

Распределение содержаний платины в хромитовом и дунитовом типах руд Нижнетагильского массива (Средний Урал)

Геннадий Петрович ДВОРНИК*

Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы обусловлена важным промышленным значением коренных и россыпных платиновых месторождений в базит-гипербазитовых комплексах.

Цель работы заключается в изучении особенностей распределения концентраций платины в основных типах руд (хромитовом и дунитовом) Нижнетагильского массива.

Методика исследований включала выделение промышленных типов руд для оценки качества платинового оруденения, использование вероятностно-статистической, геометро-статистической и геостатистической моделей для характеристики амплитудной и частотной изменчивости в распределении содержаний платины в рудах Нижнетагильского массива.

Результаты исследований. В хромитовых рудах Нижнетагильского массива содержания платины варьируют в широких пределах при преобладании среди них богатых и рядовых руд и крайне неравномерном распределении концентраций платины и других элементов платиновой группы (палладия, родия, иридия, осмия, рутения) в рудах. В отличие от руд хромитового типа, в распределении содержаний платины в дунитовых рудах массива в пределах разведанного Александровского участка среди промышленных типов руд преобладают более низкие по качеству бедные и убогие руды, при амплитудной изменчивости концентраций платины в рудах по данным их рядового опробования в шурфах – от неравномерной до крайне неравномерной, а при валовом опробовании более глубоких выработок (полушахт и шахт) – от равномерной до весьма неравномерной. Наибольшей частотной изменчивостью в распределении концентраций платины в рудах дунитового типа выделяются руды, распространенные в северной части Александровского участка, отличающиеся и более низким качеством. Современный уровень развития технологий обогащения платиносодержащих хромитовых и дунитовых типов руд позволяет рассматривать их в качестве перспективных для совместной переработки.

Ключевые слова: Нижнетагильский массив, дуниты, хромитовый и дунитовый типы руд, содержания платины, распределение.

Введение

Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив на Среднем Урале с известными коренными и россыпными месторождениями платины уже более 100 лет привлекает внимание исследователей [1–4]. Этот массив и другие аналогичные по составу массивы Уральского платиноносного пояса (Денежкин камень, Кытлымский, Каменушинский, Вересовоборский, Светлоборский и др.) являются коренными источниками четырех узлов россыпной платиноносности (Южно-Заозерского, Кытлымского, Исковского и Нижнетагильского), в пределах которых было добыто более 517 т шлиховой платины [5]. В последние три десятилетия были открыты коренные и россыпные платиновые месторождения в других концентрически-зональных базит-гипербазитовых комплексах Корьяско-Камчатского региона в России [6, 7], Британской Колумбии в Канаде [8, 9], Юго-Восточной Аляске в США [10, 11]. А в пределах Уральского платиноносного пояса была проведена переоценка минерально-сырьевого потенциала слагающих его дунит-клинопироксенитовых массивов [5, 12–15].

Контакты Нижнетагильского массива, занимающего площадь около 48 км² с вмещающими метаморфизованными ордовикскими и силурийскими породами основного состава на западе, севере и юге, тектонические. На востоке он отделен узкой полосой аподолеритовых амфиболитов и пироксен-амфиболовых роговиков (кытлымитов) от существенно габбрового Тагило-Баранчинского массива. Центральная часть Нижнетагильского массива площадью около 28 км² сложена дунитами, окруженными каймой верлитов и оливиновых клинопироксенитов шириной от 60 до 200 м (рис. 1). Тонкозернистые дуниты массива (протодуниты) после их кристаллизации испытали постмагматическую перекристаллизацию и перераспределение вещества при воздействии на них остаточных флюидов [16]. В результате этого процесса в пределах массива сформировались перекристаллизованные мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые дуниты и дунит-пегматиты с последующей кристаллизацией при температуре 800–500 С° эпигенетических платино-хромитов.

*gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

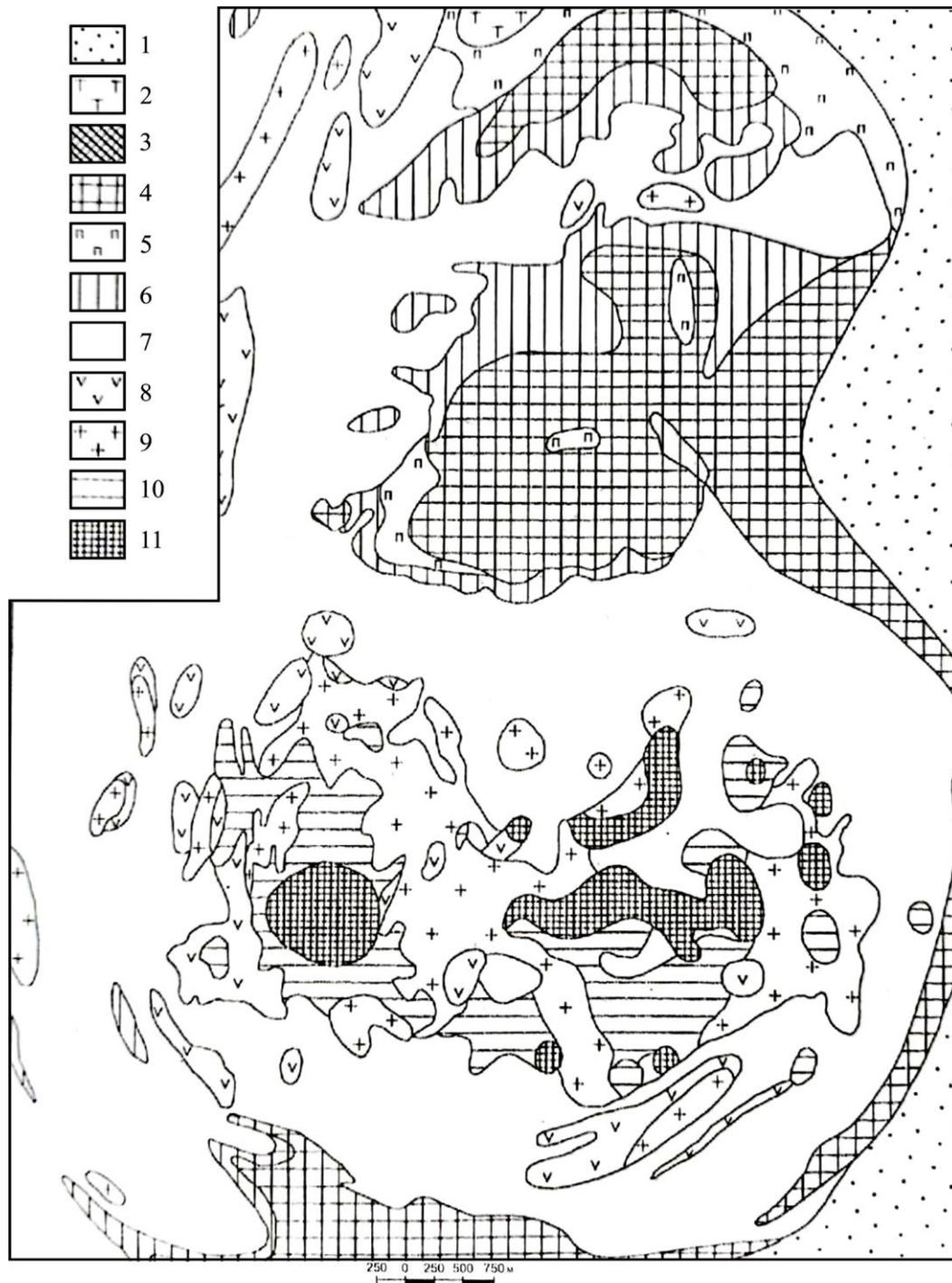


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Нижнетагильского массива [12]: 1 – пироксен-амфиболовые роговики; 2 – тылаиты; 3 – клинопироксениты милонитизированные; 4 – клинопироксениты мелкозернистые; 5 – клинопироксениты среднезернистые; 6 – верлиты серпентинизированные; 7–11 – дуниты: 7 – разнозернистые; 8 – тонкозернистые; 9 – мелкозернистые; 10 – среднезернистые; 11 – крупнозернистые

Figure 1. Schematic geological map Nizhny Tagil massif [12]: 1 – pyroxene-amfibole hornfels; 2 – tilaite; 3 – clinopyroxenites milonites; 4 – clinopyroxenites finely granular; 5 – clinopyroxenites middle granular; 6 – verlite serpentinitous; 7–11 – dunites: 7 – differently granular; 8 – thinly granular; 9 – finely granular; 10 – middle granular; 11 – large granular

товых руд. Перекристаллизованные дуниты отличаются от протодунитов более крупными размерами зерен оливина и хромшпинелида. По данным О. К. Иванова [16], проводившего картирование дунитов Нижнетагильского массива, мелкозернистые дуниты имеют размер зерен хромшпинелида 0,2–0,5 мм, среднезернистые дуниты – 0,2–2,0 мм, крупнозернистые дуниты – 2–5 мм. На площади массива тонкозернистые дуниты образуют несколько

небольших участков в его центральной и северо-западной частях. Мелкозернистые дуниты широко распространены как в центральной части, так и по периферии дунитового ядра. Среднезернистые и крупнозернистые дуниты пространственно тяготеют к центральной и южной частям массива (рис. 1). Все разновидности дунитов массива в различной степени серпентинизированы (табл. 1) вплоть до образования серпентинитов. Платиновое оруденение

Таблица 1. Средний химический состав пород Нижнетагильского массива [16] (с дополнениями автора), мас. %
Table 1. Average chemical composition rocks of the Nizhny Tagil massif [16] (with some additions of the author), wt. %

Компоненты	Породы Нижнетагильского массива							
	1 (19)	2 (17)	3 (8)	4 (8)	5 (2)	6 (2)	7 (2)	8 (5)
SiO ₂	36,21	35,68	35,21	36,12	35,47	45,63	49,35	44,26
TiO ₂	0,02	0,02	0,01	< 0,01	0,02	0,11	0,17	0,54
Al ₂ O ₃	0,27	0,42	0,21	0,23	0,28	0,72	1,43	3,56
Cr ₂ O ₃	0,43	0,51	0,38	0,75	0,54	0,26	0,15	0,18
Fe ₂ O ₃	4,13	3,51	3,48	3,46	3,35	4,26	1,98	5,26
FeO	2,25	4,65	3,98	3,83	4,19	2,97	4,30	8,73
MnO	0,14	0,15	0,13	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11
MgO	42,90	42,82	43,43	44,06	43,94	28,32	21,38	18,87
CaO	0,37	0,35	0,30	0,30	0,37	11,78	17,86	17,49
Na ₂ O	0,07	0,08	0,10	0,07	0,10	0,16	0,19	0,30
K ₂ O	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,11
H ₂ O	10,93	11,28	13,17	11,09	11,91	6,49	2,39	0,95
CO ₂	0,47	0,58	0,63	0,51	0,52	0,19	0,55	0,69
Сумма	98,23	100,09	101,09	100,58	100,86	101,06	99,91	101,05

Примечание: 1 – серпентинизированные тонкозернистые протодуниты; 2–4 – серпентинизированные перекристаллизованные дуниты (2 – мелкозернистые, 3 – среднезернистые, 4 – крупнозернистые); 5 – дунит-пегматиты; 6 – серпентинизированные верлиты; 7 – оливковые клинопироксениты; 8 – магнетитовые клинопироксениты. В скобках приведено количество анализов.

