

## WHERE PLATINUM METALS ARE MINED

N. M. CHERNYSHOV

*The demand and supply of platinum metals, their consumption, genetic types of deposits, including non-traditional sources are briefly discussed. The potential of Russia for platinum metals production is estimated.*

**Приведены краткие сведения о конъюнктуре и потреблении металлов платиновой группы, промышленных и генетических типах месторождений, в том числе новых, нетрадиционных источников добычи. Даны оценка перспектив развития минерально-сырьевой базы металлов платиновой группы на территории России.**

## ГДЕ ДОБЫВАЮТ ПЛАТИНОВЫЕ МЕТАЛЛЫ

Н. М. ЧЕРНЫШОВ

Воронежский государственный университет

Среди благородных металлов, играющих важнейшую роль в валютных запасах государств и определяющих современный уровень научно-технического прогресса в промышленности и новейших технологиях, науке и медицине, особая роль принадлежит металлам платиновой группы (МПГ).

### КОНЪЮНКТУРА И ПОТРЕБЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Уникальные по свойствам (табл. 1) платиновые металлы незаменимы в электронике, радио- и электротехнике, приборо-, авиа- и судостроении, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, ракетной и атомной технике, ювелирном деле и медицине. Одним из крупнейших потребителей МПГ является нефтеперерабатывающая промышленность.

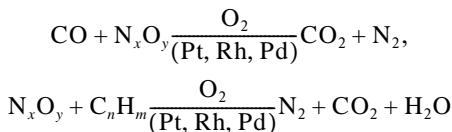
Платиновые и платино-рениевые катализаторы лежат в основе технологий получения высокооктановых бензинов и практических мономеров для производства синтетического каучука и многих синтетических материалов. Платиновые металлы и их сплавы обеспечивают возможность изготовления топливных элементов накопления энергии (водородная энергетика) и многочисленных элементов изделий микроэлектроники (интегральные схемы, тонкопроводящие системы, защитные покрытия), выращивания чистых монокристаллов драгоценных камней (гранаты, изумруды, аквамарины, александриты, сапфиры), получения оптически чистых стекол и стекловолокна.

Особо важную роль благородные металлы приобретают в медицине (антивирусные и антибактериальные препараты, инструменты), и прежде всего в эффективном лечении злокачественных опухолей (препараты на основе комплексов типа диамминхлорплатина  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ ), охране окружающей среды от катастрофически возрастающего загрязнения экологически опасными отходами (производственные дымы, выхлопные газы, сбросовые воды). Ныне во всех промышленно развитых странах приняты законы, запрещающие эксплуатировать автомобили без фильтров — нейтрализаторов выхлопных газов. В их основе лежат сплавы платины с родием и палладием, которые нейтрализуют одновременно

**Таблица 1.** Некоторые свойства элементов платиновой группы и их среднее содержание в земной коре и метеоритах

Свойства и содержание	Легкие			Тяжелые		
	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Атомный номер	44	45	46	76	77	78
Атомный вес (массовое число)	101,1	102,91	106,4	190,20	192,2	195,091
Плотность, г/см <sup>3</sup>	12,33	12,41	12,02	22,61	22,65	21,46
Температура плавления, °C	2250	1963	1554	3030	2447	1772
Земная кора, мг/т	5	1	13	50	1	5
Метеориты, г/т	2	0,7	0,54	5	5	1,02
Стоймость 1 г, долл. США (1997 год)	1,3	9,6	6,3	16,0–20,1	7,4	13,6

три токсичных компонента выхлопных газов ( $C_nH_m$ ,  $CO$ ,  $N_xO_y$ ) по схеме



Многообразие сфер использования благородных металлов определяет неуклонное увеличение их добычи (121,1 т в 1985 году, 202,7 т в 1995 году и до 400 т в 2000 году) и потребления. Мировая добыча платиноидов в основных зарубежных странах-производителях (ЮАР, Канада, Австралия, США) только за последние 10 лет возросла более чем в 1,5 раза. Основным потребителем платины с 1987 года стала Япония (51,3 т), значительно опередив США (28,0 т). Потребности этих двух стран в платине только на производство катализаторов в топливных элементах в 2005 году составят 196 т. Достаточно высокими сохраняются и цены на МПГ (см. табл. 1).

### ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ И ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ИХ ДОБЫЧИ

Металлы платиновой группы, обладая крайне низкими средними содержаниями в земной коре (см. табл. 1), в определенных геологических обстановках образуют значительные локальные скопления вплоть до промышленных месторождений. По условиям происхождения выделяются [5] четыре класса месторождений платиновых металлов, каждый из которых включает группы (табл. 2).

При значительном многообразии геологических обстановок нахождения МПГ в природе главным мировым источником их добычи являются собственно магматические месторождения. Подтвержденные запасы МПГ зарубежных стран на начало 90-х годов составляли более 60 тыс. т, в том числе в ЮАР около 59 тыс. т. Свыше 99% запасов зарубежных стран (ЮАР, Канада, США, Австралия, Китай, Финляндия) приходится на малосульфидные собственно платинометальные, сульфидные платиноид-

но-медно-никелевые и платиноидно-хромитовые месторождения. Доля других источников составляет менее 0,3%.

В некоторых странах налажено попутное производство платиновых металлов при металлургической переработке руд других металлов. В Канаде при переработке поликомпонентных медных руд производится свыше 700 кг платино-палладиевого сплава, содержащего 85% палладия, 12% платины и 3% других платиноидов. В ЮАР на каждую тонну рафинированной меди приходится 654 г платины, 973 г родия и до 25 г палладия. При выплавке меди в Финляндии попутно ежегодно извлекают около 70 кг МПГ. Попутно металлы платиновой группы добываются и в некоторых странах СНГ. В частности, на Усть-Каменогорском комбинате (Казахстан) из колчеданно-полиметаллических руд ежегодно извлекают около 75 кг платиновых металлов. В России свыше 98% разведенных запасов МПГ сосредоточены в арктической зоне, при этом более 95% производства платиновых металлов осуществляется из сульфидных медно-никелевых руд Норильского промышленного района [2, 4].

### НОВЫЕ, НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Повышающийся спрос на МПГ обусловил интенсивное проведение геологоразведочных и научных работ, в результате которых в 80–90-е годы были не только увеличены ресурсы в пределах известных разрабатываемых месторождений, но и открыты новые источники благородных металлов в различных, в том числе нетрадиционных, геологических обстановках [1–3, 5].

Новым глобальным источником прироста ресурсов, запасов и добычи металлов платиновой группы в наступающем XXI столетии становятся металлоносные высокоуглеродистые комплексы, развитые на всех континентах среди пород разного возраста [2, 5]. Платинометальные месторождения этого типа известны в Южном Китае, Финляндии, Канаде, Чехии, США, Польше, Казахстане и в Средней Азии) и исключительно широко развиты в различных регионах России (Карело-Кольский и

