

D драгоценные

M металлы

D драгоценные

K камни

№5 (77) 2000

P precious

M metals

P precious

S stones

Григорий БОЯРКО

МЕТАЛЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Применение, спрос и предложение, пинамика и прогноз рынка

Применение платиновых металлов

Металлы платиновой группы нашли свою область применения благодаря исключительным физико-химическим характеристикам: высокая температура плавления и кипения, малая химическая активность, высокая коррозионная стойкость и способность сохранять неизменными свои свойства в широком диапазоне температур, давления и состава агрессивных сред, специфические каталитические свойства и т.д.

Благодаря ковкости и привлекательной окраске, малой распространенности и химической инертности первой областью применения платины и палладия было *ювелирное дело*. Ввиду внешней привлекательности, благодаря малой распространенности, а также большой трудности аффинирования и обработки, платина считается наиболее ценным из благородных металлов. Для увеличения износостойкости в изделия из Pt и Pd добавляют примесь иридия. В России применяются стандартные ювелирные сплавы: $PtIr_5$, $PtPd_{4,5}Ir_{0,5}$, $PtPd_{45}Ni_5$ и $PdAg_{13}Ni_2$. В виде покрытий ювелирных украшений используется также родий, обладающий высокой отражательной способностью.

Как и золото, платина и палладий являются средством накоплений - в качестве *инвестиции* денежных средств в слитки юридическими лицами, *тезаврации* слитков и монет физическими лицами, а также для формирования *стратегических запасов* отдельными странами. Основная цель этих накоплений - сохранение финансовых средств в виде товара с высокой потребительской стоимостью, а также образование резерва металлов на случай кризисных ситуаций рынка предложения МПГ.

В *химической промышленности* использование платиноидов началось с изготовления из них термостойкой и химически инертной лабораторной посу-

БОЯРКО Григорий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, докторант Томского политехнического университета.

ды (тигли, чашки, стаканы, воронки, пробирки, вкладыши, ампулы, ложки, шпатели, капилляры, держатели, крышки, пробки, чехлы), а затем и аппаратуры, покрытый автоклавов и реакторов при работе с агрессивными средами, а также для производства особо чистых материалов. Платиновые металлы применяются в качестве катализаторов неорганических соединений, особенно аммиака и азотной кислоты. Кроме этого, платиновые катализаторы используются в неорганической химии для реакций гидрогенизации и дегидрогенизации, восстановления нитро- и галоидных соединений, в производстве перекиси водорода, серной и синильной кислоты. Для получения сверхчистого водорода используется свойство палладия пропускать его сквозь себя.

В **нефтехимии** используют каталитические свойства платиновых металлов при производстве высокооктанового моторного топлива, платформинге и гидрокрекинге (риформинге) нефти, пиролизе газообразных углеводородов, циклизации, изомеризации, полимеризации, гидрогенизации и дегидрогенизации, алкилировании производных от нефтепродуктов и т.д. Наибольшее распространение в нефтехимии получили универсальные PtRe катализаторы (с примесью Pd, Ru, Rh, Ir). С их использованием из нефти производится более 5 тысяч синтетических продуктов. На основе палладия осуществляются каталитические процессы получения мономеров синтетического каучука, полупродуктов для синтетических волокон, моющих средств. Катализаторы на родиевой основе при гидрогенизации бензола и других соединений ароматического ряда, а также колец гетероциклических соединений, более эффективны, чем платиновые. Рутениевые катализаторы применяются при гидрогенизации соединений карбонильной группы в альдегиды и кетоны, гидрогенизации и восстановлении целлюлозы и полисахаридов, получении глицерина и других многоатомных спиртов, а также синильной кислоты. Катализаторы на основе иридия применяются при производстве хлорида поливинила и уксусной кислоты. Осмиевые катализаторы используются при синтезе стероидов, картизона, гидрокартизона и других аналогичных препаратов.

В **стеклянной промышленности** платину, палладий и сплавы на их основе применяют в виде конструкционных элементов при изготовления трубок дисплеев компьютеров и жидкокристалльных дисплеев, оптического стекла, выращивании монокристаллов для лазеров и для производства стекловолкна. Из них изготавливают термо- и коррозионностойкие литые стеклоплавильные сосуды, платиновые котлы, фильерные питатели для протяжки стекловолкна, а также нагревательные электроды, мешалки, датчики уровня ванны, труб для подвода воздушного дутья. Иридиевые тигли используются для выращивания монокристаллов на основе сплавов YAl, GdGa и др.

В **приборостроении** платиновые металлы используются при изготовлении электрических контактов, потенциометров, припоев, высокочувствительных термометров и термодатчиков, тензородатчиков и упругих элементов, постоянных магнитов и износостойких осей особо точных приборов. В качестве электрических контактов с низким и стабильным переходным сопротивлением и малой мостиковой эрозией применяются литые и металлокерамические сплавы Pt и Pd с благородными (Ru, Rh, Ir, Au, Ag) и неблагородными (Re, Ni, W, Mo, Cu) металлами. Используются они в прецизионных и сигнальных реле, магнето, вибропреобразователях, бензо- и маслоизмерителях, токосъемниках потенциометров и термостатах авиационной и космической техники. В потенциометрах, работающих в агрессивных средах при высоких температурах и давлениях, ис-

пользуются обмотки из сплава PdW_{20} в контактной паре со сплавами $PtNi_{4,5}$, $PtIr_{10}$, PdW_{20} . Припои с температурой плавления свыше $600^{\circ}C$ на базе платины и палладия используются для пайки жаропрочных сталей, меди, никелевых сплавов, циркония, молибдена, вольфрама для получения соединений, требующих высокой термической надежности. К примеру, необратимая пайка вольфрама припоем состава PtV приводит к образованию в месте спаивания прочного соединения PtW с температурой плавления $2460^{\circ}C$. Припои из платиноидов применяются в микроэлектронике, авиационной и космической технике. Термопары и термометры сопротивления "платинель" $Pt_{15}Ir-Pd$, $Pt_{10}Rh-Pd$, $Pt_{20}Rh-Pt_5Rh$, $Pt_{40}Rh-Pt_{20}Rh$, $Ir_{60}Rh-Ir$ позволяют с высокой достоверностью и стабильностью определять температуру в широком ее диапазоне от 0 до $2200^{\circ}C$, при высоком давлении и в вакууме, в агрессивных средах. В качестве упругих элементов высокоточных приборов (торсионов, подвесок, растяжек, пружин и т.д.) используются тонкие проволочки из базового сплава $PtAg_{20}$ с различными добавками (Pd , Ru , Rh , Ir и Mn), а также из PdW и $PdMo$ с присадками Ir , Rh , Cu . Тензородатчики для измерения давления и других параметров напряженного состояния механизмов при температурах свыше $1000^{\circ}C$ изготавливаются из сплавов $PdAg$ и PtW . Сплавы $PtCo$ обладают уникальными магнитными свойствами (остаточная намагниченность $B_r=0,07-0,79$ Тл, коэрциционная

сила H_c до 730 кА/м, магнитная энергия $W_{H_{MAX}}=75-90$ кДж/м³) ЭТОТ сплав поддается всем видам обработки, поэтому из него изготавливают любые формы постоянных магнитов с максимально возможной магнитной энергией. Близкими свойствами обладает также $FePd$ магнитный сплав. Как износостойкий конструкционный материал используется природный осмирид: его кристаллы немагнитны, твердость их близка к алмазу, тугоплавкость и стойкость к агрессивным средам исключительна. Из них изготавливают различные оси и опоры прецизионных хронометров, компасов морских судов и авиалайнеров, а также оси дисководов повышенной надежности для ЭВМ и другие ответственные трущиеся детали.

