

## РУДОНОСНОСТЬ МАССИВОВ УРАЛО-АЛЯСКИНСКОГО ТИПА

**Толстых Н.Д.**

*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, [tolst@uiggm.nsc.ru](mailto:tolst@uiggm.nsc.ru)*

Массивы урало-аляскинского типа, как правило, имеют различную геохимическую специализацию, которая и определяет типы россыпей, их экономический потенциал. Возможное разнообразие минералого-геохимических особенностей россыпей и их коренных источников определяется металлогеническим наполнением производной магмы, которое, в первую очередь, зависит от степени плавления мантийного субстрата. При плавлении происходит фракционирование не только петрогенных, но и рудных компонентов, в том числе элементов платиновой группы (ЭПГ). Более легкоплавкие элементы (Pd, Pt, Rh) и частично Os, Ir, Ru – переходят в отделяемую магму, тогда как большая часть тугоплавких элементов накапливаются в истощенном субстрате. Первичная магма испытывает дальнейшее фракционирование по пути своего продвижения, которое приводит к развитию различных серий. Габбро-клинопироксенит-дунитовая серия с хромитовыми рудами кристаллизуется из пикритового расплава с оксидно-металлической составляющей, обогащенной Pt и Ir. Габбро-пироксенитовая серия, формируется из более фракционированной части базальтоидного расплава, содержащего наряду с Pt значительную долю Pd. Кристаллизационно-ликвационная модель формирования массивов урало-аляскинского типа [1] обеспечивает их концентрическую зональность, а различный уровень эрозионного среза определяет породные ассоциации и, в конечном итоге – минералого-геохимический тип россыпи и россыпной потенциал в целом. Минералы элементов платиновой группы (МПГ) в зональных массивах представлены, преимущественно, интерметаллидами, которые устойчивы в гипергенных условиях. Следовательно, их количественные соотношения в россыпи, составы минералов и микропарагенезисы – отражают таковые в коренном источнике. Кроме того, изучение непосредственно коренных рудопроявлений в дунитах и в хромититах позволяет оценить условия и направление процесса рудообразования в массивах урало-аляскинского типа.

Оксидно-металлическая составляющая пикритового расплава, формирующего урало-аляскинские комплексы, обогащена Pt с некоторой долей тугоплавких ЭПГ, следовательно, в россыпях будут преобладать Pt-Fe сплавы. Доля Os-Ir-Ru минералов, зависящая от степени частичного плавления мантийного субстрата, в большинстве случаев является незначительной (1-15 %). Среди минералов тугоплавких платиноидов встречаются самородный осмий, иридий и лаурит. В россыпных ассоциациях также оказываются минералы поздних парагенезисов: сперрит, куперит, стибипалладинит или изомертиит, количество которых зависит от интенсивности постмагматической деятельности в коренных источниках.

Pt-Fe сплавы по концентрации Fe варьируют от самородной платины с 3-5 мас.% Fe (россыпи Мадагаскара, Эквадора, Бирмы) до железистой платины с 12-14 мас.% Fe (Нижний Тагил, Туламин). Среднее значение этого показателя изменяется от 15 до 33 ат.% для различных объектов. В магматическом процессе Fe входит в структуру платины, и вариации его концентрации определяются  $fO_2$  с обратно-пропорциональной зависимостью [2]. Развитие рудоформирующей системы при понижении температуры кристаллизации расплава происходит с повышением фугитивности кислорода, следовательно, высоко-железистые сплавы формируются при более низкой  $fO_2$ , чем самородная платина. Разброс концентрации Fe в Pt-Fe сплавах отмечается и в пределах одной россыпи, что связано с накоплением платины из разных горизонтов одного массива. Железистая платина и изоферроплатина характерны для крупных массивов: первая распространена в дунитах, вторая связана с хромититами, а самородная платина встречается в россыпях, приуроченных к незначительным по размерам интрузиям, сложенным габбро-пироксенитовыми сериями. Концентрация Ni в сплавах падает с уменьшением концентрации Fe, а содержание Cu и ЭПГ, напротив, увеличивается. Эти корреляционные зависимости в целом соответствуют эволюции рудоформирующей системы в магматическом процессе, когда Cu и ЭПГ накапливаются в остаточном расплаве и входят в Pt-Fe сплавы на более позднем этапе их формирования.

