

ЛИТЕРАТУРА

1. Безмен Н.И., Тихомирова В.И., Косогова В.П. Пирит-пирротинный геотермометр: распределение никеля и кобальта // Геохимия. 1975. № 5. С. 700-715.
2. Безмен Н.И. и др. Пирит-халькопиритовый геотермометр: распределение кобальта // Геохимия. 1978. №3. С. 384-389.
3. Гурулев С.А. и др. Изотопный состав серы медно-никелевых месторождений Северного Прибайкалья в связи с процессами магматического замещения // Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузиях. М.: Наука, 1978. С. 125-135.
4. Конников Э.Г., Цыганков А.А., Орсов Д.А. Чайское медно-никелевое месторождение // Месторождения Забайкалья. Том 1. Книга 1. М.: Геоинформмарк, 1995. С. 39-47.
5. Леснов Ф.П. Геология и петрология Чайского габбро-перидотит-дунитового никеленосного плутона (Северное Прибайкалье). Новосибирск: Наука. Сибирское отд., 1972. 227 с.
6. Трунева Ф.М. и др. Некоторые особенности генезиса сульфидных медно-никелевых руд Чайского месторождения // Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузиях. М.: Наука, 1978. С. 97-107.

**КОРЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МАССИВА ГАЛЬМОЭНАН,  
КОРЯКИЯ (УРАЛО-АЛЯСКИНСКИЙ ТИП)**

**Сидоров Е.Г.\*, Толстых Н.Д.\*\*, Козлов А.П.\*\*\*, Чубаров В.М.\***

*\*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия  
e-mail: mineral@kscnet.ru*

*\*\*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия  
e-mail: tolst@uiggm.nsc.ru*

*\*\*\*Институт проблем комплексного использования природных ресурсов, Москва, Россия  
e-mail: kozap@mail.ru*

**THE LODE MINERALIZATION OF THE GAL'MOENAN MASSIF,  
KORYAKIYA (URAL-ALASKAN TYPE)**

**Sidorov E.G.\*, Tolstykh N.D.\*\*, Kozlov A.P.\*\*\*, Chubarov V.M.\***

*\*Institute of Vulcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia  
e-mail: mineral@kscnet.ru*

*\*\*Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia  
e-mail: tolst@uiggm.nsc.ru*

*\*\*\*Institute of Problems of Complex Development of Natural Resources, Moscow, Russia  
e-mail: kozap@mail.ru*

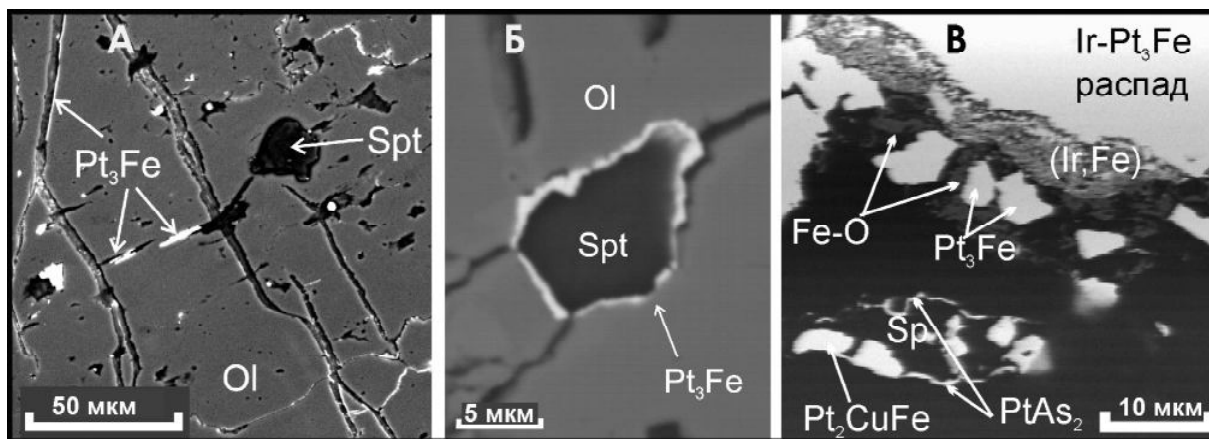
Data presented in this paper represent the results of research of PGM minerals in lode deposit of Gal'moenan intrusion (Koryakiya). The platinum-rich occurrences are located within chromitite in coarse-grained dunite. Pt-Fe alloy-osmium paragenesis is typical for apical part of intrusions and for Levtyrinyvayam placer, whereas Pt<sub>3</sub>Fe-iridium paragenesis is typomorphic feature of lode deposit within chromitite. The process of formation of platinum mineralization was a long stage of time. Primary PGM associations were redistributed under influence of post-magmatic fluids and hydrothermal solutions with further location in the fissures, interstices of olivine and chromite grains, and within serpentinite stringers in association with tulameenite, sperrylite, magnetite, Pt-Ir-Fe, Fe-Ni, Fe-Co alloy, and other secondary low-temperature minerals.

