

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ  
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ БАЗИТ-  
УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГА СИБИРИ**

**А.С. Мехоношин<sup>1</sup>, Т.Б. Колотилина<sup>2</sup>**

*1– Институт геохимии им. А.П. Виноградова, 664033, г. Иркутск, а/я 304, ул. Фаворского, 1А, Россия*

*2– Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия*

В результате анализа минерально-геохимических особенностей базит-ультрабазитовых массивов юга Сибири сделаны выводы о геодинамических обстановках их образования.

*базит-ультрабазитовые комплексы, элементы платиновой группы, крупные изверженные провинции.*

**GEODYNAMIC CONDITIONS OF PRECIOUS METAL MINERALIZATION  
FORMATION OF BASIC-ULTRABASIC COMPLEXES OF THE SOUTH OF  
SIBERIA**

**A.S. Mekhonoshin, T.B. Kolotilina**

The geodynamic conditions of formation of basic-ultrabasic complexes of the South of Siberia has been found out as a result of the analysis of mineralogical and geochemical features.

*basic-ultrabasic complexes, PGE, LIPs*

Формирование месторождений элементов платиновой группы (ЭПГ) обусловлено рядом факторов, к которым можно отнести аномально высокие концентрации ЭПГ в родоначальных расплавах, большие объемы и высокую магнезиальность исходных магм, дифференциация которых проходила в глубинных промежуточных камерах, и активное участие летучих (серы, галогенидов) [11–13]. Причиной высоких содержаний ЭПГ, Ni, Co, Cr, V, Cu, Au, Hg, Li в базитовых и ультрабазитовых магмах является обогащенность ими магмогенерирующих мантийных субстратов, что связывается с глубинными мантийными плюмами, зарождающимися на границе ядро–мантия [4, 5, 13]. Установлено, что все мантийные магмы высоких степеней плавления могут быть потенциально никеленосными, но что касается продуктивности на ЭПГ, то их формирование невозможно без участия глубинных мантийных плюмов. Исходя из этого, можно утверждать, что платиноносные ультрабазит-базитовые ассоциации являются индикаторами глубинных мантийных плюмов, с которыми связаны крупные изверженные провинции – LIP [10].

В докембрийских структурах южного обрамления Сибирского кратона активно изучается металлогеническая провинция с многочисленными, в том числе промышленными, платинометалльно-медно-никелевыми месторождениями и рудопроявлениями, связанными с ультрамафит-мафитовыми магматическими комплексами докембрийского возраста [1, 2, 6, 7]. В неё входят: Енисейский кряж и месторождения Кингашской группы (Канский супертеррейн), месторождения Барбитайского и Гутаро-Удинского рудных узлов (Алхадырский террейн), а так

же месторождения Йоко-Довыренской группы (Байкало-Патомский перикратонный прогиб) [8]. Радиологический (U-Pb и Ar-Ar) возраст рудоносных комплексов во всех этих ареалах находится в интервале 728–710 млн лет, что отвечает позднему рифею [8]. Эти данные согласуются со временем формирования рифтогенных дайковых поясов нерсинского комплекса и позволяют сопоставлять их с Франклинской крупной изверженной провинцией. Рудоносные массивы принадлежат к дунит-перидотит-пироксенит-габбровой формации. Они представляют собой относительно небольшие по размерам линзовидные интрузивные тела в значительной степени деформированные и метаморфизованные, нередко подверженные пликративным дислокациям и будинированию. На участке Желос наблюдаются выходы порядка десятка будиннообразных тел, различной формы. Они сложены серией ультраосновных пород, варьирующих по составу от лерцолитов до оливиновых пироксенитов. Породы в разной степени амфиболизованы, но почти несерпентинизированы. В них выявлено несколько рудных зон с Cu-Ni-PGE минерализацией протяженностью до 100 м при ширине до 50 м. Массив Токты-Ой характеризуется большей степенью измененности пород. Он сложен, преимущественно, в разной степени серпентинизированными перидотитами и дунитами, переходящими в апоперидотитовые и аподунитовые серпентиниты, в которых обнаруживаются зоны густовкрапленной медно-никелевой сульфидной и платино-палладиевой минерализации.

