



УДК 55:553.49, 550.842

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ КАК ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КАМЕНУШИНСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А.М.МИНИБАЕВ

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматриваются результаты литогеохимического опробования элювиально-делювиальных отложений Каменушинского массива и данные спектрального анализа коренных пород, слагающих массив. Оценка вторичных ореолов рассеяния с применением двухмерного моделирования и многомерной статистической обработки результатов позволила установить пространственную совмещенность аномалий платины и хрома и их высокую корреляционную связь, что подтверждает выводы о существенном вкладе хромит-платинового типа минерализации в коренное оруденение всего Каменушинского массива. При анализе данных геологических наблюдений и химического состава пород выявлено, что аномалии урана и бария ассоциированы с полями развития дайковых тел габбро и гранитоидов. Незначительная совмещенность аномалий урана и бария с аномалиями платины и хрома, а также отрицательная корреляция между двумя этими группами элементов не согласуются с ранее сделанными выводами о пространственной приуроченности платиновой минерализации к дайкам габбро и гранитоидов и о возможном контроле дайками зон платинометалльной минерализации.

Ключевые слова: Каменушинский массив; литогеохимическое опробование; вторичные ореолы рассеяния; платина; хромититы; минерализация; дайки

Как цитировать эту статью: Минибаев А.М. Вторичные ореолы рассеяния как прогнозно-поисковый признак платинометалльной минерализации на примере Каменушинского массива (Средний Урал) // Записки Горного института. 2018. Т. 234. С. 591-598. DOI: 10.31897/PMI.2018.6.591

Введение. В связи с истощением запасов россыпных месторождений платины России становится актуальным вопрос о поисках и освоении коренных месторождений платинометалльного сырья, источником которого являются зональные массивы Платиноносного пояса Урала, послужившие источниками крупнейших в мире россыпей платины.

При использовании геохимических методов на стадии поисково-оценочных работ, направленных на выявление коренных платинометалльных месторождений, помимо определения содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) также устанавливалось содержание хрома как элемента-индикатора. Данный метод обоснован выделенным хромит-платиновым типом оруденения [1, 4, 7, 12], являющимся наиболее перспективным для дунит-клинопироксенитовых массивов Платиноносного пояса Урала.

В настоящее время полученные данные не позволяют выделить и оконтурить рудные тела в пределах дунит-клинопироксенитовых массивов. В большей степени это связано с сильным перекрытием коренных пород элювиально-делювиальными отложениями, общей задернованностью и в некоторых случаях заболоченностью зональных массивов, а также крайне неравномерным размещением ЭПГ.

Каменушинский дунит-клинопироксенитовый массив Урало-Аляскинского типа является одним из перспективных массивов на обнаружение коренного платинометалльного оруденения. При этом он характеризуется слабой изученностью. Ранее проведенные работы позволили выделить в пределах массива зону с платиновой минерализацией Хромитовый Увал [3], множество отдельных хромитовых тел [6], ряд минерализованных зон хромититов [16, 17] на участке Хромитовый увал. При этом на основе многочисленных геологических наблюдений на Хромитовом увале предполагалось, что минерализованные зоны пространственно приурочены к дайкам габбро и гранитоидов, которые, в свою очередь, могут выполнять роль геологического контроля платинового оруденения.

Полученные результаты позволили не только по-новому оценить взаимоотношения между зонами развития платиновой минерализации и дайковыми телами массива, но и выделить новые зоны хромититов с платиновой минерализацией в полевой сезон 2017 г.

Геологическое строение. Каменушинский массив расположен на Среднем Урале в Свердловской области и относится к массивам дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Дунитовое ядро вытянуто в меридиональном направлении и окаймляется клинопироксенитами (рис.1). Массив прорывает вулканиты нижнего силура на западе и окаймляется габброидами верхнего ордовика с востока, севера и юга.