Нижнетагильского массива представлено двумя основными типами руд (хромитовым и дунитовым), резко различающимися по содержанию в них платины.

Методика исследований. Фактическим материалом для изучения особенностей распределения концентраций платины в хромитовых и дунитовых рудах Нижнетагильского массива являются представительные данные штуфного, бороздового, кернового и валового опробования руд при проведении разведочных, эксплуатационных и научно-исследовательских работ, приведенных в опубликованной литературе [5, 12, 13, 17]. Оценка вариации качества платинового оруденения Нижнетагильского массива включала выделение по содержанию платины промышленных типов руд: богатых (более 2,5 г/т), рядовых (0,5–2,5 г/т), бедных (0,1–0,5 г/т) и убогих (менее 0,1 г/т) [18]. Для исследования амплитудной изменчивости концентраций платины в хромитовом и дунитовом типах руд массива использовалась вероятностно-статистическая модель, основной характеристикой которой является коэффициент вариации оценочного параметра [19]. Оценка частотной изменчивости в распределении содержаний платины в рудах проводилась в результате сглаживания по геометро-статистической модели исходных данных опробования разведочных шурфов по программе «Аппроксимация» с помощью пятичленного интерполяционного полинома [20]. При преобладании в распределении концентраций платины в рудах случайной составляющей изменчивости над ее закономерной составляющей использовалась геостатистическая модель, в соответствии с которой строились графики изменения автокорреляционной функции по профилям разведочных шурфов и определялись значения радиусов автокорреляции [21].

Распределение содержаний платины в хромитовом и дунитовом типах руд. В дунитах Нижнетагильского массива в период с 1892 по 1950 г. было установлено 1800 мелких месторождений платино-хромитовых руд, представленных рудными телами сложной формы в виде гнезд, линз, прожилков, жил. Текстура руд хромитового типа брекчиевидная, пятнисто-петельчатая. По содержанию хромшпинелидов в рудах от 10 до 100 % она варьирует от бедновкрапленной до массивной текстуры. По данным проведенных исследований [5], содержание платины в акцессорных хромшпинелидах дунитов составляло 2–3 г/т, в прожилково-вкрапленных хромитовых рудах – 3,3–5,2 г/т, в гнездово-прожилково-вкрапленных рудах – 4,7–6,6 г/т, в густовкрапленных рудах – 1,6 г/т, в массивных хромитовых рудах – 3–3,6 г/т. В количественном отношении тела хромитовых руд занимали в среднем около 10 % от площади дунитов [10].

Разработка платино-хромитовых руд в дунитах Нижнетагильского массива проводилась: 1) шурфами глубиной до 7 м; 2) небольшими карьерами глубиной до 13 м; 3) полушахтами глубиной до 20 м; 4) шахтами глубиной свыше 20 м. На наиболее крупном по размерам месторождении Госшахта в дунитах г. Соловьевой (рис. 2), отработывавшемся с 1909 г. в течение более 40 лет до глубины 183 м, было добыто около 400 кг платины из крутопадающего трубообразного рудного тела, имевшего на разных горизонтах диаметр от 1,6 до 7 м. В приповерхностных частях месторождения были установлены наиболее высокие средние концентрации платины в хромитовых рудах – от 419 г/т до глубины 7 м, до 167 г/т до глубины 15 м. На более глубоких горизонтах в интервале от 20 до 105 м среднее содержание платины в рудах составляло от 50 до 5 г/т с прогрессирующим снижением концентраций

