

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ОСМИЕВО-ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗОНАЛЬНОГО НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО МАССИВА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

© 2014 г. К. Н. Малич, И. Ю. Баданина, Е. А. Белоусова\*, В. В. Хиллер

### ВВЕДЕНИЕ

Большинство ультрамафитовых комплексов зонального типа сосредоточено в России (на Урале, Восточной Сибири и Дальнем Востоке). Их характерный признак – дунитовые “ядра” с клинопироксенитовыми оторочками. С зональными массивами ассоциируют различные по масштабу россыпные месторождения платиноидов, в которых железоплатиновые сплавы, как правило, доминируют над другими минералами платиновой группы (МПГ). Значительный разброс геохронологических и изотопно-геохимических данных для платиноносных зональных массивов предопределяет возможность контрастной интерпретации их генезиса [1, 6, 7, 11, 14, 16–18, 20, 23, 30 и др.]. Осмийсодержащие сплавы и сульфиды обладают уникальной особенностью сохранять изотопно-геохимические метки, относящиеся ко времени образования благороднометалльного оруденения и характеристике их вещественных источников. Предметом нашего сообщения являются новые минералогические и изотопно-геохимические данные, основанные на изучении лаурита, Os–Ir-сплавов и вмещающих их хромититов Нижнетагильского клинопироксенит-дунитового массива Платиноносного пояса Урала – мирового эталона зональных комплексов уральского типа [3, 4, 6, 9, 12, 22 и др.].

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Изученные образцы хромититов с ярко выраженным подиформным характером залегания выявлены в дунитах Александровского Лога центральной части Нижнетагильского массива. Акцессорные МПГ извлечены из хромититов при помощи ррт-технологии, имеющей метрологическое обе-

спечение и обладающей высокой минералогической чувствительностью [10]. Для выявления геохимического распределения платиноидов в хромититах использован метод изотопного разбавления и масс-спектрометрия с ионизацией в индуктивно-связанной плазме (ID ICP-MS) после разложения хромититов при высоком давлении [32]. Химический состав платиноидной минерализации изучен с помощью рентгеноспектрального микроанализа. Для идентификации источника рудного вещества и определения модельного Re–Os-возраста хромититов, лаурита и Os–Ir-сплавов определен начальный изотопный состав осмия с помощью метода лазерной абляции и масс-спектрометрии с ионизацией пробы в индуктивно-связанной плазме (мультиколлекторный масс-спектрометр Nu-Plasma с системой лазерного пробоотбора UP213 New Wave/Merchantek (Университет Маквори, г. Сидней, Австралия)). Детальная характеристика аналитических методов приведена в работах [2, 26 и др.].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

