



ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ УЧАСТКОВ ВЕРЕСОБОРСКОГО МАССИВА НА КОРЕННУЮ ПЛАТИНОВУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ, СРЕДНИЙ УРАЛ

Анализ статистически представительного материала литохимического опробования площади Вересоборского дунитового массива выявил группу коррелирующих химических элементов (Cr, Mn, Co, Ni, Bi, Sn, W, Zn), тренд накопления которых совпадает с трендом накопления Pt. Установленная закономерность позволяет предложить критерии сравнительной оценки продуктивности на коренную платиновую минерализацию локальных участков площадью 0,5–3 км² как в Вересоборском массиве, так и в его аналогах, сложенных породами качканарского комплекса (uO_3k) Урала.

Ключевые слова: коренная платиновая минерализация, дунит-клинопироксенит-габбровый качканарский комплекс, Вересоборский массив, Урал.

Вересоборский массив входит в Нижнетурьинский муниципальный округ. В юго-восточной части массива расположен посёлок Покап, а в 8 км к востоку от массива – посёлок Косья. В геоморфологическом плане массив представляет собой хребет Вересовый Бор меридионального простирания, средние абсолютные отметки рельефа которого последовательно снижаются в направлении с севера на юг от 550 до 330 м. Протяжённость массива 8,5 км, ширина 1,5 км.

Массив принадлежит к качканарскому дунит-клинопироксенит-габбровому комплексу (uO_3k), формирование которого, согласно Ю. А. Волченко [1], происходило в условиях островной дуги в процессе взаимодействия андезитовидных расплавов, поднимавшихся от субдукционной зоны с ультраосновными породами надсубдукционного мантийного клина. Большая часть Вересоборского массива сложена мелкозернистыми разностями дунитов, частично сменяющимися средне- и крупнозернистыми дунитами. Отдельные краевые участки массива составляют пироксениты и габбро. Вмещающие Вересоборский массив породы – метабазалты, аповулканогенные зелёные сланцы, углеродисто-кварцевые сланцы, углеродисто-слюдисто-кварцевые сланцы и кварцито-песчаники выйской свиты (O_{2-3vs}) (рис. 1).

В пределах Вересоборского массива компания АО «Урал-Металлы платиновой группы» провела разведку известного с прошлого века проявления платины – проявления Вершины Рек Средняя Простокишенка и Малая Покап. Разведочные работы выявили полого залегающее (10–17°) тело платиновой минерализации среди средне- и крупнозернистых дунитов (рис. 2). Протяжённость рудного тела по простиранию 240 м, по падению 140 м при мощности рудного тела 2–3 м. Среднее содержание Pt 2,51 г/т.

