

УДК 549.272

DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-2-1

**ТОМАМАЭИТ  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  В САМОРОДНОМ ОСМИИ ИЗ РЕЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
В НИЖНЕСЕРГИНСКОМ РАЙОНЕ, СРЕДНИЙ УРАЛ****В.В. Шарыгин<sup>1</sup>, И.Г. Михайлов<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии СО РАН, пр. Коптюга 3, Новосибирск, 630090 Россия;

sharygin@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> ООО НТПП «Геопойск», ул. Василевского 75, Челябинск, Россия, 454139

Статья поступила в редакцию 11.03.2022 г., принята к печати 15.03.2022 г.

**TOMAMAEITE  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  IN NATIVE OSMIUM FROM RIVER SEDIMENTS IN  
THE NIZHNE SERGI REGION, CENTRAL URALS****V.V. Sharygin<sup>1</sup>, I.G. Mikhailov<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, pr. Koptugyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia; sharygin@igm.nsc.ru<sup>2</sup> ООО НТПП «Геопойск», ul. Vasilevskogo 75, Chelyabinsk, 454139 Russia

Received 11.03.2022, accepted 15.03.2022

**Аннотация.** Статья посвящена включениям томамаэита  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  в зерне самородного осмия из аллювиальных речных отложений в Нижнесергинском районе Свердловской области. Это четвертая находка минерала на Урале. Помимо томамаэита в самородном осмии состава  $\text{Os}_{0.36}\text{Ir}_{0.33}\text{Ru}_{0.31}$  выявлены включения дигенита (или роксбиита), миллерита, Fe-Ni-Pt сплава, неопределенного минерала Pd, магнезиогорнблендита и низкокальциевого пироксена. Томамэит имеет состав, близкий к идеальной формуле  $\text{Cu}_3\text{Pt}$ , и содержит незначительные примеси (мас. %) Pd (до 2.0), Ir (до 1.7), Ru и Ni (до 0.6) и Fe (до 0.2). Помимо самородного осмия в отложениях обнаружены два зерна самородного рутения состава  $\text{Ru}_{0.54}\text{Os}_{0.23}\text{Ir}_{0.23}$  и  $\text{Ru}_{0.40}\text{Os}_{0.31}\text{Ir}_{0.29}$ . Полученные данные позволяют утверждать, что источником минералов ЭПГ в речных осадках являлся один из основных-ультраосновных массивов в Нижнесергинском районе. Формирование томамаэита и сосуществующих фаз относится к стадии постмагматической переработки первичной ассоциации минералов ЭПГ, возможно, во время серпентинизации ультраосновных пород.

**Ключевые слова:** томамаэит, самородный осмий, Нижнесергинский район, Средний Урал.

**Abstract.** The article is devoted to tomamaeite  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  from inclusions in a native osmium grain from alluvial river sediments in the Nizhnie Sergi region, Sverdlovsk oblast. It is the fourth finding of this mineral in the Urals. In addition to tomamaeite, native osmium  $\text{Os}_{0.36}\text{Ir}_{0.33}\text{Ru}_{0.31}$  contains the inclusions of digenite (or, possibly, roxbyite), millerite, Fe-Ni-Pt alloy, an unidentified Pd mineral, magnesiohornblende, and low-Ca pyroxene. In composition, tomamaeite is close to the ideal formula  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  and contains minor amounts of (wt. %) Pd (up to 2.0), Ir (up to 1.7), Ru and Ni (up to 0.6), and Fe (up to 0.2). In addition to native osmium, two grains of native ruthenium  $\text{Ru}_{0.54}\text{Os}_{0.23}\text{Ir}_{0.23}$  and  $\text{Ru}_{0.40}\text{Os}_{0.31}\text{Ir}_{0.29}$  are found in sediments. Our data suggest that the PGE minerals in river sediments could be sourced from mafic-ultramafic massifs located in the Nizhnie Sergi area. The formation of tomamaeite and coexisted minerals is related to the process of postmagmatic transformation of the primary PGE mineral assemblage, probably, during serpentinization of ultramafic rocks.

**Keywords:** tomamaeite, native osmium, Nizhnie Sergi region, Central Urals.

**Для цитирования:** Шарыгин В.В., Михайлов И.Г. Томамэит  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  в самородном осмии из речных отложений в Нижнесергинском районе, Средний Урал. Минералогия, 8(2), 5–14. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-2-1

**For citation:** Sharygin V.V., Mikhailov I.G. Tomamaeite  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  in native osmium from river sediments in the Nizhnie Sergi Region, Central Urals. Mineralogy, 8(2), 5–14. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-2-1.