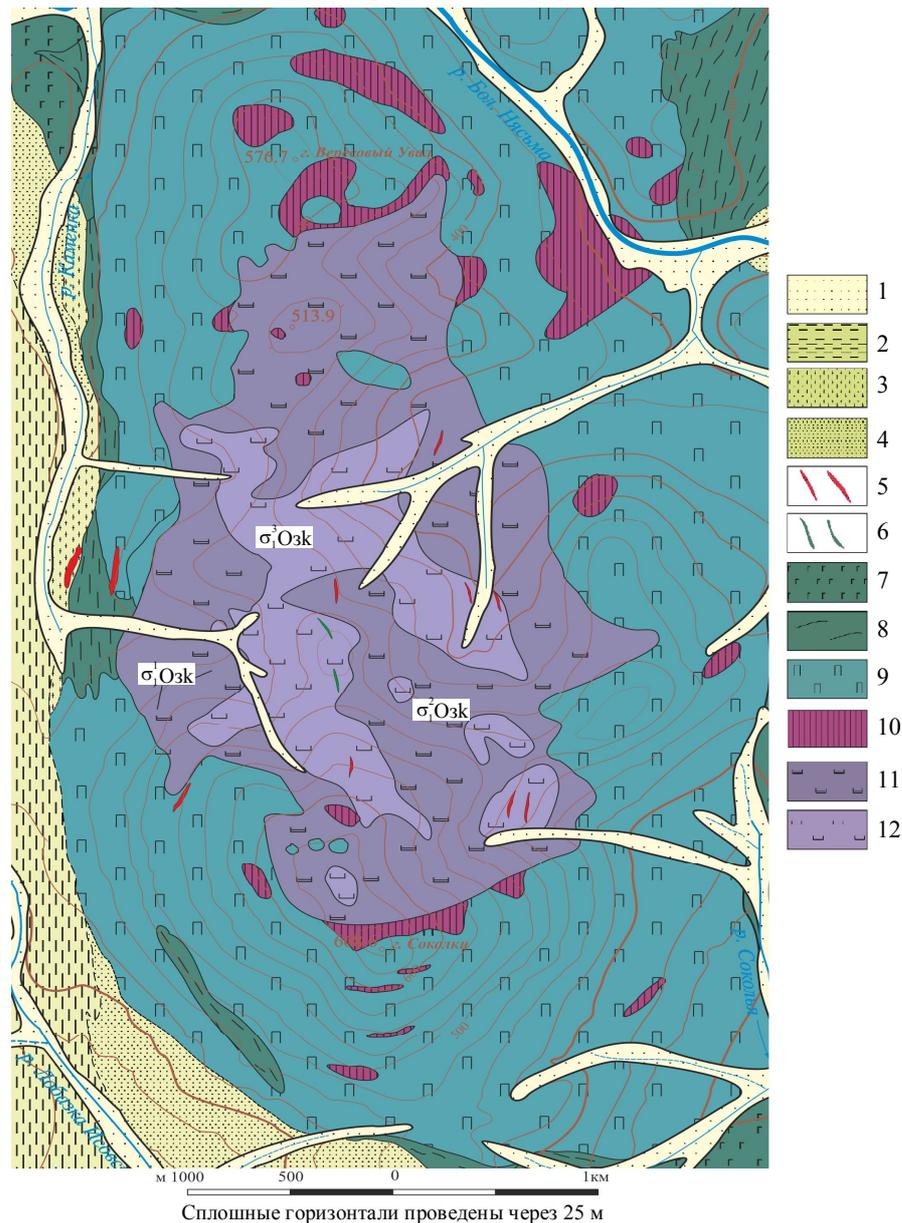


Рис. 1. Схема Каменушинского массива (по О.К.Иванову с дополнениями и упрощениями)

- 1 – техногенные и аллювиальные отложения; 2 – зеленые аповулканогенные сланцы;
3 – амфиболиты; 4 – амфибол-плаггиоклазовые породы («кытлымиты»); 5 – дайки плаггиогранитов;
6 – дайки роговообманкового габбро; 7 – габбро роговообманковое; 8 – конжакиты (фельдшпатизированные пироксениты);
9 – пироксениты нерасчлененные; 10 – верлиты; 11 – дуниты мелкозернистые серпентинизированные;
12 – дуниты среднезернистые серпентинизированные

Мелкозернистые дуниты слагают большую северную часть ядра и периферическую зону южной части. Центральная часть дунитового ядра сложена среднезернистыми дунитами. Поля развития крупнозернистых дунитов и дунит-пегматитов приурочены к центральной части массива, в основном к седловине (Хромитовый увал) между горой Соколиной, находящейся в южной части массива, и горой Вересовой, слагающей его северную часть.

В пределах Каменушинского массива распространены дайковые и жильные тела, сложенные породами различного состава. Наиболее широкое развитие получили дайки габбро и гранитоидов, в меньшей степени установлены дайковые тела горнблендитов, клинопироксенитов, сиенитов и жильные тела сложного гидротермально-метасоматического состава. Также в пределах массива выделены хромититы, обладающие широким разнообразием морфологических особенностей тел. Хромититовые тела, с которыми связана платиновая минерализация, встречаются на участке Хромитовый Увал и северном склоне горы Соколиной, а также в обнажениях по логам речек Большая и Малая Каменушка. Тела хромититов образуют минерализованные зоны, имею-



щие ширину до 3 м, протяженность до 100 м, которые прослеживаются по наличию сегрегаций, шпиро- и жилообразных тел мощностью до 0,4 м и длиной до 3 м.

