

## ИЗУЧЕНИЕ ХРОМИТОВЫХ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫХ МАССИВОВ РОССИИ

Данный тип месторождений является основным объектом разведки Pt, Ir, Os, Ru. Прогнозируемые ресурсы элементов платиновой группы (МПГ) из Рай-Иза оцениваются в несколько тонн. Изучены методы выделения богатых концентратов платиновых металлов путем механического обогащения. Рекомендована гидрометаллургическая технология получения концентратов МПГ из хромитовых руд. Показана целесообразность осаждения МПГ при переработке хромитовых материалов на химических комбинатах даже при низком содержании МПГ. Обоснована перспективность хромитовых руд Полярного Урала как источника МПГ.

These types of deposits are considered to be the main objects of prospecting for Pt, Ir, Os, Ru. Forecasted recourses of these platinum-group-elements (PGE) from Ray-Iz are estimated to comprise a few tons. Methods of allocation of rich concentrates of the platinum metals by receptions of the mechanical enrichment have been developed. A hydrometallurgical technology for treatment of PGE concentrates produced from chromite ores was recommended. It has been shown advisability of the precipitation of PGE at the processing of chromite materials in chemical manufacture even at the low contents of PGE. The perspective of chromite ores of the Polar Urals as mineral source of PGE has been established.

Изучение минерально-сырьевого потенциала металлов платиновой группы свидетельствует о больших возможностях наращивания производства платиноидов в ЮАР, реальности увеличения добычи палладия в США и Канаде (на 20-40 т ежегодно с 2005-2010 гг.). Это означает, что Россию могут потеснить на мировом рынке МПГ, прежде всего в его палладиевом сегменте, где РФ является ведущим участником.

Существенным обстоятельством, осложняющим перспективы России как производителя МПГ, является начавшаяся с июня 2001 г. тенденция изменения цен на ведущие платиновые металлы: при сравнительно стабильной цене на платину резко (в 3,5-4 раза) уменьшилась стоимость палладия.

Минерально-сырьевая база МПГ состоит преимущественно из запасов платиноидов ( $Pd >> Pt$ ) крупнейших сульфидных платиноидо-медно-никелевых Норильского, Талнахского и Октябрьского месторожде-

ний и, в значительно меньшей степени, Печенгского рудного узла, россыпей Алдана, Якутии, Корякии и Урала. В последние годы минерально-сыревой потенциал МПГ России (ресурсы  $P_3$ ) вырос ориентировочно на 12 тыс.т. В общем объеме запасов МПГ палладий резко преобладает над платиной. Производство МПГ из норильских месторождений в совокупности с уменьшением добычи платины из россыпей без крупных заимствований из государственного резерва не сможет обеспечить высоких объемов экспорта (по экспертным оценкам на уровне 180 т/год) и соответственно неизбежно снижение валютных поступлений в бюджет, которые в 2000-2001 гг. составляли более 3 млрд долларов.

Для удержания традиционно сильных позиций на мировом рынке МПГ необходимо увеличение производства платины, которое становится принципиально важным направлением развития российского платинометаллического комплекса.

За рубежом, преимущественно в ЮАР, платину добывают из рифов Меренского и UG-2 расслоенного Бушвельдского комплекса, характеризующихся доминирующей платиновой минерализацией.

В РФ существенно платиновых ( $Pt > Pd = 2$ ) месторождений к настоящему моменту не выделено. Среди значительного числа разнopersпективных платиноносных объектов выделяются собственно платинометалльные (федорово-панский, верхнетаинхский, норильский и уральский техногенный типы) и платиносодержащие месторождения Сибири и Урала. Первые – объекты самостоятельной добычи МПГ. Из вторых добыча МПГ может вестись только попутно. Поиск руд с иными, по сравнению с норильскими, типами платинометалльной минерализации (платиновой и редкоплатиной) и введение их в отработку приведет к увеличению добычи платины, осмия, иридия, рутения в России и, в конечном счете, к ее независимому положению на мировом рынке [5, 3].

Возможность использования хромитовых руд в качестве источника дефицитных металлов является новой для России проблемой. До сих пор хромитовые руды в нашей стране рассматривались как мономинеральное сырье для производства хрома без учета примесей МПГ. Повышение экономической значимости платиносодержащих хромитовых руд ставит вопрос не только об оценке их ресурсного потенциала, но и о разработке технологических методов попутного извлечения МПГ из хромитовых руд.