## Введение

Томамаэит  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  был утвержден как новый минерал в Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации в 2019 г. по названию голотипного проявления Томамаэ, северо-запад о-ва Хоккайдо, Япония (IMA 2019-129, Nishio-Hamane, Saito, 2020; Кривовичев, 2021). До утверждения минерала фаза состава  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  изредка отмечалась в ассоциациях минералов элементов платиновой группы (ЭПГ) из хромититов и других пород зональных базит-ультрабазитовых комплексов урало-алаянского типа и в связанных с ними россыпях (Дмитренко и др., 1985; Дистлер и др., 1986; Tolstykh et al., 2002; Козлов и др., 2011; Степанов, 2015). На данный момент достоверно известны следующие проявления томамаэита: береговые и речные россыпи в районе Томамаэ (всего восемь россыпей) (Nishio-Hamane, Saito, 2020; 2022), Гальмознанский массив, Камчатка (Власов и др., 2002; Козлов и др., 2011; Tolstykh et al., 2004), Нижнетагильский массив, Средний Урал (Козлов и др., 2011; Tolstykh et al., 2015), массив Вересовый Бор, Средний Урал (Степанов и др., 2020), Красногорский и Матыскенский массивы, Корякское нагорье (Дмитренко и др., 1985; Дистлер и др., 1986; Kutuyev et al., 2020; 2021), массив Кондёр, Алданский щит (Рудашевский и др., 1992), массив Наган, Западная Монголия (Агафонов, Леснов, 1997), и Оспинско-Китойский массив, Восточный Саян (Orsoev et al., 2000; Орсов и др., 2001; Григорьева и др., 2018), Бураковский расслоенный комплекс, Северная Карелия (Гроховская и др., 2005), массив Мончетундра, Кольский полуостров (Гроховская и др., 2005; Grokhovskaya et al., 2019) и массив Желтая Сопка, Северный Урал (Кузьмин и др., 2020).

Данная статья посвящена еще одной находке томамаэита в зерне самородного осмия из аллювиальных отложений долины р. Полуденный Бардым (система р. Уфа) в Нижнесергинском районе Свердловской области. В целом, присутствие ЭПГ минералов в речных отложениях этого района не удивляет, поскольку это часть платиноносного пояса Урала, и на его территории известны многочисленные мелкие тела аподунитовых и апогарцбургитовых серпентинитов. В соседнем Нязепетровском районе Челябинской области присутствуют три массива основных-ультраосновных пород: Суроямский, Нязепетровский и Церковский (Белковский, Селиверстов, 1976; Иванов, 1997; Жилин, Пучков,

2009; Пучков и др., 2010). Для Суроямского клинопироксенитового массива характерна Au-Pd-Pt минерализация, приуроченная к апатит-титаномагнетитовым рудам (Жилин, 2006; Жилин, Пучков, 2009; Пучков и др., 2010; Савельев, Блинов, 2020).

## Материалы и аналитические методы исследования

Шлиховые пробы (тяжелая фракция) были отобраны из пойменных речных отложений по рекам Бардым и Полуденный Бардым в Нижнесергинском районе Свердловской области вблизи административной границы с Нязепетровским районом Челябинской области. В них обнаружены единичные знаки минералов ЭПГ. Два зерна платиноидов найдены в шлихе пробы 9902 с изначальным весом 20 кг, взятой из нижней части останца первой надпойменной террасы р. Полуденный Бардым. Одно зерно обнаружено в шлихе пробы 9931, отобранной в основании пойменных отложений р. Бардым на глубине 0.7 м. Отобранные пробы были отмыты до черного шлиха. Полученные шлихи были подвергнуты магнитной и электромагнитной сепарации, в результате чего выделены магнетитовые фракции и фракции хромшпинелидов. Основными минералами тяжелой фракции шлихов являются хромшпинелиды, в меньшей степени – магнетит.