В **электронной промышленности** платиноиды применяются для изготовления коммутационных соединений, электрических сопротивлений и других элементов электроники высокой надежности, припоев. Для изготовления надежных коммутационных соединений (разъемов, штеккеров) в настоящее время используется сплав Ad с Pd . В составе высоконадежных сопротивлений (резисторов) используют Pt и Ru , в конденсаторах на керамической основе - Pt и Pd , в конденсаторах на танталовой основе - Pt . МПГ входят в состав тонкопленочных элементов микросхем: выпрямляющие и невыпрямляющие контакты изготавливаются на основе Pd , Pt , Ru , Rh , Ir , Os , $PdTi$ и PdV , высокопроводящие пленки и пасты - из сплава $AgPd_{30}$, в составе резисторов используется сплав PdW , в конденсаторах - Pd и сплав $AgPd_{30}$, выводы микросхем для коммутации с внешними цепями изготавливаются из сплава $AgPd_{10}$. Палладиевые покрытия используются для антикоррозионной защиты контактов, корпусов интегральных схем и генераторов СВЧ. Для надежной пайки внешних соединений применяется серебро-палладиевый припой. Платино-кобальтовый сплав используется в виде покрытий жестких дисков компьютеров, с целью увеличения плотности записей.

В **атомной промышленности** платина используется при производстве плутония, конвертирование которого осуществляется в платиновых контейнерах в печах, облицованных изнутри платиной. В атомных реакторах платиной покрывается поверхность внутреннего контура охлаждения, а также элементы управления реактором (циркониевые стержни и т.п.) для защиты их от коррозии. Сосуды из платины используются также для компактирования радиоактивных отходов при температуре 1100-1200°С. Палладий используется в атомной промышленности при изготовлении сосудов для электролитического разделения изотопов водорода.

С 1976 года в **автомобильной промышленности** в массовом количестве стали применяться конвертеры выхлопных газов с PtPd-катализаторами, способствующими снижению в них концентрации оксида углерода и углеводородов. Они представляют собой патроны, заполненные суспензией пористых гранул Al_2O_3 с высокой удельной поверхностью ($\sim 2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$), на поверхности которых из растворов высажены платина и палладий. При соприкосновении выхлопных газов с пленкой платиноидов происходит их "дожигание": окисление и разложение на CO_2 и H_2O . Отмечается, что эффективность использования осмия для нейтрализации выхлопных газов автомобилями значительно выше, чем у PtPd-катализаторов, но ограниченность рынка предложения осмия препятствует его использованию в этой отрасли.

В **медицине** платина и ее сплавы используются для изготовления некоторых инструментов (пинцетов, щипцов и т.п.), шприцов для ртутных препаратов, а также (совместно с палладием и рутением) для изготовления зубных протезов. Тетраоксид осмия используется при проведении гистологических исследований. Иридий, осмий и рутений находят применение в составе химиотерапевтических препаратов. Платино-иридиевые электроды используются в качестве стимуляторов сердечной деятельности.

В **электроэнергетике** используются установки на базе топливных ячеек платино-углеродистых катализаторов, генерирующих электрический ток за счет окисления водорода, метанола или метана без процесса горения. На их основе работают генераторы электроэнергии на космических кораблях США. В Японии создана промышленная станция на базе топливных катализаторных ячеек, причем капитальные и эксплуатационные затраты оказались в 1,5 раза ниже, чем на обычных тепловых электростанциях. Имеются сообщения о разработках топливных катализаторных ячеек в качестве питания электромобилей.

В **научных исследованиях** используется радиогенный осмий (Os^{187}): в виде раствора тетраоксида для фиксажа биологических объектов при электронной микроскопии, а также при изучении фотонейтронных реакций атомной энергетики.

Из **других направлений использования** платиноидов следует отметить:

- платиновые, платино-иридиевые и платино-рутениевые аноды для катодной антикоррозионной защиты металлических конструкций и сооружений: металлических емкостей, трубопроводов, морских причалов и эстакад, морских нефтяных платформ, медленно движущихся морских судов;
- зеркальные покрытия из родия и палладия технических зеркал, отражателей прожекторов и т.п.;
- зеркальные покрытия из платины с односторонней прозрачностью;

- искровые контакты систем зажигания автомобилей из иридия и родия;
- нагревательные элементы лабораторных печей из родия и RhPt сплава;
- нити накаливания мощных осветительных ламп из OsW сплава;
- покрытия из иридия, рутения или диоксида рутения на безуглеродных титановых анодах, используемых при производстве хлора и едкого натра;
- иридиевые электроды для электролитического покрытия стали цинком;
- мембраны предохранительных клапанов сосудов высокого давления из платины и палладия.

Из новых технологических разработок по платиноидам следует отметить следующие:

Процесс напыления платины на катализаторной сетки. Обычно, армированный платиноидами провод сетки из молибденовой стали изготавливается с очень толстым покрытием. При распылении, управляемом компьютером, расход платиноидов сокращается с 30% от массы катализаторной сетки до 15%. Кроме материальных выгод, этот метод допускает применение различных сплавов на которые покрытие невозможно наложить механически или другими технологиями (Sputter-coating..., 1997).

Технология получения *наноразмерных платиновых проводов с углеродным покрытием* разработана в университете Тохоку (Япония). Они используются как катализаторы, как нанопроводники в электронной технике и как композиты. Исследователи электроокислением алюминиевой пластины изготовили шаблон с массивом субпараллельных, прямых каналов диаметром в первые нанометры. Углерод депонируется на стенах каналов термическим разложением пропилена. Платина была загружена внутрь этой углеродной пленки раствором этилового спирта гексахлорплатиновой кислоты в комнатной температуре. Перевод кислоты в металл осуществляется термической обработкой в 500°C в атмосфере водорода или обработкой раствора избытком BaVHd при комнатной температуре. Алюминиевый шаблон удаляется фтористоводородной кислотой с получением готовых наноразмерных платино-углеродных объектов (Platinum nanorods..., 1997).

Разработка электроискровых электродных материалов нового поколения - из *алюминиды рутения*. Создан новый электроискровый электродный материал, который выполняет строгие требования автомобилестроения. В отличие от обычных сплавов, которые являются обычными смесями компонентов, интерметаллические соединения имеют стабильный состав и определенными физическими и химическими свойствами Интерметаллы характеризованы высокими точками плавления и большой стабильностью, особенно в высоких температурах. Эти свойства делают интерметаллы потенциальными кандидатами на использование как высокотемпературные конструкционные материалы. Основное применение алюминиды рутения будет в качестве электроискровых электродов. Материал обладает ударной вязкостью, способной противостоять тепловому удару, связанному с циклической работой между температурами 60°C и 3000°C, необходимым сопротивлением, чтобы образовать электрическую дугу без эрозии и окисления, и достаточной теплопроводностью, чтобы провести теплоту быстро от забоя, предотвращение предвоспламенение даже при высоких нагрузках двигателей (Ruthenium..., 1997).

Жаропрочные суперсплавы на основе иридия. Исследованы новые жаропрочных суперсплавов на основе иридия для ультравысоких температурных приложений. Известно, что суперсплавы на основы никеля имеют высокую си-

лу в высоких температурах из-за когерентной двухфазной микроструктура. Когерентная связь предотвращает сдвиговые деформации. Иридий, палладий, платина, и рутений, имеет более высокую стойкость против окисления чем никель, и более высокие точки плавления, но не имеет микроструктуры, подобные таковому у никеля. Были исследованы микроструктура и предел прочности при сжатии новых сплавов $Ir_{15}X$ (где X - Ti, Ta, Nb, Hf, Zr, или V) в интервале температур от комнатной до 1800°C. Новые сплавы необходимы для обеспечения постоянно возрастающих требований на материалы с более высокими температурными возможностями высокоэффективных реактивных двигателей (Refractory..., 1998).

Использование сплава палладия в приборах по обнаружению водорода. Палладий и несколько сплавов серебро-палладиевых сплавов, используются как водородочувствительные металлы. Поскольку водород адсорбируется палладием, замером его сопротивления можно его обнаружить и измерить концентрацию. Ограничение этого метода - то, что, поскольку палладий одновременно отделяет и поглощает водород, происходит фазовращение, вызывая гистерезис. В исследовательском центре Льюисе в Штате Огайо, решили эти проблемы, используя титан-палладиевый водородочувствительный сплав. Сплав титана и палладия не подвергается фазовращению в присутствии водорода, и измерение сопротивления возможно даже после повторного обследования сред, содержащих водород (Method..., 1998).