Исследованиями Санкт-Петербургского горного института была показана перспективность на МПГ отечественных хромитовых руд зональных массивов Среднего Урала и Алданского щита, характеризующихся преимущественно платиновой специализацией. Сочетание гравитационных методов с магнитно-электростатическими позволяет на начальном этапе выделять богатые концентраты, содержание суммы МПГ, в которых может достигать 500-1000 г/т. Уровнем рентабельности при переработке хромитов является исходное содержание суммы МПГ

не менее 2-4 г/т при условии хорошей обогатимости сырья [5].

Изучение руд Кемпирсайского месторождения (Республика Казахстан), свидетельствует, что они представляют особый интерес как концентраторы осмия, содержание которого достигает 0,3 г/т, что в 3-5 раз выше, чем в медно-никелевых рудах Талнаха (Норильский район). Разработаны методы попутного получения селективного осмивого концентратата и коллективного концентратата палладия и редких платиноидов. Показано, что отвалы химических комбинатов, перерабатывающих хромитовое сырье (более 1 млн т в год) на соли хрома, необходимо рассматривать как техногенные платиносодержащие месторождения [5].

Работы по исследованию хромитовых месторождений Полярного Урала (массивы Рай-Из и Сыум-Кеу) выполнялись с начала 90-х гг XX в. при поддержке Администрации Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯМАО) коллективом специалистов ВСЕГЕИ и Санкт-Петербургского горного института [2, 5] и в соответствии с федеральными программами «Платиновые металлы, золото и серебро России», «Интеграция». В настоящее время хромитовые руды месторождений ЯМАО составляют 52,7 % от общих прогнозных ресурсов хромитов РФ, в том числе 66,1 % от альпинотипного геолого-промышленного типа, что предопределяет возможность создания на Полярном Урале крупной сырьевой базы хромитов, сопоставимой с Кемпирсайским рудным районом в казахстанской части Южного Урала.

Офиолитовый массив Рай-Из (площадь 380 км<sup>2</sup>) располагает огромными потенциальными запасами хромитовых руд (190 млн т). Утвержденные запасы по месторождению «Центральное» массива Рай-Из достигают 6 млн т, по месторождению «Западное» – 1,6 млн т, по рудопроявлению № 214 – 500 тыс.т. С 1996 г. осуществляется открытая добыча хромитовых руд на месторождении «Центральное» ОАО «Конгор-хром». Хромиты, принадлежащие к металлургическому сорту, поставляются на Челябинский электрометаллургический комбинат.

Работы Санкт-Петербургского горного института и ВСЕГЕИ под руководством Л.И.Гурской по оценке платинометалльного ресурса массива Рай-Из включали прогнозно-металлогенические и технологические направления. Прогнозно-металлогенические исследования предусматривали: систематизацию перспективных на МПГ хромитоносных площадей; геолого-генетическое моделирование процессов рудообразования; разработку критерииев для постановки поисково-оценочных работ.

Удалось установить, что при среднем содержании платиноидов в хромитовых рудах на месторождении «Центральное» 0,3-0,5 г/т, повышенные их количества (до 1 г/т и более) встречаются в сульфидизированных хромитоносных породах зон катаклиза, а также в крупнозернистых дунитах, где фиксируются участки высокотемпературного метаморфизма. С высокомагнезиальными хромитами дунитовых комплексов связаны преимущественно проявления осмия, иридия, рутения. В породах дунит-гарцбургитового и гарцбургитового комплексов, где появляются железистые хромиты, заметно повышается роль платинопалладиевой ассоциации МПГ.