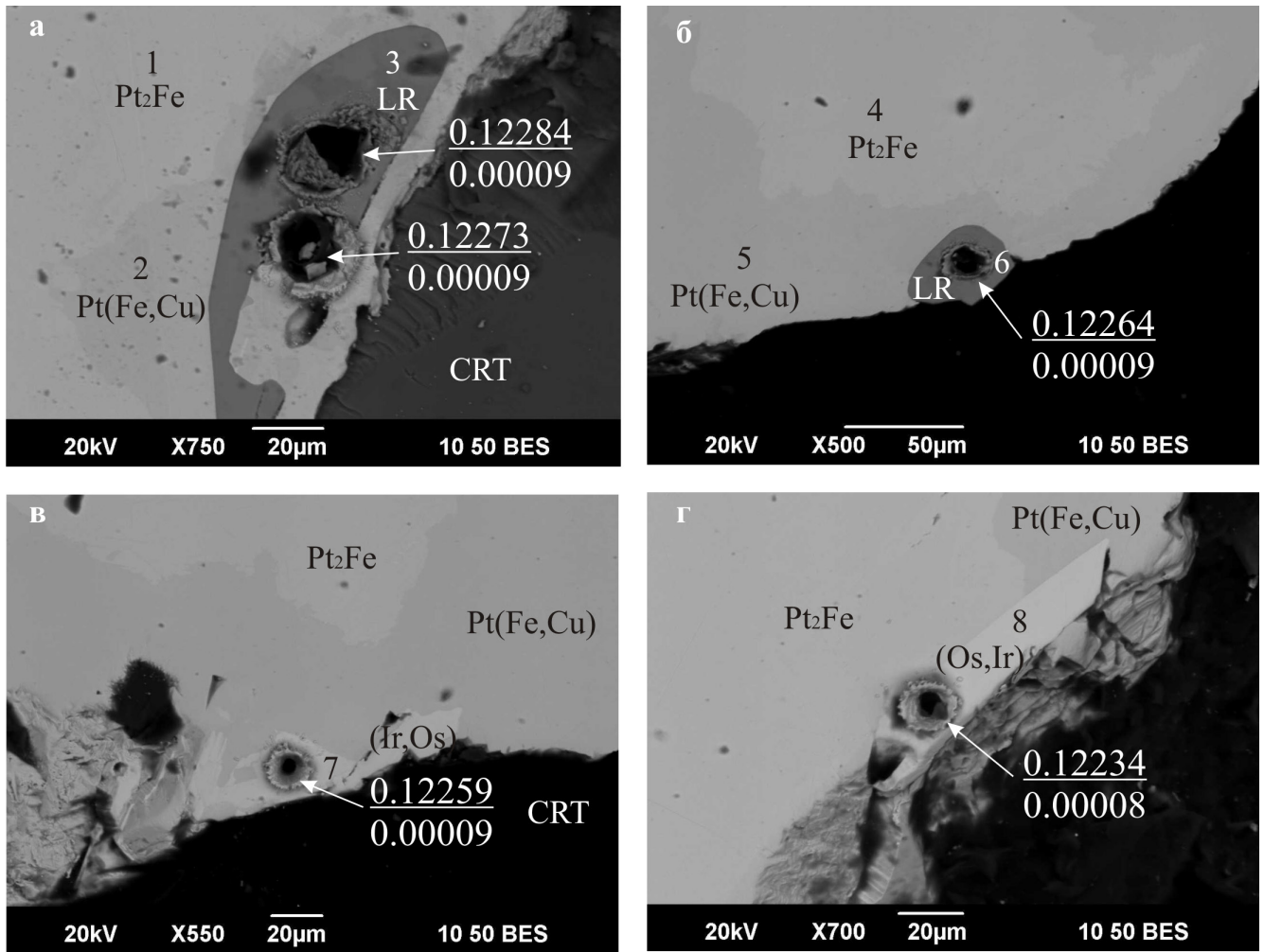
Хромититы Нижнетагильского массива характеризуются высоким содержанием платиноидов (1480.7–2682 мг/т, табл. 1), где платина (1297–2434 мг/т) доминирует среди других элементов платиновой группы (ЭПГ). Иридиево-платиновая специализация хромититов Нижнетагильского массива образует характерный “М-образный” тип распределения хондрит-нормализованного содержания ЭПГ, типичный для хромититов других зональных ультраосновных массивов [12–15, 22 и др.].

Минеральная ассоциация платиноидов соответствует геохимическому распределению ЭПГ хромититов. Подавляющее большинство МПГ образованы железоплатиновыми сплавами, среди которых доминирует высокотемпературная железистая пла-

**Таблица 1.** Содержание элементов платиновой группы и рения в хромититах Нижнетагильского массива (мг/т)

Номер обр.	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Сумма ЭПГ	Re	<sup>187</sup> Os/ <sup>188</sup> Os
NT-9-1	3	60	29	80	1297	11.7	1480.7	0.09	0.1217
NT-9-2	3	103	30	94.3	2434	18.0	2682.3	0.13	0.1260

\*Университет Маквори, г. Сидней, Австралия.



**Рис. 1.** Особенности внутреннего строения МПГ хромититов Нижнетагильского массива; изображения в обратнорассеянных электронах с вещественным контрастом (а – обр. 223, б – обр. 254, в – обр. 247, г – обр. 244).

Номера 1–8 обозначают места проведения рентгеноспектральных микроанализов, соответствующие таковым в табл. 2. Округлые “кратеры” характеризуют места проведения анализов методом лазерной абляции и масс-спектрометрии с ионизацией пробы в индуктивно-связанной плазме. В числителе – значение  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ , в знаменателе – погрешность измерения.  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  – железистая плагина;  $\text{Pt}(\text{Fe},\text{Cu})$  – твердый раствор ряда тетраферроплатина–туламинит; LR – лаурит, (Os, Ir) – иридий осмий; (Ir, Os) – осмистый иридий; CRT – хромит.

