

позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.

Волчков А.Г., Кряжев С.Г. Вещественный состав, условия локализации и формирования золотого оруденения Новогодненского рудного поля. Тоупугол-Ханмейшорская площадь, Полярный Урал. Отчет по договору № 6д. М.: ЦНИГРИ, 2005ф. 150 с.

Кениг В.В., Бутаков К.В. Месторождения рудного золота Новогоднее-Монто и Петропавловское – новый золоторудный район на Полярном Урале // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 22–24.

Котельников А.Р., Сук Н.И., Котельникова З.А., Щекина Т. И., Калинин Г.М. Минеральные геотермометры для низкотемпературных парагенезисов // Вестник ОНЗ РАН. 2012. Т. 4. С. 1–4.

Людкин В.А., Толоконников А.В., Водоватов О.В., Распопин В.М. Золоторудные месторождения Новогодненского рудного поля на Полярном Урале // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Мат. науч. конф. Сыктывкар, 2006. С. 186–189.

Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000 (изд. 2-е). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Об. записка. Салехард: Комитет природных ресурсов по ЯНАО, 2001. 231 с.

Cathelineau M., Neiva D. A chlorite solid solution geothermometer the Loa Azufres (Mexico) geothermal system // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1985. Vol. 91. P. 235–244.

Hey M.H. A new review of the chlorites // Mineralogical Magazine. 1954. Vol. 30. P. 227–292.

Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Ural, Russia // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 48. P. 603–627.

**С.Ю. Степанов¹, Р.С. Паламарчук², А.В. Козлов³,
С.В. Петров⁴, В.В. Шиловских⁴**

¹ – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург
Stepanov-1@yandex.ru*

² – *Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии
и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс*

³ – *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

⁴ – *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

Эволюция платиноидной минерализации в интрузивных комплексах дунит-клинопироксенит-габбровой формации Платиноносного пояса Урала

С начала изучения коренной платины на Урале дуниты продолжительное время рассматривались как потенциальные платиновые руды, или дунитовые тела оценивались как рудовмещающий субстрат для хромит-платинового оруденения. Позже было открыто Волковское месторождение с повышенным содержанием Au и Pd в медных рудах, локализованных в габбро [Кашин, 1948]. Дальнейшие исследования позволили обнаружить платиноидную минерализацию в пироксенитах Баронского рудопроявления [Zaccarini et al., 2004]. Таким образом, отчетливо обозначились перспективы обнаружения месторождений платиновых металлов во всех типах пород дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Целью настоящего исследования является изучение минералов платиновой группы (МПГ) и закономерностей распределения благородных

металлов в разных типах пород дунит-клинопироксенит-габбровой формации и связанных с ними руд.

В качестве объектов выбраны интрузивные тела качканарского, конжаковского, тагило-кытлымского и волковского комплексов. МПГ и закономерности распределения благородных металлов исследованы в хромититах и дунитах большинства клинопироксенит-дунитовых массивов Платиноносного пояса Урала, верлитах Каменушенского и Качканарского массивов, пироксенитах и магнетитовых рудах Светлоборского и Качканарского массивов, а также габбро Волковского и Серебрянского массивов. Из всех типов пород и руд отобраны пробы средним весом 35 кг для извлечения МПГ по методике [Степанов и др., 2020]. В пробах определены весовые доли благородных металлов с помощью пробирного анализа с ИСП МС окончанием (ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург).

Изучение МПГ позволило подтвердить ранее установленную закономерность, выраженную в преобладании среди МПГ в хромититах и дунитах железо-платиновых интерметаллидов (рис. 1а). В качестве включений в изоферроплатине и железистой платине широко распространены кристаллы осмия и скопления иридия (рис. 1б), реже встречаются различные сульфиды Ru, Os, Ir, Rh (рис. 1в).

Большая часть МПГ в клинопироксенитах находится в виде мелких включений в пороодообразующих силикатах, магнетите или сульфидах (преимущественно, борните). Во флогопитовых клинопироксенитах в дайках Светлоборского массива обнаружены