**Таблица 2.** Основные промышленно-генетические типы месторождений МПГ

Класс эндогенных месторождений	
собственно магматические	постмагматические
Сульфидные платиноидно-медно-никелевые (Норильское, Талнахское, Еланское, Печенгское месторождения в России, Садбери в Канаде, Камбалда в Австралии) Платинометальные малосульфидные (риф Меренского в Бушвельдском комплексе ЮАР, J-M риф в Стиллуотерском комплексе США, Скаергаарде в Гренландии, Федорово-Пансое и Верхнеталнахское месторождения в России) Платиноидно-хромитовые (Кемпирское месторождение в Казахстане, Рай-Из и платиноносный пояс Урала, хромитовые горизонты Бушвельда ЮАР) Платиноидно-титаномагнетитовые (Качканарское, Волоковское месторождения на Урале)	Платиносодержащие молибден-медно-порфировые, медно-свинцово-цинковые, медные и золоторудные (Сорское в Хакасии, Бощекульское в Казахстане, месторождения Урала, Алтас-Саянского региона, Рудного Алтая в России, Никель-Плейн-Майн в Канаде, Бигем в США, Коронейшн-Хилл в Австралии)
Класс полигенных месторождений	
Вулканогенно-осадочные и метаморфогенно-гидротермально-метасоматические в высокоглиноземистых комплексах (месторождения Польши, Южного Китая, Финляндии, Канады, Мурунтау в Узбекистане, Сухоложское, Тимское, Онежское в России)	
Класс экзогенных месторождений	
Россыпные (месторождения Салмон-Ривер в США, Витватерсранд в ЮАР, Чеко-Пасифико в Колумбии, Юбдо в Эфиопии, Уральские, Вилюйские, Кондерские россыпи в России)	
Платиносодержащие коры выветривания (Моа-Барако на Кубе, О'Тул в Бразилии)	
Платиносодержащие Fe–Mn-конкремции (срединно-океанические хребты Мирового океана, поля Уэйк-Магеллановых гор, Гавайский хребет)	
Класс техногенных месторождений	
Техногенные в хвостах (отвалах обогатительных фабрик) (норильские, бушвельдские и др.)	

Воронежский регионы, Таймыр, Северная Земля, Прибайкалье, Камчатка, Дальний Восток). Особенностью этих руд является полиэлементный состав. Наряду с МПГ (концентрации которых варьируют от первых г/т до нескольких десятков г/т) в них существует в промышленных масштабах значительное количество других металлов (Mo, Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, Co, U, V, P, W, Au, Bi, Se, Te). Уникальные ресурсы благородных металлов сосредоточены в железо-марганцевых конкрециях (МПГ 0,2–45 г/т) на дне Мирового океана, а также в корах выветривания на континентах (железные шляпы и латериты Новой Кaledонии, Индонезии, Бразилии, Кубы, Греции, Южной Сибири и Дальнего Востока России).

Безусловный промышленный интерес представляют так называемые хвосты – отвалы платинометальных обогатительных фабрик на платиносодержащих разрабатываемых месторождениях. К их числу, в частности, относятся Норильские техногенные месторождения, которые формировались в течение нескольких десятилетий при переработке богатейших сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд и складировании хвостов их обогащения. Вследствие неизбежных потерь платиновых металлов при переработке руд хвосты обогатительной фабрики Норильского комбината характеризуются устойчиво повышенными содержаниями платины и

палладия (0,7–5 г/т), родия (до 0,15 г/т), иридия (0,027 г/т), рутения (0,052 г/т), осмия (0,010 г/т), а также меди (до 0,5%) и никеля (до 0,5%). В хвостах в целом сохраняется тот же набор платиновых минералов, что и в исходных медно-никелевых рудах. Технологические исследования показали возможность получения из хвостоотвалов концентратов с содержанием платиноидов до 20 кг/т [2]. В хвостах хромитовых рудников комплекса Бушвельд (ЮАР) содержится около 15 т МПГ, при этом ежегодно это количество увеличивается на 1 т.

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ

Конъюнктура мирового производства платиновых металлов из первичного рудного сырья ныне определяется тремя странами: ЮАР, Россия, Канада. Вместе с тем, по имеющимся оценкам подтвержденных запасов, подобное соотношение между этими странами может резко измениться в ближайшее десятилетие в сторону абсолютного доминирования ЮАР в результате наращивания добычи и производства МПГ из руд уникального платиноносного комплекса Бушвельд. Производство платиновых металлов в России, которое почти целиком базируется на рудах сульфидных медно-никелевых

месторождений Норильско-Талнахского района, обладает определенной уязвимостью не только из-за значительных потерь при попутном их извлечении в технологическом цикле основного выпуска никеля и меди, но и вследствие неизбежного снижения доли богатых руд в общем объеме добычи.