Методы исследования. В 2014 г. была проведена литогеохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния в пределах Каменушинского массива по известной методике [2, 14]. Литогеохимическое опробование проводилось путем отбора песчано-глинистого и глинистого элювиально-делювиального материала массой 200–300 г по сети 200×20 м. Литогеохимическая съемка покрыла все дунитовое ядро с юга на север, захватив часть клинопироксенитовой оторочки и вулканитов, обрамляющих западную часть массива. Общее число профилей, пройденных строго с запада на восток, составило 23. На некоторых участках массива, особенно логов и заболоченной местности на северо-западе территории, литогеохимические пробы не отбирались в связи с крошечным техногенным, аллювиальным отложениям, заторфованностью территории либо полным отсутствием элювиально-делювиальных отложений и выходом коренных пород на дневную поверхность. Всего было отобрано и проанализировано 1948 проб. В ходе литогеохимических маршрутов также проводились геологические наблюдения и штучное опробование.

Для определения содержаний элементов-примесей в породах Каменушинского массива использовался метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Анализы ICP-MS выполнялись в центральной аналитической лаборатории на приборной базе ФГУП ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Всего проанализировано 14 штучных проб.

С целью проведения комплексной оценки рудоносности Каменушинского массива в литогеохимических пробах пробирным анализом (чувствительность 0,002 г/т) определялось содержание Pt, Pd и Au на базе лаборатории СТЮАРТ, Москва (Stewart Geochemical & Assay). Определение элементов-примесей проводилось классическим для литогеохимических проб полуколичественным спектральным анализом (чувствительность 0,002 г/т) в аналитической лаборатории АО «Механобр инжиниринг», Санкт-Петербург.

Данные проведенных геохимических исследований обрабатывались методами математической статистики и графического моделирования согласно рекомендациям [19, 20] при помощи программного обеспечения Microsoft Excel 2010, Statistica 10.0, Surfer 13 и CorelDraw X7. Для проведения статистического анализа и построения карт аномалий были выделены *значимые величины*, т.е. из массива данных были исключены значения, находящиеся ниже порога определения, и единичные аномально высокие значения. Карты аномалий строились на схематичном плане Каменушинского массива путем выделения фонового содержания элемента и оконтуривания аномалий по линиям изоконцентраций на основе рассчитанных параметров геохимического поля.

Было проанализировано 26 элементов, в состав которых входят благородные металлы (Pt, Pd, Au, Ag), транзитные элементы (As, V, Bi, Cd, Cu, Ge, Hg, Mo, Pb, Sb, Sn, W, Zn), элементы группы железа (Cr, Co, Mn, Ni, V), летучие элементы (P), высокозарядные элементы (U) и крупноионные литофильные элементы (Ba, Li). Разделение элементов на группы проведено в соответствии с классификацией Х.Р.Роллинсона [21]. Проверка закона распределения показала необходимость логарифмирования значений элементов для приведения данных к нормальному распределению, после чего составлялась корреляционная матрица и рассчитывались факторные нагрузки.

Результаты. Из полученных данных (табл.1) следует, что среди благородных металлов наибольшее содержание в литогеохимических пробах обнаруживается у платины. В пределах массива платина характеризуется значительной величиной стандартного отклонения, что обусловлено ее крайне неравномерным распределением. Фоновые содержания составляют 0,00–0,07 г/т. Повышенные содержания платины (0,30–1,26 г/т) в основном обнаруживаются в центральной части массива, в частности на Хромитовом увале и северном склоне горы Соколиной, где получили распространение крупнозернистые дуниты и дунит-пегматиты. Аномалия платины пространственно совмещается с аномалией хрома (рис.2, а), также между этими элементами наблюдается сильная прямая связь (табл.2).

На основе ранее сделанных выводов о пространственной совмещенности минерализованных зон и дайковых тел в пределах Каменушинского массива [9, 17] был выделен ряд элементов, связанных с дайковыми породами, чтобы определить характер взаимоотношений платиновой минерализации с дайками. Так, вторичные ореолы рассеяния урана (U) и бария (Ba) ассоциированы с полями развития даек габбро и гранитоидов (рис.2, в), что подтверждается геологическими наблюдениями и полученными данными о содержаниях элементов-примесей в породах массива (табл.3).