Геолого-минералогические работы, представляющие практический интерес для технологических процессов, проведены наиболее детально на рудных телах № 7-9 месторождения «Центральное», где было отобрано около 2000 образцов и восемь технологических проб массой по 100- 200 кг. В результате были выявлены две ассоциации МПГ, имеющие различные площади распространения и объем: осмий-иридий-рутениевая и платино-палладиевая. Первая, доминирующая, включает 93 % всех выделенных минералов МПГ, вторая 7-8 %. Химический состав минералов МПГ отличается широким изоморфизмом, наличием макропримесей различных элементов, особенно Cr, Ni, Cu, Au, Bi. В парагенезисе с МПГ обычно встречаются сульфиды железа, никеля, меди: никелистый пирит, пирротин, пентландит, хизлевудит, миллерит. Размер зерен МПГ не превышает 5-30 мкм, сопутствующих сульфидов от 30-60 до 200 мкм

(их количество в руде 0,2-0,3 %). Минералы осмий-иридий-рутениевой группы размещаются чаще всего в кристаллах хромшпинелида или вблизи, а платинопалладиевой группы – в сульфидах железа, никеля, меди, иногда в интерстиционном пространстве.

Выявлены благоприятные факторы платинометалльного рудообразования:

- первичная обогащенность изучаемых участков хромитами;
- повышенная сульфидоносность площадей;
- химический состав вмещающих пород и руд;
- структурная позиция и тектоническая нестабильность.

В ходе технологических исследований проведено изучение режимов дробления, оптимизации гравитационных и флотационных методов обогащения, а также рациональных методов вскрытия платиносодержащих продуктов с получением концентратов МПГ, удовлетворяющих требованиям аффинажного производства.

Изучение свойств руд массива Рай-Из на стадии обогащения осуществлялось на пробах хромитов различных морфотекстурных типов (месторождение «Центральное», рудное тело № 9) [4].

Результаты химического анализа на платиновые металлы в сплошных, средне-, густо- и редковкрапленных рудах свидетельствуют о довольно низком содержании МПГ в технологических пробах (сумма МПГ менее 0,5 г/т). Отсутствует выраженная зависимость уровней содержания Rh, Ir, Os, Ru от типа хромитовой руды. Содержания платины и палладия крайне неравномерны.

Принципиальная схема испытаний на обогатимость хромитовых руд включала гравитационное обогащение на концентрационных столах и флотоэкстракционное извлечение МПГ из тонкодисперсных шламов с последующей центробежной гравитационной доводкой.

Качество гравиоконцентратов, в том числе выделенных из бедных средневкрапленных и редковкрапленных руд, соответствует требованиям ферросплавного производства.

Наиболее тонкий материал – шламы – обогащены платиной, родием, а также палладием, в меньшей степени рутением и иридием. Осмий всегда распределяется пропорционально хромиту. Так, в процессе обогащения сплошной руды (при выходе шламов около 20 %) в них переходит 60-70 % Pt и Pd, более 50 % Rh, по 35 % Ru и Ir, несмотря на приблизительно одинаковое содержание хрома во всех полученных продуктах.

Наличие в хромитах Рай-Иза соединений МПГ халькогенидного и сульфоарсенидного типа известных, наряду со своими гидрофобными свойствами, высокими адгезионными характеристиками, предопределяет принципиальную возможность флотоэкстракционного извлечения МПГ.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что индивидуализация МПГ флотоэкстракционным методом с использованием солярного масла возможна, но содержания МПГ (не более 5-6 г/т) в выделенном концентрате недостаточно, чтобы рассматривать его как платиносодержащий. Использование центробежного концентрирования МПГ в аппарате с плавающей постелью (ЦКПП-120, автор Е.Д.Кравцов) показали принципиальную возможность дополнительного обогащения концентрата до содержания 20-90 г/т МПГ.

Необходимо отметить, что для доводки флотационного концентратата можно применять центробежные концентраторы Knelson, зарекомендовавшие себя при доизвлечении МПГ из пескового продукта, полученного после классификации в гидроциклонах хвостов обогащения вкрапленных руд месторождения «Норильск-1». Следует учесть, однако, что для норильских руд характерна значительная разница плотностей вмещающих пород и сульфидов по сравнению собственными минералами МПГ (преимущественно палладия и платины). При обогащении полярно-уральских руд, в которых платиноиды приурочены к хромитам, могут возникнуть сложности при гравитационной доводке флотационных концентратов, обусловленной высокой плотностью хромита.

В случае выделения богатых платиносодержащих концентратов (с суммой МПГ

от 100 до 1000 г/т) перспективны два изученных СПГИ и институтом «Гипроникель» варианта разделения концентратов с получением богатых платинометалльных продуктов, удовлетворяющих требованиям аффинажа: плавка на штейн – сульфатизация и обжиг – гидрохлорирование [1, 4, 5].

