

ПЛАТИНА УРАЛА

Е. В. ПУШКАРЕВ

Институт геологии и геохимии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

PLATINUM OF URALS

E. V. PUSHKAREV

For almost a hundred years, from 1824 to 1922, the Urals were the world leader in the production of platinum, the primary source whereof were the placers. Moreover, the world-only purely platinum major deposits, hosted in dunite bedrock, were discovered and developed here. The theory of platinum ore formation has resulted from the studies of these deposits.

Почти сто лет (с 1824 по 1922 год) Урал являлся мировым лидером по добыче платины, главным источником которой были россыпи. Здесь были также открыты и эксплуатировались единственные в мире собственно платиновые коренные месторождения в дунитах. Благодаря их изучению и была создана теория платинового рудообразования.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Платина получила свое название от испанского слова *platina*, уменьшительного от *plata* – серебро. Так пренебрежительно назвали светло-серый металл, изредка попадавший среди золотых самородков, испанские конкистадоры – колонизаторы Южной Америки около 500 лет назад. Никто не мог тогда предположить, что в конце второго тысячелетия платина (Pt) и элементы платиновой группы (ЭПГ): иридий (Ir), осмий (Os), рутений (Ru), родий (Rh) и палладий (Pd) – получат широкое применение в разных отраслях науки и техники, а по своей стоимости будут превосходить золото. Тем более никто не знал в те далекие времена, что одним из главных поставщиков платины и платиноидов на мировой рынок в XIX веке станет Урал, который удержит лидирующее положение по добыче платины в течение 100 лет.

Согласно современным представлениям, основными источниками платиноидов являются их собственными месторождения и месторождения, из которых платина и другие металлы Pt-группы добываются попутно [6]. Собственные платиновые месторождения, в свою очередь, делятся на эндогенные (связанные с глубинными источниками) и экзогенные (образующиеся в результате процессов, происходящих на поверхности Земли). К эндогенным месторождениям относятся магматогенные, скарновые и гидротермальные. К экзогенным – россыпные, месторождения кор выветривания и собственно осадочные месторождения.

Магматогенные месторождения ЭПГ образовались в результате кристаллизации магматических расплавов на значительной глубине [1, 5]. Скарновые месторождения, как правило, формируются при взаимодействии магматических пород с карбонатными осадочными (известняки) или метаморфическими (мрамор) породами. При понижении температуры, в процессе становления интрузивных массивов, в них происходит обособление высокотемпературных, минерализованных растворов, которые циркулируют по трещинам и полостям в горных породах и после окончательной кристаллизации формируют гидротермальные жильные месторождения.

В результате проявления горообразовательных или других тектонических процессов эндогенные скопления платиноидов могут быть выведены на поверхность Земли, где они подвергаются выветриванию и размываются метеорными водами или реками. Так, формируются экзогенные месторождения ЭПГ. Среди них наибольшее промышленное значение имеют россыпные месторождения платины. Благодаря высокой плотности, колеблющейся в природных образцах от 15 до 19 г/см³, платиноиды с трудом переносятся водными потоками и накапливаются в речных осадках совместно с другими тяжелыми минералами.

Однако не все эндогенные месторождения платиноидов в экзогенных условиях сопровождаются платиновыми россыпями. По этому признаку их можно разделить на россыпеобразующие и нероссыпеобразующие месторождения. На Урале развиты магматогенные россыпеобразующие месторождения. История эксплуатации и изучения этих уникальных месторождений насчитывает уже около 180 лет, благодаря чему в научной литературе за ними закрепилось собственное название “месторождения уральского типа”.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ И РАЗРАБОТКИ ПЛАТИНЫ НА УРАЛЕ

Первое официально зарегистрированное упоминание о находке платины в золотых россыпях Урала относится к 1819 году, а уже в 1824 году на р. Орулиха, к северу от Нижнего Тагила, была открыта первая в России собственно платиновая россыпь. С 1827 года начинается настоящая платиновая лихорадка, связанная с обнаружением и эксплуатацией многочисленных платиновых россыпей в Нижнетагильском районе Среднего Урала. В то время ежегодная добыча платины из россыпей достигала 2–3 т. В последующие годы богатые платиновые россыпи были обнаружены севернее и южнее, на карте Урала появились еще несколько крупных платинодобывающих районов: Качканарско-Исовской, Кытлымский, Павдинский.