Таблица 1

Содержания элементов-примесей элювиально-делювиальных отложений Каменушинского массива, г/т

№ п/п	Элемент	Количество значимых величин	Чувствительность анализа	Среднее содержание	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Благородные металлы							
1	Au	315	0,002	0,005	0,0014	0	0,026
2	Pd	171	0,002	0,004	0,0024	0	0,073
3	Pt	1813	0,002	0,032	0,0423	0	1,262
4	Ag	68	0,002	≈0,002	0,0020	0	0,005
Группа транзитных элементов							
5	As	645	0,005	≈0,005	0,0021	0	0,029
6	B	1558	0,001	12,2	4,3	5	36
7	Bi	1541	0,003	0,5	0,2	0	1
8	Cd	662	0,002	1,3	0,7	0	5
9	Cu	1716	0,001	17,0	5,8	6	57
10	Ge	1070	0,001	1,5	0,6	0	3
11	Hg	1278	0,001	2,6	1,4	0	9
12	Mo	1607	0,0005	1,9	2,0	0	19
13	Pb	1679	0,003	11,9	4,2	3	59
14	Sb	1784	0,0005	2,0	0,8	0	6
15	Sn	1573	0,002	4,4	3,2	0,5	37
16	W	1790	0,01	2,4	1,5	0	29
17	Zn	1462	0,05	55,6	36,5	2,5	190
Элементы группы железа							
18	Cr	1887	0,001	1023,4	761,1	46	6000
19	Co	1604	0,001	94,9	49,7	4	180
20	Ni	1802	0,0003	263,0	151,4	17	830
21	Mn	1773	0,4	972,8	505,8	200	3300
22	V	1814	0,0003	36,8	20,0	3	170
Группа летучих элементов							
23	P	1392	0,1	122,4	62,9	50	430
Группа высокозарядных элементов							
24	U	1601	0,015	5,4	4,7	0	16
Группа крупноионных литофильных элементов							
25	Ba	1759	0,003	402,5	256,6	84	1500
26	Li	1770	0,03	27,2	9,7	8	95

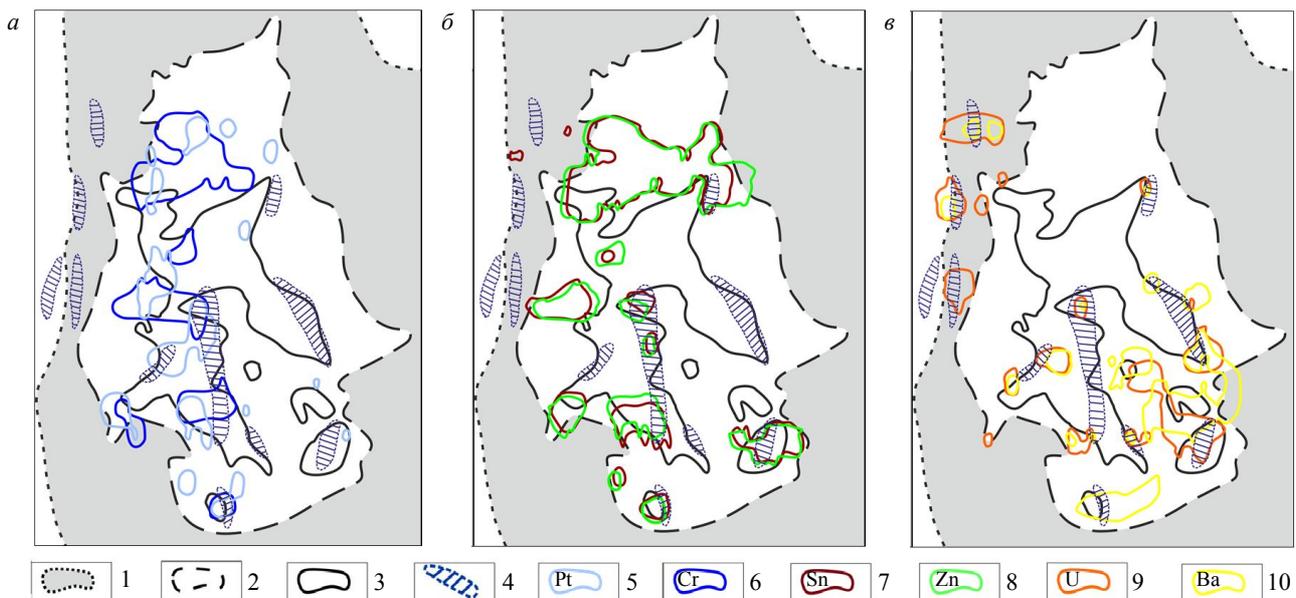


Рис.2. Вторичные ореолы рассеяния Каменушинского массива: а – Pt, Cr; б – Sn, Zn; в – U, Ba

