

СТРУКТУРНАЯ И ВЕЩЕСТВЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ХРОМИТ-ПЛАТИНОВОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАЛЬСКОГО ТИПА

Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев

В течение 100 лет дуниты горы Соловьевой Нижнетагильского массива, вмещающие многочисленные коренные месторождения и рудопроявления платины, остаются эталонным полигоном мирового значения при характеристике платиновых руд уральского (нижнетагильского) типа. Однако, несмотря на очевидные успехи в изучении коренных руд этого типа, которые прежде всего связаны с именами Л. Дюпарка, Н.К. Высоцкого, А.Н. Заварицкого, А.Г. Бетехтина и др., многие принципиальные вопросы их геохимии, минералогии и металлогении требовали дальнейших исследований на современном аппаратурном уровне для обоснования генетической модели формирования и разработки научных критериев прогнозирования. Исследования последних десятилетий в этом направлении как на Урале, так и в других регионах России, базировались главным образом на ма-

териалах платиновых россыпей, поскольку за последние полвека в дунитах собственно Платиноносного пояса Урала и аналогичных образованиях других регионов не было выявлено ни одного нового коренного платинопроявления. Ситуация изменилась лишь в последние годы, когда, на основе разработанных новых критериев концентрированного платинового оруднения, нами в дунитах г. Соловьевой были открыты новые платиноворудные зоны [Волченко, 1999; Волченко и др., 2000]. Геолого-структурные и минералого-геохимические исследования, проведенные на новых платинопроявлениях (Дунитовом и Сырковском) в сочетании с обширными дополнительными материалами, собранными и проанализированными нами по известным и ныне отработанным крупным месторождениям (Господская шахта, Крутой Лог, Александровское) обеспечили необходимую

основу для рассмотрения вопроса о структурной и вещественной эволюции процесса формирования руд при образовании платиновых месторождений уральского типа.

Подавляющая часть дунитов горы Соловьевой представляет собой пластично деформированные и высокотемпературно перекристаллизованные бластомилониты с разнообразными микроструктурами, подчеркивающими проявление вертикальной зональности в теле дунитового массива [Бетхер, Волченко, 1996; Савельев и др., 2001; Шмелев и др., 2002]. Среди наиболее интенсивно деформированных дунитов с мозаичной микроструктурой выделяются участки неоднородного строения, обусловленного наличием многочисленных тонких (1-5-10 мм) полос, обогащенных хромшпинелидами, а также хромитовых шпиров сегрегационного происхождения, несущих следы пластических деформаций, но, как правило, не содержащих повышенных количеств платиновых металлов. Геохимическое распределение платины в этих дунитах контролируется параметрами их состава и положением в разрезе дунитовых тел. Так в дунитах западной, северной и восточной частей массива г. Соловьевой, практически не затронутых эпигенетическими процессами хромит-платинового рудообразования (ординарных, фоновых дунитах), содержания платины связаны прямой зависимостью с железистостью оливина (дунита) и обратной - с количеством хромшпинелида (содержанием хрома в дунитах). При возрастании железистости от 6-7 до 10-12 мол.% содержание платины увеличивается от 5-10 до 50-70 мг/т и в дальнейшем не растет. Параллельно содержание хрома в дунитах уменьшается от 2-1,5 до 0,5-0,3 мас.%. В тонкополосчатых хромитовых дунитах и сегрегационных хромитовых шпирях со следами пластического течения содержание платины весьма низкое - от 5-10-50 до 100 мг/т. Среди основной массы ординарных дунитов с закономерными вариациями геохимического поля по платине (а также ряду петрогенных элементов) на многих участках массива впервые выявлены парные (негативные и позитивные) геохимические аномалии по платине, определяющие общую реально существующую мегазональность дунитового тела [Волченко, 1999; Волченко и др., 2000]. Все крупные хромит-платиновые концентрации г. Соловьевой и сопряженные негативные ореолы связаны с узлами и зонами хрупких деформаций, а в целом структурный план

Соловьевогорского платиноворудного поля аппроксимируется планом постпластических хрупких деформаций массива.