Зерна минералов ЭПГ из двух шлиховых проб использованы для детального изучения посредством сканирующей микроскопии в Институте геологии и минералогии СО РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Фотографии в обратно-рассеянных электронах (BSE), элементные карты, качественный и количественный анализ минералов (по энергодисперсионным спектрам, ЭДС метод, время набора 20–40 с) были получены на сканирующем микроскопе TESCAN MIRA3 LMU (система микроанализа INCA Energy450). В качестве стандартов для большинства элементов использованы простые оксиды, чистые металлы и стехиометричные минералы (силикаты): кварц ( $\text{Si}$ ,  $\text{O}$ ), корунд ( $\text{Al}$ ),  $\text{Ti}^0$ ,  $\text{Fe}^0$ ,  $\text{Mn}^0$ ,  $\text{Co}^0$ ,  $\text{Ni}^0$ , диопсид ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $\text{Cr}$ ),  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$  ( $\text{P}$ ), альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  ( $\text{Na}$ ), ортоклаз  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  ( $\text{K}$ ),  $\text{FeS}_2$  ( $\text{S}$ ) и чистые металлы ЭПГ. Условия съемки: напряжение 20 кВ, ток 1 нА. Для количественной оптимизации (нормировка на ток зонда и калибровка спектрометра по энергии) применялся  $\text{Co}^0$ . Для количественного анализа подбирались зерна размером более чем  $3 \times 3$  мкм.

Таблица 1

Средний химический состав самородного осмия и самородного рутения из тяжелой фракции речных отложений Нижнесергинского района, Средний Урал (мас. %)

Table 1

Average chemical composition of native osmium and native ruthenium from heavy fraction of river sediments of the Nizhnie Sergi area, Central Urals (wt. %)

№ зерна	9902-1		9902-2		9931-1	
Минерал	Самородный осмий		Самородный рутений			
	n = 28	ст	n = 13	ст	n = 20	ст
Fe	0.36	0.08	0.32	0.07	0.51	0.08
Ni	0.40	0.05	0.42	0.08	0.41	0.08
Ru	18.73	0.23	35.65	0.19	25.49	0.15
Rh	0.33	0.34	1.68	0.31	0.55	0.34
Pd	0.00	0.00	0.12	0.22	0.06	0.19
Os	41.79	0.34	30.25	0.26	37.95	0.25
Ir	38.66	0.28	30.52	0.26	35.21	0.27
Pt	0.00	0.00	0.24	0.46	0.00	0.00
Сумма	100.26		99.20		100.18	
Формульные коэффициенты (расчет формулы на 1 атом)						
Fe	0.01		0.01		0.01	
Ni	0.01		0.01		0.01	
Ru	0.30		0.50		0.38	
Rh	0.01		0.02		0.01	
Os	0.35		0.23		0.30	
Ir	0.32		0.23		0.28	
Формула	Os <sub>0,36</sub> Ir <sub>0,33</sub> Ru <sub>0,31</sub>		Ru <sub>0,54</sub> Os <sub>0,23</sub> Ir <sub>0,23</sub>		Ru <sub>0,40</sub> Os <sub>0,31</sub> Ir <sub>0,29</sub>	

Примечание. Здесь и в табл. 2 и 3: n – количество анализов; ст – стандартное отклонение.

Note. Here and in Tables 2 and 3: n – number of analyses; st – standard deviation.

### Состав минералов ЭПГ и их ассоциации

Нами детально исследованы три зерна минералов ЭПГ из двух шлиховых проб речных отложений по рекам Бардым и Полуденный Бардым в Нижнесергинском районе Свердловской области. Согласно номенклатуре ЭПГ сплавов (Harris, Cabri, 1991) по химическому составу два зерна относятся к самородному рутению и одно зерно – к самородному осмию (табл. 1). В зернах 9902-1 (самородный осмий) и 9931-1 (самородный рутений) обнаружены включения разного состава. В зерне самородного рутения 9902-2 какие-либо включения не были выявлены. Краевые зоны зерна самородного рутения 9931-1 состава  $Ru_{0.40}Os_{0.31}Ir_{0.29}$  содержат полиминеральные ассоциации, представленные самородным осмием состава  $Os_{0.61-0.69}Ir_{0.29-0.32}Ru_{0.01-0.05}$  лауридом состава  $(Ru_{0.58-0.69}Os_{0.15-0.19}Ir_{0.16-0.19})S_{2.00}$  и ирарситом  $IrAsS$ .