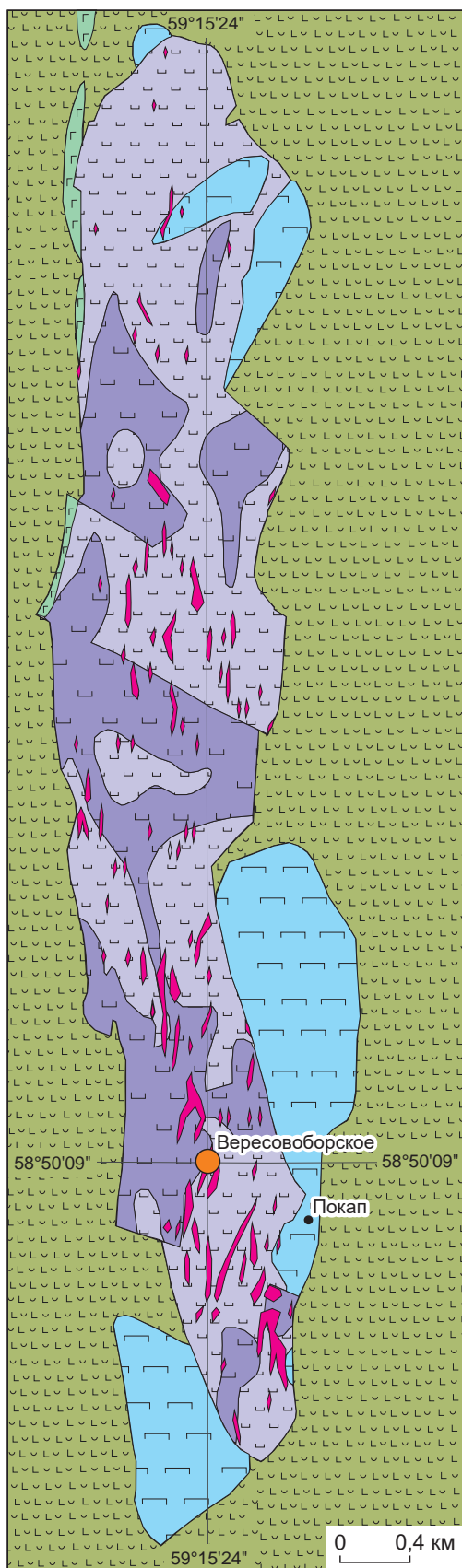
Мотов Андрей Павлович

кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист дирекции
развития бизнеса
motovAP@plme.ru

Малах Юрий Ефимович

директор дирекции развития бизнеса
Malakh@plme.ru

АО «Полиметалл УК»,
г. Санкт-Петербург



Разведанные запасы коренной платины в рамках ТЭО временных кондиций поставлены на государственный баланс, месторождение названо Вересовоборское. Вмещающие рудную минерализацию породы представлены умеренно серпентинизированными дунитами, состоящими из оливина (70–80 %), хромшпинелида (1–3 %), серпентина (лизардита) (20–30 %), хлорита (1–2 %). Хромшпинелид проявлен в форме рассеянной вкрапленности идиоморфных зёрен размером до 1–2 мм. Серпентин развивается по массе (петельчатая серпентинизация) и заполняет разноориентированные прожилки мощностью 0,05 мм и более. В прожилках серпентина встречаются хлорит и магнетит. Акцессорные минералы дунитов представлены гранатом (андрадитом), сульфидами железа и никеля (полидимит, кобальтсодержащий пентландит, пирит), гематитом, ферроплатиной.

Исследователи платиновой минерализации отмечали влияние уровня эрозионного среза массивов на насыщенность платиной изучаемой площади выхода дунитов качканарского комплекса [1–2, 5]. С учётом последовательно понижающегося рельефа хребта Вересовый Бор (разность высотных отметок южного и северного флангов – 220 м) для оценки отдельных частей массива эта площадь была условно разделена на четыре части сечениями широтного направления (рис. 3).

Геохимическая база данных по Вересовоборскому массиву, включающая аналитические данные по 4903 пробам, была получена в 2013–2014 гг. путём литохимического опробования подпочвенных пород. Принятая сеть опробования составляла 20 x 100 м. В пробу массой 200–300 г отбиралась мелкая фракция пород (< 1 мм) со средней глубины 20 см. Аналитические исследования бы-

Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ВЕРЕСОВОБОРСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ АНОМАЛИЯМИ ПЛАТИНЫ И ПЛАТИНОВЫМ МЕСТОРОЖДЕНИЕМ ВЕРЕСОВОБОРСКОЕ:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

качканарский дунит-клинопироксенит-габбровый комплекс (uO_3k): 1 – габбро, 2 – пироксениты, 3 – дуниты среднезернистые, реже крупнозернистые, 4 – дуниты мелкозернистые; 5 – метабазалты, аповулканогенные зелёные сланцы, углеродисто-кварцевые и углеродисто-слюдисто-кварцевые сланцы, кварцитопесчаники вуйской свиты ($O_{2-3}vs$); 6 – аномалии платины ($\geq 0,1$ г/т); 7 – месторождение Вересовоборское

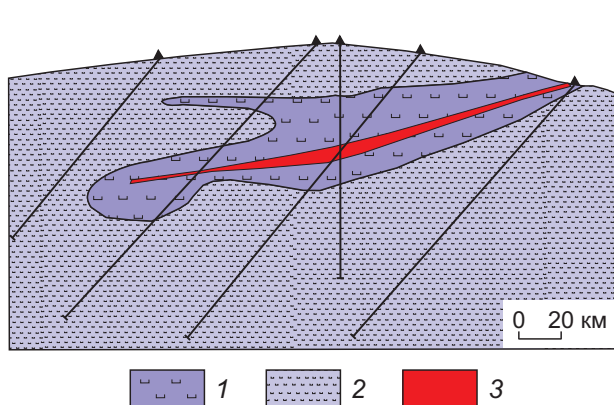


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРЕСОВОБОРСКОЕ:

дуниты: 1 – средне- и крупнозернистые, 2 – мелкозернистые; 3 – рудное тело платиновой минерализации

ли проведены в лаборатории АО «Золото Северного Урала». Содержание Pt определялось пробирным методом, содержание Ag, As, В, Ва, Вi, Со, Cr, Cu, Ge, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Sn, U, V, W, Zn – полуколичественным спектральным анализом.