В условиях резко возрастающих потребностей в благородных металлах многих волнует вопрос: велики ли ресурсы МПГ России? Фундаментальные исследования, выполненные в рамках специально созданной в 90-е годы государственной программы “Платина России”, свидетельствуют о том, что Россия обладает уникальной минерально-сырьевой базой МПГ (рис. 1).

Важной особенностью, имеющей глобальный характер, является размещение наиболее крупных платиноносных провинций и рудных районов России в ее арктической зоне [2]. Помимо известных сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Норильско-Талнахского рудного района, являющихся сейчас главной минерально-сырьевой базой России, в этой зоне выявлены другие потенциально перспективные провинции. В их числе: 1) Таймыро-Норильская, в пределах которой помимо эксплуатируемых сульфидных платино-медно-никелевых месторождений открыты мало-сульфидные платинометальные ( $Pt$  до 1,2 г/т,  $Pd$  до 64 г/т,  $Rh$  до 0,95 г/т) руды; 2) Северотаймырско-Североземельская с широким развитием платиноносных (до 3,1 г/т  $Pt$  и 3,9 г/т  $Pd$ ) интрузий, речных и прибрежно-морских россыпей и золото-платиноносных конгломератов (о-в Большевик, п-ов Челюскин); 3) Западно- и Восточно-Таймырская провинции с малосульфидными платиноносными и платиносодержащими сульфидными горизонтами

в интрузивных (МПГ до 15–20 г/т) и вулканических породах; 4) Маймеч-Котуйская с разновозрастными платиноносными интрузивными комплексами и сопровождающими их россыпями; 5) Анабаро-Оленекская с многочисленными проявлениями Ir-Ru-Os-россыпей, обогащенных золотом и алмазами.

Значительным потенциалом характеризуется Байкальская провинция. В ее пределах помимо одного из крупнейших в мире – Сухоложского золото-платинометального месторождения (Иркутская область) установлены значительные концентрации МПГ в разновозрастных черносланцевых комплексах (0,5–9,6 г/т  $Pt$ , 0,1–2 г/т  $Pd$ , до 0,08 г/т  $Ru$  и  $Rh$ , до 2 г/т  $Os$ , 35 г/т  $Au$ ), в сульфидных медно-никелевых и малосульфидных платинометальных рудах Йоко-Довыренской группы интрузий (до 1,8 г/т  $Pt$ , 3,9 г/т  $Pd$ , 0,07 г/т  $Rh$ ), в платиноносных россыпях (Муйский район).

Крупными платинометальными и золото-платинометальными россыпными месторождениями (Кондер, Чад, Инагли) отличается Алдано-Становая провинция, где, кроме того, широко развиты значительные по размерам (до 1000 км<sup>2</sup>) плутоны с платиносодержащим хромитовым и медно-никелевым оруднением (МПГ до 2–3 г/т). Горизонты обогащенных платиноидами (до 3 г/т) сульфидных и малосульфидных руд установлены в интрузивах Алтае-Саянской области и Тувы. В Амурской и Монголо-Охотской провинциях известны многочисленные платиноносные россыпи.

Значительная роль в наращивании минерально-сырьевой базы МПГ принадлежит Корякско-Камчатскому и Дальневосточному регионам, где наряду с многочисленными месторождениями платиносодержащих россыпей имеются другие крупные источники МПГ: платиноидно-хромитовые (МПГ от 1 г/т до нескольких десятков г/т) и сульфидные платиносодержащие медно-никелевые руды; золото-платинометальные (сумма МПГ и Au до первых десятков г/т) высокоуглеродистые сланцы (Верхне-Колымский район).

Потенциал платиновых металлов Урала определяется прежде всего россыпными месторождениями, которые с конца XVIII и в течение всего последующего XIX столетия обеспечивали Россию и мировой рынок платиновыми металлами. Одним из важнейших потенциальных источников платиновых металлов, обеспечивающим возрождение Уральской минерально-сырьевой базы платинодобычи, являются прежде всего многочисленные интрузивы Платиноносного пояса, Восточного, Южного и Полярного Урала, сопровождающиеся платиносодержащими хромитовыми рудами. В качестве дополнительного источника МПГ выступают россыпи, техногенные отвалы, сульфидно-титаномагнетитовые руды, а также разновозрастные черносланцевые толщи.