тина, близкая к стехиометрическому составу  $\text{Pt}_2\text{Fe}$  (где Pt = сумме ат. % ЭПГ; Fe = сумме ат. % железа, меди и никеля; рис. 1 и 2, табл. 2, ан. 1, 4). Наложенный низкотемпературный парагенезис МПГ представлен твердыми растворами ряда тетраферроплатина  $\text{PtFe}$  – туламинит  $\text{PtFe}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}$  (см. рис. 1 и 2; табл. 2, ан. 2, 5). В железоплатиновых сплавах в виде включений диагностированы лаурит (см. рис. 1а, б), Os–Ir(–Ru) сплавы (см. рис. 1в, г) и Rh–Ir–сульфоарсениды ряда холлингвортит ( $\text{RhAsS}$ ) – ирарсит ( $\text{IrAsS}$ ). Лаурит кроме рутения и серы содержит незначительные концентрации осмия и иридия, которые варьируют в пределах 0.38–1.24 и 0–0.98 ат. % соответственно (см. табл. 2, ан. 3 и 6). По номенклатуре Д. Харриса и Л. Кабри [28], Os–Ir(–Ru) твердые растворы представлены минералами осмия и

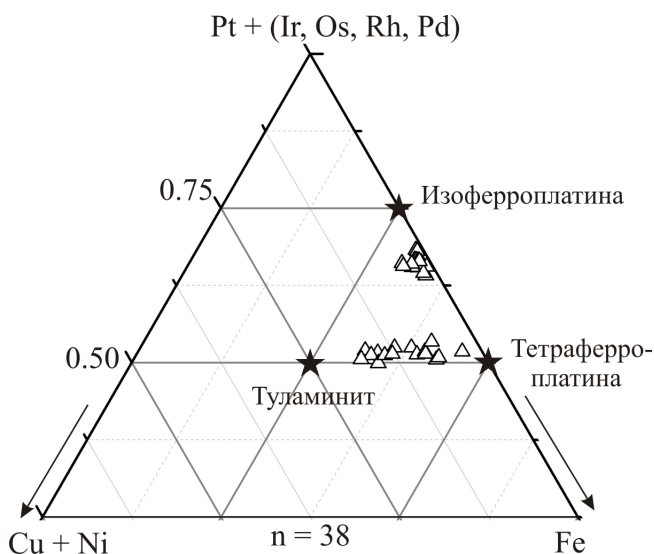
иридия (см. табл. 2, ан. 7 и 8). Данный тренд составов типичен для Os–Ir сплавов, образующих включения в железоплатиновых твердых растворах из зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Алданской (Кондерского, Инаглинского и др. [13]) и других провинций. Наличие включений богатых осмием сплавов и лаурита в железоплатиновых сплавах Нижнетагильского массива, а также особенности состава лаурита [21] и соотношения фаз равновесия Os-содержащих сплавов, основанные на бинарной системе Os–Ir [31], свидетельствуют об их высокотемпературном генезисе.

“Нерадиогенный” изотопный состав осмия исследованных хромититов характеризуется незначительными вариациями ( $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.1217$ – $0.1260$ ; см. табл. 1). Значение  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  в лаури-

**Таблица 2.** Типичный химический состав МПГ хромититов зонального Нижнетагильского массива (по данным рентгеноспектрального микроанализа)