Спрос на металлы платиновой группы

Спрос на МПГ определяется их потребностью в производстве, а также в качестве ювелирных изделий, инвестиций и стратегических запасов. Цены на платиноиды определяются балансом спроса и предложения на товарных биржах Нью-Йорка, Токио, Лондона, Гонконга, Сиднея и Цюриха и составляют по вечернему фиксингу Лондонской биржи на 01.05.2000 года: платина - 16,88 \$/г, палладий - 19,29 \$/г, родий - 48,23 \$/г, рутений - 1,95 \$/г, иридий - 13,86 \$/г и осмий - 14,55 \$/г. Внебиржевые операции также проводятся на основании оперативных биржевых цен. Цена на изотоп Os^{192} достигла в 1999 году 200 тыс. долл. США за 1 грамм.

Динамика цен на металлы платиновой группы в период 1970-2000 годов приводится на рисунке 1. Резкие изменения стоимости МПГ происходило неоднократно по различным причинам:

В 1971 году цена на МПГ снижается вследствие увеличения их объемов добычи в ЮАР на фоне экономического спада в США и странах Европы.

В 1973 году поднятие цен на МПГ ввиду ожидаемого увеличения объемов потребления Pt, Pd, и Rh в США для производства автомобильных каталитических конвертерах, которое началось с 1974 года.

В 1975-1977 годах цены на основные платиноиды были стабильны, за исключением спекулятивных сделок с родием.

В 1978-1980 годах цена на металлы МПГ повышалась в результате высокого уровня мировой инфляции и интереса к ним инвесторов.

В 1980 году произошли значительные по объемам спекуляции всех драгоценных металлов, включая МПГ.

В 1981-82 годах цены начали снижаться в результате уменьшения мирового спроса на МПГ.

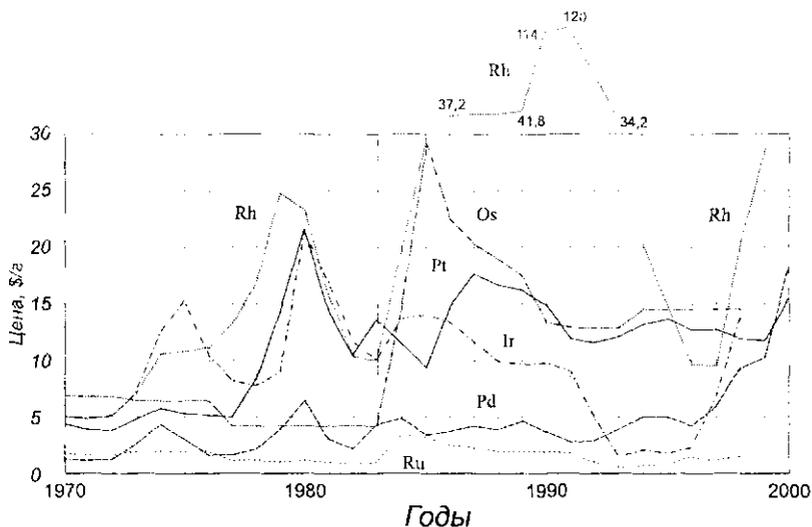


Рисунок 1. Динамика цен на металлы платиновой группы в период 1970-2000 годов.

В 1983 году в результате перехода Rustenburg Platinum Holdings Ltd. от оптовых цен производителя к свободным биржевым ценам на МПГ и последующего увеличения торговли фьючерсных контрактов на Нью-Йорке торговой бирже.

В 1984 году повышение цен на родий произошло из-за значительное повышение спроса на него в автомобильных каталитических конвертерах тройного действия. Начиная с этого времени автомобильная промышленность стала основным потребителем родия.

В 1986 году повышение цен на платину произошло после прекращения работы компании Impala Platinum Holdings Ltd. в ЮАР при выполнении санкций ООН по экономической блокаде вследствие апартеида.

В декабре 1988 года после объявления компании Ford о разработке бесплатного автомобильного катализатора на основе более дешевого палладия начался процесс плавного снижения цены на платину и относительный рост цен на Pd.

1989-1991 годы были периодом максимально высоких цен на родий (40-120 долл/г) ввиду ресурсной ограниченности предложения Rh и растущего его потребления в автомобилестроении. Лишь в 1992 году начался падение его цен в результате ресурсосберегающих технологий разработка палладий-родиевого катализатора) и мирового спада производства автомобильной промышленности.

Период с 1992 по 1996 год характеризуется низкими ценами на МПГ в результате непродуманной экспансии России с ее крупными стратегическими запасами платиноидов на этот рынок, когда предложение стало преобладать над спросом. Эта экспансия привела даже к свертыванию действующих производств по добыче МПГ в ЮАР.

Лишь в 1997 году после *ввода* Министерством финансов РФ квот на экспорт платиноидов и разумного государственного регулирования поставок МПГ про-

изошло восстановление баланса спроса и предложения, сопровождаемое ростом цен на все МПГ. Этот процесс продолжается и в настоящее время.

Начиная с 1998 года происходит резкое возрастание цен на родий, обусловленное ростом потребления в автомобильной промышленности и значительно сокращения его извлечения при добыче МПГ.

С 1996 года наметился рост цен на иридий, обусловленный созданием на его основе нового катализатора для производства уксусной кислоты. Он продолжается и по настоящее время ввиду исключительной ограниченности мощностей по производству иридия и появления новых областей использования: в системе автокатализатора и в качестве электродов при электролитическом покрытии стали цинком в автомобилестроении.

Кроме глобальных изменений, наблюдаются также сезонные скачки цен отдельных платиноидов на 20-30% в результате спекулятивных операций на торговых биржах. Причинами таких скачков цен являются технические и организационные трудности обеспечения равномерности поставок МПГ на рынок: сбой в работе горных предприятий, социальные беспорядки в ЮАР, запаздывание поставок из России ввиду отсутствия квот на экспорт.

Мировой объем покупки МПГ в 1998 году составил 455 т (на общую сумму 4116 млн. долларов США), из них 161 т Pt, 260 Pd, 16 т Rh, 12 т Ru, 4 т Ir и 1 т Os. Фактический уровень спроса в 1998 году превысил предложение для платины на 7,2 т, а для палладия - на 10,5 т.

Структура потребления отдельных платиновых металлов в 1998 году приводится в таблице 1.

Таблица 1

Отрасль	Объем потребления, %						Стоимость		
		Pd	Rh	Ru	Ir	Os	млн. дол.	%	
Ювелирное производство	16	1	2	0	25	0	353	8	
Инвестиции, тезаврация, запасы	3	4	0	0	0	0	155	3	
Химическая промышленность	2	2	2	33	38	38	126	3	
Нефтехимическая промышленность	2	2	0	28	2	18	99	2	
Стекольная промышленность	3	0	1	0	8	0	62	1	
Приборостроение	1	3 ^{III}		27	12	15	106	2	
Электронная промышленность	4	21	1	11	5	0	594	12	
Автомобильная промышленность	64	61	94	0	0	0	3012	64	
Медицина	1	5	0	1	2	28	146	3	
Остальные	4	1	0	0	8	1	106	2	
Итого:	100	100	100	100	100	100	4759	100	
Объем потребления, тонн	161	260	16	12	4	1	455		
Цена, \$/г	11,99	9,32	19,93	1,51	13,83	14,47			
Стоимость	млн. дол.	1930	2423	319	18	55	14	4759	
	%	46,9	43,2	7,8	0,4	1,3	0,3	100%	

Ввиду ограниченности объемов продажи и покупки этих металлов их потребление весьма сильно зависит от соотношения объемов спроса и предло-

жения, а также качественных изменений потребности в конкретных отраслях промышленности. В истории рынка МПГ известны резкие скачки в потребности отдельных платиноидов:

- уменьшение спроса Pt (с 3,5 до 0,5 т) и Pd (с 40 до 20 т) в электротехнической промышленности ввиду перехода телефонных коммутаций с релейной на электронную схему связи в 1970-75 гг.;
- увеличение спроса Pt (с 0 до 45 т) и Pd (с 0 до 60 т) в автомобильную промышленность в 1975-80 гг. при введении экологических ограничений по выхлопным газам в США, Японии и Западной Европе;
- увеличение спроса Pd (с 0 до 30 т), Ru, Rh в электронной промышленности ввиду резкого увеличения производства микросхем в 1980-85 гг.;
- общее увеличение потребления Pd (с 90 до 160 т) в связи с выходом на мировой рынок (в основном в Японию, США и Швецию) российских продавцов в 1990-95 гг.;
- увеличение потребления Ru (с 5,5 до 10 т) в связи с внедрением в 1996 г. производства аммиака по методике Келлога, использующей рутениевый катализатор;
- увеличение потребления Ir (с 1 до 3-4 т) в следствии создания нового иридиевого катализатора для производства уксусной кислоты, а также для производства электродов систем зажигания автомобилей.