1 – контур Каменушинского массива (клинопироксенитов); 2 – контур мелкозернистых серпентинизированных дунитов;
 3 – контур среднезернистых серпентинизированных дунитов; 4 – поля развития даек габбро и гранитоидов;
 5-10 – вторичные ореолы рассеяния: 5 – платины; 6 – хрома; 7 – олова; 8 – цинка; 9 – урана; 10 – бария



Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции элементов-примесей элювиально-делювиальных отложений Каменушинского массива

	lgPd	lgPt	lgBa	lgCr	lgCu	lgNi	lgP	lgSn	lgU	lgZn
lgPd	1,000									
lgPt	-0,045	1,000								
lgBa	0,005	-0,377	1,000							
lgCr	-0,089	0,666	-0,521	1,000						
lgCu	0,155	-0,092	0,124	-0,022	1,000					
lgNi	-0,140	0,480	-0,241	0,649	0,288	1,000				
lgP	-0,027	0,244	0,079	0,436	0,415	0,566	1,000			
lgSn	-0,083	0,573	-0,558	0,896	0,127	0,689	0,481	1,000		
lgU	0,090	-0,460	0,686	-0,595	0,153	-0,491	-0,125	-0,625	1,000	
lgZn	-0,038	0,390	-0,351	0,617	0,349	0,675	0,579	0,701	-0,417	1,000

Таблица 3

Средние содержания элементов-примесей в породах Каменушинского массива, г/т

№ п/п	Элемент	Габбро крупно-зернистое	Гранит-пематит	Средне-мелко-зернистый гранит	Средне-мелко-зернистый горнблендит	Прожилково-вкрапленный хромит	Дунит серпентинизированный	Крупно-зернистый верлит
Благородные металлы								
1	Au	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0140	0,0086	0,0071
2	Pd	<0,002	<0,002	<0,002	0,0300	0,0068	<0,002	0,0065
3	Pt	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,1500	0,0610	0,0037
4	Ag	0,03	0,04	0,03	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Группа транзитных элементов								
5	Bi	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
6	Cd	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
7	Cu	32,81	4,00	1,40	49,40	14,60	10,90	4,05
8	Ge	0,79	1,26	0,52	1,36	0,22	0,72	0,97
9	Mo	0,80	0,72	0,86	0,61	<0,60	<0,60	0,79
10	Pb	4,78	37,30	8,55	2,30	<1,00	<1,00	<1,00
11	Sb	0,39	1,06	0,34	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
12	Sn	1,48	2,47	1,68	1,59	0,81	0,73	0,88
13	W	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
14	Zn	48,27	7,94	3,71	106,00	14,90	54,50	61,80
Элементы группы железа								
15	Cr	17,20	16,90	19,10	288,00	12960,00	3580,00	1970,00
16	Co	10,30	0,83	<0,5	54,80	44,40	129,00	77,10
17	Ni	23,30	3,43	7,05	76,60	500,00	1710,00	500,00
18	V	145,00	4,13	4,77	382,00	132,00	8,44	105,00
Группа высокозарядных элементов								
19	U	25,00	50,00	16,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Группа крупноионных литофильных элементов								
20	Ba	321,00	2870,00	473,00	114,00	<3,00	<3,00	8,21

Примечание. С каждой породой выполнено два анализа.

Комплексный анализ корреляционной матрицы, диаграммы факторных нагрузок (рис.3) и средних содержаний элементов-примесей в породах массива позволил выделить элементы, которые также характеризуют особенности размещения зон платиновой минерализации Каменушинского массива. Так, в пределах Каменушинского массива средние содержания (табл.3) таких гранофильных элементов, как олово и цинк для ультраосновных пород (дуниты) выше кларковых, а для основных-кислых пород (дайки габбро и гранитоидов) – меньше кларковых (табл.4). Также наблюдается сильная пространственная совмещенность аномалий платины, хрома и аномалий олова, цинка (см. рис.2, а, б). Наряду с этим олово и цинк Каменушинского массива имеют средние положительные связи (соответственно 0,39 и 0,57) с платиной и сильные положительные связи (соответственно 0,61 и 0,89) с хромом.



Обсуждение. Геоморфологическая оценка Каменушинского массива на основе геологических наблюдений и характера изогипс (см. рис.1) позволяет отнести его к массиву с волнистым типом рельефа, где вторичные ореолы развиваются путем перемещения обломков и диффузии растворенных веществ в горной влаге и размещаются непосредственно над первичными ореолами. Выделенный волнистый тип рельефа обуславливает слабо проявленные процессы дефлюкции, получившие преимущественное развитие на склонах, что указывает на незначительное смещение вторичных ореолов рассеяния от первичных.