Массивы Удинско-Бирюсинского ареала обладают более крупными размерами по сравнению с телами Барбитайского района, и во многом сохранили элементы внутреннего строения и морфологию тел. Они сложены дифференцированной серией пород, меняющихся по составу от дунитов и перидотитов до меланократовых оливиновых габбро. В зависимости от уровня эрозионного среза в них преобладают те или иные разновидности пород. Сопоставление петрохимических и минералогических характеристик рудоносных ультрамафит-мафитовых комплексов различных ареалов свидетельствует об их сходстве. На петрохимических диаграммах составы пород этих комплексов образуют отчётливо выраженный единый тренд обусловленный фракционированием оливина. Составы главных породообразующих минералов также близки. Особенно показательны в этом отношении хромшпинелиды. Характерными для хромшпинелидов всех исследованных массивов являются повышенные содержания в них  $TiO_2$  (3–4 %) и наличие структур распада с обособлением ильменитовой фазы. Концентрации титана в них положительно коррелируются с содержаниями железа. Эти элементы накапливаются по всей вероятности, в остаточном расплаве по мере развития рудоформирующей системы. Кроме того, для пород и руд рассматриваемых комплексов присущ близкий уровень содержаний и характер распределения редкоземельных элементов и элементов платиновой группы. Концентрации РЗЭ в породах рудоносных массивов Алхадырского террейна характеризуются двух- десятикратным обогащением легкими элементами. Кривые их распределения имеют слабый отрицательный наклон. В Гутаро-Удинском районе они отличаются более пологими трендами и отсутствием европиевых аномалий. Дуниты и перидотиты Йоко-Довыренского плутона обогащены редкими землями в меньшей степени. Однако, в целом спектры распределения РЗЭ рудоносных комплексов Алхадырского террейна, Канского и Байкало-Патомского ареалов вполне сопоставимы. Рудоносные дунит-перидотит-пироксенит-габбровые

массивы Алхадырского террейна и других ареалов их проявления на территории металлогенической провинции характеризуются в целом повышенными концентрациями ЭПГ с отчетливо выраженным преобладанием Pd над Pt. Для рудопроявлений Барбитайского ареала характерны несколько повышенные содержания тугоплавких ЭПГ особенно Ru. В них установлены минеральные формы концентрирования Os, Ir и Ru, кратко рассмотренные ниже. В верлитах с вкрапленным оруденением из Медекского массива наблюдается близкий уровень содержаний ЭПГ по сравнению с таковым вкрапленных руд массива Токты-Ой (Барбитайский рудный узел) и пологий наклон в сторону тугоплавких элементов платиновой группы. Величина отношения  $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru+Rh)$  варьирует в пределах 10–15. Более высокий уровень содержаний ЭПГ в массивных рудах месторождения Желос по сравнению с вкрапленными массивов Токты-Ой и Медекский связан, вероятно, с их концентрированием в сульфидном расплаве. Появление в рудах платиновых минимумов объясняется процессами фракционирования последнего. Для безрудных верлитов Голумбейского массива характерен более крутой наклон кривой распределения ЭПГ с превышением в 50–500 раз уровня содержаний Pt над Os при величине отношения  $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru+Rh) > 3000$ . Составы сульфидных руд и пород изученных массивов характеризуются относительно низкими величинами Pd/Ir отношений, при умеренных и высоких величинах Ni/Cu отношений. Причем более высокие значения Ni/Cu отношений в массивных и густовкрапленных сульфидных рудах, вероятно, связаны с тем, что они являются кумулатами Mss и Iss. Уровень концентраций элементов платиновой группы, наклон кривых, величины Pd/Ir отношений свидетельствует о том, что образование первичных расплавов для рассматриваемых ультрамафитов происходило при достаточно высоких степенях плавления мантийного источника.