Негативные платиновые аномалии имеют сложную морфологию, неоднородный пятнистый характер, и сложены катаклазированными и милонитизированными мелко-тонкозернистыми дунитами. Размеры аномалий по данным изучения карьеров и скважин изменяются по ширине от 30-50 до 100 метров и более. По падению они прослежены до глубины более 100 м. В пределах негативных геохимических аномалий установлено резкое (в 5-50 раз) падение содержаний платины по сравнению с ординарными, фоновыми количествами - до следов и содержаний в 5-15 мг/т, при ощутимом уменьшении железистости оливина до 6-7,5 мол.%. По данным проведенного совместно с компанией "Евразия Майнинг" опробования, в пределах негативных аномалий 75-85% проб оказались "пустыми" с содержанием менее и около 10 мг/т платины, а "выбросы", обуславливающие их неоднородность и "пятнистость" обычно соответствуют фоновым содержаниям платины в 30-50 мг/т (данные по 5 скважинам, пройденным по периметру рудного узла № 80, вскрытого Александровским карьером - 166 проб). Аналогичные результаты получены и для наклонной скважины Г-6 глубиной 120,5 м, полностью перекрывающей негативный ореол крупнейшего на г. Соловьевой рудного тела Госпахты. Впервые установленная для платиновых дунитовых массивов мегазональность - ординарный фоновый дунит, негативная геохимическая аномалия, позитивная геохимическая аномалия (хромит-платиновое рудное тело) - дополняется сложным строением (микрозональностью) позитивных аномалий, отдельных рудных тел. Намечается определенная латеральная зональность в пространственном размещении разновозрастных и контрастных по своим структурно-морфологическим и вещественным особенностям субтипов платинового оруденения (рис.1). Для центральной части массива г. Соловьевой (месторождения Сырковское, Госпахта, Крутой Лог, Александровское - восточная часть, и др.) типичен относительно более ранний хромитовый субтип платиновых руд, формирующий разобщенные гнездобразные и трубообразные тела с гнездово-струйчатыми, петельчатыми и брекчиевидными текстурами (рис.2). Для юго-западной и западной частей г.Соловьевой (месторождения Александр-

