*Геолого-минералогические науки***ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ
И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ
НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО
РЕГИОНА: ПРАКТИКА
И ИССЛЕДОВАНИЯ**

Бодуэн А.Я., Петров Г.В., Мардарь И.И.,
Иванов Б.С.

*Национальный минерально-сырьевой университет
«Горный», Санкт-Петербург,
e-mail: petroffg@yandex.ru*

Крупнейшие платинометалльные техногенные месторождения мира расположены в Норильском промышленном регионе, формировавшиеся в течение нескольких десятилетий при переработке сульфидных медно-никелевых руд ОАО ГМК «Норильский никель» (ГМК «НН»). В ГМК «НН» накоплено более 300 млн. т сухих техногенных отходов, представляющих собой перспективный источник благородных металлов [1-4].

В качестве дополнительных источников благородных и цветных металлов сегодня рассматриваются: заскладированные хвосты обогащения сульфидных медно-никелевых руд; «лежалые» пирротиновые концентраты (ЛПК); заскладированные магнетитовые концентраты; шлакопылевые отвалы.

В настоящее время для переработки техногенных отходов ГМК «НН» предлагается достаточно большое количество обогатительных и металлургических технологий, которые значительной степени ориентированы на получение концентрата благородных металлов с его дальнейшей переработкой в шламовой технологии.

Хвосты норильских обогатительных фабрик. Прогнозные ресурсы МПГ лежалых хвостов обогатительных фабрик превышают 800-1000 т. Заскладированные хвосты характеризуются повышенными содержаниями платины (до 2,1 г/т), палладия (до 5,8 г/т), родия (до 0,24 г/т), иридия (до 0,044 г/т), рутения и осмия (до 0,01-0,05 г/т), золота (до 1,4 г/т), меди (до 0,8 г/т), никеля (до 0,6 г/т) [1].

Актуальной проблемой вовлечения в производство техногенных отходов, в том числе содержащих МПГ, является создание эффективной и экономически обоснованной обогатительной технологии, способной обеспечить получение качественного концентрата ценных компонентов, пригодного для дальнейшей переработки в рамках существующих технологий. Тем более что, в заскладированных хвостах обогащения значительная часть МПГ находится в виде свободных минералов, выделение которых возможно при использовании гравитационного обогащения с получением богатых концентратов,

пригодных для переработки на Надеждинском металлургическом заводе (НМЗ) [5].

В районе Норильска в течение ряда лет ГК «Рутений» по гравитационной технологии ведет отработку современной техногенной россыпи МПГ и золота по реке Щучьей, в верховьях которой находится склад отвальных хвостов Норильской обогатительной фабрики. Содержания МПГ в россыпи в 2-3 раза больше, чем в хвостах, и достигают иногда десятков грамм на тонну (до 66,6 г/т Pt, 77,8 г/т Pd и 18,6 г/т Au). Применяемая гравитационная схема обогащения включает дезинтеграцию, классификацию и дополнительную дезинтеграцию в скруббере, получение первичного концентрата с помощью виброцентробежных и центробежных сепараторов, доводку полученного промпродукта до требуемых параметров. Извлечение МПГ составляет в среднем 59%, колеблясь от 25 до 67% [6].

Известны результаты технологических испытаний центробежных сепараторов для переработки техногенных отвалов, которые показали возможность получения богатого концентрата, содержащего МПГ в количестве до 20 кг/т [1].

В ГМК «НН» разработана технология доизвлечения МПГ из хвостов Норильской обогатительной фабрики методом магнитной сепарации. Из пульпы выделяют магнитные концентраты, извлечение суммы Pt, Pd, Rh и Au в которые колеблется в пределах от 20 до 40%. Для дальнейшей переработки получаемых магнитных концентратов предложена плавка на штейн в присутствии древесного угля. Также существует возможность направлять их в технологическую цепочку Никелевого завода как частичного заменителя песчаника на рудно-термической плавке [7].