Во всех исследованных массивах установлены и сходные минеральные формы концентрирования ЭПГ. При этом для отдельных массивов Алхадырского террейна выявляются некоторые индивидуальные особенности. Если для интрузива Желос ведущей является арсенидная составляющая и характерно преобладание сульфоарсенидов тугоплавких элементов, то в Огнитском и Тартайском массивах более существенная роль принадлежит сперрилиту ( $PtAs_2$ ). Соединения Pd с Bi и Sb свойственны всем массивам, но в Тартайском они замещены вторичными фазами Pd–Cu–Sb состава. Сходство платинометальной минерализации проявляется, прежде всего, в том, что сперрилит присутствует в переменных количествах во всех рудных районах. Специфической его особенностью является наличие примесей тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru), а также повышенных содержаний Fe и Ni. Характер рудной минерализации в массивах Алхадырского террейна позволяет высказать предположение об образовании на собственно магматическом этапе развития рудно-магматической системы несмешивающейся равновесной с силикатным расплавом окисно-сульфидной жидкости, обогащённой специфическими для этой системы рудными компонентами. Имеются некоторые индивидуальные особенности минерализации ЭПГ в рассмотренных выше рудоносных массивах Алхадырского террейна. В частности, в массиве Желос содержатся сульфидные руды, несущие ЭПГ минерализацию с повышенной долей тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru) и Rh, которые образуют в ряде случаев свои минеральные фазы, в том числе омейит  $(Os,Ru)As_2$ ,

ирарсит  $\text{IrAsS}$  и холлингвортит  $\text{RhAsS}$ . Повышенная активность As в образовании сульфидных руд массива Желос обусловила широкое развитие в нём арсенидов и сульфоарсенидов ЭПГ. Взаимоотношения минералов свидетельствуют о наиболее ранней (совместно с пирротинном) кристаллизации ирарсита, сменяющегося холлингвортитом, который в свою очередь, замещается кобальтином. Все палладиевые минералы, а именно, его соединения с Ni, As, Sb, Te и Bi, формировались, скорее всего, на завершающей стадии развития рудообразующей системы. Ведущим среди минералов платиновой группы (МПГ) рудоносных массивов Алхадырского террейна, как и в других ареалах (Кингаш, Йоко-Довырен и другие), является сперрилит, нередко в ассоциации с вторичным орселитом ( $\text{Ni}_3\text{As}_2$ ) и восстановленными интерметаллическими сплавами Ni и Cu. Для МПГ массивов Удинско-Бирюсинского ареала характерны также примеси Cu и Ni, достигающие 9,13 и 13,86 мас.%, соответственно. Установленные в Тартайском массиве относительно высокие содержания Ir в сперрилите характерны также и для Кингашского месторождения западного фланга [9]. Сопоставление минералов ЭПГ основных и ультраосновных пород Алхадырского террейна с платинометальной минерализацией других ареалов (Кингаш, Йоко-Довырен) свидетельствует об очевидном их сходстве. Наличие минералов тугоплавких платиноидов в массиве Желос, а также обнаружение Ir в качестве изоморфной примеси в сперрилитах Огнитского, Тартайского и Кингашского массивов может быть обусловлено высокой степенью плавления мантийного субстрата при генерации исходных магм.