В 1958-59, 1965-66 и 1983-85 гг. имели место спады потребления МПГ на 10-15%, в 1954-57, 1966-67, 1985, 1992-94 гг. - резкий подъем спроса - на 10-30%. Однако, несмотря на эти колебания, наблюдается устойчивая тенденция увеличения объемов мирового потребления МПГ: от 1-3 т в начале века, 25-30 т в 60-е годы, до 300-400 т в 90-е годы. Ежегодный темп прироста потребления МПГ в последние десятилетия составляет 3,8% в год. К сожалению, отсутствуют данные по динамике потребления платиноидов в России, отнесенные указом Президента № 61 от 24 января 1998 г. к секретным материалам.

В *ювелирной промышленности* в настоящее время ежегодно используется 25-35 т Pt, 2-3 т Pd, 700-800 кг Ir, 600-700 кг Rh. Наблюдается стабильный рост потребления МПГ в этой отрасли на 4,5% в год. Наибольшее потребление платиноидов в ювелирном деле - в Японии - до 20-30 т.

В *инвестиционных целях*, на тезаврацию и пополнение стратегических запасов ежегодно используется -10% поступающих на рынок Pt (до 10 т) и Pd (до 8-12 т). Однако, в конце 90-х годов наметилась тенденция сокращения инвестиций в драгоценные металлы, что отразилось и на платиноидах - в 1995-98 гг. на инвестиционные цели было закуплено лишь по 3-4 т в год.

В *химической промышленности* ежегодно используется 4-5 т Pt, 5-7 т Pd, 1-3 т Ru, 1-1,2 т Ir, 600-700 кг Rh, 300-400 кг Os. Потребление МПГ в этой отрасли было максимальным в 1980-85 гг. (до 12-15 т в год), однако с переходом на более дешевые сплавы наблюдается медленная тенденция сокращения расхода МПГ в химическом производстве.

В *нефтехимической промышленности* ежегодно используется 2-3 т Pt, 5-7 т Pd, 1-2 т Ru, 400-500 кг Rh, 50-100 кг Ir, 100-200 кг Os. Спрос на МПГ в этой отрасли находится примерно на одном уровне.

В *стеклольной промышленности* ежегодно используется 4-5 т Pt, 200-300 кг Ir и до 1 т Rh. Наблюдается стабильный рост потребления МПГ в этой отрасли на 1,5% в год.

В приборостроении ежегодно используется 1-1,5 т Pt, 7-10 т Pd, 2-3 т Ru, 500-600 кг Ir, 100-200 кг Os, 100-200 кг Rh. Потребление МПГ в этой отрасли было максимальным в 1970-80 гг. (до 30 т в год), однако с переходом на электронные устройства связи и заменой транзисторных схем на микросхемы произошло перераспределение спроса МПГ на эти цели в электронную промышленность при общем снижении потребления в 2-3 раза. Оставшийся объем потребления платиноидов в приборостроении более менее стабилен, при росте на 1,5% в год.

В электронной промышленности ежегодно используется 5-6 т Pt, 50-60 т Pd, до 6 т Ru, 100-200 кг Ir, 100-200 кг Rh. Наблюдается значительное увеличение потребления МПГ в этой отрасли на 15-17% в год, что обусловлено постоянным ростом потребления электронной техники.

В автомобильной промышленности ежегодно используется 100-110 т Pt, 150-170 т Pd и 11-15 т Rh. В качестве эффективного катализатора конвертеров выхлопных газов можно использовать и осмий, однако ограниченность его ресурсов и, соответственно, предложения препятствует этому. Ежегодный рост потребления МПГ в этой отрасли пропорционален приросту выпуска автомобилей и составляет 5,5%. Наибольшее потребление платиноидов в автомобильной промышленности - в США и Японии.

В медицине (в основном в зубопротезном деле) ежегодно используется до 1 т Pt, 25-40 т Pd, 100-200 кг Rh, 50-100 кг Ir, 50-100 кг Ru, 250-300 кг Os. Наблюдается устойчивый рост потребления МПГ в этой отрасли на 1-5% в год.

В научных исследованиях ежегодно используется до 0,5 кг Os[^].

Данных о потреблении МПГ в атомной промышленности, электроэнергетике и других областях применения в литературе не приводится, но судя по остаткам объемов покупок она составляет: до 6 т Pt, до 10 т Pd, до 50 кг Rh, до 100 кг Ir и до 20 кг Os.

Основными потребителями платиноидов по регионам являются: США - 42% объемов покупки Pt и 46% Pd; Япония - 39% Pt и 34% Pd; страны Западной Европы - 16% Pt и 18% Pd.

Предложение металлов платиновой группы (добыча и запасы)

Предложение платиноидов для рынка осуществляется путем добычи нового первичного сырья, переработки вторичных материалов (скрапа, отработанных изделий из МПГ, платинометаллосодержащих продуктов производства, накапливающих платиноиды) и реализации из запасов.

Основные производства по **добыче платиноидов** находятся в ЮАР, РФ, Канаде, США, Зимбабве и Колумбии (см. табл. 2).

На территории ЮАР платинометалльные руды (с Cu, Ni и Cr) добываются из трех хромитовых горизонтов Бушвельдского магматического комплекса - рифов Меренского, Хромитового уровня UG-2 и Платрифа. Отработку месторождений ведут следующие компании: самый большой производитель МПГ в ЮАР - Anglo American Platinum Corp. Ltd. (Amplats) с филиалами Rustenburg Platinum Mines (RPM), Potgietersrust Platinums Ltd (PPRust), Lebowa Platinum Mines Ltd (Leplats) и Amplats Ltd.; Impala Platinum Ltd (Implats); Lonrho Platinum Division с дочерней Western Platinum Ltd; Eastern Platinum Ltd; и Gold Fields of South Africa Ltd с дочерней Northam Platinum Ltd; австралийская Aquarius Platinum NIL с дочерней Kroondal Platinum Mines Pty Ltd. Наиболее крупные из них компании

Таблица 2

Мировая добыча металлов платиновой группы в 1992-1998 годах
(по оценкам Геологической службы США 1993-1999), кг

Страна	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Платина</i>							
Австралия	100	100	100	100	100	100	100
Зимбабве	9	4	7	7	100	245	300
Канада	4800	5000	6000	9320	8080	7550	7570
Колумбия	1956	1722	1084	973	699	500	430
Россия	28000	20000	15000	18000	17000	17000	17000
Сербия	19	10	10	10	10	10	10
США	1650	2050	1960	1590	1840	2610	3240
Финляндия	60	60	60	60	60	60	60
ЮАР	94900	109000	114000	102000	105000	115000	117000
Япония	629	661	691	730	816	693	650
Всего платины	132000	139000	139000	133000	134000	144000	146000
<i>Платина</i>							
Австралия	400	400	400	400	400	400	400
Зимбабве	19	11	17	17	120	345	400
Канада	5800	6000	7000	5950	5160	4810	4810
Россия	70000	50000	40000	48000	47000	47000	47000
Сербия	130	72	50	50	50	50	50
США	5400	6780	6440	5260	6100	8430	10600
Финляндия	100	100	100	100	100	100	100
ЮАР	41000	48000	47800	51000	52600	56300	57300
Япония	986	1183	1277	2174	2180	1900	1900
Всего палладия	124000	113000	103000	113000	114000	119000	123000
<i>Редкие платиноиды</i>							
Канада	1310	1440	1970	803	697	651	650
Россия	6000	4000	3000	3600	3500	3500	3500
ЮАР	17000	19000	22100	18900	19400	13700	13700
Всего	24300	24400	27100	23300	23600	17900	17900
Pr+Pu+Ir+Os							
Сумма всех платиноидов	280000	276000	269000	287000	271000	281000	287000

Amplats и Implats добывающие, соответственно, 60% и 20% МПГ ЮАР. Кроме этого МПГ извлекаются как попутные компоненты: из медного концентрата месторождения Палабора - 70-100 кг Pt и 100-120 кг Pd в год, из золото-урановых руд Витватерсранда - до 250 кг иридомина. Всего в ЮАР в 1999 году произведено 120 т Pt, 60 т Pd, 7,2 т Ru, 5 т Rh, 1,3 Tlr, 200 кг Os.