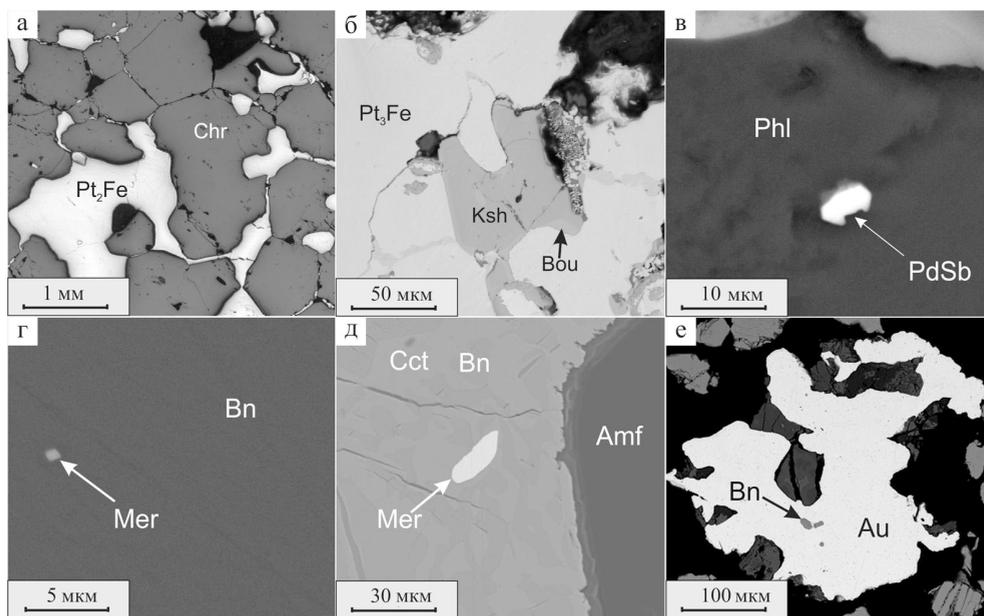


Рис. 1. Минералы платиновой группы из хромититов (а, б) Нижнетагильского (а) и Вересовоборского (б) массивов; пироксенитов (в, г) флогопитовых Светлоборского массива (в) и магнетитовых роговообманковых Качканарского месторождения (г); д, е – габбро массива Серебрянский камень.

Chr – хромшпинелид, Ksh – кашинит, Bou – бауит, Phl – флогопит, Amf – амфибол (магнезиогастенгсит), Сrx – клинопироксен (диопсид), Mag – магнетит, Bn – борнит, Mer – меренскиит, Cct – халькозин.

единичные мелкие включения стибипалладинита (рис. 1г). Он также встречен в качестве включений в магнетите из оливин-роговообманковых клинопироксенитов (рис. 1д) в дайках этого же массива. В магнетитовых клинопироксенитах Качканарского месторождения, содержащих небольшое количество халькопирита и борнита, обнаружены единичные мелкие зерна меренскиита в виде включений в борните (рис. 1е). Принципиально важным моментом проявления МПГ в клинопироксенитах и связанных с ними рудах является преобладание минералов Pd.

Наиболее изученным геологическим объектом, где МПГ сопряжены с габбро, долгое время являлся Волковский массив. В медно-магнетитовых и медных рудах Волковского месторождения были описаны меренскиит и самородное золото [Мурзин и др., 1988]. В результате исследований последних лет медно-благороднометалльное оруденение выявлено в габбро массива Серебрянский камень [Михайлов и др., 2018]. В меланократовых габброидах этого массива наблюдается повышенная вкрапленность медных минералов и, прежде всего, борнита. Часто в нем обнаруживается меренскиит, реже – гессит. В целом, в гравитационных концентратах из сульфидных руд обнаружен богатый набор МПГ: бортниквит, интерметаллиды переменного состава (Pd-Pt-Fe-Cu), высокоцит, меренскиит, котульскит, арсенопалладинит, изомертьерит, а также самородное золото. Таким образом, для габброидов и связанного с ними оруденения, как и для клинопироксенитов, характерно преобладание палладиевых минералов над другими МПГ, а в качестве индивидуальной особенности – выявлено повышенное содержание Au.

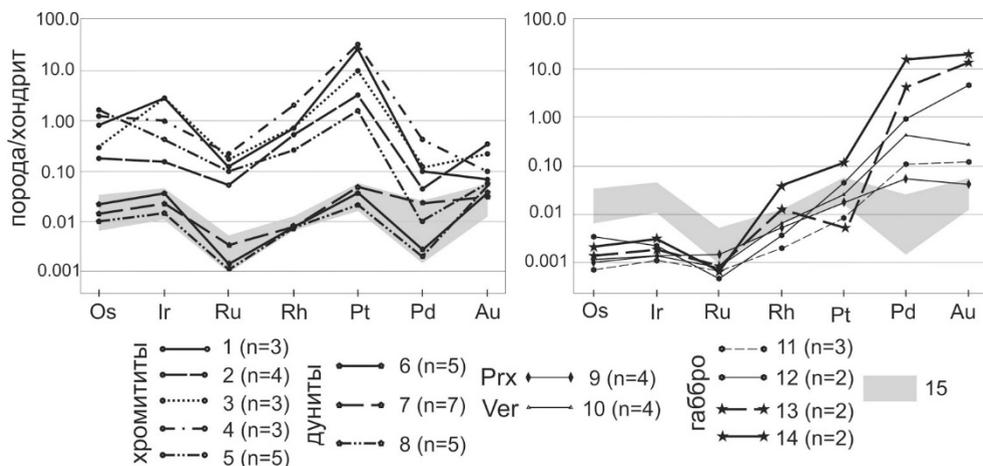


Рис. 2. Закономерности распределения средних содержаний благородных металлов в породах и рудах дунит-клинопироксенит-габбровой формации Урала.