Гальмоэнанский массив является эталонным массивом, относящимся к дунит-клинопироксенит-габбровой формации платиноносного пояса Камчатки. Среди слагающих его пород 90% приходится на долю ультраосновных, которые представлены дунитами, верлитами, оливинowymi и магнетитовыми клинопироксенитами. Дуниты слагают ядро массива, вытянутого в северо-

восточном направлении. Верлиты и клинопироксениты в плане образуют оторочку массива, более мощную в северной его части. Внешняя оторочка массива сложена габброидами. Дуниты содержат как рассеянную вкрапленность хромшпинелидов, так и шпиры и линзы хромититов, с которыми связана коренная платиновая минерализация. Выявлены коренные платинометалльные рудопроявления, максимальная концентрация Pt в которых достигает сотен г/т. Существенные ореолы Pt и Pd коррелируются с хромититовыми рудами, которые приурочены к крупнозернистым дунитам. Выделяется несколько ореолов рудной платины, расположенные параллельно друг другу; платина в них распределена неравномерно.

Из рудных зон Гальмознанского массива, а также из прилегающих к массиву россыпей реки Левтыринываям и ручьев Ледяной и Пенистый нами были исследованы минеральные парагенезисы, которые показали аналогичность коренной платиновой минерализации зональных комплексов Урала, изложенные в классических работах А.Н. Заварицкого [1], Высоцкого, Бетехтина. На Гальмознанском массиве в настоящее время выявлено 28 МПГ и более 20 неназванные фазы. Наиболее распространенными из них как в коренных рудах, так и в россыпях являются Pt-Fe сплавы (около 90%), а также осмий, иридий, лаурит, эрликманит, сперрилит и сульфоселениды ЭПГ. Состав Pt-Fe сплавов широко варьирует. Для коренных руд характерны составы, близкие к изоферроплатине  $Pt_3Fe$ , тогда как в россыпи реки Левтыринываям преобладает железистая платина. Pt-Fe-Cu сплавы представлены изоморфной серией  $PtFe-Pt_2CuFe$ , которые образуют каймы замещения по изоферроплатине. Иногда они тесно срastaются со сперрилитом или сульфоселенидами  $IrAsS-RhAsS$ . Pt-Fe сплавы содержат элементы-примеси, концентрация которых также варьирует. В коренных рудах и в россыпи ручья Ледяного в Pt-Fe сплавах преобладает примесь Ir. В аллювии ручья Пенистого присутствуют Rh-Ir- и Pd-Rh-содержащие Pt-Fe сплавы, а в россыпи Левтыринываям в Pt-Fe сплавах преобладает примесь Pd. Os-Ir-Ru сплавы представлены включениями осмия в Pt-Fe матрице в виде тонких пластинок и таблитчатых кристаллов (изоферроплатино-осмиевый парагенезис) и иридия в виде структур распада в ней (изоферроплатино-иридиевый парагенезис), оба в ассоциации с лауритом и эрликманитом. Первый парагенезис распространен в россыпи р. Левтыринываям, а второй – в коренных рудах и россыпи ручья Ледяной. Сульфиды ЭПГ, включенные в Pt-Fe сплавы, отличаются своей геохимической специализацией: для россыпи р. Левтыринываям характерны сульфиды Rh, а в коренных рудах распространены сульфиды Ir. Многочисленные более редкие минералы находятся в составе поздних парагенезисов и заполняют пустоты и трещины в Pt-Fe сплавах. Очень часто встречаются составы, представляющие собой сложные твердые растворы  $(Pt,Os,Ir,Rh)AsS$ , промежуточные между  $RuS_2$  и  $PtAs_2$ . Выявлено, что минералого-геохимический тип россыпи отражает не только общую геохимическую специализацию рудо-формирующей системы коренного источника, но и отдельные стадии ее развития. Типы россыпей меняются в зависимости от степени ее удаленности от коренного источника и от пропорции эродированных дунитов, хромититов и пироксенитов. В наиболее удаленных участках россыпи р. Левтыринываям шлиховая платина отражает условия образования апикальных эродированных горизонтов Гальмознанского массива, которые были сложены мелкозернистыми дунитами и пироксенитами, тогда как в ручье Ледяном, непосредственно дренирующем коренные хромитовые руды в крупнозернистых дунитах, платина соответствует глубоким горизонтам внутреннего ядра массива. Оказалось, что платина из россыпи Левтыринываям [4], а также из мелкозернистых дунитов [2] обогащена Fe, содержит примеси Rh и Pd и включает множество осмиевых минералов (осмий самородный,  $OsS_2$ ,  $OsAsS$ ), тогда как парагенезисы из глубоких рудных горизонтов и в ручьях, размывающих эти горизонты, представлены, преимущественно, Ir-содержащей изоферроплатиной с включениями иридия. Смена парагенезисов отражает вертикальный (центробежный) минералого-геохимический тренд зональных массивов от ранних магматических парагенезисов, обогащенных осмием (включения осмия в Pt-Fe сплавах) в мелкозернистых дунитах к более поздним парагенезисам, обогащенным иридием (структура распада изоферроплатины и иридия) в хромититовых рудах.