3 Российской Федерации МПГ добываются, в основном, из комплексных платинометалло-медно-никелевых руд на предприятиях РАО "Норильский никель" ("Норильский комбинат" "Североникель" и "Печенганикель") и в небольшом количестве - ГК "Южуралникель". На Таймыре РАО "Норильский никель; обрабатываются Талнахское, Октябрьское месторождения и Норильск-1, на Кольском полуострове месторождения Котсельваара, Семилетка, Заполярное и Ждановское. До 30% норильских концентратов перерабатывается на заводе "Красцветмет" в г Красноярске. Шлиховая платина добывается артелями "Чайбуха" (Корякский АО, Камчатка) на месторождениях Левтыриновьям и Ледяной, "Амур" (Хабаровский край) на месторождении Кондер и "Инагли" (Республика

лика Саха-Якутия) на Инаглинском месторождении. Как попутный продукт шлиховые платиноиды добываются при отработке золотых *россыпей* в Свердловской области. Данные по добыче платиноидов в России также отнесены указом Президента № 61 от 24 января 1998 г. к секретным материалам. По оценке западных банков уровень добычи МПГ в России оценивается в 1998 году в 25723 кг Pt, 76204 кг Pd (Hilliard, 19996), а по собственной оценке Н.А. Хиллиарда - в 17,5 т Pt, 47 т Pd и 3,5 т Rh+Ru+Ir+Os (Hilliard, 1999a, 2000). Экспортные поставки МПГ из Российской Федерации осуществляются государственным предприятием "Алмазювелирэкспорт" от имени Министерства Финансов РФ и основного производителя МПГ - РАО "Норильский никель". Учитывая, что уровень предложения РФ составлял по данным Johnson Matthey Ltd в 1998 году составил 180 т, а в 1999 году - 168 т, часть предложенного Pd поставляется из валютного резерва Минфина РФ.

В Канаде платиноиды добываются как попутный компонент при переработке медно-никелевых руд. Эксплуатацию этих месторождений ведут компании INCO Ltd, Falconbridge Ltd и North American Palladium Ltd. Компания INCO Ltd отработывает месторождения Маккриди-Еаст, Тоттен, Виктор-Дипп и Келли-Лэйк в провинции Онтарио, а также Биркшти и Томпсон 1-D в провинции Манитоба. В 1999 году компаний INCO Ltd добыто 10,7 т МПГ (85% добычи МПГ Канады). Компанией Falconbridge отработываются месторождения Садбени, Стактон, Фалконбридж, Реглан, Кидц-Крик и Калахэйси в провинции Онтарио, из руд которых извлечено 2 т МПГ (10%). Компания North American Palladium's, эксплуатирующая с 1993 года месторождение Лац-дес-Илес и в 1999 году извлекла из медно-никелевых руд 1,8 т Pd и 120 кг Pt. Всего в 1999 году в Канаде добыто 7,3 т Pt, 4,8 т Pd, 1,2 т Ru, 1 т Rh, 100 кг Ir и 100 кг Os.

В США добыча платиноидов осуществляется компании Stillwater Mining Co на месторождениях Стилл-Уотер и Еаст-Воулдер (штат Монтана), где в 1998 году было извлечено 3240 кг Pt, 10600 кг Pd. Полученный кек отправляется на рафинирование на заводы компании Engelhard в Нью-Джерси, Калифорнии, Бельгии и Германии. Доказанные запасы месторождения в 818 т Pt+Pd при среднем содержании их суммы 22 г/т позволяют Stillwater Mining Co расширять мощности по добыче. Добыча шлиховой платины осуществлялась на месторождении Салмон-Ривер (штат Аляска) до 1984 года, но в настоящее время оно не эксплуатируется.

В Зимбабве на австралийскими компаниями Broken Hill Proprietary Co. Ltd (BHP) и Delta Gold с дочерней компанией Zimbabwe Platinum Mines Ltd (Zimplats) начата отработка месторождения Хартли в магматическом комплексе Великая Дайка. Здесь в 1998 году было добыто 300 кг и 400 кг Pd. Руды перерабатываются до серого концентрата, который пока отправляется в Великобританию на аффинажный завод в Актоне компании Johnson Matthey Ltd.

В Колумбии добыча шлиховой платины в отрогах Кордильер осуществляется с конца XVIII века и к настоящему времени большинство россыпей выработаны. Современный уровень добычи оценивается в 0,5-2 т/год, работы ведутся компанией Minerals Shoko Pacific и старателями в долинах рек Атрото (месторождения Андогода, Кибдо, Кондото-Иро), Сан-Хуан (Сан-Хуан, Опогода, Тамана) и Рио-Толомба (Барбокоас, Рио-Толомби).

Япония, импортируя и перерабатывая медные, никелевые и хромитовые концентраты из Китая, Индонезии и с Филиппин, ежегодно производит 600-850 кг Pt и 1-3 т Pd.

В Австралии компания Electric Refining and Smelting при переработке медных концентратов месторождения Кэмбалда ежегодно извлекает до 100 кг Pt и 400 кг Pd (Pratt, 1984).

В Финляндии на предприятии Outokumpu из медно-никелевых руд месторождения Оутукумпу ежегодно извлекается 60 кг Pt и 100 кг Pd.

В Сербии ежегодно извлекается 10 кг Pt и 50 кг Pd из медных руд месторождений Бор, Майданпек, Велики-Кривель, и Бучим.

Информация по добыче МПГ в других странах весьма ограничена. Шлиховая платина и осмирид добываются в Эфиопии, Индонезии, Филиппинах и Китае, но статистики их реализации не имеется. Платина и палладий извлекаются из никелевых и медных концентратов во многих странах мира, в том числе и из полученных по импорту, но сводных данных по их объемам также отсутствуют.

Вторым источником МПГ для рынка является **производство платиноидов из вторичных материалов**. Начиная с 70-х годов начали перерабатывать вторичные материалы, содержащие МПГ: отработанные катализаторы, конверторы выхлопных газов ликвидируемых автомобилей, бой зеркального стекла и термостекла, лом деталей приборов и электронной техники, печатные платы, штекерные соединения, элементы выключателей, отходы ювелирного производства и гальванотехники (шламы, электролит), скрап платинометаллового производства (обрезки, бракованные детали, пыль от фрезерования). В США из скрапа и отработанных катализаторов восстанавливается от 60 до 70 т МПГ (Reese, 1997; Hilliard, 1998, 1999a, 2000). Мировые объемы производства вторичных МПГ составляют 15-20 т Pt, 40-60 т Pd, до 2 т Rh, до сотен кг Ru, Ir и Os, т.е. 10-15% от объемов первичных платиноидов. По иностранным источникам, в России -25% от годового уровня производства МПГ поступало из вторсырья (Platinum..., 1995). Предприятия, занимающиеся переработкой лома МПГ: завод в г. Санта-Анна (шт. Калифорния, США) компании Gemini, заводы в городах Западный Денфорд (шт. Нью-Джерси, США), Бримсдаун и Райстон (Великобритания) компании Johnson Matthey Ltd, завод в г. Ханнау-Вольфранг (Германия) компании Descuda, компания Boliden в Швеции. В России переработкой вторичного сырья платиноидов занимаются АО "Красцветмет" в г. Красноярске и Екатеринбургский ЗЦМ. Объем переработки вторичных МПГ может быть увеличен, т.к. основной деятельностью этих предприятий является переработка гораздо больших объемов вторичных золота и серебра, а также аффинаж первичных благородных металлов. Часть металоносных шлаков, отходов аффинажа, электронного скрапа и отработанных катализаторов АО "Красцветмет" перерабатывает в предприятии SAKRAS - совместном с Sabin Metal Corp. в г. Чикаго, США (Sabine..., 1997).