Минералого-геохимические исследования показали, что рудоносные интрузии Алхадырского террейна, представленные дунит-верлит-клинопироксенит-габбровой серией пород, являются производными в разной степени дифференцированной пикритоидной магмы. Подтверждением этому выводу также служат результаты изучения двухфазовых первичных расплавных включений в хромшпинелидах из верлитов Огнитского массива. Установлено, что стекло по своему составу близко к относительно низкотитанистым и низкокалиевым пикритовым и пикробазальтовым расплавам состава: ( $\text{SiO}_2$  43–47,2 мас.%,  $\text{TiO}_2$  0,8–0,9 мас.%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13–14 мас.%, FeO 8–11 мас.%, MgO 11,0–25 мас.%, CaO 14–16 мас.%,  $\text{Na}_2\text{O}$  1,1–1,3 мас.%,  $\text{K}_2\text{O}$  0,3–0,5 мас.%). Приведенные данные по петрохимии и геохимии пород и руд свидетельствуют об очевидном сходстве и соответственно, генетической общности рудоносных (ЭПГ–Cu–Ni) комплексов различных ареалов данной металлогенической провинции по всему её простиранию. Что подтверждает правомерность выделения высокоперспективной в отношении ЭПГ–Cu–Ni месторождений позднерифейской LIP. Восточнее в южном складчатом обрамлении Сибирского кратона и Алданского щита выделяется [3] еще более древняя, протерозойская Удокан-Чинейская металлогеническая провинция с широким спектром рудных месторождений, включая ЭПГ–Cu–Ni. Таким образом, эта обширная приплатформенная область докембрийских структур на юге Сибири может рассматриваться как крупный рудный район первостепенной важности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке по программе ОНЗ-2 РАН, а также гранта РФФИ № 13-05-12026-офи\_м.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гертнер И.Ф., Врублевский В.В., Глазунов О.М. и др. Возраст и природа вещества Кингашского ультрамафит-мафитового массива, Восточный Саян // ДАН, 2009. Т. 429. № 5. С. 645–651.
2. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение / Ред. чл.-корр. РАН Г.В. Поляков. Иркутск, ИГТУ, 2003. 192 с.
3. Гонгальский Б.И. Геологическая модель формирования рудных месторождений Удокан-Чинейского района (Сибирь) // Металлогения древних и современных океанов-2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. Научное издание. Миасс: ИМ УрО РАН, 2013. С. 59–62.
4. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в образовании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика, 2003. Т. 44. № 12. С. 1243–1261.
5. Кузьмин М.И., Альмухамедов А.И., Ярмолюк В.В. и др. Рифтогенный и внутриплитный магматизм, соотношение с "горячими" и "холодными" полями мантии // Геология и геофизика, 2003. Т. 44. № 12. С. 1270–1279.
6. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Платиноносные ультрамафиты Бирюсинского выступа Сибирской платформы // Платина России. Т. III, кн. 1. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 97–106.
7. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б., Дорошков А.А. Формационные типы и рудоносность ультрабазит-базитовых комплексов Алхадырского террейна // Известия Сиб. Отд. секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 2011. Т. 38. № 1. С. 40–47.
8. Поляков Г.В., Толстых Н.Д., Мехоношин А.С. и др. Ультрамафит-мафитовые магматические комплексы Восточно-Сибирской металлогенической провинции (южное обрамление Сибирского кратона): возраст, особенности состава, происхождения и рудоносности // Геология и геофизика, 2013. № 11. С. 1689–1704.
9. Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю. Информативность шлиховых ореолов для поисков платинометального оруденения // Геология рудных месторождений, 2010. Т. 52. № 3. С. 221–240.
10. Abbott D. H., Isley A.E. Extraterrestrial influences on mantle plume activity // Earth Planet. Sci. Letter, 2002. V. 205. N 1-2. P. 53–62.
11. Boudreau A.E., Mccallum I. S. Investigations of the Stillwater complex .5. Apatites as indicators of evolving fluid composition // Contrib. Miner. Petrol., 1989. V. 102. N 2. P. 138–153.
12. Naldrett A.J., Asif M., Schandl E. et al. Platinum-group elements in the Sudbury ores: significance with respect to the origin of different ore zones and to the exploration Forfootwall orebodies // Econom. Geol., 1999. V. 94. N 2. P. 185–210.
13. Pirajno F. Mantle plumes, associated intraplate tectono-magmatic processes and ore systems // Episodes, 2007. V. 30. N 1. P. 6–19.