Образование ЭПГ минерализации в коренных рудах Гальмознанского массива явилось многостадийным процессом, который развивался как на магматическом, так и на постмагматическом этапе, связанном с серпентинизацией дунитов. Исследования парагенезисов МПГ в коренных рудопроявлениях Гальмознанского массива [3] позволило установить признаки значи-



**Рис. 1.** Микрофотографии (сканирующий электронный микроскоп) зерен из коренных руд Гальманского массива.

**А.** Поры и микротрещины в оливине, заполненные серпентином и Pt-Fe сплавами. **Б.** Микроскопический слой переотложившей платины на стенках одного из флюидоподводящих каналов в зерне оливины. **В.** Замещение изоферроплатино-иридиевого парагенезиса новообразованными Ir-Fe твердым раствором (внутренняя кайма) и рыхлым магнетитом с включениями Pt<sub>3</sub>Fe (внешняя кайма); поперечное сечение флюидоподводящего канала, заполненное серпентином с включениями туламинита и пленками сперрилита по стенкам канала.

тельного участия флюида в рудообразующем процессе и проследить постмагматическую эволюцию платинового оруденения. Характерной особенностью пород дунитового ядра является пористая структура оливина и хромшпинелидов. На полированной поверхности зерен выявляется структура линейно расположенных трещинок и микрокаверн, слагающих цепочки и каналы, часто заполненные серпентином (рис. 1А). Эти каналы группируются в линейные системы, переходящие местами в футлярообразные полости. Пористость оливина и хромшпинелидов обеспечивала проницаемость постмагматических флюидов, отвечающих за растворение раннемагматических парагенезисов и перераспределение новообразованных фаз. Отложение самородной платины при температуре, гораздо более низкой, чем точка ее плавления, может быть связано с комплексобразованием ЭПГ и последующим распадом этих комплексов. О высокой подвижности Pt в гидротермальных растворах и о важном значении гидротермальных процессов в перераспределении и вторичном обогащении руд свидетельствуют и экспериментальные данные [5]. На стенках микроканалов в виде микроскопических пленок откладывались рудные минералы наложенных парагенезисов, такие как Pt-Fe-Cu сплавы, сперрилит, аварунит, вайраунит, сульфиды и сульфоарсениды Cu, Ni, Fe, Zn, Pb (рис. 1Б,В). В случае крупных выделений первичной платины среди хромшпинелида и оливина серпентин и хлорит тончайшим слоем обволакивает их. А более мелкая платина, находящаяся внутри серпентиновых прожилков, подвержена замещению туламинитом, сперрилитом в результате воздействия на нее серпентинизирующих растворов. Можно наблюдать ажурные или скелетные структуры сперрилита и туламинита с реликтами первичных платино-железистых сплавов, замещенных в процессе серпентинизации (рис. 1В). При этом оливин, хромшпинелиды, серпентин и хлорит, находящиеся в ассоциации с рудными минералами, содержат микропримеси Ni, Cu, Zn и ЭПГ (до 15 мас. % Pt в серпентинах). Концентрации петрогенных и рудных элементов не коррелируются друг с другом, поскольку ЭПГ и др. не входят изоморфно в структуру минералов, а присутствуют в виде механической примеси. Рудные элементы были привнесены активными растворами, пропитывающими микропоры минералов, и отложены на стенках каналов. В этих же каналах, а также в межзерновом пространстве отмечаются новообразования с рыхлой структурой переменного состава (Pt, Ni, Cu, Fe)(S,OH,Cl), оксихлориды Fe, что свидетельствует о роли хлоридных комплексов при растворении и переносе ЭПГ. Тетраферроплатина и туламинит замещают изоферроплатину с образованием сплошных и прерывистых каемок вплоть до полных псевдоморфоз, отлагаясь с увеличением их объема по сравнению с первичными сплавами. Поэтому излишки новообразованных фаз заполняют ближайшие к замещаемому выделению платины трещинки, формируя типичные руд-