Анализ	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер обр.	223	223	223	254	254	254	247	244
Рисунок	1а	1а	1а	1б	1б	1б	1в	1г
	Мас. %							
Fe	11.85	13.68	0.00	12.01	14.59	0.00	<п.о	<п.о
Ni	0.33	0.42	0.00	0.63	0.39	0.00	<п.о	<п.о
Cu	0.78	9.12	0.00	0.92	8.26	0.00	<п.о	<п.о
Ru	<п.о.	<п.о.	54.92	<п.о.	<п.о.	59.68	6.43	7.08
Rh	0.46	0.74	0.00	0.75	0.80	0.00	<п.о	<п.о
Pd	<п.о.	<п.о.	0.00	<п.о.	<п.о.	0.00	<п.о	<п.о
Os	<п.о.	<п.о.	4.14	<п.о.	<п.о.	1.30	20.89	56.25
Ir	3.02	1.34	3.30	2.86	2.42	0.00	72.66	36.57
Pt	83.53	74.64	0.00	82.11	74.07	0.00	<п.о	<п.о
S	0.00	0.00	37.53	0.00	0.00	39.03	0.00	0.00
Сумма	99.97	99.94	99.89	99.28	100.53	100.01	99.98	99.90
	Ат. %							
Fe	31.28	42.57	–	31.47	32.74	–	–	–
Ni	0.83	3.69	–	1.57	0.83	–	–	–
Cu	1.81	2.89	–	2.12	16.28	–	–	–
Ru	–	–	31.00	–	–	32.54	11.54	12.60
Rh	0.66	–	–	1.07	0.97	–	–	–
Pd	–	–	–	–	–	–	–	–
Os	–	–	1.24	–	–	0.38	19.92	53.18
Ir	2.32	–	0.98	2.18	1.58	0.00	68.54	34.22
Pt	63.11	50.85	–	61.59	47.59	–	–	–
S	–	–	66.78	–	–	67.08	–	–
Сумма ЭПГ	66.09	50.85	33.22	64.84	50.14	32.92	100.00	100.00
Fe+Cu+Ni	33.92	49.15	0.00	35.16	49.86	0.00	0.00	0.00
Формула минерала	Pt <sub>2</sub> Fe	Pt(Fe,Cu)	LR	Pt <sub>2</sub> Fe	Pt(Fe,Cu)	LR	(Ir,Os)	(Os,Ir)

Примечание. Pt<sub>2</sub>Fe – железистая платина; Pt(Fe,Cu) – твердый раствор ряда тетраферроплатина – туламинит; LR – лаурит, (Os,Ir) – иридий осмий; (Ir, Os) – осмистый иридий; <п.о. – ниже предела обнаружения; для железоплатиновых сплавов пределы обнаружения составили, мас. %: Os – 0.15, Ir – 0.81, Ru – 0.24, Rh – 0.27, Pd – 0.22, для Ir–Os-сплавов, мас. %: Rh – 0.25, Pt – 1.02, Pd – 2.20, Fe – 0.15, Ni – 0.18, Cu – 0.10.



**Рис. 2.** Химический состав железоплатиновых сплавов хромититов Нижнетагильского массива в координатах Pt+(Ir,Os,Rh,Pd) – Cu+Ni – Fe (ат. %).

те Нижнетагильского массива варьирует в пределах от  $0.12256 \pm 0.00006$  до  $0.12284 \pm 0.00009$  и характеризуется средним значением  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  0.12269 и среднеквадратичным отклонением 0.00012 (табл. 3). Незначительный разброс значений  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  близок в пределах погрешности таковому для Os–Ir-сплавов (от  $0.12164 \pm 0.00019$  до  $0.12259 \pm 0.00009$ ) и хромитита ( $0.1217 \pm 0.0024$ – $0.1260 \pm 0.0018$ ). Характерно, что проанализированный нами ранее осмистый иридий обладает сходными параметрами [17]. Действительно, по данным N-TIMS и LA MC-ICP-MS, среднее значение  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  равно  $0.12294 \pm 0.00005$  (n = 4) и  $0.12298 \pm 0.00018$  (n = 4) соответственно. Таким образом, особенности начального изотопного состава осмия Os–Ir-сплавов и лаурита хромититов Нижнетагильского массива близки изотопному составу осмия хромититов Кытлымского массива Платиноносного пояса Урала ( $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.122$  [30]).

