камня и Кумбинский дунит-клинопироксенит-габбровый массив [Кашин, 1941; Отчет..., 1978]. Несмотря на долгую историю изучения, многие черты геологии и генезиса медно-благороднометалльного оруденения остаются дискуссионными. В настоящее время существует несколько гипотез с противоположными взглядами на роль магматических и гидротермальных процессов в рудогенезе, и, как следствие, отсутствует возможность создания единой геолого-генетической модели, применимой для прогнозирования и поисков месторождений медно-благороднометалльного типа.

Детальное изучение особенностей локализации оруденения в пределах массива Серебрянского камня в период с 2018 по 2019 гг. нацелено на выявление связей между медно-благороднометалльной минерализацией и геохимическими особенностями амфиболовых габбро, слагающих массив.

Образцы пород для исследований отобраны на территории массива Серебрянского камня, Северный Урал. Содержания благородных металлов проанализированы пробирно-атомно-эмиссионным методом (ЗАО РАЦ МИА, г. Санкт-Петербург): пробирное концентрирование по СТП 1402.151.1-2014 (серебряный королек), атомно-