**Рис. 1.** Схема размещения основных промышленно-генетических типов месторождений МПГ России: 1 – Норильско-Талнахская группа, 2 – Федорово-Панская, 3 – Бураковская, 4 – Онежская, 5 – Тимское, 6 – Сухоложинское, 7 – Денегкин Камень, 8 – Гулинское, 9 – Инаглинское, 10 – Кондерское, 11 – Вивенское

В последние годы уникальные месторождения по степени концентрации и ресурсам благородных металлов выявлены в докембрийских образованиях европейской части России (Кольский, Карельский и Воронежский регионы).

Наиболее перспективен для освоения промышленного малосульфидного платинометального оруднения крупный Федорово-Панский массив на Кольском полуострове, который по количеству платиноносных горизонтов (рифов), качеству оруднения (до 50 г/т Pd и Pt) и суммарным ресурсам не уступает массиву Стиллуотер в США. Благоприятное физико-географическое положение в районе с развитой инфраструктурой, неглубокое залегание перспективных платиноносных горизонтов, высокое качество руд, а также прогнозируемые крупные масштабы оруднения выдвигают Федорово-Панский массив в разряд первоочередных объектов для подготовки к промышленному освоению.

Реальные перспективы платиноносности Карелии связывают с платиноидно-хромитовым и мало-сульфидным платинометальным оруднением в Бураковском массиве, полиметальными рудами в черносланцевых породах Онежского рудного района (Pd 5 г/т, в некоторых случаях до 150–400 г/т, Pt от 0,5 до 25–150 г/т, Rh 0,6–1 г/т, Au 0,5 г/т, иногда до 50–150 г/т) и мало-сульфидными платинометальными рудами в телах Олангской группы.

В докембрийском фундаменте Воронежского региона значительные ресурсы МПГ сосредоточены в сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождениях [2], горизонтах мало-сульфидного платинометального оруднения в крупных дифференцированных плутониях (Елань-Коленовской, Козловско-Жердевской, Новохоперско-Борисоглебский), а также в комплексных золото-платинометальных рудах (Pt до 4,5 г/т, Pd до 0,6 г/т, Au до 14 г/т) в углеродистых сланцах и огромных по площади и объему хранилищах хвостов длительно эксплуатируемых железорудных месторождений Курской магнитной аномалии. Нахождение крупных золото-платинометальных объектов в пределах Курского

го железорудного района с развитой инфраструктурой значительно повышает их промышленную значимость.

Эти данные свидетельствуют о том, что Россия располагает достаточно мощным платинометальным потенциалом для прироста ресурсов и запасов, расширения существующих и создания новых минерально-сырьевых баз платинодобычи, увеличения производства платиновых металлов и обеспечения лидирующего положения на мировом рынке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В., Тарновецкий Л.Л. Платинометальные месторождения мира. М.: Геоинформмарк, 1994. Т. 1, кн.1: Платинометальные мало-сульфидные месторождения в ритмично расположенных комплексах. 279 с.
2. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. и др. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов // Платина России. М.: Геоинформмарк, 1995. С. 7–48.
3. Кривцов А.Н. Месторождения платиноидов: (Геология, генезис, закономерности размещения) // Итоги науки и техники. Рудные месторождения. 1988. Т. 18. 131 с.
4. Рудные месторождения СССР. М.: Недра, 1974. Т. 3. 472 с.
5. Чернышов Н.М., Додин Д.А. Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенического анализа // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. С. 65–70.

\* \* \*

Николай Михайлович Чернышов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. кафедрой минералогии и петрологии геологического факультета Воронежского государственного университета. Область научных интересов: магматическая петрология и геология медно-никелевых и платинометальных месторождений. Автор около 300 научных работ, в том числе 12 монографий.