Корреляционный анализ содержаний химических элементов рассматриваемой базы данных показал, что химические элементы подразделяются на три группы.

В первую группу входят Cr, Mn, Co, Ni, Sn, Bi, W, Zn. Для этих элементов фиксируются высокие взаимные парные коэффициенты корреляции в диапазоне 65–91 % (рис. 4). В выборках проб с аномальными содержаниями Pt $\geq 0,1$ г/т содержание перечисленных элементов растёт вместе с содержанием Pt (рис. 5, а).

Во вторую группу входят Ва, U, Hg, Li. Содержания этих элементов положительно коррелируют друг с другом, отрицательно – с содержаниями элементов первой группы. В выборках проб с аномальными содержаниями Pt $\geq 0,1$ г/т содержания элементов второй группы последовательно снижаются по мере роста содержания Pt (рис. 5, б).

В третью группу элементов входят Ag, Cu, Pb, Ge, As, Sb, Mo, V, P. Для них не установлены корреляционные связи и не фиксируется ассоциативность распределения содержания относительно содержаний платины.

Проиллюстрированная на рис. 4 тенденция распределения содержания Cr, Mn, Co, Ni, Sn, W,



Рис. 3. РАЙОНИРОВАНИЕ ВЕРЕСОВОБОРСКОГО МАССИВА:

участки массива: 1 – Первый, 2 – Второй, 3 – Третий, 4 – Четвёртый; 5 – точки литохимического опробования по профилям широтного простирания; б – ореолы взаимно коррелирующих химических элементов с их аддитивным показателем нормированных значений $(Cr/1000 + Mn/1000 + Co/100 + Ni/100 + Bi \times 10 + Sn + W + Zn/100) \geq 30$; 7 – аномалия платины ($\geq 0,1$, г/т); 8 – Вересовоборское месторождение

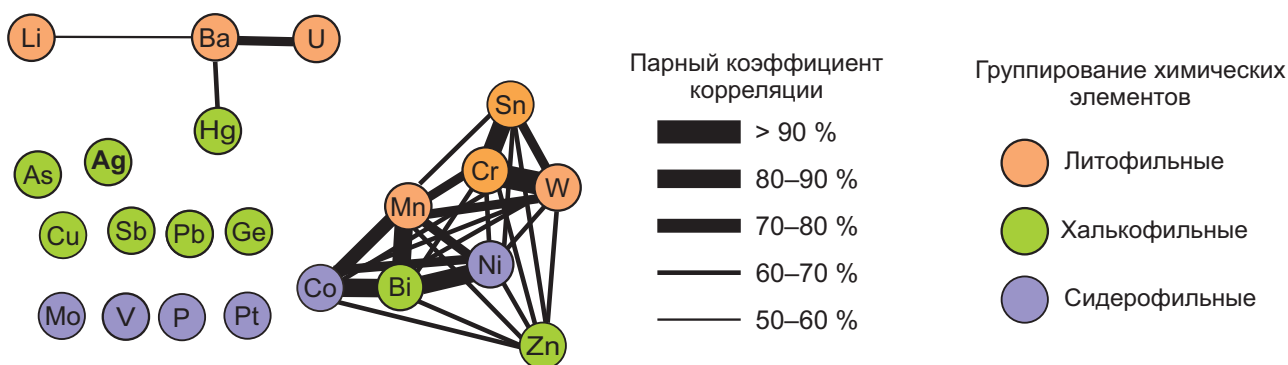


Рис. 4. СХЕМА ПАРНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ ВЕРЕСОБОРСКОГО МАССИВА

Zn относительно содержания Pt основывается на статистически представительных выборках проб по каждому классу содержания платины (табл. 1), поэтому заслуживает доверия. Общий тренд накопления Cr, Mn, Co, Ni, Sn, W, Zn и Pt может быть проинтерпретирован как одно из свидетельств единого механизма накопления этих химических элементов в ходе магматической дифференциации кристаллизующихся дунитовых массивов, что соответствует взглядам, наиболее подробно рассмотренным Е. В. Пушкарёвым с соавторами [4].