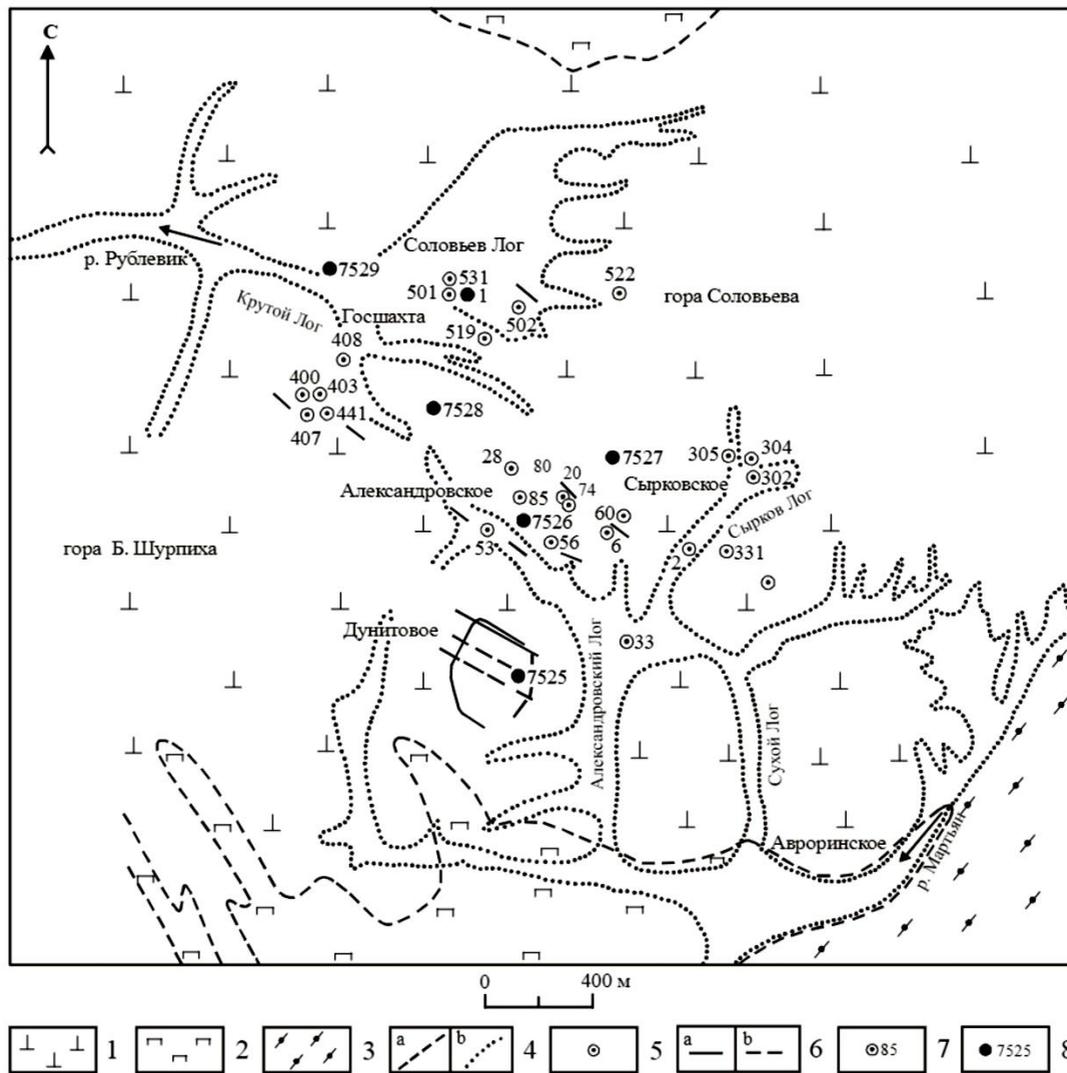


Рисунок 2. Схема размещения коренных платинометалльных месторождений и рудопоявлений в дунитах горы Соловьевой Нижнетагильского массива [17]: 1 – дуниты; 2 – клинопироксениты; 3 – пироксен-амфиболовые роговики; 4 – границы: а – геологических комплексов, б – платиноносных логов; 5 – штоко-трубообразные тела хромит-платиновых руд; 6 – линейные непрерывные (а) и прерывистые (б) зоны хромит-платиновых руд; 7 – номера платинометалльных месторождений и рудопоявлений (№ 501 – Государственная шахта); 8 – местонахождение и номера глубоких скважин структурного бурения

Figure 2. Scheme placing native platinum metal deposits and ore developments in dunites of mountain Solov'eva Nizhniy Tagil massif [17]: 1 – dunites; 2 – clinopyroxenites; 3 – pyroxene-amfibole hornfels; 4 – boundary: a – geological complex; b – platinum bearing ravines; 5 – stock and pipe figurative bodies chromic iron – platinum ores; 6 – linear continuous (a) and broken (b) zones chromic iron – platinum ores; 7 – numbers platinum metal deposits and ore developments (no. 501 – State mine); 8 – location and numbers deep bore of structural drilling

платины в рудах до глубины отработки до 1–0,5 г/т [5]. На других разрабатывавшихся участках Нижнетагильского массива (Сыркова, Александровского, Соловьева, Пупкова, Белогорского и др.) среднее содержание платины в хромитовых рудных телах составляло по участкам от 9,3 до 2,1 г/т. Наибольшее количество (373) мелких платино-хромитовых рудных тел было отработано в пределах Александровского участка. Среди них в 52 % тел среднее содержание платины составляло менее 2 г/т, в 37 % залежей – 2–5 г/т, в 10 % тел – 5–10 г/т, и в 1 % залежей – свыше 100 г/т при средней концентрации платины в рудах участка 3,5 г/т [5]. Для руд хромитового типа характерно преобладание крупной по размерам платины и наличие мелких самородков от 1 до 10 мм и более. Это подтверждает гранулометрический анализ 100 зерен «сырой» платины, извлеченной из руд месторождения Государственная шах-

та (классы, мм: 0,4–1 и более – 60 %; 0,1–0,4 – 20 %; менее 0,1 – 20 %) [17]. По данным этих авторов, в составе платиноидов, выделенных из хромитовых руд, резко преобладает изоферроплатина при меньшей встречаемости тетраферроплатины.

Платиновое оруденение дунитового типа, получившее более широкое площадное распространение, было установлено на многих участках Нижнетагильского массива (Александровский, Крутой, Пупков, Сырков, Каменный и др.) Наиболее детально дунитовый тип руд был изучен в пределах Александровского участка (рис. 2) при проведении разведочных работ на площади около 0,5 км² с проходкой шурфов по сети 20 × 20 м и их опробованием [22].

При картировании дунитов участка в масштабе 1 : 2000 было установлено его неоднородное строение. В пре-

делах участка помимо зон тонкозернистых квазидунитов были выделены зоны мелкозернистых дунитов с редкими хромитовыми жилками, а также зоны среднезернистых и крупнозернистых дунитов с мелкими жилами, прожилками, микроширами и вкрапленностью хромшпинелидов [13].

