

2. *Кравченко Г.Г.* Типы ориентировок такситовых текстур хромитовых месторождений геосинклинальных зон // Геология рудных месторождений. 1972. Т. XIV. № 6. С. 79-86.
3. Магматические горные породы / Богатиков О.А., Васильев Ю.Р., Дмитриев Ю.И. и др. М.: Наука, 1988. Т. 5. 508 с.
4. *Мораховский В.Н.* Сдвиги и сдвиговые деформации в земной коре // Сдвиговые тектонические нарушения и их роль в образовании месторождений полезных ископаемых. М.: Наука, 1991. 214 с.
5. *Савельева Г.Н.* Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре // Тр. ГИН АН СССР, вып. 404. М.: Наука, 1987. 246 с.
6. *Ставрогин А.Н.* Исследования предельных состояний и деформаций горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1969. № 12. С. 3-17.
7. *Томашевская И.С.* Определение скоростей продольных волн в образцах горных пород при испытаниях на сжатие до разрушения при различном всестороннем давлении // Проблемы механики горных пород. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1966. С. 407-412.
8. *Dick H.J.B., Bullen T.* Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites // Contrib. Mineral. And Petrol. 1984. V. 86. N 1.
9. *Schreiber H.D.* Experimental studies of nickel and chromium partitioning into olivine from synthetic basaltic melts // Proc. X Lunar and Planet. Sci. Conf. Houston, 1979. P. 509-516.
10. *Simkin T., Smith J.V.* Minor-element distribution of olivine // J. Geol. 1970. V. 78. № 3.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИХ ДУНИТОВЫХ РУД ГАЛЬМОЭНАНСКОГО ЗОНАЛЬНОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (КАМЧАТКА)

Козлов А.П.

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия
e-mail: kozap@mail.ru*

TECHNOLOGIC ASPECTS OF MINING IN PGE DUNITE ORES OF THE GALMOENAN MAFIC-ULTRAMAFIC MASSIF, KAMCHATKA

Kozlov A.P.

*Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia
e-mail: kozap@mail.ru*

Technologic aspects of PGE mining in the source deposits of the Ural-Alaskan type Galmoenan mafic-ultramafic massif are considered. The new model of enrichment and secondary PGE extraction is proposed.

Элементы платиновой группы (ЭПГ) – собственно платина, а также палладий, рутений, родий, иридий и осмий представляют собой ценное минеральное сырьё, которое за счет своих особых физико-химических свойств находит широкое применение во многих отраслях промышленности. Рыночная цена на платиноиды неуклонно растет, так как они находят широкое применение в новейших технологиях. Россия издавна является крупнейшим поставщиком платиновых металлов на мировой рынок, но если за рубежом, в первую очередь в ЮАР, основной объем добычи составляет платина, то в российском производстве доминирует палладий. Сложившееся положение обусловлено тем, что 99,5% активных запасов ЭПГ сосредоточено в сульфидных (Норильский район) и малосульфидных (Кольский п-ов) рудах расслоенных комплексов, где платина к палладию имеет резко подчинённое значение [1].

Для увеличения активных запасов и объемов производства платины в России наиболее значимым представляется платинометальное оруденение зонально-концентрических дунит-пироксенит-габбровых массивов Урала, Алдана и Камчатки, являющихся коренным источником уникальных, ныне практически отработанных, россыпей платины. В современной классифика-

ции промышленных типов месторождений платиновых металлов, зональные комплексы рассматриваются, как нетрадиционный потенциально-перспективный тип платиносодержащего сырья [4]. Перспективы вовлечение объектов данного типа в промышленную эксплуатацию, по мнению авторов классификации, связаны с применением современных подходов к обогащению платинометаллических руд и определяются исключительно экономической целесообразностью извлечения платиноидов из них.

В соответствии с мировой и отечественной промышленной практикой, дунитовые руды зональных комплексов Среднего Урала в настоящее время эксплуатируются исключительно как сырье для производства огнеупоров. Нерешенность проблемы извлечения платины из дунитов уже сегодня ведет к безвозвратным потерям этого ценного минерального сырья и определяет безусловную актуальность постановки технологических исследований их обогатимости на ЭПГ.

В связи с завершением эксплуатации уникальных россыпных месторождений платины Сейнава-Гальмознанского узла, в настоящее время на Камчатке активно рассматривается возможность промышленной разработки платинометаллического оруденения Гальмознанского зонального массива, где в южной части дунитового ядра выделено несколько рудных зон со средним содержанием платины 1,2-1,6 г/т [2]. Платинометаллические руды представлены дунитами, для которых являются характерными признаки перекристаллизации и пластических деформаций, определяющих широкое развитие порфирокластических и аллотриоморфнозернистых микроструктур. Количество аксессуарных хромшпинелидов и скоплений рудных хромитов в рудной массе не превышает 1,5%, что определяется низким средним содержанием Cr_2O_3 на уровне 0,6-0,8 масс.%. Степень вторичных изменений рудовмещающих пород, представленных серпентинизацией, незначительна.