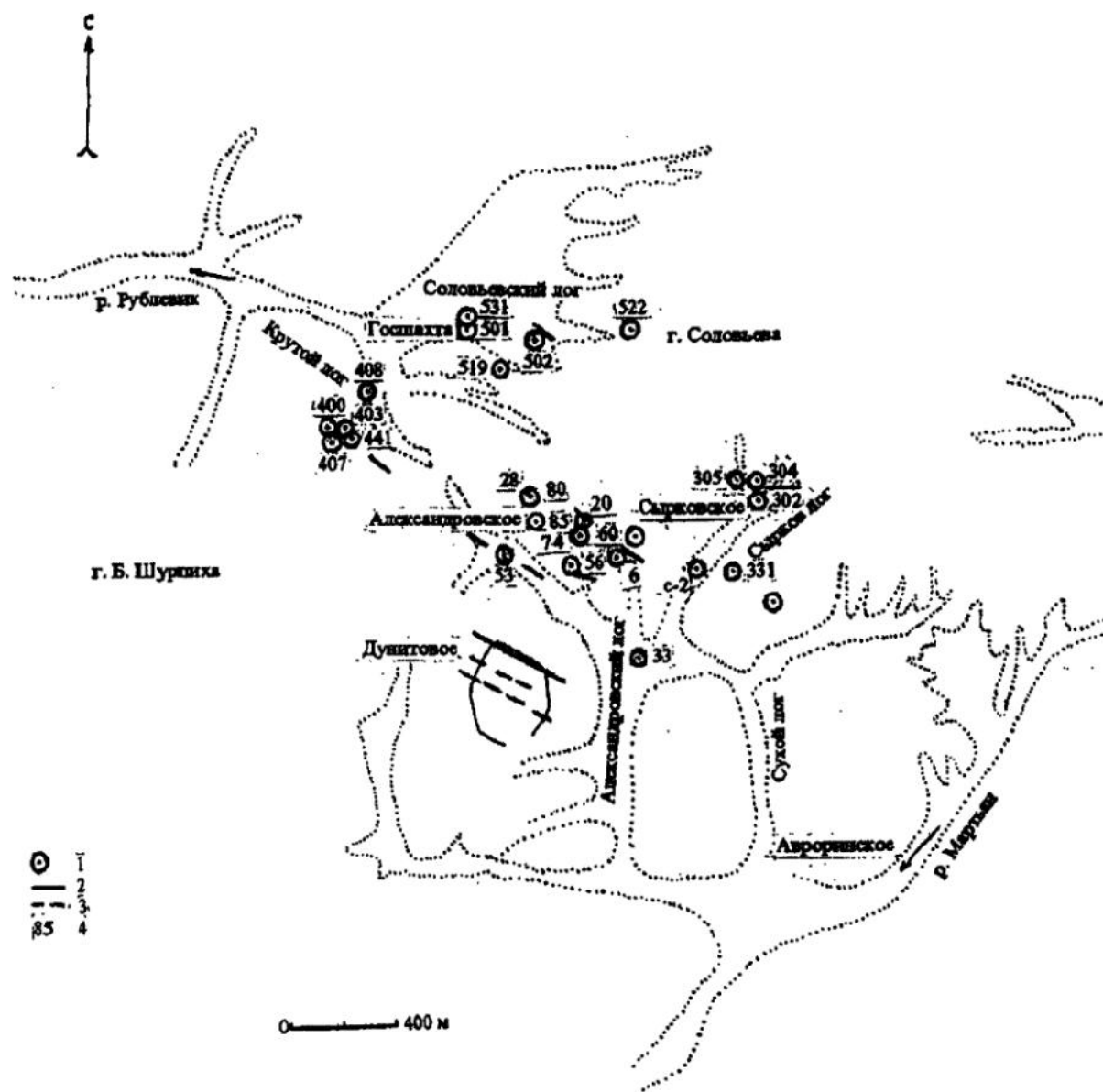


Рис. 1 Схема размещения коренных месторождений и рудопроявлений платины на г. Соловьевой.

1 – штоко-трубообразные тела брекчиевидных и петельчато-пятнистых хромит-платиновых руд (хромитовый субтип оруденения); 2,3 – линейные непрерывные и прерывистые зоны вкрапленно-мелкопрожилковых хромит-платиновых руд (дунитовый субтип оруденения); 4 – номера месторождений и рудопроявлений по данным “Уралплатины”

ровское – западная часть, Дунитовое и др.) характерен более поздний дунитовый субтип платиновых руд, слагающий маломощные прерывистые (пунктирные) и непрерывные протяженные зоны каемчатых жил северо-западного простирания с крутым падением на ЮЗ и СВ с четковидным, линзообразно-прожилковым и струйчато-полосчатым строением (рис.3). Сравни-

тельная характеристика особенностей двух выделенных субтипов платиновых руд дана на основе детального структурно-морфологического и минералого-геохимического изучения наиболее крупных и типичных представителей – месторождений Госшахта и Дунитовое, с привлечением материалов по другим объектам г. Соловьевой.

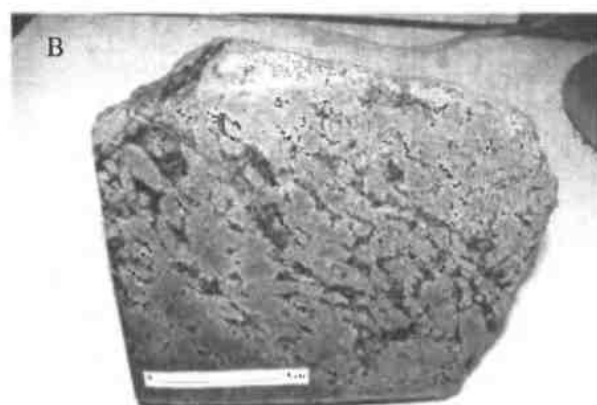
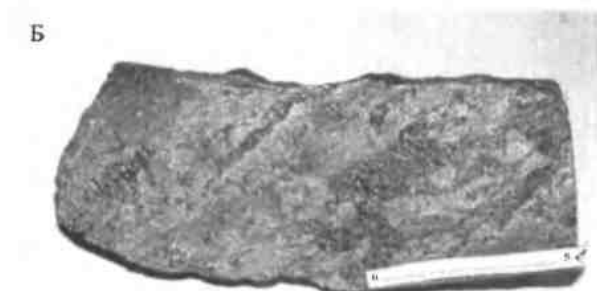
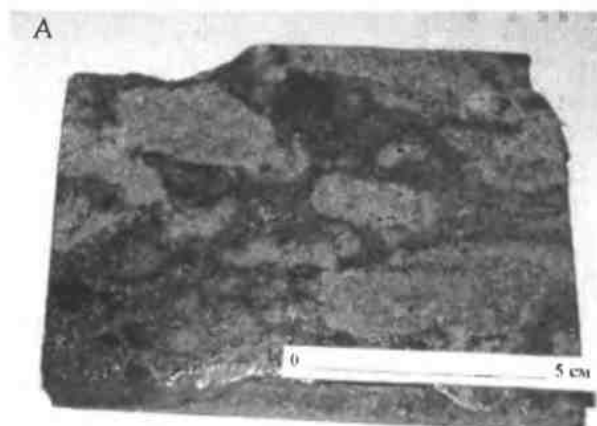


Рис. 2 Характерные текстуры хромит-платиновых руд хромитового субтипа.

А. Брекчиевидная текстура руд, цемент оливин-лизардитовый. Крутой Лог (разрез № 400). Обр. 51В.

Б. Брекчиевидная текстура руд, цемент хлорит-оливин-лизардитовый. Александровский Лог (разрез № 80). Обр. 76В.