Третьим источником МПГ на рынок является **их реализация из стратегических запасов МПГ**. Стратегическими запасами МПГ обладают США, Япония, ЮАР, Россия. Крупными запасами Pt и Pd обладают многие банки, особенно крупные их хранилища находятся в Цюрихе, Брюсселе и Нью-Йорке. К категории запасов можно отнести нереализованные продавцами платиноиды (на собственных складах и складах Нью-Йоркской, Токийской и Лондонской бирж), а также складские запасы переработчиков МПГ. Например, в 1996 году запасы Нью-Йоркской биржи на конец 1996 года составляли 2,8 т Pt и 3,1 т Pd (Hilliard, 1997). Запасы реализуются при серьезном превышении спроса МПГ над их предложением, а также из финансовых и спекулятивных предпосылок. В последнее время наблюдается тенденция сокращения стратегических запасов

отдельных стран. Правительство США начало реализовывать программу сокращения стратегических запасов Pd с 34198 кг до 15467 кг, Ir с 784 до 360 кг и продажа всего запаса Pt (10649 кг) в течении 1999-2003 гг. По иностранным данным идет сокращение валютных запасов Pd (и Pt) России, составлявших в 1991 году по оценке Хочрейтера (На мировом..., 1994) 622 т Pd. Г.Е. Хиллард (Hilliard, 19996) оценивает валютный резерв палладия России в 1998 году в 300 т и предполагает, что он иссякнет к 2002 году.

В расчетах **запасов платиноидов** имеются значительные расхождения, однако при любой оценке их количество удовлетворит их потребление (даже с учетом роста) на 150-200 лет. В 1995 году прогнозные ресурсы суммы всех платиновых металлов составляли: в ЮАР - 26700 т, в Ботсване - 3500 т, в Зимбабве - 1050 т, в США - 500 т, в Канаде - 280 т, в остальных странах (без РФ) - 200 т (Hawkins, Herzberg, 1985). В 1999 году по оценке Геологической службы США мировые ресурсы платиноидов составляют: в ЮАР - 69000 т, в России - 6600 т, в США - 810 т, в Канаде - 380 т и 750 т в других странах (Hilliard, 2000). По данным Горного бюро США при рентабельности 16 \$/г Pt мировые извлекаемые запасы платиноидов в 1993 году составляли: 5100 т Pt, 2488 т Pd, 404 т Rh, 746 т Ru, 124 т Ir и 62 TOS. При этом на уровне окупаемости 15 \$/г Pt рентабельны только 26% из-них (Where..., 1994). Данные по запасам платиноидов в России также отнесены указом Президента № 61 от 24 января 1998 г. к секретным материалам и надежных сведений в открытой печати по ним не имеется.

4. Динамика и прогноз развития рынка предложения металлов платиновой группы

Динамика спроса и потребления на отдельные платиноиды *определяется:*

- тенденциями потребления МПГ в отдельных отраслях, обусловленных *конъюнктурой их* продукции;
- нахождением заменителей МПГ из неблагородных металлов или заменой дорогих и редких платиноидов на относительно дешевые и более распространенные (платины на палладий, родия на рутений);
- снижением материалоемкости изделий из МПГ;
- динамикой ценообразования металлов платиновой группы.

Сдерживающим фактором динамики предложения МПГ является также то, что -50% платиноидов добывается в качестве попутных компонентов из комплексных платиноидно-медно-никелевых руд России, Канады и США, объемы производства которых регулируется рынком спроса основных продуктов - меди и никеля. Кроме того, редкие платиноиды (Rh, Ru, Ir и Os) являются попутными компонентами собственно платиновых и палладиевых продуктов и рынок их предложения весьма ограничен и не эластичен. Эти элементы входят в группу редких или так называемых внебиржевых металлов, рынок потребления которых неэластичен за счет небольшой ресурсной базы или труднорегулируемой процедуры извлечения их как попутных компонентов.

Стабилизирующим фактором для предотвращения спекулятивных операций на рынке МПГ является наличие стратегических запасов отдельных стран, запасов банков и складских запасов производителей и потребителей платиноидов.

90-е годы характеризуются значительным ростом спроса платиновых металлов в электронной промышленности (на 10-15% в год), в автомобильной промышленности (на 5%), в ювелирном деле (на 4,5%), которые были и остаются наиболее емкими отраслями потребления - 77% рынка потребления МПГ. В остальных отраслях спрос на платиноиды находится на одном уровне или имеет незначительный его рост (до 1,5% в год). Основными металлами, определяющими динамику потребления МПГ, являются платина, палладий и родий, составляющие 99% стоимости рынка платиноидов.

Начиная с 1992 года произошла экспансия России на рынок МПГ, в результате чего она теперь осуществляет до 25% поставок платины и до 75% - палладия. Это привело к серьезным изменениям в динамике потребления платиноидов. Если в 1985-90 гг. имело место стабильное превышение спроса над предложением, то выход России на новый для нее напряженный рынок платиноидов привел к нарушению сложившегося баланса. В 1992-96 гг. предложение платины, несмотря на рост объемов потребления, постоянно превышало спрос на 2-4 т, а по палладию достигло 20-50 т. Не произошло ожидаемого повышения цен на платину до 14-15 \$/г. Были законсервированы действующие предприятия Кеннеди-Виль и Крокодил-Ривер (ЮАР), экономика которых рассчитывалась с учетом роста цен на МПГ (Adams, 1993). Лишь в 1996-97 гг. спрос на платину начал опережать предложение на 2-10 т, а палладий на 5-15 т. Соответственно, в 1997 году начался новый рост цен на МПГ на фоне падения цен на золото. Как отмечалось выше, часть поставок Pt и Pd реализуется из валютных резервов России, объемы которых в ближайшие 2-3 года сократятся до минимума. Если этот объем МПГ, поступающих из запасов, не будет компенсирован дополнительными объемами добычи платиноидов, то в 2002-2003 годах произойдет всплеск их рыночных цен.

Ужесточение Американского и Европейского законодательства по охране окружающей среды приводит к увеличению объемов потребления палладия, платины и родия для производства автомобильных катализаторов дожигания топлива. В США, начиная в 1996 года, действует Акт по чистоте воздуха 1990 года, требующего соблюдения строгих норм выбросов от автомобилей, с дожиганием 40% углеводорода и 60% азотистых окислов, и нового стандарта по долговечности работы катализаторов до 10 лет или до 100000 миль. В Европе подобные ограничения выбросов от автомобилей вступили в силу в январе 1996 года для новых моделей, а с начала 1997 года - для всех новых транспортных средств. 16 июля 1997 года, Агентство по охране окружающей среды (EPA) США ввел более жесткие стандарты для озона и пыли, время их вступления в силу вступить в силу в 2000-2002 годах. Новые стандарты для пыли ограничивают выбросы в воздух частиц -2,5 микрон в концентрациях 15 мг/м³ круглогодично и 65 мг/м³ ежедневно. Текущие стандарты EPA ограничивают выбросы в воздух частиц -10 микрон в концентрациях 50 мг/м³ круглогодично и 150 мг/м³ ежедневно. Технологии по очистке производственных газов будут основаны преимущественно на использовании платиноидов.

Учитывая рост потребления МПГ в 2005 году ожидается спрос на 195 т Pt, 250 т Pd, 17 т Rh, 15 т Ru, 5 т Ir и 3 т Os. В случае промышленного освоения к этому времени топливных элементов автомобилей, объявленных компанией "Дженерел Моторс" как о завершенной работе (Fiel..., 1997), в 2005-2010 гг. возникнет потребность в дополнительных 100-120 т платины для электромоби-

лей. Большая потребность в МПГ (до 100-150 т) может произойти и при массовом создании промышленных стационарных электростанций на основе каталитических топливных элементов.

Развития рынка платиноидов из России следует ожидать в виде сохранения объемов продаж постоянным партнерам в Японии и Швеции, а также ориентировку на поставки новым импортерам МПГ - Южная Корея (ожидаемый спрос до 30 т платиноидов) и Китай (современное потребление 25 т Pt, ожидаемое - до 45-50 т МПГ). В случае принятия в РФ жестких экологических требований к качеству производства отечественных автомобилей возможно также дополнительное увеличение потребления Pt (до 15 т) и Pd (до 25 т) на внутреннем рынке для производства автокатализаторов.

Рост потребления возможен за счет *освоения ресурсной базы платиноидов.*

Собственно платиновые руды добываются в ЮАР и Зимбабве, значительные неэксплуатированные их ресурсы имеются и в Ботсване. Эта ресурсная база может обеспечить значительный прирост добычи при благоприятных условиях рынка потребления платиноидов.