В составе платиноидов, выделенных из руд дунитового типа на Александровском участке, преобладают изоферроплатина и вторичная купроферроплатина с резко подчиненным количеством (доли %) иридистой платины и осмистого иридия. Проведенный ситовой анализ платины из этих руд (классы, мм: более 1 мм – 3–34 %; 0,5–1 мм – 16–42 %; менее 0,5 мм – 38–79 %) указывает на преобладание в рудах дунитового типа более мелких по размеру фракций платины по сравнению с платиной, выделенной из руд хромитового типа [4].

Тонкозернистые дуниты Нижнетагильского массива по данным пробирно-спектрального анализа их проб характеризуются наименьшим средним содержанием в них платины и неравномерным распределением ее концентраций по значению коэффициента вариации (табл. 2). Среднее содержание платины в перекристаллизованных дунитах в сравнении с протодунитами возрастает до 3,5 раза в крупнозернистых дунитах при неравномерном и весьма неравномерном распределении ее концентраций.

В хромитовых рудах массива содержания платины составляют от сотых долей г/т до десятков г/т при количестве среди них богатых руд – 30–50 %, рядовых руд – 28–41 %, а распределение в рудах концентраций платины по амплитудной изменчивости крайне неравномерное (табл. 2, 3). Средние содержания золота в протодунитах и перекристаллизованных дунитах низкие и составляют сотые доли г/т при крайне неравномерном и весьма неравномерном их распределении. А в хромитовых рудах массива средняя концентрация золота возрастает до десятых долей г/т. Распределение содержаний других элементов платиновой группы (палладия, родия, иридия, осмия, рутения) в хромитовых рудах по данным их штуфного и кернового опробования [17] в пределах Дунитового участка Нижнетагильского массива (рис. 2) крайне неравномерное при низких средних содержаниях платиноидов 0,03–0,1 г/т (табл. 3).

В распределении содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка (рис. 2), по данным рядового опробования разведочных шурфов [13, 18], по соотношению промышленных типов руд преобладают бедные и убогие руды, количество богатых руд не превышает 5 %, а рядовых руд – 10 % (табл. 4) в отличие от руд более высокого качества хромитового типа. Средняя концентрация

Таблица 2. Распределение содержаний платины и золота в серпентинизированных дунитах и хромитовых рудах Нижнетагильского массива

Table 2. Distribution platinum and gold content in serpentinous dunits and chromic iron ores of the Nizhny Tagil massif

Породы и руды	Компоненты	Количество проб N	Содержание С, г/т			Коэффициент вариации V, %	
			Минимальное	Максимальное	Среднее		
Дуниты тонкозернистые серпентинизированные	Pt	28	0,010	0,08	0,04	51,54	
	Au	22	0,003	0,26	0,03	210,87	
Дуниты перекристаллизованные серпентинизированные	Мелкозернистые	Pt	25	0,020	0,53	0,10	123,18
		Au	33	0,002	0,27	0,06	139,47
	Среднезернистые	Pt	25	0,010	0,17	0,07	72,47
		Au	58	0,001	0,31	0,04	205,98
	Крупнозернистые	Pt	20	0,010	0,38	0,14	87,72
		Au	46	0,001	0,22	0,04	155,86
Хромитовые руды	Pt	32	0,010	43,00	6,96	135,74	
	Au	22	0,003	7,00	0,46	316,96	

Таблица 3. Распределение содержаний платиноидов в хромитовых рудах Дунитового участка Нижнетагильского массива

Table 3. Distribution platinum metals in the chromic iron ores Dunites area of the Nizhny Tagil massif

Компоненты	Количество проб N	Содержание С, г/т			Коэффициент вариации V, %
		Минимальное	Максимальное	Среднее	
Платина	27	0,060	35,00	4,09	203,84
Палладий	27	0,007	1,00	0,07	258,34
Родий	27	0,005	0,90	0,04	384,50
Иридий	27	0,010	1,10	0,09	299,57
Осмий	21	0,006	1,17	0,10	253,09
Рутений	27	0,006	0,30	0,03	192,33

Таблица 4. Изменчивость содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка Нижнетагильского массива
Table 4. Variability platinum contents in the dunitite ores Alexandrovskiy area of the Nizhny Tagil massif