В связи с крайне неравномерным распределением платины в рудах (коэффициент вариации 475), единственным методом получения достоверной информации для оценки промышленной значимости платиносодержащих дунитовых руд будет являться крупно-объемное валовое опробование выделенных рудных зон. Для детального исследования технологических свойств, обогатимости и разработки технологической схемы обогащения выявленного платинометаллического оруденения было проведено минералого-технологическое опробование рудных зон [5] и отобрана крупно-объемная технологическая проба массой 10 тонн для полупромышленных испытаний.

Платина в рудах присутствует исключительно в собственных минеральных формах, основными (85%) из которых являются платино-железистые сплавы (изоферроплатина, тетраферроплатина и туламинит) с незначительным количеством сперрилита (10%), платино-медных сплавов (4%) и прочих минералов ЭПГ (1%), что позволяет рассматривать прямое извлечение платиносодержащей минерализации, как основной метод получения платины из данного типа руд. Основной особенностью качественного состава платиносодержащей минерализации является уменьшение составляющей изоферроплатины и тетраферроплатины от бедных руд к богатым, что вместе с характером замещений позволяет выстроить общую схему рудообразования: $Pt_3Fe \rightarrow PtFe \rightarrow Pt_2FeCu \rightarrow (Pt,Cu) \rightarrow PtAs_2 \rightarrow PtSb_2$.

Основная фаза платинометаллического оруденения (85-90% продуктивности) представлена платино-хромитовой минеральной ассоциацией, для которой характерно гнездово-вкрапленное распределение относительно-крупных (до 15 мм) ксеноморфных скоплений минералов ЭПГ в трещинах, пустотах и интерстициях, как в рудных хромититах, так и во вмещающих их дунитах. Тесная связь хромитового и платинометаллического оруденения, что вероятно отвечает их последовательному размещению в общих трещинах, каналах и порах структурно-деформированных дунитов, подтверждена лабораторными экспериментами по крупнокусковому разделению руды с целью получения обогащенного платиной хромитового концентрата. Полное извлечение платины в хромитовый концентрат оказалось проблематичным в связи с преимущественным развитием мелкошлировых и прожилково-вкрапленных морфологических типов рудных хромитов, не позволяющих получить крупные куски для обогащения, а также наличием значительной части крупной платины непосредственно в дунитах.

Дополнительно к основной продуктивной фазе выделена минеральная ассоциация платиноносных дунитов (10-15% продуктивности), когда зерна платиносодержащих минералов имеют выраженные кристаллографические формы и представлены относительно равномерной тонкой вкрапленностью в оливиновой матрице. Следует отметить, что при селективном обогаще-

нии платинометаллических руд с выделением хромитового концентрата, платина данной ассоциации будет уходить в потери.

Относительно свободное раскрытие зерен платиноидов в процессе дезинтеграции определяется их концентрацией в пустотах, трещинах и межзерновых интерстициях рудовмещающих пород. Благоприятным фактором является отсутствие тесных сростаний зерен платиноидов наиболее поздних продуктивных фаз с хромшпинелидами и оливином и связано с их локализацией в прожилках серпентина и формированием им коконов и рубашек. Особенности измельчения платинометаллических руд обусловлены относительно низкой микротвердостью платиноидов (для изоферроплатины 440 кг/мм²) на фоне высоких показателей, характерных для вмещающих оливина (925 кг/мм²) и хромита (1375 кг/мм²), что позволяет выделить основную технологическую задачу при обогащении платиносодержащих дунитовых руд – исключить переизмельчение платиноидов, представленных крупными зёрнами и самородками.

Анализ технологических свойств платиносодержащей минерализации позволил в качестве основного метода извлечения платины из платиносодержащих дунитовых руд рекомендовать прямое гравитационное обогащение без предварительного выделения хромитового концентрата. С учетом наличия двух продуктивной фаз платиносодержащей минерализации различных по своим гранулометрическим и морфометрическим характеристикам, технологическая схема включила в себя последовательное измельчение руд и извлечение платины в две стадии. На первой из которых, при минимальном количестве тонкозернистых продуктов, проводится основная отсадка крупной фракции платиноидов, а уже во второй достигается уровень измельчения максимально благоприятный для выхода платины в мелких и тонких классах крупности.

Результаты полупромышленных испытаний технологической пробы платиносодержащих дунитовых руд с исходным средним содержанием 1,69 г/т показали, что предложенная технологическая схема позволяет выделить 87% платины в богатый гравитационный концентрат с содержанием не менее 2% платины. В бедные гравитационные концентраты с содержанием 200 г/т будет дополнительно выделяться 5% платины, что позволяет достичь общего извлечения платины на уровне 92% [3].