ные «усики». Серпентинизирующие растворы приносят в рудную зону элементы, не участвующие в магматическом процессе. Пирит, халькопирит, пентландит, рыхлый магнетит, mss, iss, хизлевудит, арсениды Ni, Fe, Co, никелин, герсдорфит, шандит, сфалерит,  $\text{CuSbS}_2$ , HgTe,  $\text{Ni}_3\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Zn}$ , Fe-Co, Zn-Fe-Ni, Fe-Ir и Fe-Rh и др., которые ассоциируют с Pt-Fe-Cu сплавами и также локализируются в серпентиновых прожилках. Их составы отражают состав серпентинизирующих флюидов.

Рудная минерализация на Гальмоэнанском массиве формировалась многостадийно. В магмах, из которых формируются зональные дунит-клинопироксенит-габбровые интрузии, платиноиды находятся в квазиметаллическом состоянии [6], и на магматическом этапе их отложение происходит в виде самородных форм, к которым относятся первичные Pt-Fe сплавы, осмий и иридий. Сначала формируется осмий-изоферроплатиновый парагенезис с последовательным насыщением металлической составляющей расплава иридием, пока не начинают кристаллизоваться Pt-Ir (с Fe) твердые растворы, распадающиеся ниже  $345^\circ\text{C}$  на иридий-изоферроплатиновый парагенезис. После кристаллизации основной части силикатного расплава и магматических платиноидных парагенезисов накопление ЭПГ происходит в богатой летучими компонентами постмагматической жидкости, и процессы ЭПГ-минералообразования происходит при участии флюидной фазы. Возрастание давления летучих в замкнутой системе приводит к автотермическому изменению ранних минералов и создает возможности для инъекций этой остаточной жидкости в ранее консолидированные породы по системам трещин, возникающим в результате их усадки. Микротрещиноватость породообразующих минералов может быть обусловлена также экзотермическими реакциями гидратации при серпентинизации ультраосновных пород, приводящей к увеличению общего объема породы и усилению напряжений. Эта микротрещиноватость явилась флюидопроводящими каналами, через которые мигрировали постмагматические реакционные растворы, содержащие Ni, Cu, Zn, Co, Pb, а также Cl, As, S, вступающие в реакции с магматическими сплавами ЭПГ и перераспределяющие их внутри серпентиновой и хлоритовой матрицы. Процесс миграции флюидов через проницаемые зоны был длительным и многостадийным, что отразилось в микропарагенезисах внутри серпентиновых прожилков. Серпентинизирующие растворы воздействуют на изоферроплатину с образованием туламинитовой каймы. Но и эти новообразования в дальнейшем подвергаются воздействию новых порций растворов, обеспечивающих дальнейшее преобразование. Присутствие в них As приводит к формированию сперрилита. Образование сфалерита, пирротина, хезливудита, шандита связано с дальнейшей эволюцией растворов и появлением серы в их составе. На более поздних стадиях эти минералы подвергаются воздействию восстановительных растворов, просачивающихся далее по этим же каналам, которые восстанавливают ранние парагенезисы до различных самородных сплавов: Ir-Fe (рис. 1 В), Ir-Rh-Fe, Co-Fe, Ni-Fe и др., среди которых преобладает аваруит  $\text{Ni}_3\text{Fe}$ . Реликты сульфидов часто встречаются среди аваруита. Аваруит мог образоваться непосредственно из растворов при серпентинизации дунитов, на что указывают его частые находки в дунитах. Часть рудных элементов остаются в серпентине в качестве реликтовой примеси. Процесс минералообразования эволюционировал по схеме:  $\text{Pt}_3\text{Fe} \rightarrow \text{Pt}_2\text{CuFe} \rightarrow \text{PtAs}_2$ ; и параллельно:  $(\text{Pt-Ir-Os}) \rightarrow (\text{Ir,Fe}) + (\text{IrAsS}) \rightarrow (\text{Fe,Ni}) + (\text{Co,Fe})$ . Формирование полигенного многостадийного оруденения Гальмоэнанского массива связано с магматической и постмагматической его эволюцией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заварицкий А.Н. Коренные месторождения платины на Урале // Материалы по общей и прикладной геологии, Вып. 108: Издание геологического комитета, 1926. 56 с.
2. Назимова Ю.В., Зайцев В.П., Мочалов А.Г. Минералы платиновой группы габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмоэнан южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 6. С. 547-565.
3. Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д., Козлов А.П. Рудная платина Гальмоэнанского массива // Вестник Томского гос. ун-та. № 3. Тез. докл., 2003. С. 291-293
4. Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Kozlov, A.P. Platinum-group minerals in lode and placer deposits associated with the Ura-Alaskan-type Gal'moenan complex, Koryak-Kamchatka platinum belt, Russia // Canadian Mineralogist. 2004. V. 42. P. 619-630.
5. Wood S.A. The Aqueous geochemistry of the platinum-group elements with applications to ore deposits // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of platinum-group elements. Edited by L.J.