Части участка	Линии шурфов	Длина профиля L, м	Количество проб N	Промышленные типы руд				Среднее содержание С, г/т	Коэффициент вариации V, %	Изменчивость		Радиус автокорреляции R _a , м
				Богатые	Рядовые	Бедные	Убогие			закономерная	случайная	
Северная	1	540	28	–	4,0	46,0	50,0	0,10	104,43	0,32	0,43	30
	2	420	22	–	5,0	54,0	41,0	0,20	128,72	0,12	0,71	47
	3	640	33	–	6,0	39,0	55,0	0,13	148,87	0,24	0,47	104
	4	400	21	–	5,0	48,0	47,0	0,12	141,74	0,14	0,64	84
	5	380	20	–	–	30,0	70,0	0,06	104,08	0,19	0,62	34
	6	380	20	–	–	30,0	70,0	0,06	138,18	0,30	0,39	30
	7	380	20	5,0	–	40,0	55,0	0,23	282,08	0,21	0,58	72
	8	380	20	–	–	25,0	75,0	0,06	81,66	0,25	0,48	78
	9	380	20	–	–	40,0	60,0	0,09	111,54	0,27	0,51	32
	10	660	34	–	–	21,0	79,0	0,06	96,42	0,18	0,63	52
Среднее			238	0,4	2,1	37,0	60,5	0,11	82–282			56
Центральная	11	380	20	–	–	15,0	85,0	0,05	72,94	0,15	0,66	76
	12	420	22	–	–	27,0	73,0	0,06	100,66	0,13	0,74	32
	13	400	21	–	5,0	19,0	76,0	0,07	186,82	0,37	0,31	–
	14	400	21	5,0	10,0	18,0	67,0	0,33	240,53	0,26	0,56	28
	15	560	29	–	7,0	41,0	52,0	0,21	201,22	0,60	0,12	–
	16	680	35	–	3,0	34,0	63,0	0,11	189,57	0,22	0,58	80
	17	500	26	4,0	–	34,0	62,0	0,31	310,67	0,28	0,49	26
	18	620	32	–	3,0	44,0	53,0	0,14	121,73	0,23	0,54	116
	19	500	26	–	–	38,0	62,0	0,09	125,44	0,28	0,47	48
	20	600	31	3,0	7,0	55,0	35,0	0,30	184,20	0,23	0,58	112
	21	620	32	3,0	6,0	44,0	47,0	0,24	243,25	0,24	0,60	44
Среднее			295	1,4	3,7	35,6	59,3	0,18	73–311			62
Южная	22	480	25	–	8,0	44,0	48,0	0,14	148,61	0,29	0,49	28
	23	380	20	–	10,0	50,0	40,0	0,18	116,00	0,31	0,41	28
	24	380	20	–	–	65,0	35,0	0,14	85,05	0,21	0,53	124
	25	500	26	–	–	50,0	50,0	0,11	96,48	0,29	0,50	24
	26	400	21	–	5,0	43,0	52,0	0,14	131,13	0,18	0,67	44
	27	420	22	–	–	59,0	41,0	0,15	96,34	0,19	0,57	52
	28	380	20	5,0	5,0	45,0	45,0	0,27	245,38	0,26	0,57	70
	29	400	21	–	5,0	28,0	67,0	0,10	137,26	0,33	0,44	26
	30	380	20	5,0	5,0	45,0	45,0	0,39	266,88	0,33	0,55	70
	31	380	20	–	–	40,0	60,0	0,06	105,18	0,24	0,51	106
	32	380	20	–	5,0	10,0	85,0	0,09	268,22	0,24	0,56	196
	Среднее			235	0,9	3,8	43,8	51,5	0,16	85–268		
Среднее			768	0,9	3,3	38,5	57,3	0,15	73–311			

платины в рудах дунитового типа в пределах разведочных линий шурфов составляет от 0,05 до 0,39 г/т при распределении ее содержаний в рудах от неравномерного до крайне неравномерного. В распределении концентраций платины в дунитовых рудах участка резко преобладает случайная составляющая изменчивости над ее закономерной составляющей (табл. 4). Поэтому для характеристики частотной изменчивости содержаний платины в рудах определялись по геостатистической модели значения радиусов автокорреляции. Среди руд дунитового типа наибольшей частотной изменчивостью в распределении концентраций платины, судя по средним значениям радиусов автокорреляции, характеризуются руды, локализованные

в северной части Александровского участка, выделяющиеся и более низким качеством в сравнении с рудами, распространенными в центральной и южной частях участка (табл. 4). По данным проведенного в пределах участка крупнообъемного валового опробования более глубоких выработок (полушахт и шахт) [13, 22], наибольшее среднее содержание платины в дунитовых рудах установлено в северной части участка. Распределение концентраций платины в валовых пробах изменяется от равномерного до весьма неравномерного (табл. 5).

Заключение

В пределах Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива прогнозные ресурсы платины катего-

Таблица 5. Распределение содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка Нижнетагильского массива по данным валового опробования

Table 5. Distribution platinum contents in the dunite ores Alexandrovskiy area of the Nizhny Tagil massif by date of gross sampling

Части участка	Номера проб	Количество проб <i>N</i>	Промышленные типы руд			Среднее содержание <i>C</i> , г/т	Коэффициент вариации <i>V</i> , %
			Рядовые	Бедные	Убогие		
Северная	1–31	21	10	71	19	0,15	63,89
	33–61	21	5	67	28	0,27	62,38
	Среднее	42	7	69	24	0,21	62–64
Центральная	62–110	21	5	71	24	0,20	78,01
	111–154	21	–	24	76	0,10	106,77
	Среднее	42	2	48	50	0,15	78–107
Южная	155–182	21	–	52	48	0,15	65,84
	183–203	21	–	81	19	0,17	44,64
	Среднее	42	–	67	33	0,16	45–66
Среднее		126	3	61	36	0,17	45–107

рии P_1 в дунитовых рудах наиболее детально изученного Александровского участка составляют до глубины 100 м около 60 т, а на участках дунитов, обогащенных хромитовыми телами (Сырковском, Придорожном и др.) – более 38 т [13]. В отличие от хромитовых руд массива разработка руд дунитового типа вследствие низкого среднего содержания в них платины (первые десятые доли г/т) является экономически нерентабельной. Однако с учетом средней концентрации платины в хромитовых и дунитовых рудах Нижнетагильского массива прогнозируется валовое содержание платины в рудной массе на уровне 0,7–1 г/т. Это позволяет по аналогии с многолетней разработкой на