Таким образом, в процессе исследований научно обосновано и экспериментально подтверждено наличие в пределах дунитов ядра Гальмознанского зонального массива масштабного платинометаллического оруденения, представляющего интерес для промышленного освоения. Метод прямого гравитационного обогащения платиносодержащих дунитовых руд при использовании в промышленном исполнении будет наименее затратным, обеспечит высокие показатели извлечения платины и не потребует применения токсичных реагентов, что крайне актуально для обоснования возможности освоения данного геолого-промышленного типа платиносодержащего сырья в особых экологических условиях полуострова Камчатка.

В 2008 году в пределах Гальмознанского зонального массива начато крупно-объемное валовое опробование выделенных рудных зон по траншейным линиями с сечением 3,0 × 1,3 м, секциями по 10 м и массой одной пробы около 100 тонн. В процессе работ запланировано отобрать около 25 тыс. тонн рудной массы платиносодержащих дунитов и переработать их на модульной обогатительной установке, которая в соответствии с разработанной технологической схемой включила в себя три основных блока: передвижной дробильно-сортировочный комплекс и отдельные модули по измельчению и извлечению платиноидов крупной и мелкой фракций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беневольский Б.И., Витковский И.М. Минерально-сырьевая база благородных металлов России // Разведка и охрана недр. 2008. № 9. С. 75-79.
2. Козлов А.П. Платинометаллические месторождения Сейнав-Гальмознанского рудного узла (Корякия) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2007. № 5. С. 47-51.
3. Козлов А.П. Разработка эффективной технологии обогащения руды платинометаллических месторождений Гальмознанского базит-гипербазитового массива (Корякия) // Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения-2007). Материалы международного совещания. Апатиты, 2007. С. 98-103.
4. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Месторождения платиновых металлов. С.-Пб.: Недра, 2002. 297 с.

5. Ожогина Е.Г., Котова О.Б., Чантурия Е.Л. Роль технологической минералогии в прогнозной оценке качества минерального сырья и его глубокой и комплексной переработке // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / Под ред. В.А.Чантурия. М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. С. 35-51.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПРОДУКТИВНОСТИ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СУЛЬФИДНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

Конников Э.Г.*, Некрасов А.Н.*, Симакин С.Г.**

*Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия
e-mail: konn@iem.ac.ru

**Институт микроэлектроники и информатики РАН, Ярославль, Россия
e-mail: simser@mail333.com

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL INDICATORS OF MAFIC-ULTRAMAFIC COMPLEXES ON THE SULFIDE ORES POTENTIAL

Konnikov E.G.*, Nekrasov N.A.*, Simakin S.G.**

*Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Moscow region, Russia
e-mail: konn@iem.ac.ru

** Institute of Microelectronics and Informatics RAS, Yaroslavl, Russia
e-mail: simser@mail333.com

The presentation is devoted to research of evidences allowing distinguish a potential perspective and barren for the sulfide Cu-Ni-PGE ores mafic-ultramafic massifs. Using the experience studying of different Ni-bearing complexes of Russian Transbaikalia, Kamchatka and northeastern provinces of China, the following criterions were suggested by authors, namely: a) enrichment by fluids of the mineralized horizons in layered intrusions; b) prevalence of reduced gases over the fluid components in the fertile plutons; c) deficit of Ni in the bulk composition of mafic-ultramafic rocks and in the rock bearing minerals; d) presence of drop-like sulfide inclusions in cumulus minerals and e) back correlation of NiO contents in olivine with % Fo in it.

Исследование признаков, позволяющих различить потенциально перспективные в отношении сульфидного Cu-Ni и платинометального оруденения и безрудные мафит-ультрамафитовые интрузивы, наряду с теоретическим, представляет большой интерес для практики геолого-разведочных работ. Опыт изучения авторами различных в формационном и возрастном плане интрузивных комплексов на территории Забайкалья, Китая и Камчатки позволяет выдвинуть ряд критериев, отличающих продуктивные на халькофильные металлы интрузивы.

1) Продуктивные мафит-ультрамафитовые интрузии от непродуктивных отличает специфика флюидного режима, заключающаяся в обогащенности рудоносных горизонтов этих интрузий флюидными компонентами, среди которых преобладают восстановленные газы. Это в пер-

Таблица 1

Корреляция NiO, S, FeO_{total} с газами, их изотопным отношением и щелочными оксидами

	Сумма	H ₂ O	H ₂	N ₂ +CO	CO ₂	CH ₄	He	Ar	3He/4He	Na ₂ O	K ₂ O
NiO	0,17	0,10	-0,60	-0,38	-0,04	0,70	0,39	0,21	0,33	-0,67	0,30
S _{общ}	0,10	0,20	-0,63	-0,43	-0,10	0,67	0,36	0,15	0,30	-0,71	0,25
FeO _t	0,10	0,26	-0,65	-0,53	-0,14	0,73	0,36	0,13	0,28	-0,79	0,23

Примечание: все значения $r > 0,63$ значимы с вероятностью 95%