На Урале развиты два типа россыпей: элювиальные (залегающие непосредственно над платиноносными коренными породами) и аллювиальные (образовавшиеся после переноса и отложения каменного материала речными водами). Геологический разрез аллювиальных наносов большинства уральских рек достаточно однообразен. Типичный разрез платиновой россыпи выглядит следующим образом (сверху вниз): 1) растительный слой (10–40 см), 2) бурые суглинки переменной мощности, 3) глины мощностью 1–4,5 м, 4) глинистые пески переменной мощности, 5) речники или слоистые галечники мощностью от 0,2 до 3 м, 6) платиноносные пески мощностью 0,2–0,5 м, 7) плотик или “почва” россыпи – коренные породы, подстилающие

россыпь. Общая мощность русловых наносов на Урале колеблется от 2 до 5 м. Ширина речных россыпей варьирует от 100 до 200 м и в исключительных случаях достигает 800 м. В длину россыпи могут протягиваться на километры, иногда на десятки километров.

Значительные размеры некоторых россыпей (например, знаменитая Исовская россыпь протянулась на расстояние более 100 км) позволили извлекать платину из речных наносов с помощью технически оснащенных драг, которые потеснили тяжелый старательский труд на приисках. Современные драги представляют собой своеобразные плавучие обогатительные фабрики, специально предназначенные для разработки россыпных месторождений. Они оснащены многоковшовым землечерпальным оборудованием, позволяющим извлекать грунт из-под воды с глубины 10–20 м, который затем многократно просеивается и промывается водой, в результате чего легкие минералы смываются, а платина, золото и другие тяжелые минералы накапливаются в остатке, который называется шлихом.

На рубеже XIX и XX веков Нижнетагильские и Исовские прииски давали до 80% мировой добычи платины, а вклад Урала в целом составлял, по оценкам специалистов, от 92 до 95% мирового производства платины. В 1892 году, спустя 65 лет после начала разработки россыпей в Нижнетагильском массиве, было обнаружено первое коренное проявление платины, которое повлекло за собой интенсивные поиски и многочисленные открытия новых месторождений, самое крупное из которых “Господская шахта” было обнаружено старателями в 1909 году. Среднее содержание платины в руде, в верхних горизонтах месторождения, составляло около 400 г/т, и только за первый период эксплуатации было добыто около 50 кг металла.

За неполные сто лет с момента открытия месторождений платины (с 1824 по 1922 год) на Урале, по официальным данным, было добыто около 250 т металла и еще 70–80 т добыто незаконно хищническим образом. Самый крупный самородок платины, извлеченный из коренного месторождения, весил около 427 г, а крупнейшие самородки, найденные в россыпях, достигали 8–9 кг (табл. 1). До сих пор платиновые самородки, добытые на Урале в XIX и начале XX века, остаются самыми крупными в России. Для сравнения: самый большой самородок платины, найденный в очень богатой россыпи, разрабатываемой в настоящее время на массиве Кондер (Хабаровский край), весит 3521 г.

К середине XX столетия коренные месторождения платины Нижнетагильского массива полностью отработаны, а новые месторождения не обнаружены. В настоящее время продолжается эксплуатация только россыпных месторождений, причем работы ведутся преимущественно небольшими старательскими артелями

Таблица 1. Крупнейшие самородки платины, добытые на Урале

Массив	Прииск	Годы	Количество и вес самородков
Нижнетагильский	Мартьяновский	1827–1829	Всего добыто 3384 самородка. Из них 3340 экз. от 4 до 100 г, 24 – от 100 до 200 г, 14 – от 200 до 400 г, 3 экз. – соответственно по 665,5; 703,5 и 763,6 г
		После 1829 года	1539,9; 1467,4; 2371,2; 3204,1; 5562,6; 8352,2 г
	Сырков лог	1843	9635; 5408,9; 2866,6 г
		1859	6552,2; 5110,4; 4504,6 г
	Авроринский	За весь период добычи	Около десятка самородков от 2500 до 6500 г
Вересовый Бор		1904	8359; 7860; 3895 г

в пределах старых горных отводов, то есть перемыкаются отвалы некогда знаменитых на весь мир платиновых приисков. Во второй половине XX века крупнейшие в России платиновые россыпи были открыты в Хабаровском крае, Корякии и Приморье [4], но коренных месторождений, аналогичных тем, которые разрабатывались на Урале, до сих пор не найдено.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