В. Пятнисто-петельчатая текстура руд, цемент оливин-хлорит-лизардитовый. Сырковский Лог (С-2). Обр. 53В.

Рис.3 Характерные текстуры хромит-платиновых руд дунитового субтипа.

А- В Тип маломощных коротких каемчатых жил, формирующих прожилковые зоны. Катаклаз и брекчированность отдельных жилок (жилковых зон) подчеркивается многочисленными различно ориентированными карбонатными прожилками, секущими не только руду, серпентиновые каймы, но и рудовмещающие дуниты. Цемент руд и каймы сложены лизардитом с незначительной примесью хлорита. Месторождение Дунитовое Обр. 66В-67В.

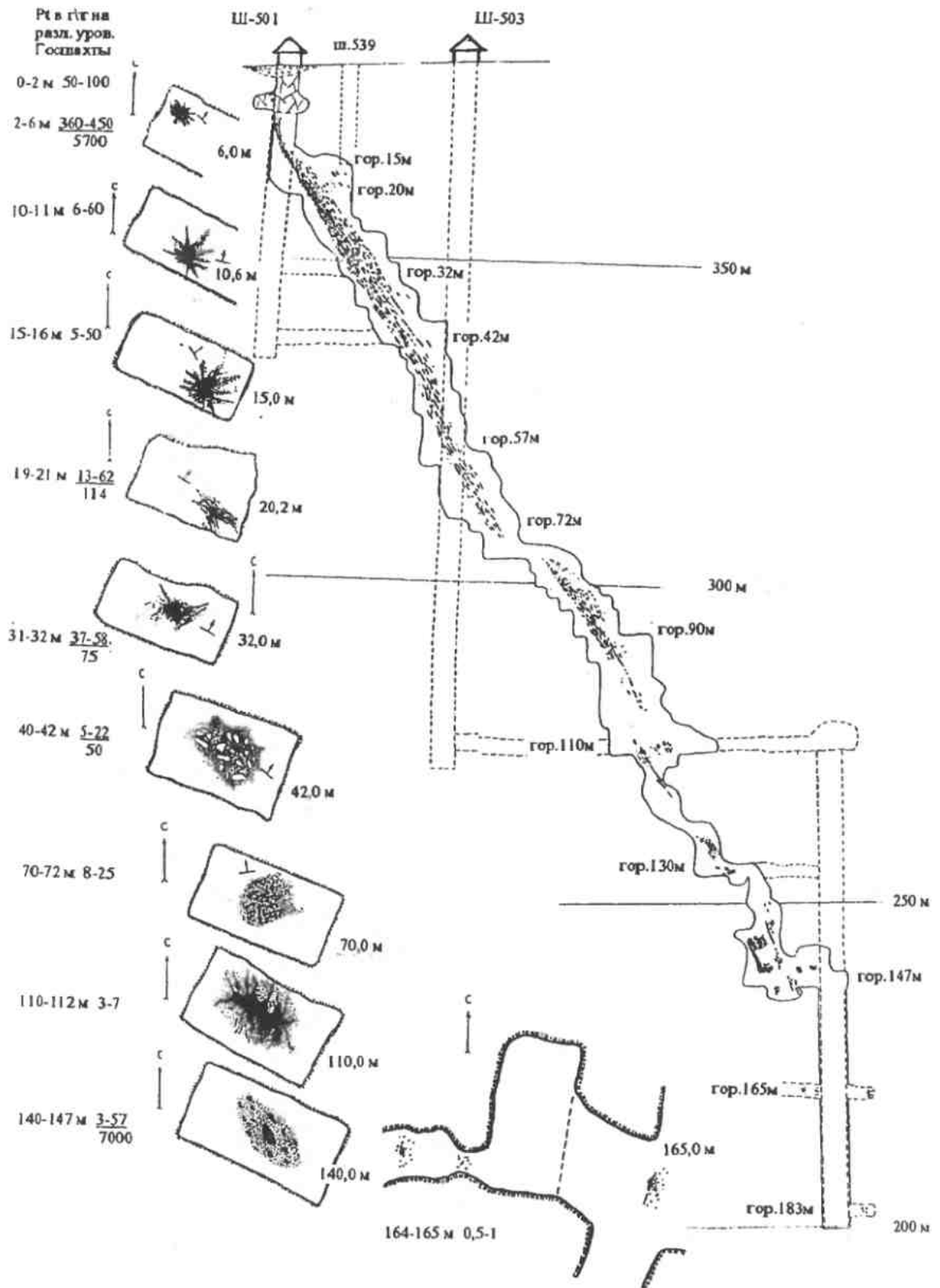


Рис. 4 Продольный и поперечные разрезы месторождения Госшахта.