Выявленные закономерности согласуются с данными М. А. Минибаева [3], который проводил литохимическое картирование Каменушенского массива, расположенного севернее Вересоборского и сложенного аналогичными Вересоборскому

массиву породами дунит-клинопироксенит-габбрового комплекса (uO_3k). Анализ парной корреляции проб Каменушенского массива, сделанный М. А. Минибаевым, также выявил группы химических элементов, сходные с установленными нами для проб Вересоборского массива. Для Каменушенского массива выделяются две группы взаимно коррелирующих элементов. Первая включает в себя Cr, Ni, Sn, Zn, вторую составляют U и Ba, имеющие отрицательные корреляционные связи с элементами первой группы. Информационно-поисковое значение распределения содержаний Ni, Cr, Co внутри мафит-ультрамафитовых интрузий Австралии при оценке их рудоносности на коренную платиновую минерализацию отмечает Д. А. Хотсон [6]. Полученные данные позволяют рекомен-

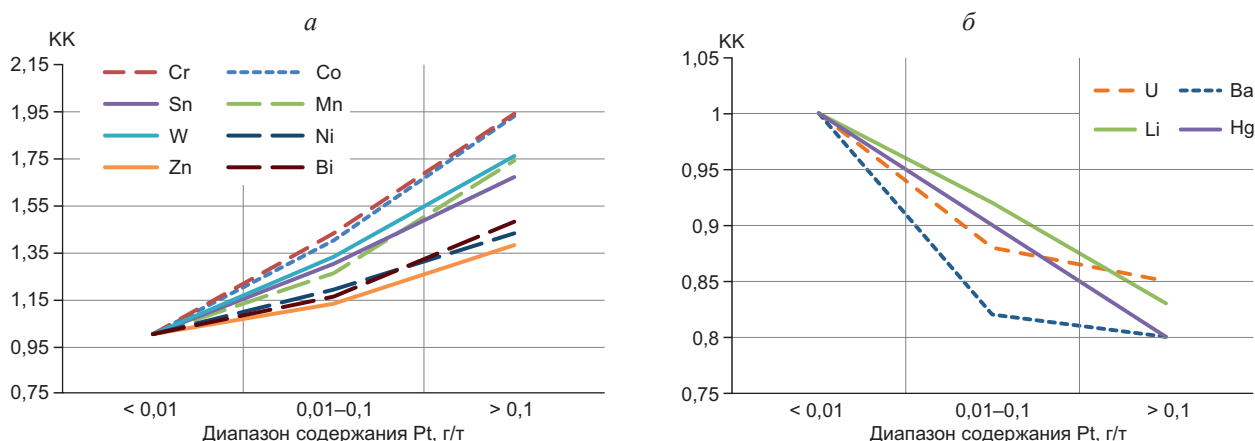


Рис. 5. ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (КК) ПРИ ПОВЫШЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ Pt: ДЛЯ ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОВЫШАЮЩИМИСЯ КК (а) , ДЛЯ ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОНИЖАЮЩИМИСЯ КК (б)

1. СОДЕРЖАНИЯ СОВМЕСТНО КОНЦЕНТРИРУЮЩИХСЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СГРУППИРОВАННЫЕ ПО КЛАССАМ СОДЕРЖАНИЯ Pt, В ПРОБАХ ДУНИТОВ ВЕРЕСОБОРСКОГО МАССИВА

Диапазоны содержания Pt, г/т	Число проб	Параметры	Содержание химических элементов, г/т								
			Pt	Cr	Mn	Co	Ni	Bi	Sn	W	Zn
< 0,01	670	Среднее арифметическое	0,0053	876	1046	80	300	0,58	3,8	2,4	80
		Минимальное	0	26	40	13	14	0,03	0,2	0,03	5
		Максимальное	0,01	3300	3500	200	840	1,7	15	9,8	360
0,01–0,1	1905	Среднее арифметическое	0,037	1257	1315	112	358	0,67	4,94	3,18	90
		Минимальное	0,011	24	40	2	19	0,03	0,2	0,03	5
		Максимальное	0,099	4300	3600	200	1200	2,00	20	11	360
> 0,1	136	Среднее арифметическое	0,249	1697	1815	154	428	0,86	6,34	4,23	110
		Минимальное	0,1	200	530	32	97	0,3	0,2	0,6	5
		Максимальное	9,157	4600	3700	200	930	1,8	24	12	320