Еще в XIX веке геологи и промышленники обратили внимание на то, что все без исключения крупные платиновые россыпи приурочены к массивам кристаллических пород, состоящих либо из оливина $(Mg, Fe)_2SiO_4$ с небольшой примесью хромита $FeCr_2O_4$, либо из клинопироксена $(Ca, Mg, Fe)SiO_3$ с примесью оливина. Первые породы называются дунитами, а вторые – клинопироксенитами. В тесной ассоциации с ними находятся оливин-клинопироксен-полевошпатовые породы (габбро). Эти породы образуют гигантский пояс, вытянутый в меридиональном направлении более чем на 900 км, который впоследствии получил название Платиноносного пояса Урала (рис. 1). По геологическим данным, Платиноносный пояс был сформирован около 420–430 млн лет тому назад в переходной зоне между древним океаном и континентом. Состав пород свидетельствует об их мантийном происхождении. Еще 30–40 лет назад считалось, что дунит-клинопироксенитовые массивы непосредственно представляют собой выступы мантии Земли. Однако геофизическими исследованиями было показано, что корни массивов прослеживаются всего до глубины 15–20 км и далее выклиниваются. На современной дневной поверхности обнажены 14 изолированных массивов площадью от 50 до 750 кв. км.

Характерной особенностью массивов Платиноносного пояса Урала является концентрически-зональное внутреннее строение. Тела дунитов обычно образуют ядра, окруженные клинопироксенитами, к которым

примыкают обособленные габбровые массивы. Во всех породах пояса в большей или меньшей степени проявлены признаки высокотемпературного пластического течения, что служит доказательством образования массивов путем внедрения в земную кору твердых масс, перемещаемых с глубины не менее 30–50 км [2].

Коренные месторождения платины всегда непосредственно связаны с дунитами или, точнее, с хромитовыми обособлениями в дунитах [1]. Всего в Платиноносном поясе Урала насчитывается десять дунитовых тел, самое крупное из которых, площадью около 29 кв. км, является частью Нижнетагильского массива. Именно с этими дунитами и были связаны коренные хромит-платиновые месторождения, которые разрабатывались на Урале в конце XIX и начале XX века и которые до сих пор остаются единственными в мире примерами оруденения уральского или нижнетагильского типа.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА. СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАТИНОНОСНЫХ ДУНИТОВ

Нижнетагильский массив залегает на Среднем Урале в 40 км юго-западнее Нижнего Тагила [3]. Он имеет грушевидную форму (13,9 × 6,0 км). Дуниты слагают центральную часть массива (рис. 1, в). Они окружены со всех сторон каймой оливиновых клинопироксенитов шириной от нескольких десятков до 2000 м. Вдоль юго-восточного и юго-западного контактов встречаются небольшие тела габбро. Главным минералом дунитов является оливин – силикат магния и железа $(Mg, Fe)_2SiO_4$, количество которого в неизменных породах достигает 99%. Соотношение атомов магния и железа в структуре оливина – величина переменная, которая измеряется отношением $Mg = Mg/(Fe + Mg)$. В дуните