1–5 – хромититы Светлоборского (1), Вересовоборского (2), Каменушенского (3), Сосновского и Юдинского (4), Иовского (5) массивов; 6–8 – дуниты массивов Платиноносного пояса Урала: 6 – мелкозернистые, 7 – среднезернистые, 8 – гигантозернистые и пегматоидные; 9 – пироксениты Светлоборского и Качканарского массивов; 10 – верлиты Светлоборского, Качканарского и Каменушенского массивов; 11, 13 – габбро массива Серебрянский камень: 11 – габбро, 13 – габбро с высоким содержанием борнита; 12, 14 – образцы Волковского месторождения: 12 – габбро с редкой вкрапленностью сульфидов, 14 – массивная халькопирит-магнетит-борнитовая руда; 15 – поле содержания благородных металлов в дунитах ППУ. Состав хондрита взят по [McDonough, Sun, 1995]. В скобках указано число проб.

Закономерности распространения МПП в дунитах, клинопироксенитах и габбро, а также в рудах, связанных с ними, полностью подтверждаются результатами геохимических исследований. Так, для дунитов и хромитов установлен М-образный тренд распределения ЭПГ с преобладанием Ir и Pt. Пироксениты и верлиты практически не содержат тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru) и, по сравнению с дунитами, обогащены Pd и Au. При этом обращает на себя внимание приблизительно равное содержание Pt в дунитах, пироксенитах и верлитах. По аналогии с клинопироксенитами габбро также обогащены Pd и Au относительно дунитов. Максимальные содержания этих элементов отмечены в борнитовых рудах.

Характер распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) в дунитах и хромититах свидетельствует об их генетическом родстве. Ir-Pt специфика этих пород обусловлена особенностями МПП и, вероятно, свидетельствует в пользу кумулятивной природы дунитов, отличая дуниты зональных массивов от ультрамафитов дунит-габбуритовой формации, имеющих реститовую природу. Обращает на себя внимание близость содержаний Pt и Rh в дунитах, клинопироксенитах и верлитах. Исходя из того, что верлиты являются продуктами глубинной кристаллизации пикритовых расплавов, являющимися первичными для формирования дунитов Нижнетагильского массива [Симонов и др., 2013], такое соответствие содержаний, наряду с пространственным сонахождением, может стать еще одним признаком генетического единства мафитовой и ультрамафитовой составляющих дунит-клинопироксенит-габбровой формации.

В верлитах и пироксенитах закономерно увеличивается содержание Pd по сравнению с дунитами. Его максимальные содержания отмечены в габбро и связанных с ними сульфидных рудах. Совместно с Pd в габброидах существенно возрастает концентрация Au, при этом количество Pt остается сопоставимым с ее концентрацией в дунитах. Обогащение габброидов и связанных с ними руд легкоплавкими ЭПГ по сравнению с дунитами, верлитами и клинопироксенитами связано со снижением температуры минералообразования, что также сопровождается повышением активности серы в минералообразующем процессе и сменой сидерофильных геохимических свойств платиноидов халькофильными. Такая эволюция МПП с увеличением количества сульфидов и поздним появлением теллуридов (реже, арсенидов, сульфоарсенидов, антимонидов и др.) и относительно низкотемпературных минералов Pd установлена для хромит-платинового оруденения в дунитах [Толстых и др., 2011; Степанов и др., 2020]. Очевидно, что именно хромит-платиновая минерализация формируется в числе первых в породах дунит-клинопироксенит-габбровой формации, а наложение на нее поздних процессов, инициированных становлением мафической части интрузивов этой формации, указывает не только на пространственное сонахождение интрузивных тел, но и на их генетическое единство. На это же единство указывает и последовательная эволюция платиноидной минерализации с постепенным переходом от Ir-Pt геохимической специфики в дунитах и хромититах к Au-Pd в габброидах и связанных с ними халькопирит-борнитовых и борнитовых рудах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00151\19) и в рамках выполнения бюджетной темы ИГГ УрО РАН (№ АААА-А18-118052590032-6).

Литература

Кашин С.А. Меднотитаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала // Тр. ГИН АН СССР. 1948. № 9.

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. Кузьмин¹, С.Ю. Степанов², А.В. Корнеев³, Р.С. Паламарчук⁴

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

² – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

³ – ООО «Индустрия», г. Петрозаводск

⁴ – 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 содержаний 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-