2. ПАРАМЕТРЫ УЧАСТКОВ ВЕРЕСОБОРСКОГО МАССИВА, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ПРОВОДИТЬ СРАВНИТЕЛЬНУЮ ОЦЕНКУ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ НА КОРЕННУЮ ПЛАТИНОВУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ

Участки массива		Число проб с аномальными содержаниями на участке			Суммарная площадь ореолов, км ²		Частное от деления суммы площадей геохимических ореолов участка на площадь участка			Среднее содержание химических элементов в выборках проб с содержанием Pt ≥ 0,1 г/т								
Название	Площадь, км ²	Средняя высотная отметка, м	Pt ≥ 0,1 г/т	Add index ≥ 30	Ореолы с Pt ≥ 0,1 г/т	Ореолы с Add index ≥ 30	Ореолы Pt	Add ореолы	Pt, г/т	Взаимно коррелирующие химические элементы							Add index, г/т	
										Cr, г/т	Mn, г/т	Co, г/т	Ni, г/т	Bi, г/т	Sn, г/т	W, г/т		Zn, г/т
Первый	2,36	550	32	135	0,01	0,22	0,004	0,09	0,24	1965	1676	137	452	0,84	7	5	105	33
Второй	2,28	500	83	240	0,06	0,45	0,03	0,2	0,27	1775	1952	160	468	0,9	6,75	4,41	119	34
Третий	2,35	400	150	303	0,16	0,72	0,07	0,31	0,27	2520	2152	150	538	1	11	5,44	126	42
Четвёртый	0,56	330	31	56	0,04	0,07	0,07	0,13	0,16	1202	1645	157	319	0,77	4,69	3	91	26

Примечание. Add index (аддитивный показатель) – сумма нормированных значений содержания взаимно коррелирующих химических элементов Cr + Mn + Co + Ni + Bi + Sn + W + Zn; коэффициенты нормирования содержания химических элементов: Cr = 0,001, Mn = 0,001, Co = 0,01, Ni = 0,01, Bi = 10, Sn = 1, W = 1, Zn = 0,01.

довать следующие параметры сравнительной оценки участков Вересоборского массива (табл. 2):

- Площадь, занимаемая ореолами Pt $\geq 0,1$ г/т;
- Площадь, занимаемая аддитивными ореолами с add index ≥ 30 ;
- Значение частного от деления величины площади, занятой ореолами с Pt $\geq 0,1$ г/т, на величину общей площади участка;
- Значение частного от деления величины площади, занятой ореолами с add index ≥ 30 , на величину общей площади участка;
- Средние арифметические содержания Pt и Cr, Mn, Ni, Bi, Sn, W, Zn в выборках проб с содержанием Pt $\geq 0,1$ г/т;
- Для участков с одинаковыми сетью опробования и величиной площади – сопоставление количества проб с содержаниями Pt $\geq 0,1$ г/т и с показателем add index ≥ 30 .

Согласно большинству перечисленных параметров наиболее продуктивным по ожидаемым

ресурсам коренной платины является Третий участок Вересоборского массива (см. табл. 2), на котором уже разведано Вересовоборское месторождение, что в определённой степени подтверждает продуктивность этого участка.

В результате проведённых авторами исследований, включающих изучение геохимических особенностей дунитов Вересоборского массива с разными уровнями содержания в них платины, удалось расширить список химических элементов, привлекаемых к анализу поисковых признаков коренной платиновой минерализации в дунитовых массивах Урала. Помимо традиционно используемых для решения этих задач Pt и Cr обоснована целесообразность привлечения данных анализа содержания Mn, Ni, Bi, Sn, W, Zn. При этом для характеристики содержания перечисленных элементов удобно привлекать аддитивный показатель нормированных значений содержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. – № 3. – С. 3–27.
2. Иванов О. К. Протоплатина концентрически-зональных пироксен-дунитовых массивов платиноносного пояса Урала и причины вариации её состава. – Уральский геологический журнал. – 2000. – № 2 (14). – С. 101–119.
3. Минибаев А. М. Вторичные ореолы рассеяния как прогнозно-поисковый признак платинометальной минерализации на примере Каменушенского массива (Средний Урал). – Записки Горного института. – 2018. – Т. 234. – С. 591–598.
4. Пушкарёв Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Закарини Ф. Хром-платиновое оруденение Нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса. – Литосфера. – 2007. – № 3. – С. 28–65.
5. Степанов С. Ю. Перспективы выявления коренных месторождений платины в зональных клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала // Новое в познании процессов рудообразования. – М.: ИГЕМ РАН, 2017. – С. 270–273.
6. Hoatson Dean M. Platinum-group element mineralization in Australian Precambrian layered mafic-ultramafic intrusions // AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. – 1998. – № 17(4). – P. 139–151.