Выявленное сходство значений начального изотопного состава осмия хромититов и МПГ

**Таблица 3.** Начальный Os-изотопный состав и модельный  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -возраст МПГ из хромититов Нижнетагильского массива

Образец	Минерал	Атомные пропорции МПГ	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$T_{(\text{CHUR})_2}$ , млн лет
NT-223-1	Лаурит	$(\text{Ru}_{0.96}\text{Os}_{0.02}\text{Ir}_{0.02})\text{S}_2$	0.12284	816
NT-223-2	– " –	$(\text{Ru}_{0.99}\text{Os}_{0.02}\text{Ir}_{0.02})\text{S}_2$	0.12273	831
NT-254-1	– " –	$(\text{Ru}_{0.99}\text{Os}_{0.01})\text{S}_2$	0.12264	844
NT-240-1	– " –	$(\text{Ru}_{0.99}\text{Os}_{0.01})\text{S}_2$	0.12256	855
Среднее	– " – (n = 4)		$0.12269 \pm 0.00012$	$836 \pm 17$
NT-226-1	Осмистый иридий	$\text{Ir}_{73}\text{Os}_{16}\text{Ru}_{11}$	0.12225	899
NT-228-1	То же	$\text{Ir}_{46}\text{Os}_{30}\text{Ru}_{22}\text{Fe}_4$	0.12164	984
NT-244-1	Иридий осмий	$\text{Os}_{53}\text{Ir}_{34}\text{Ru}_{13}$	0.12234	886
NT-247-1	Осмистый иридий	$\text{Ir}_{69}\text{Os}_{20}\text{Ru}_{11}$	0.12259	851
Среднее	Os–Ir-сплавы (n = 4)		$0.12221 \pm 0.00040$	$905 \pm 56$
Среднее	Все МПГ, n = 8		$0.12245 \pm 0.00038$	$871 \pm 53$

Примечание.  $T_{(\text{CHUR})_2}$  – модельный возраст рассчитан с учетом данных изотопного состава осмия в CHUR [25] и константы распада  $^{187}\text{Re}$ ,  $\lambda = 1.666 \cdot 10^{-11}$  год $^{-1}$  [34].

(см. табл. 1 и 3) наглядно свидетельствует о том, что изотопная систематика хромититов контролируется начальным изотопным составом осмия Os-содержащих сплавов и сульфидов. Пониженные относительно хондритового универсального резервуара ( $\text{CHUR} = 0.12863 \pm 0.00046$  [25]) значения  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  указывают на субхондритовый источник ЭПГ. Данные Re–Os-систематики платиноидной минерализации Нижнетагильского и ряда других клинопироксенит-дунитовых массивов [14, 19, 29 и др.] не противоречат выводу о том, что МПГ образовались в тесной ассоциации с ультраосновными породами.

Так как величины  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  во всех проанализированных хромититах и МПГ Нижнетагильского массива не превышали значение, свойственное CHUR ( $0.12863 \pm 0.00046$  [25]), а также учитывая выявленную линейную зависимость  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  в данном резервуаре, можно рассчитать их модельный  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -возраст. Средний модельный  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -возраст МПГ для Нижнетагильского массива оказался позднерифейским ( $871 \pm 53$  млн лет (см. табл. 3) и  $862 \pm 48$  млн лет [17] соответственно). Os-изотопные возрастные данные МПГ хромититов, наряду с U–Pb геохронологическими и Nd–Hf изотопно-геохимическими данными [1, 6, 8, 11, 16, 20 и неопубликованные данные], позволяют уточнить особенности временной эволюции дунитов Нижнетагильского массива. Полихронная природа дунита наиболее адекватно согласуется с комплексом геолого-структурных, минералого-геохимических и изотопно-геохимических особенностей, характерных для клинопироксенит-дунитовых массивов [1, 5, 6, 8, 11, 13, 16, 17, 20, 24, 27, 30]. При этом наиболее древний возраст циркона, вероятно, соответствовал минимальному возрасту исходного мантийного субстрата или был близок к времени генерации дунита в континентальной мантии; более молодые возрастные датировки, по видимому, характеризуют стадии изменения дунитового субстрата, которые совпадают с временем глобальных этапов корово-мантийного взаимодействия [33 и др.]. Специализация дунитов на платину, иридий и осмий свидетельствует об их исключительно глубинной природе и появлении в земной коре в составе клинопироксенит-дунитовых массивов, оторванных от места их генерации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минеральные ассоциации платиноидов соответствуют геохимическому распределению ЭПГ в хромититах. Подавляющее большинство МПГ Нижнетагильского массива представлено железоплатиновыми сплавами (среди которых доминирует высокотемпературная железистая платина, а также лауритом и сплавами на основе осмия и иридия. Наложенный низкотемпературный парагенезис МПГ представлен твердыми растворами ряда тетраферроплатина ( $\text{PtFe}$ ) – туламинит ( $\text{PtFe}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}$ ).