Примеси входят в структуру Pt-Fe сплавов, иногда достигая значительных пределов. Их соотношение между собой характеризует эволюцию рудоформирующей системы, которая про-

исходит в соответствии с трендом фракционирования ЭПГ и изменением соотношения микроэлементов в Pt-Fe сплавах от иридных к иридисто-родистым, затем к родисто-палладистым, и, наконец, к палладистым. Все известные в мире россыпи по составу сплавов занимают определенную позицию вдоль общего тренда фракционирования. Pt-Fe сплавы, обогащенные Ir, характерны для массивов, включающих значительную долю хромитовой составляющей (Инагли, Нижний Тагил, Файфилд, Гудньюсбей, Гальмознан). Концентрация Ir в Pt-Fe сплавах в россыпи Инагли достигает предельных значений, характерных для распада высокотемпературного Pt-Ir твердого раствора (более 10 мас.%). В некоторых россыпях Rh преобладает среди элементов примесей в Pt-Fe сплавах, достигая 4 мас. % (El Paso в Колумбии, Кузнецкий Алатау). Россыпи с высокими концентрациями Pd в Pt-Fe сплавах связаны с габбро-клинопироксенитовыми выходами зональных массивов. Концентрация Pd в сплавах достигает 8-9 мас.% (россыпи Восточного Мадагаскара и реки Пустая). В массивах урало-алаянского типа осмий и иридий находятся во включениях в Pt-Fe сплавах, а в самостоятельных зернах они встречаются редко. Точки составов осмия на диаграмме Os–Ru – (Ir+Pt) расположены вдоль осмиевого тренда. Осмий из включений близок к чистому составу, а дискретные кристаллы в россыпи обогащены Ir. Иридий, предельно обогащенный Pt, находится в изоферроплатино-иридиевых структурах распада, и согласно температурным кривым распада [3] формировался в интервале температур распада 750-850°C, тогда как дискретные зерна иридия обеднены Pt и являются более низкотемпературными.

Развитие магматических равновесных минеральных парагенезисов обусловлено эволюцией рудоформирующей системы и вытекает из принятой нами модели рудообразования. Встречаются два типа парагенезисов: изоферроплатино-осмиевый и изоферроплатино-иридиевый. Первый является ранним, генетически он связан с кристаллизацией мелкозернистых дунитов; в нем осмий близок к чистому, а изоферроплатино-осмиевый парагенезис обеднен примесями. Он формируется в некотором интервале температур и эволюционирует с обогащением осмия иридиевой составляющей в соответствии с развитием рудоформирующей системы. Иногда он сопровождается лауритом и эрликманитом. Второй представлен включениями иридия в изоферроплатине (структуры распада). Этот парагенезис является более поздним по отношению к предыдущему и ассоциирует с хромшпинелидами в крупнозернистых дунитах, кристаллизуясь на позднемагматической стадии. При этом изоферроплатино-осмиевый парагенезис обогащен Ir, а иридий обогащен Pt. Изоферроплатино-осмиевый парагенезис с понижением температуры и насыщением расплава иридием сменяется изоферроплатино-иридием. Иногда отмечается переходный неустойчивый изоферроплатино-осмий-иридиевый парагенезис.

Таким образом, минералого-геохимическая специализация массивов урало-алаянского типа определяется степенью частичного плавления в мантии, дальнейшим фракционированием расплава и стадией развития рудоформирующей системы, согласованной с магматической эволюцией комплексов урало-алаянского типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Округин А.В.* Кристаллизационно-ликвационная модель формирования платиноидно-хромититовых руд в мафит ультрамафитовых комплексах // Тихоокеанская геология. 2004. № 2. С. 63-65.
2. *Amosse J., Dable P., Allibert M.* Thermochemical behaviour of Pt, Ir, Rh, and Ru vs  $fO_2$  and  $fS_2$  in a basaltic melt. Implications for the differentiation and precipitation of these elements // Mineralogy and Petrology. 2000. V. 68. P. 29-62.
3. *Slansky E., Johan Z., Ohnenstetter M. et al.* Platinum mineralization in the Alaskan-type intrusive complexes Near Fifield, N.S.W., Australia. Part 2. Platinum-group minerals in placer deposits at Fifield // Mineralogy and Petrology. 1991. V. 43. P. 161-180.