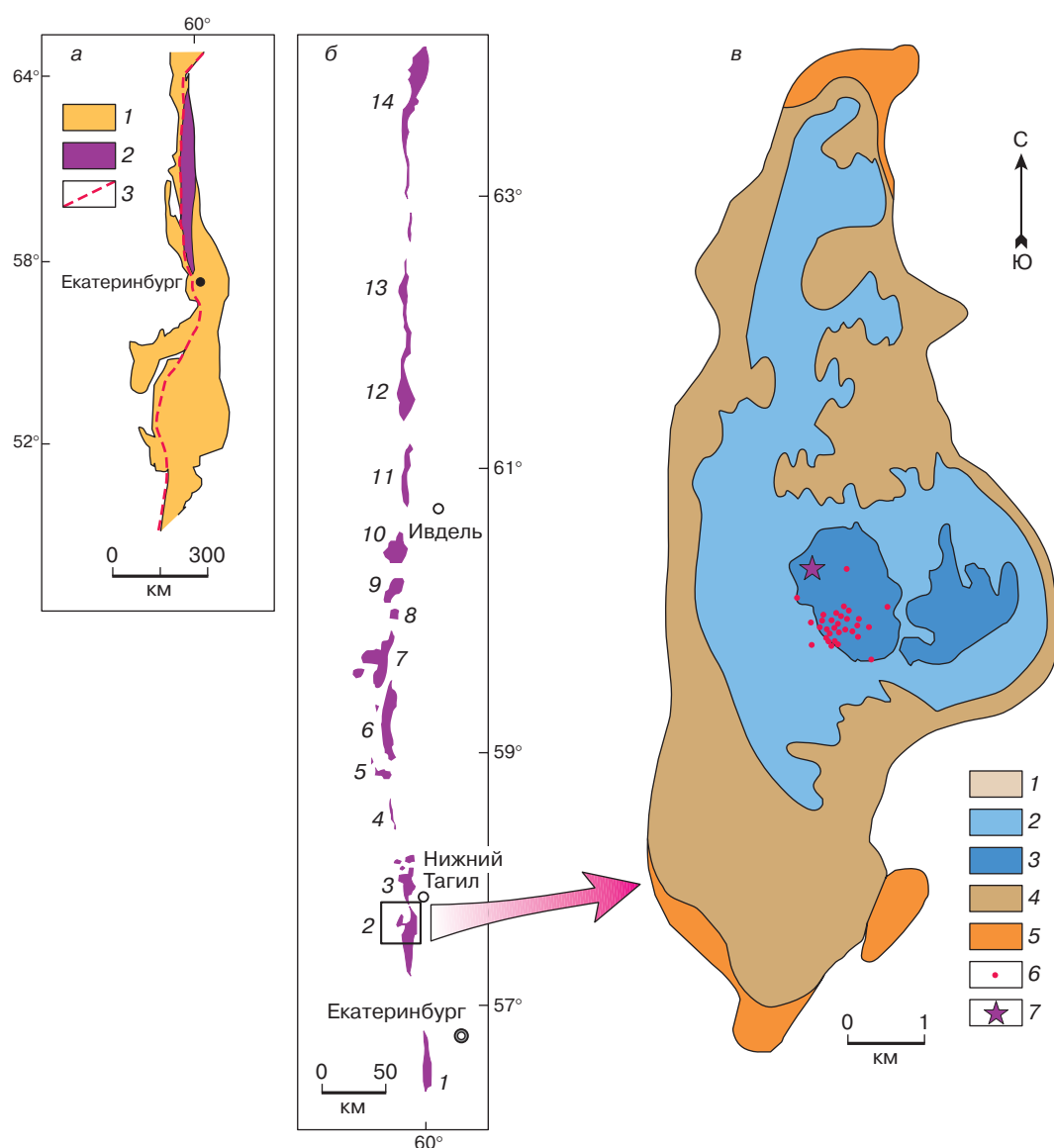


Рис. 1. а – положение Платиноносного пояса в структуре Урала: 1 – Уральская складчатая система, 2 – Платиноносный пояс, 3 – Главный Уральский глубинный разлом; б – массивы Платиноносного пояса Урала: 1 – Ревдинский, 2 – Нижнетагильский, 3 – Тагило-Баранчинский, 4 – Арбатский, 5 – Качканарский, 6 – Павдинский, 7 – Кытлымский, 8 – Княспинский, 9 – Кумбинский, 10 – Денежкин Камень, 11 – Помурский, 12 – Чистопский, 13 – Яльпин-Нерский, 14 – Хорасюрский; в – схема геологического строения Нижнетагильского массива (по И.А. Малахову и Л.В. Малаховой с дополнениями по О.К. Иванову): 1 – вмещающие породы, 2 – дуниты, 3 – перекристаллизованные дуниты, 4 – клинопироксениты, 5 – габбро, 6 – тела дунит-пегматитов, 7 – месторождение платины “Господская шахта”

Нижнетагильского массива величина этого параметра достигает 0,92. Высокая магнезиальность дунитов – благоприятный фактор для изготовления из него периклаза (MgO). Периклаз имеет температуру плавления около 2800°C, поэтому он широко используется в металлургической промышленности как высококачественный огнеупорный материал. Для этих целей на Нижнетагильском массиве заложен и действует крупный карьер.

Оливин – минерал неустойчивый. В присутствии воды при температуре, не превышающей несколько сот градусов, оливин замещается вторичным водным

Оливин – минерал неустойчивый. В присутствии воды при температуре, не превышающей несколько сот градусов, оливин замещается вторичным водным

силикатом магния — серпентином. Степень серпентинизации в нижнетагильских дунитах в среднем составляет 50–60%. С глубиной серпентинизация затухает, что наводит на мысль об атмосферном источнике воды, участвующей в серпентинизации дунитов. Для производства огнеупоров серпентин является вредной примесью, так как приходится тратить дополнительную энергию для удаления избыточной воды.