Os-изотопная систематика хромититов контролируется начальным изотопным составом осмия лаурита и Os–Ir-сплавов. “Нерадиогенный” изотопный состав осмия МПГ и хромититов указывают на субхондритовый источник ЭПГ. Новые Os-изотопные данные свидетельствуют в пользу генетической самостоятельности дунитовых “ядер” и позволяют считать их наиболее древними образованиями, тектонически включенными в структуру Платиноносного пояса Урала. Полученные результаты согласуются с длительной эволюцией платиноносных дунитов и высокими перспективами обнаружения благороднометалльного оруденения в слабоэродированных зональных массивах уральского типа.

Авторы признательны Т. Мейзелу (T. Meisel) и С.П. Главатских за содействие при проведении аналитических исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и правительства Свердловской области (грант № 13-05-96044-р-урал-а).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., Малич К.Н. Изотопный состав гафния цирконов дунитов Нижне-Тагильского и Гулинского массивов (Россия) // Докл. АН. 2013. Т. 448, № 1. С. 59–63.
2. Баданина И.Ю., Малич К.Н., Мурзин В.В., Хиллер В.В., Главатских С.П. Минералого-геохимические особенности платиноидной минерализации Верх-Нейвинского дунит-гарцбургитового массива (Средний Урал, Россия) // Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. 2013. С. 188–192.
3. Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале. СПб., 1913. 694 с. (Тр. Геологического комитета. Нов. сер. № 62.)
4. Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Малахов И.А., Мардиросьян А.Н., Хрытов В.Н. Платино-металльное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: Урал. геологосъемочная экспедиция, 2001. 199 с.
5. Ефимов А.А. Проблема дунита // Сов. геология. 1966. № 5. С. 13–27.
6. Ефимов А.А. Итоги столетнего изучения Платиноносного пояса Урала // Литосфера. 2010. № 5. С. 34–53.
7. Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Малич К.Н., Летишина Г.А. Sm-Nd и Rb-Sr (ID-TIMS)-датирование апатит-флогопитовых клинопироксенитов в дунитовом “ядре” Кондерского массива на Алданском щите: новые данные // Докл. АН. 2012. Т. 445, № 5. С. 564–569.
8. Иванов К.С., Лобова Е.В. Новые данные по Sm-Nd изотопии Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива Среднего Урала // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 158. 2011. С. 194–198.
9. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: минералогия, петрология, генезис. Екатеринбург: УрГУ, 1997. 488 с.
10. Кнауф В.В. К метрологическому обеспечению минералогических работ // Зап. ВМО. 1996. Т. 125. (Вып. 6.) С. 109–113.
11. Краснобаев А.А., Аникина Е.В., Русин А.И. Цирконология дунитов Нижнетагильского массива (Средний Урал) // Докл. АН. 2011. Т. 436, № 6. С. 809–813.
12. Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометаллическая минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. СПб.: Недра, 1992. 217 с.
13. Малич К.Н. Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). СПб.: Санкт-Петербург. картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 1999. 296 с.
14. Малич К.Н. Os-Ru-Ir сплавы и Ru-Os сульфиды ультраосновных массивов и россыпных месторождений: состав, источники вещества, условия образования // Сборник публикаций по результатам V и VI ежегодных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой / Ред. В.К. Гаранин. М.: Ин-т прикл. минералогии, 2013. С. 94–105.
15. Малич К.Н., Баданина И.Ю., Кнауф В.В., Мейзел Т. Минералого-геохимические ассоциации платиноидов дунит-гарцбургитовых и клинопироксенит-дунитовых массивов // Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. 2013. С. 255–260.
16. Малич К.Н., Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л. Архейский U-Pb-изотопный возраст циркона дунитов Нижне-Тагильского массива (Платиноносный пояс Урала) // Докл. АН. 2009. Т. 427, № 1. С. 101–105.
17. Малич К.Н., Ефимов А.А., Баданина И.Ю. Контрастные минеральные ассоциации платиноидов хромититов Нижне-Тагильского и Гулинского массивов (Россия): состав, источники вещества, возраст // Докл. АН. 2011. Т. 441, № 1. С. 83–87.
18. Малич К.Н., Ефимов А.А., Баданина И.Ю. О возрасте дунитов Кондерского массива (Алданская провинция, Россия): первые U-Pb изотопные данные // Докл. АН. 2012. Т. 446, № 3. С. 308–312.
19. Малич К.Н., Костянов А.И. Модельный Re-Os-возраст платиноидной минерализации Гулинского массива (север Сибирской платформы, Россия) // Геология руд. месторождений. 1999. № 2. С. 143–153.
20. Попов В.С., Беляцкий Б.В. Sm-Nd возраст дунит-клинопироксенит-тылаитовой ассоциации Кытлымского массива, Платиноносный пояс Урала // Докл. АН. 2006. Т. 409, № 1. С. 104–109.
21. Andrews D.R.A., Brenan J.M. Phase-equilibrium constraints on the magmatic origin of laurite and Os-Ir alloy // Can. Mineral. 2002. V. 40. P. 1705–1716.
22. Auge T., Genna A., Legendre O., Ivanov K.S., Volchenko Y.A. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones // Economic Geol. 2005. V. 100, № 4. P. 707–732.
23. Bea F., Fershtater G.B., Montero P., Whitehouse M., Levin V.Ya., Scarrow J.H., Austrheim H., Pushkariev E.V. Recycling of continental crust into mantle as revealed by Kytlym dunite zircons, Ural Mts, Russia // Terra Nova. 2001. V. 13, № 6. P. 407–412.
24. Burg J.P., Bodinier J.-L., Gerya N., Bedini R.-M., Boudier F., Dautria J.-M., Prikhodko V., Efimov A., Pupier E., Balanec J.-L. Translithospheric mantle diapirism: Geological evidence and numerical modeling of the Kondyor zoned ultramafic complex (Russian Far-East) // J. Petrol. 2009. V. 50, № 2. P. 289–321.
25. Chen J.H., Papanastassiou D.A., Wasserburg G.J. Re-Os systematics in chondrites and the fractionation of the platinum group elements in the early solar system // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62, № 19/20. P. 3379–3392.
26. Gonzalez-Jimenez J.M., Locmelis M., Belousova E., Griffin W., Gervilla F., Kerestedjian T.N., O'Reilly S.Y., Pearson N.J., Sergeeva I. Genesis and tectonic implications of podiform chromitites in the metamorphosed ultramafic massif of Dobromiritsi (Bulgaria) // Gondwana Res. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2013.09.020>.
27. Guillou-Frotier L., Burov E., Auge T., Gloaguen E. Reological conditions for emplacement of Ural-Alaskan-type ultramafic complexes // Tectonophysics. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.02.002>.
28. Harris D.C., Cabri L.J. Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // Can. Mineralog. 1991. V. 29. P. 231–237.
29. Hattori K., Cabri L.J. Origin of platinum-group mineral nuggets inferred from an osmium-isotope study // Can.