По проекту ЗАО «Механобр Инжиниринг» (СПб) пульпу хвостохранилища ГМК «НН», с содержанием 20% твердого вещества подвергают классификации с выделением с выделением материала крупностью $-1,2 + 0,25$ мм, который затем поступает на обогащение в концентраторах «Knelson». Извлечение платины из песковой фракции текущих хвостов обогащения вкрапленных руд составляет 40% при выходе гравиконцентрата 0,4%. Предусматривается гравиконцентрат с содержанием благородных металлов 4 кг/т и более перерабатывать в металлургическом цехе, а ниже 4 кг/т – в составе шихты ряда операций пирометаллургического передела [8].

Лежалые пирротиновые концентраты и железистые кеки. При флотационном обогащении пирротиновых руд Талнахского и Октябрьского месторождений формируется самостоятельный сульфидный промпродукт –

никель-пирротиновый концентрат, запасы которого в пирротинохранилищах составляют более 10 млн. т. В ЛПК содержится до 10 г/т и более МПГ, 0,3 г/т Au, более 10 г/т Ag, 1-3% Ni и Cu, 0,1% Co. Благородные металлы рассеяны в сложной и тонкой композиции сульфидных минералов в виде вкраплений, что делает малоэффективными механические методы их отделения от породы [9, 10, 11].

В ГМК «НН» ЛПК перерабатывается с помощью флотации, которой предшествуют классификация и измельчение в шаровых мельницах для раскрытия слежавшихся зерен. Готовый концентрат ЛПК объединяется с общим никелевым концентратом Норильской обогатительной фабрики [11]. Недостатком этой технологической схемы является то, что происходит обеднение общего никелевого концентрата и увеличение удельных затрат энергии при дальнейшей пирометаллургической переработке материала, так как ЛПК – это богатый по железу и бедный по никелю продукт.

С июня 2009 г. началось вовлечение в переработку ЛПК, хранящегося под слоем воды в пирротинохранилище Кайерканского угольного разреза, по технологии автоклавного окислительного выщелачивания. ЛПК в количестве 25-30% (масс.) подшихтовываются к пирротиновым концентратам Талнахской обогатительной фабрики для их совместной переработки в гидрометаллургическом производстве НМЗ. Недостатком этого способа являются существенные потери МПГ в ходе автоклавного окислительного выщелачивания [12].

Группой авторов разработана гравитационно-флотационная технология переработки ЛПК, которая представляет собой выделение гравитационного концентрата на аппаратах «Knelson», обогащение его на концентрационном столе «Gemini» (извлечение цветных металлов в хвосты сепарации составляет 99,0-99,5%) и флотацию хвостов обогащения с получением богатого по драгоценным металлам концентрата, пригодного для последующей переработки в металлургическом цикле ГМК «НН» [10].

Магнетитовые концентраты. Перспективными техногенными месторождениями МПГ являются хранилища магнетитовых концентратов, сформировавшиеся при переработке богатых халькопиритовых руд Талнахского месторождения. В те годы ферроплатина из этих руд не извлекалась и содержание МПГ в отвальных хвостах флотации достигало 26 г/т. ГМК «НН» ведет отработку техногенного магнетитового месторождения по гравитационной обогатительной технологии. Использование концентратов «Knelson» и концентрационных столов «Gemini» позволяет получать гравитационные концентраты, содержащие 5-7 кг/т благородных металлов и пригодные для дальнейшей переработки в металлургическом цикле. Только за пер-

вый год из магнетитовых концентратов получено 1200 кг МПГ, около 1500 т никеля и 1000 т меди [13].

Шлакопылевые отвалы. Перспективным источником благородных и цветных металлов являются отвальные шлаки и пыли систем сухой и мокрой газоочистки металлургических печей, накопленные в шлакопылевых отвалах ГМК «НН». Например, в шлаковых отвалах Никелевого завода, наряду с никелем (содержание от 0,04 до 0,12%), медью (от 0,2 до 0,37%) и кобальтом (от 0,05 до 0,07%), содержится от 1 до 2,2 г/т суммы МПГ и Au [14].