Кроме оливина в дуните содержится небольшое количество (<1%) хромовой шпинели (хромита) в виде мелких (0,5–1 мм) октаэдрических кристаллов черного цвета. Общая формула минералов группы шпинели Me_3O_4 , где Me — это главным образом Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr, Al, Mg. Содержание Cr_2O_3 в хромите из дунитов Нижнетагильского массива достигает 40–55%. Если бы количество хромита было значительным, то их можно было бы рассматривать как руду для получения хрома. На Урале известны хромитоносные массивы с гигантскими по запасам месторождениями хромитов, однако они не являются платиноносными. В дунитах Нижнетагильского массива хромит образует небольшие скопления, линзы или жилы, не превышающие 0,5 м в длину и 5–10 см в ширину, которые содержат высокие концентрации платины. В редких случаях, когда количество хромитовых жил в дунитах становится значительным, они уже могут представлять определенный экономический интерес как руда на платину. При проведении геолого-разведочных работ такие рудные зоны оконтуривают, опробуют и определяют запасы полезного компонента.

С геохимической точки зрения связь собственно платиновых месторождений с дунит-клинопироксенитовыми массивами закономерна. Практически все породы, и особенно дуниты, обогащены ЭПГ. Проиллюстрируем это утверждение на примере следующей

диаграммы. Если расположить шесть элементов платиновой группы в порядке уменьшения температуры плавления и нанести на такую диаграмму концентрации элементов, нормированные (разделенные) на концентрации этих же элементов, например в мантии Земли, то значения, полученные для платины, будут всегда более высокими, чем нормированные концентрации элементов, стоящих от нее слева и справа (рис. 2). Такая же положительная аномалия платины характерна и для рудных хромитовых тел, но общий уровень концентрации в них ЭПГ гораздо более высокий, чем в дунитах.

ТИПЫ ХРОМИТ-ПЛАТИНОВЫХ РУД И ХАРАКТЕР ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

А.Г. Бетехтин, долгие годы изучавший месторождения Нижнетагильского массива, по морфологии и характеру взаимоотношений рудных тел с вмещающими дунитами выделил среди них два типа: сингенетические и эпигенетические руды [1]. Сингенетические (одновременные) скопления хромита характеризуются постепенными переходами с окружающими дунитами и близки к ним по условиям образования. Обе породы вместе участвуют в пластических деформациях. По современным данным, температура оливин-хромитовой минеральной ассоциации дунитов и сингенетических хромитов составляет 1100–1200°C. В силикатном цементе руд нередко присутствует оливин. Эти данные показывают, что сингенетические руды могут образоваться в результате избирательного накопления хромита, кристаллизующегося вместе с оливином. Значительные скопления платины для этого типа руд нехарактерны.

Эпигенетические (образовавшиеся после дунитов) руды характеризуются жильной и линзовидной формой

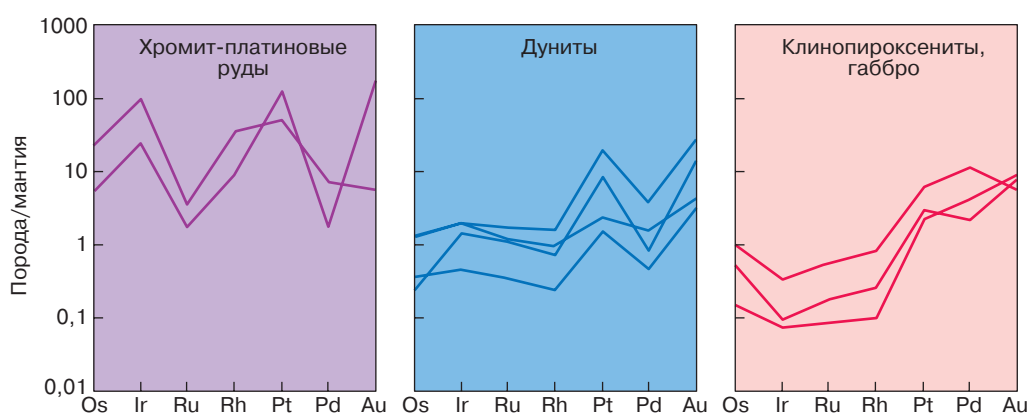


Рис. 2. Содержания элементов платиновой группы в хромит-платиновых рудах, дунитах, клинопироксенитах и габбро одного из уральских массивов, нормированные на содержания этих же элементов в мантии Земли