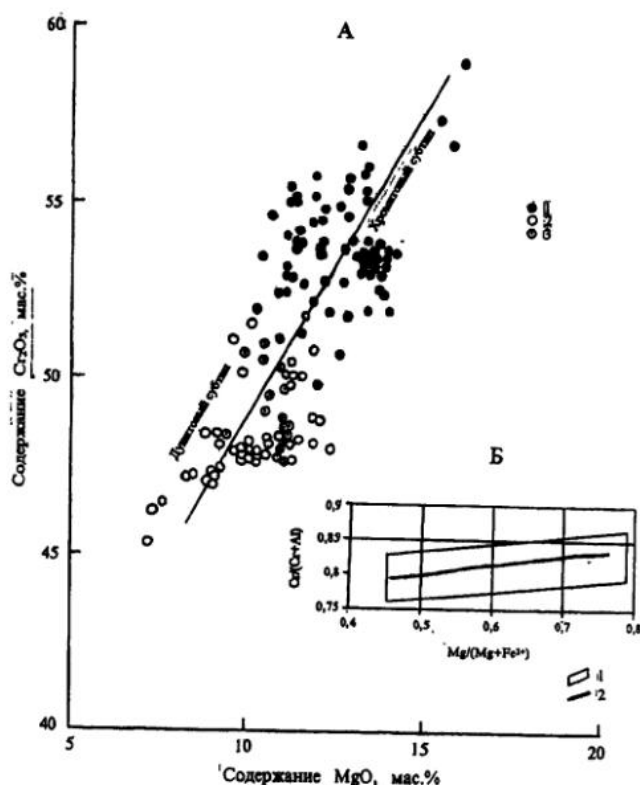
Проекция на вертикальную плоскость по линии падения рудного тела (аз. $132^{\circ}40'$). Масштаб 1:700. Ориентированные поперечные разрезы для 10 сечений Госшахты. Масштаб 1:140. Составлено по первичным геологическим материалам треста "Уралплатина".

Месторождение Госшахта (рис.4) открыто старателями в 1909 году и отрабатывалось в течение более 30 лет до глубины 183 метра. Платиновые руды отличались исключительным богатством при крайне неравномерном распределении платины - от 10-50 до 450 г/т и даже до 5-10 кг/т. По ориентировочной оценке количество добытой на месторождении платины в целом составляет около 400 кг. Вскрытое тремя шахтами и многочисленными подземными горными выработками трубообразное рудное тело имеет диаметр от 3 до 5-7 метров, восточное-юго-восточное склонение под углами 60-70°. Сложное внутреннее строение рудного тела определяется системой субпараллельных и переплетающихся жилок, линз и струеобразных-веретенообразных обособлений хромшпинелида с многочисленными ответвлениями-апофизами, расходящимися во все стороны и создающими общую картину дунит-хромитовых брекчий. Выдержанный текстурный рисунок руд прослеживается по падению рудного тела с глубины 9 метров до глубины 47 м (смешанно-петельчатые, пятнистые массивные, брекчиевидные текстуры). Хромшпинелид гнезд, петель и прожилков средне- и крупнозернистый, катак-

лазированный. По составу отвечает высокохромистым ($Cr/Cr+Al=0,80-0,85$) предельно магнезиальным ($Mg/Mg+Fe^{2+}=0,67-0,77$) разностям (рис.5). Силикатный цемент руд сложен оливинами, хлоритами, серпентинами, слюдами, а также карбонатами. Железистость оливина изменяется в значительных пределах - от 3,7 до 7,2 мол.%. Микровключения оливина в хромшпинелиде фиксируют более низкую железистость - 2,5-3,5 мол.%. Среднее содержание CaO в оливине - 0,2 мас.%, более низкое, чем в оливине негативных геохимических аномалий, составляющее 0,25 мас.%. Платина в рудах месторождения Госшахта присутствует в виде вкрапленности рассеянных зерен сложной формы, гнездообразных скоплений и прожилков мощностью до 1 мм и длиной до 3-5 см. Обособления платины чаще всего цементируют рудообразующий хромшпинелид, реже включены в силикатный цемент руд. Как правило, они имеют ксеноморфную угловатую, крючковатую и причудливо ветвистую форму. В катаклазированных и хлоритизированных зернах хромшпинелида постдеформационные прожилки и выделения платины секут не только трещины катаклаза, но и прожилки цементирующего их

Рис. 5 Эволюция состава рудообразующих хромшпинелидов платиновых месторождений г. Соловьевой.