Cabri. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. 2002. Special Volume 54. P. 211-249.

6. Zaccarini F., Proenza J.A., Ortega-Gutiérrez F., Garuti G. Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuitzingo (Acatlan complex, southern Mexico): implications for post-magmatic modification // Mineralogy and Petrology. 2005. V. 84. P. 147-168.

## УСЛОВИЯ ГЕНЕЗИСА ПЕРИДОТИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АТЛАНТИКИ (ДАННЫЕ ПО РАСПЛАВНЫМ ВКЛЮЧЕНИЯМ)

**Симонов В.А., Ковязин С.В.**

*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия  
e-mail: simonov@uiggm.nsc.ru*

## CONDITIONS OF PERIDOTITE GENESIS IN THE CENTRAL ATLANTIC (DATA ON MELT INCLUSIONS)

**Simonov V.A., Kovyazin S.V.**

*Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia  
e-mail: simonov@uiggm.nsc.ru*

As a result of analysis of the melt inclusions in Cr-spinels, with use of the original technique of high-temperature experiments, it has been found out, that a part of 15°20' Fracture Zone (Central Atlantic) peridotites was formed during initial picrite-basalt melt crystallization in the intrusive chambers during decrease in temperature from 1360°C to 1215°C. By means of an ionic microprobe two types of melts has been distinguished: dry and depleted with REE melts and rather enriched by water and light REE magmatic systems.

Исследовались образцы гипербазитов, собранные при непосредственном участии одного из авторов во время 9-го рейса НИС «Антарес» (1990-1991 гг.) в зоне трансформного разлома 15°20' (Центральная Атлантика). Детально были изучены ультраосновные породы восточного сочленения рифта Срединно-Атлантического хребта и разломного трога. Здесь в отдельных драгах отбиралось более 200 образцов различных типов пород: перидотиты, дуниты, серпентиниты, габбро, долериты, базальты, измененные метаморфизованные породы. В целом, на этом участке, представляющем собой внутреннее угловое поднятие между рифтовой долиной и разломным трогом, присутствует ассоциация базит-гипербазитовых пород, полностью соответствующая по своему набору офиолитам складчатых областей [3].

Наиболее представительные данные по расплавленным включениям получены для перидотитов, содержащих, в отличие от большинства интенсивно серпентинизированных ультрабазитов этого района, значительное количество неизмененных зерен оливина, ортопироксена и хромшпинелида. По химическому составу породы отвечают гарцбургитам с некоторой повышенной ролью кальция – до 4.2 мас.%. Оливины рассматриваемых гарцбургитов по своей магнезиальности (Fo 90.7-91.2 мол.%) близки к вкрапленным оливинам из базальтов этого участка. Ортопироксен представлен энстатитом – En 87.7-89.6 мол.%. Хромшпинелиды, в которых исследовались расплавленные включения, характеризуются широкими вариациями магнезиальности (Mg# 61-86 мол.%) при практически постоянных значениях хромистости (Cr# 60-62 мол.%). По величине Cr# они близки к хромитам с расплавленными включениями из троктолитов района Сьерра-Леоне в Центральной Атлантике, но имеют существенно более высокие значения Mg#. Обладая низкими содержаниями TiO<sub>2</sub> (до 0.32 мас.%) и высокой магнезиальностью, изученные хромшпинелиды соответствуют типичным характеристикам хромитов из пород срединно-океанических хребтов, в отличие от обогащенных титаном минералов из района Сьерра-Леоне. По соотношению значений Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в ортопироксене (1.3-1.7 мас.%) и хромистости шпинелей (Cr# 60-62 мол.%) изученный перидотит не выделяется среди других гипербазитов из района непосредственного