тел (рис. 3). Они имеют резкие контакты с вмещающими дунитами, вдоль которых развивается узкая (5–10 мм, редко более) светло-зеленая серпентиновая кайма, не содержащая даже реликтов оливина. Нередко руды включают обломки дунита, нацело серпентинизированные (рис. 3). Хромиты не несут следов высокотемпературных пластических деформаций, характерных для вмещающих дунитов, а температура их кристаллизации составляет 700–800°C. В составе силикатного цемента руд принимают участие водосодержащие минералы, которые образовались при более низкой температуре, чем хромит. Оливин в цементе эпигенетических руд не отмечается и встречается лишь в виде редких включений в хромите. Эти данные свидетельствуют о присутствии в рудообразующей системе водного флюида с температурой ниже 500°C. В этих условиях оливин становится неустойчивым и превращается в серпентин. Эпигенетические руды являются главным концентратом минералов платиновой группы (МПГ). Платиновые минералы входят в состав ассоциации, це-

ментирующей хромит, что отражает их более позднее формирование.

Как отмечалось выше, размеры отдельных скоплений хромитов, содержащих платиновую минерализацию, обычно не превышают 50 см в длину и 5–10 см в ширину. Из-за малых размеров они не представляют промышленного интереса. Ценность имеют лишь месторождения, в которых большое количество мелких хромитовых линз формируют рудные столбы по типу крупнейшего месторождения “Господская шахта” в

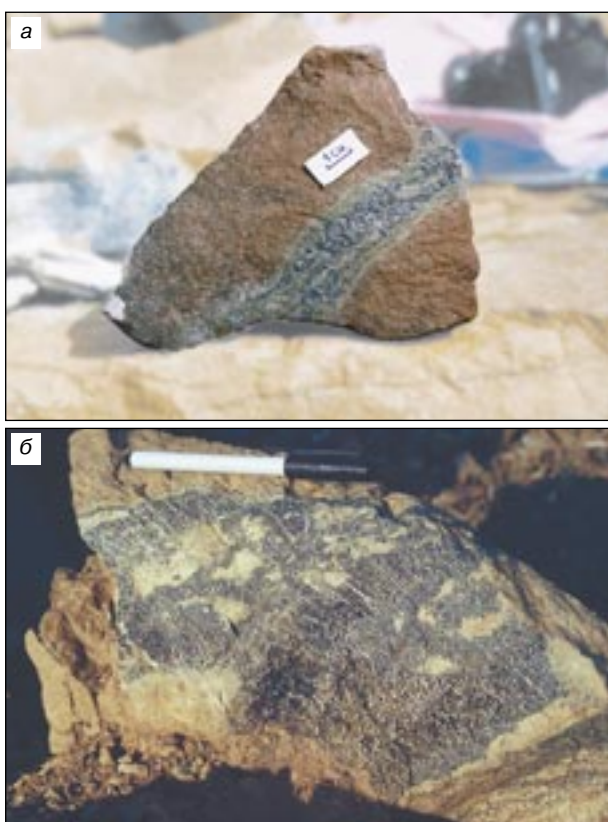


Рис. 3. Хромит-платиновые руды эпигенетического типа: а – жильные, б – брекчиевидные. Черное – хромит, бурое – вмещающий дунит, светло-бурое – серпентин