На основе 133 анализов, выполненных методами РСМА в лаборатории ИГТ УрО РАН (аналитики В.Г. Гмыра, Л.К. Воронина). А: 1 - хромшпинелиды месторождений хромитового субтипа (Госшахта, Крутой Лог, Александровское, Сырковское). 2 - хромшпинелиды месторождений дунитового субтипа (Дунитовое, Александровское-западная часть). 3 - хромшпинелиды месторождения Дунитовое по данным Пушкарева, Аникиной, 2001. Б: Соотношение хромистости и магнезиальности в рудообразующих хромшпинелидах платиновых месторождений г. Соловьевой. 1 - общие границы поля составов хромшпинелидов платиновых руд 5 месторождений г. Соловьевой. 2 - кривая эволюции состава рудообразующих хромшпинелидов, построенная на основе 133 анализов методом скользящего окна с двойным сглаживанием.



хлорита. Гранулометрический анализ 100 зерен, извлеченных из образцов хромит-платиновых руд, показал, что 60% из них имеют крупность 400-1000 мкм и более, 20% – от 100 до 400 мкм и лишь у 20% зерен крупность менее 100 мкм. Таким образом, для руд этого месторождения наиболее характерна крупная ксеноморфная платина при наличии и самородковых выделений размером от 1 до 5 мм. По соотношению основных компонентов и оптическим свойствам платина относится к двум минеральным видам - изоферроплатине, абсолютно преобладающей, и резко подчиненной тетраферроплатине (рис.6). Для обоих минералов характерны повышенные содержания иридия (3,10 и 3,80 мас.% соответственно). Иридная тетраферроплатина образует самостоятельные зерна и нарастает в виде тонких кайм на иридную изоферроплатину. В парагенезисе с этими минералами присутствует осмирид, иридоосмин и лаурит в виде игольчатых и пластинчатых кристаллов, находящихся в краевых частях их зерен. Для изоферроплатины и тетраферроплатины месторождения Госшахта характерно относительно равномерное распределение всех минералообразующих компонентов, включая иридий, медь и никель. Суммарное содержание в платине остальных платиновых металлов изменяется от 3 до 5 мас.% и выше. Типохимизм наиболее распространенного минерала месторождения, изоферроплатины, заключается в устойчиво повышенном содержании иридия и родия при очень низких примесных количествах цветных металлов – меди (0,56 мас.%) и, особенно, никеля (0,24 мас.%). Полученные данные по составу главных минералов платиновых руд месторождения Госшахта свидетельствуют о том, что в процессе рудоотложения происходит существенное уменьшение Pt/Ir отношения и отношения платины к сумме благородных примесей (железа, меди, никеля), что реализуется в появлении на самой поздней стадии минералообразования туламинита, почти не содержащего иридия (рис.6).

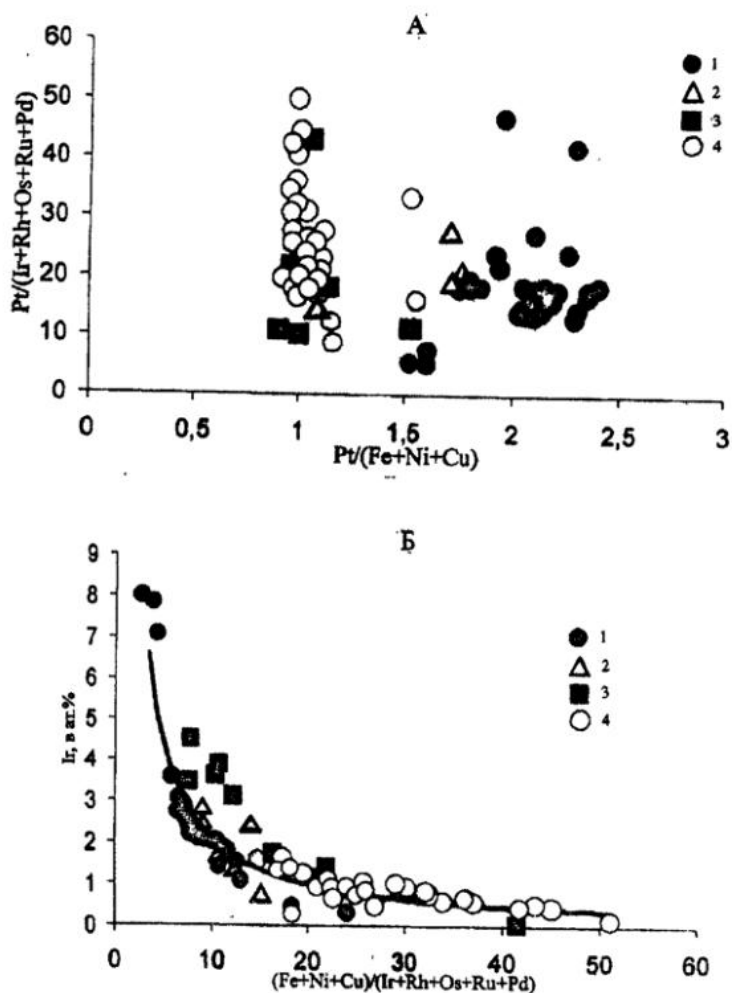
Месторождение Дунитовое выявлено нами в 1997 году в прифронтальной части крупной негативной геохимической аномалии по платине, находящейся в северной (северо-восточной) части нового Соловьевогорского дунитового карьера (рис.1). Линейная платиноворудная зона мощностью 1-1,5 метра прослежена на расстоянии около 300 м. Имеет СЗ простирание (300-330°) и крутое, до субвертикального, па-