- Mineralog. 1992. V. 30. P. 289–301.
30. *Krause J., Brugmann G.E., Pushkarev E.V.* Os-isotopes and PGE geochemistry of mafic-ultramafic Uralian-Alaskan type complexes in the Urals, Russia // 10th International platinum symposium, Extended abstracts (Tormanen T.O. and Alapieti T.T. eds.). 2005. Espoo: Geological survey of Finland. P. 437–440.
  31. *Massalski T.B.* (ed.) Binary Alloy Phase Diagrams. Amer. Soc. Metals, Metals Park, Ohio, 1993. 2224 p.
  32. *Paliulionyte V., Meisel T., Ramminger P., Kettisch P.* High pressure asher digestion and an isotope dilution-ICP-MS method for the determination of platinum-group element concentrations in chromitite reference materials CHR-Bkg, GAN Pt-1 and HHH // *Geostan. Geoanal. Res.* 2006. V. 30. P. 87–96.
  33. *Pearson D.G., Parman S.W., Nowell G.M.* A link between large mantle melting events and continent growth seen in osmium isotopes // *Nat.* 2007. V. 449. P. 202–205.
  34. *Smoliar M.I., Walker R.J., Morgan J.W.* Re–Os ages of group IIА, IIIА, IVА, and IVВ meteorites // *Sci.* 1996. V. 271. P. 1099–1102.