REFERENCES

1. Volchenko Yu. A., Ivanov K. S., Koroteev V. A., Ozhe T. Strukturno-veshchestvennaya evolyutsiya kompleksov platinonosnogo poyasa Urala pri formirovanii khromit-platinovykh mestorozhdenii Ural'skogo tipa [Structural and material evolution of complexes of the platinum-bearing belt of the Urals during the formation of chromite-platinum deposits of the Ural type], *Litosfera* [Lithosphere], 2007, No 3, pp. 3–27. (In Russ.).
2. Ivanov O. K. Protoplatina kontsentrisheski-zonal'nykh piroksen-dunitovykh massivov platinonosnogo poyasa Urala i prichiny variatsii ee sostava [Protoplatinum of concentrically-zoned pyroxene-dunite massifs of the platinum-bearing belt of the Urals and the reasons for its compositional variation], *Ural'skii geologicheskii zhurnal* [Uralian Geological Journal], 2000, No 2(14), pp. 101–119. (In Russ.).

3. Minibaev A. M. Vtorichnye oreoly rasseyaniya kak prognozno-poiskovyyi priznak platinometal'noi mineralizatsii na primere Kamenushenskogo massiva (Srednii Ural) [Secondary scattering halos as a predictive and prospecting sign of platinum mineralization on the example of the Kamenushensky massif (Middle Urals)], *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2018, V. 234, pp. 591–598. (In Russ.).
4. Pushkarev E. V., Anikina E. V., Garuti Dzh., Zakarini F. Khrom-platinovoe orudnenie Nizhnetagil'skogo tipa na Urale: strukturno-veshchestvennaya kharakteristika i problema genezisa [Chromium-platinum mineralization of the Nizhniy Tagilm type in the Urals: structural and material characteristics and the problem of genesis], *Litosfera* [Lithosphere], 2007, No 3, pp. 28–65. (In Russ.).
5. Stepanov S. Yu. Perspektivy vyyavleniya korennykh mestorozhdenii platiny v zonal'nykh klinopiroksenit-dunitovykh massivakh Srednego Urala [Prospects for identifying primary platinum deposits in zonal clinopyroxenite-dunite massifs of the Middle Urals], *Novoe v poznanii protsessov rudoobrazovaniya* [New in the knowledge of ore formation processes], Moscow, IGERAN Publ., 2017, pp. 270–273. (In Russ.).
6. Hoatson Dean M. Platinum-group element mineralization in Australian Precambrian layered mafic-ultramafic intrusions, *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 1998, No 17(4), pp. 139–151.

ESTIMATION PARAMETERS OF POTENTIAL VERESOBORSKY MASSIF AREAS PRODUCTIVITY FOR PRIMARY Pt MINERALIZATION, MIDDLE URALS

A. P. Motov, (PhD, chief specialist of business development directorate)
Yu. E. Malakh (Director of business development)

JSC Polymetal MC, St. Petersburg

The analysis of statistically representative material of lithochemical sampling within Veresoborsky dunite massif revealed a group of correlating chemical elements (Cr, Mn, Co, Ni, Bi, Sn, W, Zn) whose accumulation trend coincides with that of Pt. The established pattern enables proposing criteria of comparative evaluation regarding primary Pt mineralization productivity of local areas (0,5–3 km²) in both Veresoborsky massif and its counterparts composed of the Urals Kachkanarsky complex (uO₃k) rocks.

Keywords: primary Pt mineralization, dunite-clinopyroxenite-gabbro Kachkanarsky complex, Veresoborsky massif, Urals.