В целом результаты проведенных исследований позволяют констатировать, что различные морфотекстурные типы хромитовых руд месторождения «Центральное» массива Рай-Из имеют сравнительно низкие содержания МПГ. По этой причине исследованные хромитовые руды массива Рай-Из могут рассматриваться только как комплексное платиносодержащее сырье с возможными вариантами попутного извлечения МПГ при переработке хромитовых руд. В то же время выявленный тип доминирующей Os-Ir-Ru-минерализации МПГ и значимое их содержание в рудах делает целесообразным в рамках решения проблемы реструктуризации платинометалльной сырьевой базы дальнейшее проведение поисковых, оценочных и технологических работ для обнаружения более богатых платиносодержащих хромитовых руд.

Особое внимание необходимо уделить случаям совмещения сульфидного и хромитового оруденений. Так, известно, что в сульфидизированных рудах месторождения Акое (Филиппины), относящегося к альпийскому типу, отмечается суммарное содержание МПГ до 15 г/т (преимущественно платина и палладий). Значительный интерес поэтому представляет обнаруженное в Нуральинском массиве рудопроявление Приозерное в зоне контакта дунит-гарцбургитовых пород с полосчатым дунит-клинопироксенитовым комплексом. В хромитовых рудах названного проявления содержится до 10 г/т МПГ, в том числе 7 г/т осмия и 1,2 г/т платины. Наличие даже этих двух объектов (Акое и Приозерное) свидетельствует о высоких перспективах платиноносности альпинотипных комплексов, в частности массива Рай-Из.

Технологические исследования СПГИ, посвященные платиноносности массива Сыум-Кеу, носили до недавнего времени

выраженный поисковый характер. Стимулом к систематизации этих работ могут стать недавние результаты геологических исследований, в которых подвергается сомнению принадлежность массива к оphiолитовому типу и предлагаются рассматривать его как расслоенный. Необходимо заметить, что к данной категории принадлежат наиболее крупные промышленные платиносодержащие сырьевые объекты.

На настоящем этапе платиноносность полярно-уральских хромитовых руд не принимается во внимание во многом из-за того, что ведется добыча богатых хромитовых руд, не требующих обогащения. Вовлечение в переработку вкрашенных руд приведет к использованию развернутых обогатительных схем и поставит вопрос о попутном концентрировании МПГ. Использование гравитационно-флотационного коллектирования МПГ в богатом продукте с последующей его гидрометаллургической переработкой позволит получить селективные концентраты платиновых металлов, пригодные для аффинажа. Внедрение методов попутного концентрирования платиновых ме-

таллов при химической переработке хромитовых концентратов будет способствовать увеличению объема производства МПГ и существенному повышению стоимости сырья, поставляемого, в первую очередь, на заводы, выпускающие соли хрома.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометаллургическая технология переработки малосульфидных платиносодержащих концентратов / Я.М.Шнеерсон, А.Ю.Лапин, П.В.Гончаров, Т.Н.Грейвер, Г.В.Петров, А.В.Татарников // Цветные металлы. 2001. № 3. С. 26-31.
2. Гурская Л.И. Платиноносность Полярного Урала // Полярный Урал – новая минерально-сырьевая база России: Труды I Полярно-Уральской науч.-практ. конф. Тюмень-Салехард, 1997. С.146-152.
3. Додин Д.А. Платинометалльные месторождения мира / Д.А.Додин, Э.А.Ланда, В.Г.Лазаренков. Т.2. Платиносодержащие хромитовые и титаномагнетитовые месторождения. М.: Геоинформцентр, 2003. 409 с.
4. Изучение поведения хрома и платиновых металлов при гравитационном обогащении платиносодержащих хромитов массива Рай-Из / О.Н.Тихонов, В.Г.Лобович, Г.В.Петров, Т.Н.Грейвер, Л.И.Гурская // Обогащение руд. 1998. № 1. С.20-23.
5. Петров Г.В. Современное состояние и технологические перспективы производства платиновых металлов из хромитовых руд. СПб: Недра, 2001. 200 с.