Березовском золоторудном месторождении более богатых сульфидно-кварцевых руд в полосовых жилах и более бедных вкрапленных руд в березитах [19] рассматривать в современных условиях развития технологий обогащения платиносодержащих хромитовых и дунитовых типов руд возможность их совместной масштабной переработки [18, 23, 24]. По данным этих авторов, при изучении минералого-технологических проб массой 15–20 кг, отобранных из хромитовых руд Нижнетагильского массива и дунитовых руд Светлоборского массива, наибольшее извлечение платины из руд достигается при двухстадийном измельчении руд до фракции –0,6 мм.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (номер гос. регистрации АААА-А18-1180525900-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Н. К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. Новая серия. СПб, 1913. Вып. 62. 694 с.
2. Заварицкий А. Н. Коренные месторождения платины на Урале // Геологический комитет. Материалы по общей и прикладной геологии. Л.: Изд. Геологического комитета, 1928. Вып. 108. 56 с.
3. Бетехтин А. Г. Платина и другие минералы платиновой группы. М.; Л.: АН СССР, 1935. 148 с.
4. Кашин С. А., Козак С. С., Николаева Л. А., Тихомиров К. П. Минералогические и петрохимические особенности пород платиноносной формации Среднего Урала и некоторые закономерности распределения коренной платины. М.: НИГРИЗолото, 1956. 113 с.
5. Разин Л. В. Промышленно-перспективный минерально-сырьевой потенциал Уральского платиноносного пояса. М.: Изд-во «Университетская книга», 2008. 172 с.
6. Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России / Е. Ю. Вильданова [и др.]. СПб: ВСЕГЕИ, 2002. 383 с.
7. Сидоров Е. Г., Козлов А. П., Толстых Н. Д. Гальмознанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный мир, 2012. 288 с.
8. Nixon G. T., Cabri L. I., Laflamme I. G. Platinum-group-element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia // Canadian Mineralogist. 1990. Vol. 28. P. 503–535.
9. Barkov A. Y., Fleet M. E., Nixon G. T., Levson V. M. Platinum-group minerals from five placer deposits in British Columbia, Canada // Canadian Mineralogist. 2005. Vol. 43. P. 1687–1710. <http://dx.doi.org/10.2113/gscanmin.43.5.1687>
10. Miller M. L. Mafic and ultramafic rocks in the Dishna River area, north-central Iditarod quadrangle, Alaska // Geologic studies in Alaska by the U. S. Geological Survey / ed. by J. H. Dover, J. P. Galloway. 1990. P. 44–50.
11. Himmelberg G. R., Loney R. A. Characteristics and petrogenesis of Alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, southeastern Alaska. Reston: United States Geological Survey (USGS). Professional Paper, 1995. 47 p.
12. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Урала / К. К. Золоев [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 199 с.
13. Иванов О. К. Платиновое оруденение Нижнетагильское дунитового массива // Минеральное сырье Урала. 2006. № 5. С. 63–67.
14. Пушкарев Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. 2007. № 3. С. 28–65.

15. Zaccarini F., Pushkarev E., Garuti G., Krause I., Dvornik G. P., Stanley C., Bindi L. Platinum-group minerals (PGM) nuggets from alluvial-eluvial placer deposits in the concentrically zoned mafic-ultramafic Uktus complex (Central Urals, Russia) // *European Journal of Mineralogy*. 2013. Vol. 25. No. 4. P. 519–531. <http://dx.doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2296>
16. Иванов О. К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 488 с.
17. Волченко Ю. А., Иванов К. С., Коротеев В. А., Оже Т. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа // *Литосфера*. 2007. Ч. I. № 3. С. 3–27; Ч. II. № 4. С. 73–101.
18. Козлов А. П., Чантурия В. А., Сидоров Е. Г., Толстых Н. Д., Телегин Ю. М. Крупнообъемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаянского типа и перспективы их освоения // *Геология рудных месторождений*. 2011. Т. 53. № 5. С. 419–437.
19. Дворник Г. П. Оценка изменчивости содержания золота и серебра в рудах и их качества при разведке и разработке золоторудных месторождений // *Известия вузов. Горный журнал*. 2011. № 3. С. 120–125.
20. Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
21. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб: Недра, 2002. 424 с.
22. Маханов С. А. Геолого-промышленная оценка месторождения коренной платины дунитового массива горы Соловьевой в пределах разведочной площади: фонды Кировского прииска треста «Уралзолото». 1951. 135 с.
23. Козлов А. П., Чантурия В. А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость. М.: ИПКОН РАН, 2009. 148 с.
24. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt // *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 67. P. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.12.005>

Статья поступила в редакцию 20 декабря 2022 года

Distribution platinum content in chromite and dunite type ores Nizhny Tagil massif (Middle Ural)

Gennadiy Petrovich DVORNIK*

The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the work is due to the importance industrial meaning native and placer platinum deposits in basic-hyperbasic complexes.

Methods of research included separation industrial type of ores for valuation quality platinum ore chute, use probabilistic-statistic, geometric-statistic and geostatistic model for description amplitude and frequency changeability in distribution platinum content in ore Nizhny Tagil massif.

Result research. In chromite ores Nizhny Tagil massif platinum content vary in wide limits by predominance among theirs rich and ordinary ores and extremely uneven distribution platinum and other elements platinum group (palladium, rhodium, iridium, osmium, ruthenium) concentration in ores. In difference from ores chromite type in distribution platinum content in dunite ores massif in limits prospected Alexandrovsky area among industrial type ores prevail more low on quality poor and wretched ores by amplitude changeability platinum concentration in ores on data theirs ordinary sampling in prospect hole-from uneven to extremely, by gross sampling more deep mine working (half-pit and pit) – from even to very uneven.

The largest frequency changeability in distribution platinum concentration in ores dunite type be distinguished ores widespread in north part Alexandrovsky area, differ and more low quality. Contemporary level development technology dressing platinum-bearing chromite and dunite type ores allowed consider theirs in quality perspective ores for joint processing.