Вклад хромит-платинового типа минерализации в оруденение массива очевиден. Однако аномалии хрома распространены шире, чем аномалии платины (рис.2, а). Это может быть объяснено, во-первых, крайне низкими содержаниями платины в некоторых телах хромититов ввиду их аккумуляции в смежных шлирах и сегрегациях хромититов; во-вторых, редкой сетью опробования, недостаточной для определения характера распространения такого неравномерно распределенного элемента, как платина. Наличие небольших локальных платиновых аномалий, не совмещенных с хромовыми аномалиями, может быть объяснено тем, что для зональных дунит-клинопироксенитовых массивов Платиноносного пояса Урала наряду с хромит-платиновым характерен дунит-платиновый тип минерализации.

В пределах Каменушинского массива были получены данные, свидетельствующие о наличии сильной связи между платиной и хромом (как пространственной, так и корреляционной) и позволяющие сделать вывод о том, что платина Каменушинского массива преимущественно сконцентрирована в хромититах. Высокая корреляция между платиной и хромом может свидетельствовать о концентрации платины в протяженных минерализованных зонах хромититов, характерных для массива. Это подтверждается геологическими наблюдениями, а именно тем, что платиновые и хромовые аномалии пространственно совпадают с известными минерализованными зонами хромититов, расположенными на Хромитовом увале и северном склоне горы Соколиной.

В целом аномалии платины и хрома тяготеют к западной части массива, где получили наибольшее распространение в зонах развития среднезернистых дунитов, а также в зонах перехода мелкозернистых дунитов к среднезернистым (рис.2, а), что подтверждает выводы о размещении коренной хромит-платиновой минерализации Каменушинского массива в зонах развития дунитов различных по зернистости [10]. Аналогичный геологический контроль хромит-платиновой минерализации установлен для таких зональных массивов Платиноносного пояса Урала, как Нижнетагильский, Светлоборский, Вересовоборский [6, 8, 14, 15, 18]. В центральной части массива выделенные крупнозернистые дуниты и дунит-пегматиты [9], вероятно, обуславливают наиболее широкое развитие аномалий платины и хрома (рис.2, а) на участках Хромитовый увал и северный склон горы Соколиной. Важно отметить, что в пределах Нижнетагильского и Светлоборского массивов наиболее богатые хромит-платиновой минерализацией зоны приурочены к полям развития грубозернистых дунитов и дунит-пегматитов [6, 8, 15, 18].

Анализ данных средних содержаний элементов в породах массива (см. табл.3), их кларковых значений для различных типов пород (табл.4), а также пространственного размещения аномалий этих элементов свидетельствует об их нетрадиционном распределении в пределах массива, а именно приуроченности гранофильных элементов (Sn, Zn) к ультрамафитам, а не к широко развитым дайковым телам габбро и гранитоидов. Это может быть связано с высокой изоморфной емкостью минералов ультрамафитов, таких как оливин, клинопироксен, амфибол, хромшпинелид и др. (табл.5). Так, например, в пределах эталонного объекта Платиноносного пояса Урала – Нижнетагильского массива повышенное содержание олова и цинка является геохимическим критерием платиноносности хромшпинелидов [11]. Таким образом, в пределах Каменушинского массива достаточно высокая пространственная и корреляционная связи между элементами, ассоциирующими с платиновой минерализацией (Cr, Pt), оловом и цинком, может объясняться: во-первых, их совместным накоплением уже во вторичных ореолах; во-вторых, более высоким содержанием олова и цинка в дунитах, вмещающих хромит-платиновые минерализованные зоны, на что указывает как значительное превосходство объема дунитов по сравнению с объемом хромититов и даек массива, так и значительные концентрации олова и цинка (см. табл.3) в дунитах в целом.

Таблица 4

Распределение кларков гранофильных элементов по отрядам пород, г/т [5]

Элемент	Ультраосновные	Основные	Средние	Кислые
Sn	0,5	1,5	2,5	3,0
Zn	50	100	75	60

держанием олова и цинка в дунитах, вмещающих хромит-платиновые минерализованные зоны, на что указывает как значительное превосходство объема дунитов по сравнению с объемом хромититов и даек массива, так и значительные концентрации олова и цинка (см. табл.3) в дунитах в целом.

Таблица 5

Средние содержания гранофильных элементов в минералах ультрамафитов, г/т

Элемент	Оливин *	Клинопироксен *	Амфибол *	Основной плагиоклаз *	Хромшпинелид с низкими содержаниями МПГ**	Хромшпинелид платиноносный**
Sn	2,6	4,2	27	4,0	1,26	9,36
Zn	50	60	250	50	974,39	1310,43

* В ультраосновных и основных породах [5].