дение под углами 60-80° к ЮЗ и СВ. С обеих сторон она ограничена низкотемпературными левыми сдвигами, по всей видимости сингенетическими платиновой минерализации [Иванов и др., 2002]. По падению прослежена до глубины 30-40 м. Установленное содержание платины в рудах зоны от 1 до 5, максимально до 50 г/т. Имеет сложное внутреннее строение, определяемое чередованием линзовидных, изометричных и ветвистых раздувов мощностью до 2-2,5 м и пережимов-проводников до 0,1 м, создающих картину четковидных бус, повторяющихся по падению зоны. Насыщена хромитоносными разнотекстурными и пегматоидными дунитами и сближенными маломощными короткими прожилками хромшпинелида, отстоящими друг от друга на расстоянии 5-10-20 см (рис.3). Для руд характерны линзовидные, прожилково-пятнистые и полосчатые текстуры. Каемчатые жилки и пятнисто-полосчатые обособления хромшпинелида, так же, как и вмещающие их хромитоносные пегматоидные дуниты, всегда несут следы хрупких деформаций и пересекаются многочисленными тонкими (0,1-1 мм) карбонатными, серпентин-брусит-карбонатными прожилками, подчеркивающими катаклаз и будинированность платиноворудной зоны (рис.3). Хромшпинелид руд мелко-среднезернистый, сильно катклазированный. На диаграммах "хромистость-магнезиальность" (рис.5) рудообразующие хромшпинелиды месторождения Дунитовое формируют отдельное поле умеренно хромистых и значительно менее магнезиальных составов с параметрами $Cr/Cr+Al=0,78-0,83$ и $Mg/Mg+Fe^{2+}=0,50-0,60$, закономерно продолжающее серию платиносодержащих рудообразующих хромшпинелидов месторождения Госшахта. В рудообразующих хромшпинелидах месторождения Дунитовое присутствуют очень мелкие (от 5-10 до 100 мкм и более) мономинеральные и полиминеральные включения, представленные оливином, хлоритом, флогопитом, диопсидом, серпентином и другими минералами. Силикатный цемент руд сложен серпентином, карбонатом, хлоритами, слюдами. Свежий оливин в цементе и каймах руд отсутствует. Оливин микровключений в рудообразующем хромшпинелиде имеет железистость 4-4,4 мол.%. Установлено закономерное повышение железистости оливина от пегматоидных рудовмещающих дунитов (6,5-7,7 мол.%) к оливину негативных геохимических ореолов (6-8 мол.%) и ординарных фоновых дунитов (8-9,5 мол.%).

Рис.6. Эволюция состава минералов платины при формировании хромит-платиновых руд месторождений уральского типа.

Составлена на основе 83 анализов платиновых фаз методами РСМА в лаборатории ИГГ УрО РАН (аналитики В.Г. Гмыря, Л.К. Воронина). А – дискретность составов минералов платины хромитового и дунитового субтипов руд. Б – закономерное уменьшение иридиевости и увеличение неблагородности минералов платины в процессе формирования хромит-платиновых руд месторождений уральского типа. 1 – изоферроплатина иридиастая, 2 – изоферроплатина малоиридиастая, 3 – тетраферроплатина иридиастая, туламинит, ферроникельплатина, 4 – тетраферроплатина малоиридиастая.