Наиболее интересным по фазовому разнообразию включений оказалось зерно самородного осмия 9902-1. Распределение включений в зерне

не дает возможность оценить, являются они сингенетическими или нет (рис. 1). В металл-сульфидных включениях выявлены томамазит, сульфид  $Cu$  и  $Fe-Ni-Pt$  сплав. Также присутствуют мономинеральные включения тамамазита. В силикатных включениях установлены магнезиогорнблендит, низкокальциевый пироксен,  $Fe-Ni-Pt$  сплав, минерал  $Pd$ , сульфид  $Ni$ , возможно также присутствие хлорита или серпентина (рис. 2). К сожалению, из-за малых размеров не для всех фаз удалось получить хороший количественный анализ. Так, сульфид  $Cu$  по соотношению  $Cu/S = 1.71-1.73$  наиболее близок к  $Cu_9S_5$  (дигенит или роксбиит), а сульфид  $Ni$  по соотношению  $Ni/S \sim 1$  соответствует миллериту  $NiS$ .

Взаимоотношения пироксена и амфибола во включениях (рис. 2) указывают на то, что пироксен является более ранней фазой. От центра к краю в низкокальциевом пироксене (ортопироксене?) немного снижаются магнезиальность ( $Mg\#$ ) и концентрации  $Al_2O_3$  (табл. 2). Для амфибола также характерны химические неоднород-

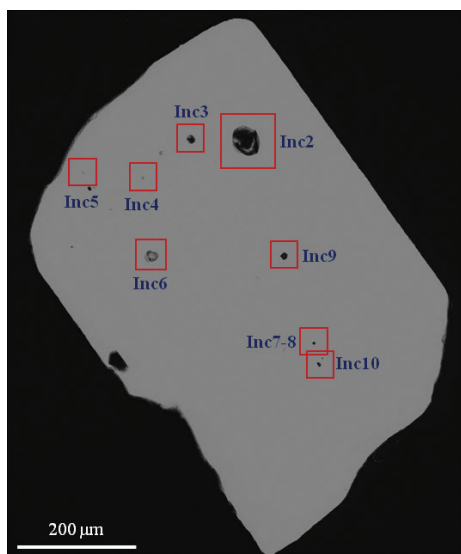


Рис. 1. Распределение включений в зерне самородного осмия (9902-1) из тяжелой фракции, Нижнесергинский район, Средний Урал.

Здесь и на рис. 2, 3 – BSE фото.

Fig. 1. Distribution of inclusions in native osmium grain (9902-1) from heavy fraction, Nizhnie Sergi area, Central Urals.

Here and in Figs. 2, 3 – BSE image.

ности (табл. 2). Согласно номенклатуре надгруппы амфибола (Hawthorne et al., 2012; Oberti et al., 2018) от центра к краю его состав изменяется от магнезиогорнблендита ( $(K_{0.01}Na_{0.30}Ca_{1.69})(Mg_{3.73}Fe^{2+}_{0.04}Ni_{0.06}Ti_{0.01}Fe^{3+}_{0.16})(Al_{0.75}Fe^{3+}_{0.25})(Al_{0.88}Si_{7.12}O_{22.00})(OH)_{2.00}$ ) до магнезиоферригорнблендита ( $(K_{0.01}Na_{0.17}Ca_{1.82})(Mg_{3.91}Fe^{2+}_{0.04}Ni_{0.05}Ti_{0.01})(Fe^{3+}_{0.41}Al_{0.32}Mg_{0.27})(Al_{0.56}Si_{7.44}O_{22.00})(OH)_{2.00}$ ).

### Химический состав томамазита

Томамазит во включениях имеет относительно однородный состав, но иногда он содержит субмикронные образования Fe-Ni-Pt сплава (рис. 2, 3), которые располагаются либо в пределах зерен, либо на границе с минералом-хозяином. Изученный томамазит имеет состав, близкий к идеальной формуле  $Cu_3Pt$ , и содержит незначительные примеси Pd (до 2.0 мас. %), Ir (до 1.7 мас. %), Ru и Ni (до 0.6 мас. %) и Fe (до 0.2 мас. %) (табл. 3).