** В хромшпинелидах Нижнетагильского массива [11]; МПГ – минералы платиновой группы

В центральной части Каменушинского массива (Хромитовый увал) аномалии урана и бария частично совмещаются с аномалиями хрома и платины (рис.2, а, в), что подтверждается выводами по данному участку о пространственной приуроченности «минерализованных зон» к дайкам габбро и гранитоидов [9, 17]. Однако между аномалиями, ассоциирующими с дайковыми телами (U, Ba), и аномалиями, характеризующими хромит-платиновую минерализацию (Cr, Pt), наблюдается значительная отрицательная связь (см. табл.2).

Анализ карт аномалий по всему массиву позволяет заключить, что пространственная совмещенность аномалий платиновой минерализации и дайковых тел выражена слабо. Так, в восточной части массива наблюдается широкое развитие даек габбро, гранитоидов и связанных с ними аномалий урана и бария. Наряду с этим в восточной части массива практически отсутствуют аномалии хрома и платины. Также в западной части массива, в клинопироксенитовой кайме, в пределах которой не наблюдаются аномалии хрома и платины, аномалии урана и бария совмещаются с выделенными в ходе геологических наблюдений дайками гранитоидов и габбро.

Частичная совмещенность аномалий платины и хрома с бариевой и урановой аномалиями может быть связана с общей приуроченностью дайковых тел и полей платиновой минерализации к зонам развития внутренних первичных неоднородностей массива, на что указывает наибольшее распространение даек и ассоциированных с ними аномалий бария и урана в зонах фациальных контактов мелкозернистых дунитов со среднезернистыми (рис.2, в), сопровождающееся порфировидными разностями дунитов и наибольшей концентрацией аномалий платины и хрома на аналогичных участках (рис.2, а).

Данные факторного анализа (рис.3) также позволяют разделить барий и уран с платиной и хромом на две группы. Причем по значению первого фактора, на который приходится основная нагрузка (64,21 %), в целом выделяется две ассоциации элементов: в первую входят Pt, Cr, Sn, Zn, во вторую – U, Ba. Подобное взаимоотношение может свидетельствовать о совместном накоплении элементов в пределах выделенных ассоциаций. Учитывая, что во вторичных ореолах в значительной степени сохраняются взаимосвязи химических элементов, свойственные коренной минерализации, первый фактор, скорее всего, отражает различия в природе исходного расплава для хромит-платиновой минерализации и дайковых тел.

Таким образом, полученные данные о характере связи платиновой и хромовой аномалий с аномалиями урана и бария позволяют сделать вывод о слабой пространственной связи между хромит-платиновой минерализацией и дайками. Отрицательный коэффициент корреляции и данные факторного анализа указывают на то, что платина и хром, ассоциирующие с платиновой минерализацией, не могли совместно накапливаться с ураном и барием, которые связаны с дайковыми телами габбро и гранитоидов. Отсюда дайки габбро и гранитоидов, генетически не связанные с платинометалльной минерализацией, не могут являться рудоконтролирующими структурами и служить поисковыми признаками.

Заключение. Обобщая полученные данные, можно сделать следующие выводы о признаках размещения платиновой минерализации в пределах Каменушинского массива:

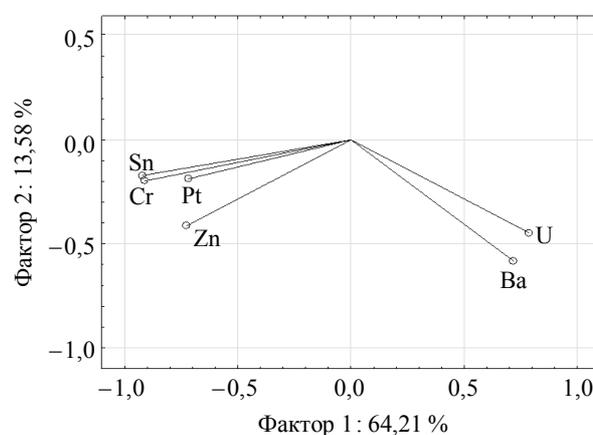


Рис.3. Диаграмма факторных нагрузок элементов Pt, Cr, Sn, Zn, Ba, U из литогеохимических проб



1) платиновые и хромовые аномалии в существенной степени коррелируют с коренными минерализованными хромит-платиновыми зонами, что подтверждается геологическими наблюдениями. Это позволяет рассчитывать на выявление новых минерализованных зон в местах развития платиновых и хромовых аномалий, причем в первую очередь на участках, в которых наблюдается переход дунитов одной зернистости к другой;

2) аномалии урана и бария, связанные с дайками габбро и гранитоидов, не могут являться признаками платиноносности ввиду как пространственной несовместимости урана и бария с платиной и хромом, так и отрицательной корреляции между ними;

3) олово и цинк могут служить элементами-индикаторами платинометаллической минерализации, на что указывает как пространственная связь олова и цинка с платиной и хромом, так и сильная корреляция между ними.