Ресурсы платиноидов в ЮАР могут обеспечить рост производства платины и частично палладия на 10-20% без серьезных затрат, возобновляя законсервированные производства и увеличивая мощность действующих предприятий. Дальнейшее наращивание производства МПГ с достижением уровня добычи по Pt 150 т и по Pd 100 т за счет вовлечения глубоких горизонтов и бедных руд. Компания Implats в 1999 году сообщает о плане увеличения пропускной способности своих обогащительных фабрик в 1,2-1,5 раза, а в 2000 году начало расконсервации ранее закрытого рудника Крокодил-Ривер. Канадская фирма Platexco Inc при участии Amplats проводит геологоразведочные работы на новых перспективных платиноносных площадях Виннаархук и Баффелхук в северной части Бушвельдского комплекса (Implats dusts..., 1999).

Производство МПГ в Зимбабве возможно увеличить путем наращивания производственных мощностей на месторождении Хартли в центральной части магматического массива Великая Дайка. Проектная полная мощность горно-обогатительного предприятия 4,67 т Pt, 3,42 т Pd, 358 кг Rh и 715 кг Au. Компания Delta Gold кроме этого, подготовило технико-экономическое обоснование разработки месторождения Нгези, расположенного в 50 км к югу от месторождения Хартли. Планируемая мощность этого горного комплекса будет в 2 раза больше чем на месторождении Хартли. Компания Anglo American Zimbabwe Ltd или Amzim (дочерняя от Amplats) готовит проект отработки месторождения Унки в центральной части Зимбабве. Проект предполагает ввод предприятия в действие через 30 месяцев с мощностями добычи 3670 кг/год МПГ и 2500 т никеля и меди (Hilliard, 19996). В южном Зимбабве компания Zimasco Consolidated Enterprises начал освоение месторождения Мимоза с начальной производительностью 300 кг/год (New platinum..., 1999) с перспективами расширения добычи до 3 т/год (Anglo to..., 2000). Геологоразведочные работы компании Delta Gold проводятся на новых площадях Мхондоро и Селоус.

Не смотря на значительные ресурсы МПГ в Ботсване, их освоение в ближайшее время маловероятно, т.к. все горные предприятия этой страны облагаются налогом с валового дохода 15-25%, что делает нерентабельным освоение большинства полезных ископаемых. Иностраные инвестиции в Ботсване имеются только в алмазодобывающей отрасли. В 1997 году горное законодательство Ботсваны было либерализовано, что привело к инвестиционному буму

в угольную отрасль страны. Однако реальных проектов по добыче платиноидов в Ботсване пока не появилось.

Извлечение МПГ из комплексных платинометалльно-медно-никелевых руд США, Канады и России, как отмечалось выше, ограничено конъюнктурой рынка меди и никеля. Учитывая стабильный рост их потребления, будут расти и объемы произведенных попутных платиноидов. Влияние этого процесса на рынок МПГ будет хотя и прогнозируемое, но мало управляемое.

В 1998 году в США начинается новый этап расширения мощностей переработки на месторождении Стиллаутер (штат Монтана) компании Stillwater Mining Co, в результате чего объем добычи МПГ к 2001 году составит 15,55 т МПГ в год (Hilliard, 19996), а к 2003 - 31 т Pd и 9,3 т Pt (Stillwater's..., 1998). Компания Mustang Gold начала поиски платиноидов на перспективной площади East Булл Лэйк в северной части штата Онтарио. По первичным сообщениям обнаружены рудные образования на площади 5?22 км с содержаниями МПГ до 11,9 г/т, меди - до 0,93 %, никеля - до 0.74 %. Компания Freewest Resources, которая работает к югу от Компании Mustang Gold на перспективной площади Фолстон Лэйк, где обнаружена идентичная платинометалльная медно-никелевая минерализация. По данным опробования 15-15-метровым секциям получены содержания до 9,4 г/т МПГ, до 8,3 г/т серебра, до 0,3 г/т золота, до 1,8% меди, и до 0,7% никель (Mustang tests..., 1998).

В Канаде компания INCO Ltd планирует к 2002 году увеличить объемы производства Ni с 147 (1997 год) до 340 тыс. т за счет ввода в эксплуатацию месторождения Войси-Бей (о. Лабрадор), что приведет к увеличению добычи Pt на 2 т, Pd - на 1,5 т (по сравнению с 1999 годом). Эта же компания осваивает проект Крелгхтон-Деп вблизи действующего рудника Тоттен, где обнаружен пласт богатых медно-никелевых руд мощностью до 18 м. Среднее содержание МПГ+Au составляет 8,9 г/т. Первая продукция по этому проекту будет получена в 2001 году, с извлечением до 900 кг МПГ. Возможно освоение глубоких горизонтов на месторождениях Биркшири и Томпсон 1-D (INCO, 2000).

Возможно также расширение добычи платинометалльно-никелевых руд на месторождении Кэмбалда (Западная Австралия), перерабатываемых на заводе компании Kwinapa в г. Порт-Кембл, с ресурсами до 1000 т МПГ (Pratt, 1984). Уровень добычи никеля здесь ограничен возможностями существующего перерабатывающего предприятия, но имеющиеся ресурсы позволяют развернуть здесь мощности по добыче МПГ до 5-10 т/год.

В части развития добычи МПГ на действующих предприятиях России, в ближайшее время основное внимание должно быть ориентировано на повышение извлечения платиноидов в существующем технологическом процессе и в проектируемых модернизациях производства. На АО "Норильский комбинат" и других предприятиях РАО "Норильский никель" увеличение роли гравитационного обогащения на стадии измельчения (Благотин и др., 1994) может сократить потери с хвостами флотации, которые составляют до 20-30% МПГ в виде крупной фракции +100 мкм, не улавливаемых флотационным процессом. Магнитная сепарация файнштейна может выделить в отдельный продукт металлическую фазу, концентрирующую основную массу МПГ. Этот продукт с небольшим выходом можно подвергнуть более глубокой переработке, повысив тем самым извлечение платиноидов. Переход на гидрометаллургический передел файнштейна (Волков, Филипов, 1996), кроме проектируемого сокращения эксплуатационных затрат и снижения выбросов в атмосферу, позволит

сократить потери платиноидов с отвальными железистыми песками, сорбирующими до 30% МПГ. Реально также вовлечение в производство старых отвалов хвостов флотации, ставших техногенными месторождениями платиноидов, включающих только на АО "Норильский комбинат" свыше 1000 т МПГ (Додин и др., 1994; Стехин и др., 1995; Кунилов и др. 1996). Если создание гравитационного цикла обогащения, цикла магнитной сепарации файнштейна и перевооружение гидрометаллургического передела требуют серьезных затрат, а главное, напряжения действующего технологического процесса, то переработка хвостохранилищ (с получением гравитационных концентратов до 20 кг/м³ МПГ) может быть осуществлена в виде отдельного независимого производства. РАО "Норильский никель" увеличивает общие объемы добычи на Талнахском рудном поле, вводится в эксплуатацию новый рудник "Скалистый". Согласно концепции развития РАО "Норильский никель", принятой в 1999 году к 2005 году объем выпуска товарной продукции меди и никеля будет увеличено на 15%. С учетом этого возрастет и выпуск металлов платиновой группы.

Разведанные запасы МПГ в платинометалльно-медно-никелевых рудах составляет 99,4% запасов МПГ России (Беневольский и др., 1993). Имеющихся активных запасов платинометалльно-медно-никелевых руд хватит более на 100 лет современного уровня работы АО "Норильский комбинат", на 70 лет - АО "Печенганикель", однако АО "Североникель" в настоящее время не имеет самостоятельной минерально-сырьевой базы, что требует увеличения объемов ГРП в его экономическом пространстве. Следует отметить, что извлекаемые в настоящее время запасы богатых массивных медно-никелевых руд составляют всего 20% для АО "Норильский комбинат" и 5% для АО "Печенганикель". Переход на вкрапленные руды будет сопровождаться наращиванием затрат на измельчение и флотацию, но также и увеличением объемов поступления МПГ в концентраты, т.к. эти руды характеризуются большим содержанием платиноидов (Бычков, 1994). РАО "Норильский никель" осуществляет также программу геологоразведочных работ в Воронежской области и на юге Красноярского края (Кунилов и др., 1996) с целью создания в этих экономически благоприятных районах новых предприятий по производству никеля, а в последующем - перемещения на их мощности переработки основных объемов платинометалльно-медно-никелевых концентратов, добываемых на Крайнем Севере.