В работе [14] предложена технологическая схема переработки шлаков основанная на применении рентгенрадиометрической сепарации. Рентгенрадиометрической сепарации должно предшествовать грохочение шлаков по классу – 10 мм. Подрешетный продукт после гравитационного обогащения может быть переработан по пирометаллургической или флотационной схеме. Данная технология доизвлечения благородных и цветных металлов должна удачно вписаться в существующее на шлакоотвале производство щебня и материала для подсыпки дорог и наполнителя в бетон. Проведенные технологические испытания показали реальность такого подхода. Возможна также переработка предварительно обогащенных шлаков по пирометаллургической схеме.

В Санкт-Петербургском горном университете исследования по разработке технологии концентрирования благородных металлов осуществлялись на пробах донных осадков шлакопылевых прудов-накопителей, содержащих суммарно до 20% Cu, Ni, Co. Пробы имели весьма высокое содержание (50-100 г/т) суммы Au, Ag и МПГ. Экспериментально показано, что коллектирование сульфидной составляющей исходного материала методом адгезионной флотации в оптимальных условиях (расход солярового масла 20-50% от питания; крупность материала > 95% фракции – 44 мкм; ж:т = 2-4) при относительной простоте реализации процесса обеспечивает высокие показатели концентрирования ценных компонентов с получением концентрата, обогащенного в 3-5 раз по благородным металлам.

Дальнейшая переработка флотоадгезионного концентрата способом, сочетающим плавку на металлизированный штейн и его последующую жидкофазную сульфатизацию при 200°C, ж:т = 5 в течение 6 часов обеспечивает получение богатого концентрата Pt, Pd и Au (суммарное содержание не менее 1,5%) с извлечением серебра, цветных металлов и редких платиноидов в сернокислый раствор.

На основании выполненных исследований предложена принципиальная технологическая схема концентрирования благородных металлов из материала шлаковых отвалов ГМК «НН»,

включающая в качестве основных стадий адгезионную флотацию, коллектирующую плавку концентрата, сульфатизационную переработку штейна с получением богатого платинометалльного концентрата и сорбционное извлечение редких платиноидов из раствора сульфатизации. Данная схема обеспечивает замкнутый цикл адгезионной флотации с полной регенерацией адгезива, получение селективных концентратов благородных металлов и возможность попутно-го извлечения цветных металлов [15].

Список литературы

1. Додин Д.А., Изонитко В.М. // Обогащение руд. – 2006. – № 6. – С. 19–23
2. Сениютина А.Б. // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2006. – № 6. – С. 70–73.
3. Додин Д.А., Неручев С.С. и др. // Горный журнал. – 1997. – № 2. – С. 8–11.
4. Стехин А.И., Кунилов В.Е., Олешкевич О.И. // Недра Таймыра. – 1995. – Вып. 1. – С. 85–93
5. Купилов В.Е., Рябкин В.А. и др. // Цветные металлы. – 1996. – № 5. – С. 35–37.
6. Самойлов А.Г., Шатков В.А. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2000. – № 1. – С. 45–48.
7. Федосеев И.В. // Цветные металлы. – 2006. – № 3. – С. 39–40.
8. Сениютина А.Б. Экономическое обоснование вовлечения в разработку техногенных месторождений металлов платиновой группы: диссертация ... кандидата экономических наук. – М., 2006. – 128 с.
9. Нафталь М.Н., Шестакова Р.Д. // Цветные металлы. – 2001. – № 6. – С. 43–48.
10. Кайтмазов Н.Г., Пыхтин Б.С. и др. // Цветные металлы. – 2001. – № 6. – С. 41–42.
11. Брусничкина-Кириллова Л.Ю., Большаков Л.А. // Цветные металлы. – 2009. – № 8. – С. 72–74.
12. Дмитриев И.В., Кудрин Е.Г., Петров А.Ф. // Цветные металлы. – 2010. – № 6. – С. 70–73.
13. Фомичев В.Б., Благодатин Ю.В., Сухарев С.В. // Цветные металлы. – 2000. – № 6. – С. 27–29.
14. Макаров В.А. Благородные металлы техногенных минеральных объектов сибирского региона: ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки // Цветные металлы Сибири – 2010: сборник докладов II Международный конгресс. – Красноярск. – С. 37–45.
15. Петров Г.В., Ковалев В.Н. Сульфатизационное вскрытие продуктов пирометаллургической переработки техногенных платиносодержащих отходов Записки Горного института // Инновационные технологии в металлургии и обогащении. – СПб., 2011. – Т. 192. – С. 32–35.

**РЕСУРСЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
В ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА РОССИИ**

Петров Г.В., Бодуэн А.Я., Мардарь И.И.,
Иванов Б.С., Богинская А.С.

*Национальный минерально-сырьевой университет
«Горный», Санкт-Петербург,
e-mail: petroffg@yandex.ru*

В настоящее время мировые запасы металлов платиновой группы (МПГ) насчитывают свыше 100 тыс. т, из которых около 90% приходится на три крупных рудных района: Бушвельд (ЮАР), Норильск (Россия) и Великая Дайка (Зимбабве), при этом основное производство МПГ пока осуществляется из сырья рудных месторождений ЮАР и России [1].

Важным аспектом развития российского платинометалльного комплекса и укрепления позиций на мировом рынке МПГ является расширение и реструктуризация минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Россия располагает мощным потенциалом для прироста ресурсов и запасов платиноидов, существенным элементом которого в ближайшем будущем могут стать техногенные отходы переработки полиметаллических руд. Все крупные мировые производители МПГ обладают техногенными объектами различной значимости, но только с российским горно-металлургическим комплексом связаны крупнейшие техногенные платинометалльные месторождения [2].

В России в качестве дополнительных источников платиновых металлов целесообразно рассматривать заскладированные хвосты обогащения сульфидных медно-никелевых руд, «лежалые» пирротиновые концентраты (ЛПК); заскладированные магнетитовые концентраты и шлакопылевые отвалы «Горно-металлургической компании «Норильский никель» (ГМК «НН»), а также техногенные платинометалльно-хромитовые россыпи Урала и Алдана.

Норильские техногенные месторождения. В ГМК «НН» значительные потери платиновых металлов (до 20%) связаны с обогащением первичного сульфидного медно-никелевого сырья. Применение развернутых обогатительных схем с широким спектром операций (гравитация, обогащение в тяжелых суспензиях, флотация и др.), ориентированных преимущественно на концентрирование цветных металлов, большой объем перечистных операций и соответственно формирование значительных количеств полупродуктов, в различной степени содержащих МПГ, приводит к безвозвратному техногенному рассеянию благородных металлов.

В металлургическом цикле переработки сульфидных концентратов цветных металлов основная часть платиновых металлов коллектируется в анодных шлаках электролиза меди и никеля. В ГМК «НН» переработка шламов осуществляется по технологиям, обеспечивающим получение богатых платинометалльных концентратов, удовлетворяющих требованиям аффинажного производства. Потери МПГ в металлургическом цикле оцениваются в 3–5% и связаны преимущественно с отвальными шлаками и пылями плавильных и обжиговых переделов. Следует отметить, что частичный возврат образующихся полупродуктов в основное производство приводит к циркуляции части платиновых металлов в технологическом цикле.

В ГМК «НН» накоплено более 300 млн. т сухих платинометалльных техногенных отходов, представляющих собой перспективный источник благородных металлов, учитывая, что в связи с уменьшением доли богатых руд в товарной