Благодарность. Работа выполнена в рамках инициативного научного проекта по базовой части государственного задания № 5.12856.2018/8.9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А.Г. Платина и другие минералы платиновой группы. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1935. 148 с.
2. Беус А.А. Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых / А.А.Беус, С.В.Григорян. М.: Недра, 1975. 208 с.
3. Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов на Урале. СПб, 1913. 692 с. (Труды Геологического комитета. Нов. сер. № 62).
4. Заварицкий А.Н. Коренные месторождения платины на Урале. Л.: Изд-во Геологического комитета, 1928. 56 с.
5. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 книгах. М.: Недра: кн. 1, 1994, 304 с.; кн. 2, 1994, 303 с.; кн. 3, 1996, 352 с. М.: Экология: кн. 4, 1996, 416 с.; кн. 5, 1997, 576 с.; кн. 6, 1997, 607 с.
6. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1997. 488 с.
7. Лазаренков В.Г. Платинометаллическая минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов / В.Г.Лазаренков, К.Н.Малич, Л.О.Сахьянов. Л.: Недра, 1992. 217 с.
8. Минеральные ассоциации платиноидов зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала (Россия) / К.Н.Малич, С.Ю.Степанов, И.Ю.Баданина, В.В.Хиллер // Минералогия во всем пространстве сего слова: Материалы XII съезда Российской минералогической общности. СПб: ООО «Издательство Лема», 2015. С. 119-121.
9. Минибаев А.М. Особенности размещения платинометаллического оруденения Каменушинского интрузива (Средний Урал) // Материалы Уральской минералогической школы – 2016. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 78-80.
10. Минибаев А.М. Перспективы выявления коренного хромит-платинового оруденения в породах Каменушинского зонального клинопироксенит-дунитового массива (Средний Урал) / А.М.Минибаев, С.Ю.Степанов // Материалы Пятой Всероссийской молодежной школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». М.: ИГЕМ РАН, 2015. С. 145-148.
11. Шлюгин А.Г. Геохимия и платиноносность хромититов Нижнетагильского и Светлоборского массивов, Средний Урал: Автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2014. 20 с.
12. Платинометаллическое оруденение в геологических комплексах Урала / К.К.Золоев, Ю.А.Волченко, В.А.Коротеев, И.А.Малахов, А.Н.Мардирьян, В.Н.Хрыпов. Екатеринбург: ОАО «Уральская геологическая экспедиция», 2001. 199 с.
13. Саев Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. М.: Наука, 1982. 168 с.
14. Степанов С.Ю. Особенности платинового оруденения ультраосновных интрузивов Урало-Аляскинского типа на примере массивов Платинового пояса Урала // Материалы Четвертой Российской молодежной школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». М.: ИГЕМ РАН, 2014. С. 269-272
15. Столяров С.А. Петрофизическая зональность центральной части Кондерского и Нижнетагильского массивов и особенности минерализации платиноидов // Геологи XXI века: Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Саратов: СО ЕАГО, 2002. С. 120-123.
16. Телегин Ю.М. Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала / Ю.М.Телегин, Т.В.Телегина, Н.Д.Толстых // Третья международная конференция «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения». Новосибирск: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2009. С. 212-215.
17. Толстых Н.Д. Коренная платина Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала / Н.Д.Толстых, Ю.М.Телегин, А.П.Козлов // Геология и геофизика, 2011. Т. 52. № 6. С. 775-793.
18. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: Структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса / Е.В.Пушкарев, Е.В.Аникина, Дж.Гаруги, Ф.Заккарини // Литосфера. 2007. № 3. С. 28-65.
19. Fletcher W.K. Analytical Methods in Geochemical Prospecting. Handbook of Exploration Geochemistry. Elsevier Scientific Publishing Company, 1981. 255 p.
20. Loon J. C. Van. Analytical Methods for Geochemical Exploration / J.C.Van Loon, R.C.Barefoot. San Diego: Academic Press, 1989. 348 p.
21. Rollinson H.R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Singapore: Longman Group UK Ltd, 1993. 352 p.

Автор А.М.Минибаев, аспирант, a.m.minibaev@yandex.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 04.06.2018.

Статья принята к публикации 28.09.2018.