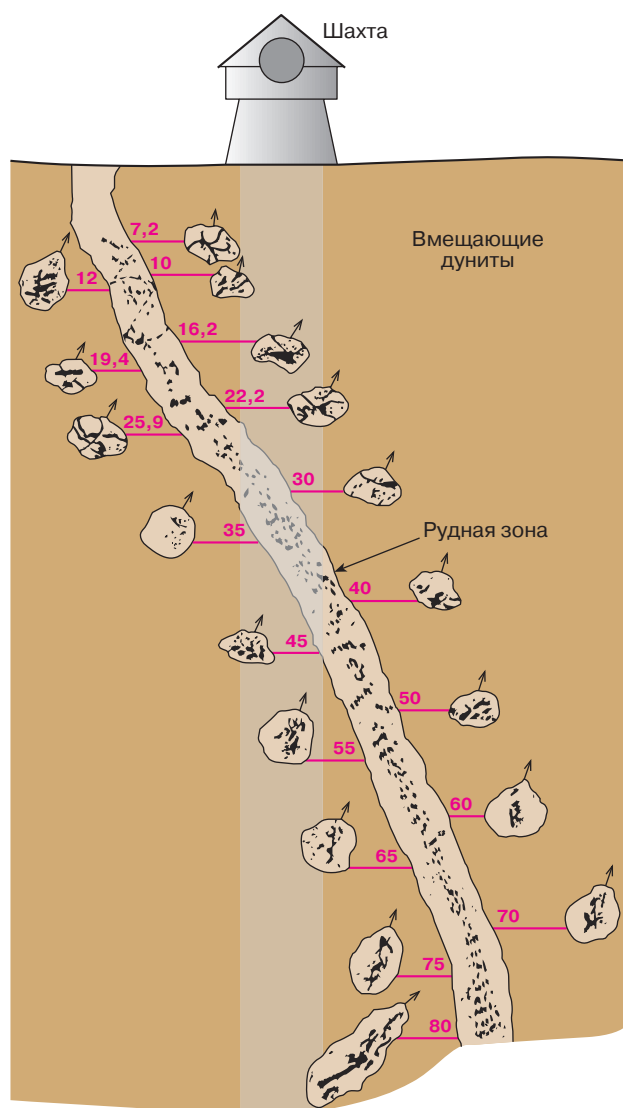


Рис. 4. Геологический разрез до глубины 80 м и по горизонтные планы через рудную зону платинового месторождения “Господская шахта” в Нижнетагильском массиве. Черным цветом отмечены хромитовые тела, обогащенные платиной

Нижнетагильском массиве (рис. 4). К сожалению, поисковые и геолого-разведочные работы, проведенные на остальных девяти дунитовых массивах Урала, не выявили рудопроявлений, даже приблизительно сопоставимых по масштабам с нижнетагильскими, хотя основные черты морфологии, структуры и состава хромит-платиновой минерализации, установленные в Нижнетагильском массиве, были обнаружены и в этих объектах.

Размещение платинового оруденения в Нижнетагильском массиве подчиняется определенной пространственной закономерности. Ранее было установлено, что центральная часть дунитового ядра перекристаллизована с образованием крупнозернистых дунитов, окруженных по периферии первичными, мелкозернистыми, неперекристаллизованными дунитами [3]. Зона перехода между этими двумя типами дунитов характеризуется развитием тел дунит-пегматитов и миаролитовых дунитов. Первые представляют собой породы с гигантскими кристаллами оливина размером до нескольких сантиметров, вторые содержат пустоты, на стенках которых нарастают хорошо ограненные кристаллы оливина, хромита, пироксена и водосодержащих минералов. Образование этих пород происходит в присутствии флюида (воды, CO_2 , CH_4 , H_2), который снижает температуру кристаллизации минералов и делает ее более длительной. Большинство платиноносных хромитовых тел также приурочено к зоне развития дунит-пегматитов и содержит сходную с ними минеральную ассоциацию, что можно рассматривать как доказательство участия флюида и в процессе рудообразования.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПЛАТИНОВЫХ РУД

Минералогия платиновых месторождений со времени их открытия на Урале тщательно изучается. Установлено, что платина и другие элементы платиновой группы встречаются в виде самородных фаз, формируют природные сплавы друг с другом, а также с Fe, Ni, Cu, легко соединяются с серой, мышьяком, сурьмой, образуя сульфиды и другие минералы. В настоящее время известно несколько десятков различных минералов ЭПГ [4, 6]. Однако для каждого типа месторождений характерно преобладание определенного набора платиноидов.

Месторождения уральского типа относятся к собственно платиновым месторождениям. Главными минералами в них являются природные сплавы платины с железом, медью и никелем [1, 5]. По соотношению в структуре этих сплавов атомов Pt, Fe и других элементов выделяются отдельные минеральные виды: изоферроплатина (Pt_3Fe), тетраферроплатина (PtFe), туламинит (Pt_2FeCu), тетраникельплатина (Pt_2FeNi) и др. В количественном отношении в рудах преобладает тетраферроплатина, широко представлены никелистые и медистые ее разновидности. В россыпях возрастает до-

ля изоферроплатины. Считается, что менее устойчивые к внешним воздействиям соединения платины с никелем и медью в россыпях проходят своеобразную природную очистку и переходят в более устойчивое соединение Pt_3Fe .