Платина в рудах присутствует в виде мелких и тонких рассеянных зерен, редко их гнездообразных скоплений размером 2х4 мм. Гранулометрический анализ платины на основе изучения 400 зерен показал, что 83% из них относятся к классу менее 400 мкм, причем две трети из них имеют крупность менее 100 мкм. Таким образом, для руд месторождения Дунитовое наиболее характерна тонкая и мелкая, часто идиоморфная, платина. Кристаллические зерна ее заключены в катаклазированных хромшпинелидах, где находятся возле хлорит-серпентиновых обособлений и в тонких трещинках катаклаза, часто пересекая и цементируя их без каких-либо следов последующих деформаций. По составу и оптическим свойствам большинство зерен отвечает тетраферроплатине с низкими (0,5- 2 мас.%) содержаниями иридия, высокими содержаниями (4,6 мас.%) меди и никеля (2,3 мас.%). В тетраферроплатине присутствуют идиоморфные кристаллические вроски иридосмина, осмия самородного и лаурита осмиевого. В рудах встречаются единичные мелкие зерна малоиридной изоферроплатины и кристаллические сростки зонального строения, центральная



часть которых сложена малоиридной изоферроплатиной, а периферия - тетраферроплатиной. В кристаллических зернах платины установлено равномерное распределение всех основных компонентов, включая, медь и никель. Однако концентрации последних резко изменяются от зерна к зерну даже в пределах одного образца руды. Полученные данные по составу главных платиновых минералов месторождения Дунитовое свидетельствуют о наличии четко выраженного иридиевого тренда, фиксирующего собой резкое понижение содержаний тугоплавких платиноидов и возрастание содержаний железа и цветных металлов к заключительным стадиям процесса минералообразования (рис.6) Необходимо подчеркнуть в целом более широкие вариации содержаний меди, никеля и железа в минералах платины месторождения Дунитовое, что свидетельствует о большей неоднородности процессов минералообразования в рудах дунитового субтипа по сравнению с ру-

дами хромитового субтипа. Особенности формирования хромитового субтипа платиновых руд определялись не только иным, маловодным, составом рудообразующего флюида и более высокими температурами (высокое и предельное насыщение иридием железо-платиновых твердых растворов, широкое присутствие свежего оливина в цементе хромит-платиновых руд), но и высокими скоростными характеристиками процесса разгрузки в ограниченных объемах, что зафиксировалось в широком развитии трубчатых рудных тел с брекчиевидными текстурами.

Для хромит-платиновых руд обоих рассмотренных субтипов характерно наличие разнообразных включений флюидосодержащих минералов как в хромшпинелидах, так и в сростках с платиной (хлориты, слюды, амфиболы, гранаты, апатиты и др.) [Пушкарев, Аникина, 2001; Золоев и др., 2001]. Это является доказательством широкого участия летучих компонентов в процессах концентрации платиновых металлов при формировании руд. Как было показано ранее, ферроплатиновые руды уральского типа являются эпигенетическими постдеформационными флюидно-метаморфогенными образованиями, и обязаны своим происхождением процессам формирования парных негативных и позитивных аномалий. Возникновение этих аномалий происходило под определяющим влиянием мантийно-коровых флюидов, потоки которых поднимались от зоны субдукции в результате дегидратации и дегазации субдуцируемых масс собственно Платиноносного пояса. По всей видимости, именно эти флюиды обусловили отмечаемые миграцию и перераспределение (вплоть до образования месторождений) элементов платиновой группы.

Список литературы

Бетхер О.В., Волченко Ю.А. Петроструктуры оливина в дунитах Нижне-Тагильского и Инаглинского массивов // Магматизм и геодинамика Сибири: Тез. докл. науч. конф. Томск: Изд. Томского у-та, 1996. С. 48-49.

Волченко Ю.А. Платиновое оруденение Нижнетагильского массива. Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1999. 26 с.

Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. и др. Новые платиноворудные зоны горы Соловьевой (Нижнетагильский массив) – строение, состав, происхождение. Ежегодник-1999 ИГГ УрО РАН, Екатеринбург, 2000. С. 176-183.

Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: Департамент природных ресурсов Уральского региона, 2001. С. 200.

Иванов К.С., Винничук Н.Н., Волченко Ю.А. и др. Природа Платиноносного пояса Урала: новые геолого-геофизические данные // Тектоника и геофизика литосферы. Т.1. Москва: изд-во Межведомственного тектонического комитета, 2002. С. 213-216.

Пушкарев Е.В., Аникина Е.В. Первые данные о зональности эпигенетических хромит-платиноидных рудных тел в дунитах Нижнетагильского массива. Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 174-179.

Савельев А.А., Савельева Г.Н., Перцев А.Н. и др. Тектонические условия расслоения дунит-пироксенитовых тел Платиноносного пояса Урала (Нижнетагильского массива) // Геотектоника. № 6. 2001. С. 20-31.

Шмелев В.Р., Десятова С.С. Закономерности преимущественной ориентации оливина в дунитах Нижнетагильского платиноносного массива. Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 156-160.