Рассматривается также вопрос об освоении платинометалльно-медно-никелевых месторождений в Центрально-Кольском районе России, в частности массива Федоровско-Панских тундр. Намерения по их вовлечению в производство имеют РАО "Норильский никель" (АО "Североникель") и компания Outokumpu (Финляндия).

Предприятия, добывающие шлиховую платину на Дальнем Востоке, обеспечены запасами на 5-10 лет, а в связи с открытием нового россыпного района в Корякском автономном округе (Камчатка) возможно наращивание объемов ее добычи в 2-3 раза. Возобновлена добыча шлиховой платины в Уральском регионе. Начаты разведочные работы по р. Инарогда, дренирующей Гулинскуюуднитовую интрузию и вмещающую россыпь осмиирида.

Исходя из развития мирового рынка потребления МПГ и текущего повышения цен на них, производители будут в ближайшем будущем наращивать объемы добычи платиноидов за счет ввода новых мощностей. В настоящее

время осуществляется более 10 проектов добычи МПГ с суммарными мощностями до 62 т/год в Зимбабве, Канаде и США (Hilliard, 2000). Собственно платиновые объекты добычи имеют более гибкие возможности для освоения, нежели комплексные платиномерно-медно-никелевые. Поэтому проекты новых объектов в Зимбабве наиболее реальные к освоению и ожидается, что эта страна займет третье место в рейтинге производителей МПГ, опередив Канаду и США. Не смотря на планируемое увеличение добычи РАО "Норильский никель" возможно снижение объемов предложения МПГ России за счет ожидаемого исчерпания валютных резервов Pt и Pd Минфина РФ в 2002-2003 годах. Особенно напряженное положение сложится в этом случае для рынка потребления палладия. Ввиду превышения его цены над стоимостью платины и резкого сокращения предложения возможна технологическая замена его в автокатализаторах платиной. Повышение спроса платины при условии сохранения высоких цен на нее создаст благоприятную инвестиционную ситуацию в действующие и новые предприятия по производству МПГ Зимбабве, ЮАР и, возможно, Ботсваны. Платиномерно-медно-никелевые объекты России, Канады и США, не смотря на свою явную рентабельность, требуют больших объемов инвестиций и больших сроков для реализации проектов добычи.

Для редких платиноидов (родия, рутения, осмия и иридия) в последнее время наметилась тенденция снижения предложения при росте спроса. Это обусловлено изменениями состава перерабатываемых платинометаллических и платиномерно-медно-никелевых руд, в которых редкие платиноиды являются лишь попутными компонентами, и, возможно, исчерпанием их складских запасов в странах СНГ. В связи с увеличением объемов спроса редких платиноидов и отсутствием возможностей маневра по увеличению их добычи в ближайшем будущем произойдет значительный рост цен на эти товарные продукты, что уже наблюдается на примере родия и иридия.

Литература

1. *Благодатин Ю.В., Рыбас В.В., Иванов В.А.* и др. Направление развития технологии извлечения благородных металлов при обогащении вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд // Цветные металлы, 1994. № 9. С. 19-22.
2. *Беневольский Б.И.* и др. Ресурсная база платиноидов России: основные особенности и перспективы развития // Минеральные ресурсы России, 1993. № 3. С. 20-24.
3. *Бычков Е.М.* Состояние и перспективы развития производства платины в промышленности // Драгоценные металлы. Драгоценные камни, 1994. № 4. С. 4-6.
4. *Волков В.И., Рыжов А.Г., Бойко И.В.* Состояние и перспективы развития технологии производства благородных металлов на Норильском горнометаллургическом комбинате // Цветные металлы, 1994. № 9. С. 16-19.
5. *Додин Д.А., Изойтько В.М., Говорова Л.К.* и др. Техногенные месторождения платиномерного сырья Норильского района // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. М.: АО "Геоинформмарк", 1994. С. 128-139.
6. *Кунилов В.Е., Рябкин В.А., Люлько В.А., Кагинов К.Г.* Минерально-сырьевая база РАО "Норильский никель" и перспективы ее развития // Цветные металлы, 1996. № 5. С. 35-37.

7. На мировом рынке платины и палладия // Геологическое изучение недр. Экспресс-информация, 1997. № 8. С.28-29.
8. *Стехин А.И., Кунилов В.Е., Олешкевич О.И.* Техногенные месторождения благородных и цветных металлов // Цветные металлы. 1995. № 5. С.30-33.
9. *Adams D.N.* Resent expansion on the underground platinum group metal // LUMA Journal, 1993. № 1. P.117-129.
10. *Anglo to buy Zimasco* 11 Mining Journal. 2000. V. 334. N. 8564. January 7.
11. *Fue/cell boost for platinum* // Mining J., 1997. V.328. № 8425. P.310.
12. *Implats dusts off development plans* // Mining Journal. 1999. V. 332. N. 8533. June 4.
13. *Harwking B.R., Herzberg W.* Der sudafrikanisce Platinbergbau // Metall (W. Berlin), 1985. Bd.39. № 7. S.660-663.
14. *Hilliard H.E.* Platinum-group metals (1996). // U.S. Geological survey - Minerals Information. 1997. 4 p.
15. *Hilliard H.E.* Platinum-group metals (1997). // U.S. Geological survey. Mineral Commodity Summaries. 1998. P. 126-127.
16. *Hilliard H.E.* Platinum-group metals (1998). // U.S. Geological survey. Mineral Commodity Summaries. 1999a. P. 128-129.
17. *Hilliard H.E.* Platinum-group metals (1998). // U.S. Geological survey - Minerals Information. 1999b. 7 p.
18. *Hilliard H.E.* Platinum-group metals (1999). 11 U.S. Geological survey. Mineral Commodity Summaries. 2000. P. 126-127.
19. *Horhreiber R. C., Kennedy D.C., MuirW., WoodA.I.* Platinum in South Africa, // S.A. Inst. Min. Met., 1985. V.85. №6. P.165-183.
20. *INCO 1999 annual report.* Toronto: INCO. 2000. 84 p.
21. *Method and apparatus for detection of hydrogen using a metal alloy.* // NASA Tech Briefs. 1998. v. 22. N, 10. October, p. 13.
22. *Mustang tests PGE potential of East Bull Lake.* // Northern Miner. 1998 v. 84. N. 31. September 28 -October 4. P. B1.
23. *New platinum mine for Zimbabwe* // Mining Journal. 1998. V. 330. N. 8468. February 20.
24. *Platinum group metals in the CIS. A special report*// Mining Eng. (USA), 1995. V. 47. № 1. P.64.
25. *Platinum nanorods in carbon nanotubes.* // Platinum Metals Review. 1997. v. 41. no. 3. p. 127.
26. *Pratt R.* Platinum-group metals (iridium, osmium, palladium, platinum, rhodium, ruthenium) // Austral. Miner. Ind. Annu. Rev. 1984. Bur. Miner. Resour. Geol. and Geophys. Canberra, 1984. P. 213-214.
27. *Reese R.G.* Platinum-group metals (1996). 11 U.S. Geological survey. Mineral Commodity Summaries. 1997. P. 126-127.
28. *Refractory super alloys work at ultra-high temperatures*//Advanced Materials & Processes. 1998. v. 153. no. 5. May. p. 15.
29. *Ruthenium aluminide - a unique intermetallic compound* 11 Mintek Bulletin. 1997. N 108. September. 4 p.
30. *Sabine Metals strikes a deal with Krasnoyarsk.* 11 Piatt's Metals Week. 1997. v. 68. N 42. October 20. P. 10.
31. *Sputter-coating power tubes requires less precious metal:* Advanced Materials & Processes, V. 152, N. 2. August. P. 16.
32. *Stillwater's PGM expansion* 11 Mining Journal. 1998. V. 330. No.8481 May 22.
33. *Where is platinum going* // Eng. and Mining J., 1994. № 2. P.9-10.