Keywords: Nizhny Tagil massif, dunite, chromite and dunite type ores, platinum content, distribution.

The studies were carried out as part of the state assignment of the IGG UB RAS (state registration number AAAA-A18-118052590028-9).

REFERENCES

1. Vysotsky N. K. 1913, Platinum deposits of the Isovsk and Nizhny Tagil district of the Urals. Proceeding of Geological Committee. Saint Petersburg, vol. 62, 694 p. (*In Russ.*)
2. Zavaritsky A. N. 1928, Native deposits platinum of the Ural. Proceeding of Geological Committee. Leningrad, issue 108, 56 p. (*In Russ.*)
3. Betekhtin A. G. 1935, Platinum and other minerals of platinum group. Moscow; Leningrad, 148 p. (*In Russ.*)
4. Kashin S. A., Kozak S. S., Nikolaeva L. A., Tikhomirov K. P. 1956, Mineralogical and petrochemical peculiarity rocks platinum bearing formation and some conformities distribution native platinum. Moscow, 113 p. (*In Russ.*)
5. Razin L. V. 2008, Future commercial production and mineral resource potential of the Urals platinum bearing belt. Moscow, 172 p. (*In Russ.*)
6. 2002, Koryak-Kamchatka region – new platinum bearing province of the Russia. E. Yu. Vil'danova [et al.]. Saint Petersburg, 383 p. (*In Russ.*)
7. Sidorov E. G., Kozlov A. P., Tolstykh N. D. 2012, Gal'moenan basic-hyperbasic massif and their platinum bearing. Moscow, 288 p. (*In Russ.*)
8. Nixon G. T., Cabri L. I., Laflamme I. G. 1990, Platinum – group-element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia. *Canadian Mineralogist*, vol. 28, pp. 503–535.
9. Barkov A. Y., Fleet M. E., Nixon G. T., Levson V. M. 2005, Platinum-group minerals from five placer deposits in British Columbia, Canada. *Canadian Mineralogist*, vol. 43, pp. 1687–1710. <http://dx.doi.org/10.2113/gscanmin.43.5.1687>
10. Miller M. L. 1990, Mafic and ultramafic rocks in the Dishna River area, north-central Iditarod quadrangle, Alaska. Geologic studies in Alaska by the U. S. Geological Survey. Eds. J. H. Dover, J. P. Galloway, pp. 44–50.
11. Himmelberg G. R., Loney R. A. 1995, Characteristics and petrogenesis of Alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, southeastern Alaska. Reston: United States Geological Survey (USGS). Professional Paper, 47 p.
12. 2001, Platinum metal ores in geological complex of the Urals. K. K. Zoloev [et al.]. Ekaterinburg, 199 p. (*In Russ.*)
13. Ivanov O. K. 2006, Platinum deposits Nizhny Tagil dunite massif. Mineral feedstock of the Ural, no. 5, pp. 63–67. (*In Russ.*)
14. Pushkarev E. V., Anikina E. V., Garuti G., Zaccarini F. 2007, Chromium-platinum deposits of the Nizhny-Tagil type in the Urals: characteristic of structure and substance and a problem of genesis. *Litosfera* [Lithosphere], no. 3, pp. 28–65. (*In Russ.*)
15. Zaccarini F., Pushkarev E., Garuti G., Krause I., Dvornik G. P., Stanley C., Bindi L. 2013, Platinum-group minerals (PGM) nuggets from alluvial-eluvial placer deposits in the concentrically zoned mafic-ultramafic Uktus complex (Central Urals, Russia). *European Journal of Mineralogy*, vol. 25, pp. 519–531. <http://dx.doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2296>
16. Ivanov O. K. 1997, Concentric-zonal pyroxenite-dunite massifs of the Urals (Mineralogy, Petrology, Genesis). Ekaterinburg, 488 p. (*In Russ.*)
17. Volchenko Yu. A., Ivanov K. S., Koroteev V. A., Auge T. 2007, Structural-substantial evolution of the Urals platinumiferous belts complexes in the forming of Uralian type chromite-platinum deposits formation. *Litosfera* [Lithosphere], part I, no. 3, pp. 3–27; part II, no. 4, pp. 73–101. (*In Russ.*)
18. Kozlov A. P., Chanturiya V. A., Sidorov V. G., Tolstykh N. D., Telegin Yu. M. 2011, Large-volume ore deposits platinum in zonal basic-ultrabasic complexes of Ural-Alaskan type and perspective their development. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposit], vol. 53, no. 5, pp. 419–437 (*In Russ.*)

*gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

19. Dvornik G. P. 2011, Estimation changeability of gold and silver content in ores and their quality by prospecting and development gold ore deposits. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal], no. 3, pp. 120–125 (*In Russ.*)
20. Myagkov V. F. 1984, Geochemical method paragenetic analysis of the ores. Moscow, 126 p. (*In Russ.*)
21. Kaputin Ju. E. 2002, Mining computer technology and geostatistics. St. Peterburg, 424 p. (*In Russ.*)
22. Makhanov S. A. 1951, Geology – industrial estimation deposit native platinum dunite massif of mountain Solov'eva in the limits prospecting area. *Ural Gold*, 135 p. (*In Russ.*)
23. Kozlov A. P., Chanturiya V. A. 2009, Platiniferous dunite ores and their dressability. Moscow, 148 p. (*In Russ.*)
24. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. 2015, Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore Geology Reviews*, vol. 67, pp. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.12.005>

The article was received on December 20, 2022