Исследования показали, что, несмотря на существование в рудах практически всех взаимных переходов между природными платиновыми сплавами (рис. 5), намечается определенная последовательность в их формировании. Наиболее ранним и высокотемпературным минералом является иридистая изоферроплатина. Изоферроплатина образует ядра зональных зерен, которые замещаются или образуются низкотемпературными минералами с более высокими содержаниями железа, никеля и меди. Обычно в рудах минералы ЭПГ располагаются в промежутках между зернами хромита, цементируя их, что указывает на более позднее время формирования платиноидов. Однако довольно часто изоферроплатина вместе с природными сплавами осмия и иридия (Os, Ir) образует кристаллические включения в рудном хромите. Следовательно, начало кристаллизации хромита и минералов платины практически совпадает, но последние продолжают формироваться и после того, как основная масса хромита уже закристаллизована. Согласно оценкам температур, приведенным выше, можно утверждать, что основной этап платинового рудообразования в месторождениях уральского типа проходил в интервале $800\text{--}500^\circ\text{C}$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МАГМАТОГЕННЫХ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНЫ НА УРАЛЕ

Следует признать, что вероятность обнаружения новых коренных и крупных россыпных месторождений платины, связанных с дунитами Платиноносного пояса Урала, минимальна. С одной стороны, это связано с

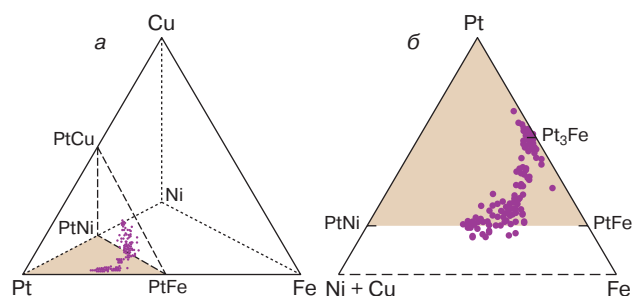


Рис. 5. Составы природных сплавов платины с железом, медью и никелем из месторождений и рудопроявлений Урала в системе Pt–Fe–Cu–Ni (а) и проекция составов этих минералов на треугольник Pt–PtNi–PtFe. Pt_3Fe – изоферроплатина (б)

тем, что коренные месторождения приурочены к верхним зонам дунитовых тел, где прошли процессы перекристаллизации пород в присутствии флюида, и, следовательно, поиск на глубину в известных массивах, скорее всего, приведет к отрицательному результату. С другой стороны, масштабы коренного оруденения уральского типа не соответствуют требованиям современной промышленности. Напомним, что всего из коренных месторождений было добыто не более 300 кг платины, когда из россыпей получено более 300 т металла. Кроме того, на Урале не осталось практически ни одной реки, которая бы не была опробована старателями или геологами в поисках золота или платины. Конечно, исключить возможность находки “слепых” склоновых или ложковых россыпей невозможно, но, скорее всего, они не будут представлять собой крупные объекты.

Существенно изменить такую ситуацию может только усовершенствование технологии добычи и извлечения платиноидов. Как было отмечено выше, практически все породы Платиноносного пояса Урала обладают повышенными содержаниями платины, которая находится в них в рассеянном состоянии. Еще Н.К. Высоцкий (1913) отмечал, что дуниты целиком можно рассматривать как руду на платину, суммарные запасы которой в породах достигают довольно значительной величины.

Другой подход связан с вовлечением в промышленную эксплуатацию новых нетрадиционных источников или месторождений платиноидов. Среди перспективных объектов для получения металлов платиновой

группы могут быть титаномагнетитовые руды, сульфиды колчеданных месторождений, углистые сланцы, ну и, конечно, разнообразные отходы промышленности: шламы, шлаки, накопившиеся в огромных количествах в регионах с развитой горно-металлургической промышленностью, к которым относится и Урал.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бетехтин А.Г.* Платина и другие минералы платиновой группы. М.; Л.: АН СССР, 1935. 148 с.
2. *Ефимов А.А.* Платиноносный пояс Урала: Тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // *Отечеств. геология*. 1999. № 3. С. 31–39.
3. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 327 с.
4. *Малич К.Н.* Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 296 с.
5. *Разин Л.В.* К вопросу о генезисе платинового оруденения форстеритовых дунитов // *Геология руд. месторождений*. 1968. № 6. С. 10–25.
6. Рудные месторождения СССР / Под ред. В.И. Смирнова. М.: Недра, 1978. Т. 3. 496 с.

Рецензент статьи В.С. Попов

* * *

Евгений Владимирович Пушкарев, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии Уральского отделения РАН. Область научных интересов – петрология ультрамафит-мафитовых комплексов, геология и генезис платиновых месторождений. Автор более 100 статей и трех монографий.