К сожалению, химические данные для томамазита пока немногочисленны. Его состав определен из россыпей на о-ве Хоккайдо, Япония (Nishio-Namane, Saito, 2022), некоторых проявлений Коряко-Камчатского платинового пояса (Дмитренко

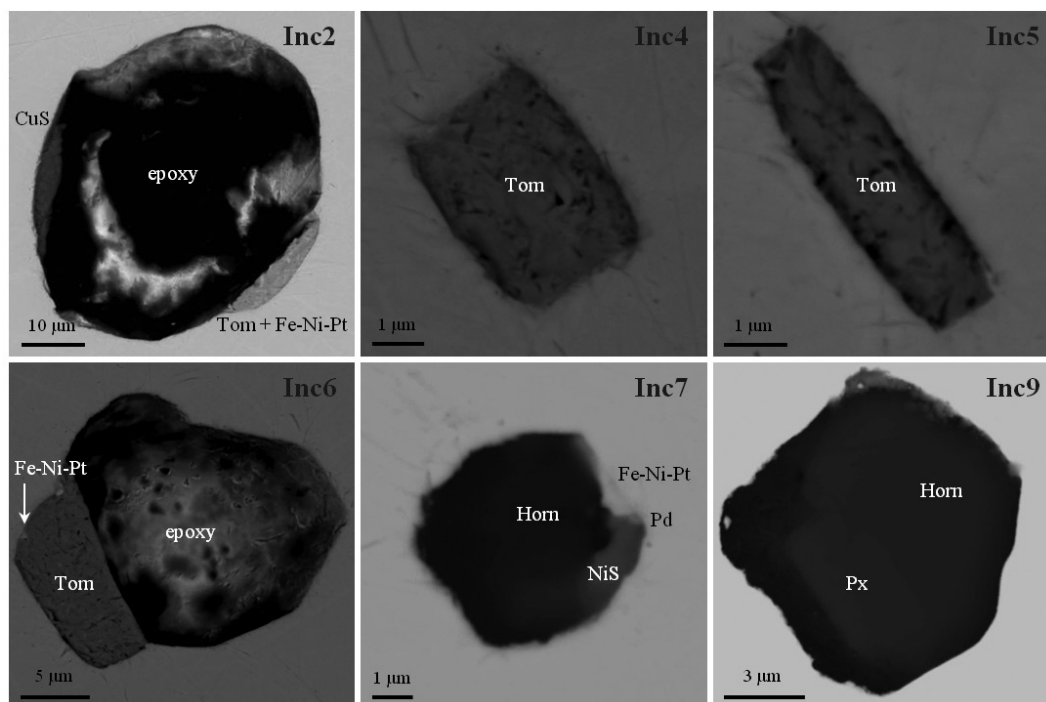


Рис. 2. Включения в зерне самородного осмия (9902-1) из тяжелой фракции, Нижнесергинский район, Средний Урал. CuS – дигенит/роксбиит; Tom – томамазит; Fe-Ni-Pt – Fe-Ni-Pt сплав; Pd – Pd-минерал; NiS – миллерит; Horn – магнезиогорнблендит; Px – низкокальциевый пироксен; эпоху – эпоксидная смола.

Fig. 2. Inclusions in native osmium grain (9902-1) from heavy fraction, Nizhnie Sergi area, Central Urals.

CuS – digenite/roxbyite; Tom – tomamaeite; Fe-Ni-Pt – Fe-Ni-Pt alloy; Pd – Pd mineral; NiS – millerite; Horn – magnesiohornblende; Px – low-Ca pyroxene; epoxy – epoxy resin.

Таблица 2

Средний химический состав пироксена и амфибола из включения Inc9 в зерне самородного осмия (9902-1),  
Нижнесергинский район, Средний Урал (мас. %)

Table 2

Average chemical composition of pyroxene and amphibole from inclusion Inc9 in native osmium grain (9902-1),  
Nizhnie Sergi area, Central Urals (wt. %)

Минерал	Низкокальциевый пироксен		Амфибол	
	центр	край	центр	край
n	1	2	4	2
SiO <sub>2</sub>	53.50	53.65	51.99	54.47
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.08	0.03	0.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.08	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.86	5.31	10.12	5.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.46	0.12	4.00	3.98
FeO	4.58	8.00	0.33	0.37
MnO	0.00	0.18	0.00	0.00
NiO	0.67	0.51	0.51	0.44
MgO	26.64	24.70	18.26	20.50
CaO	6.45	6.80	11.56	12.43
Na <sub>2</sub> O	0.65	0.61	1.12	0.65
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.05	0.04
F	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O			2.19	2.19
Сумма	99.81	99.93	100.23	100.54
Формульные коэффициенты				
Si	1.87	1.91	7.12	7.44
Al <sup>IV</sup>	0.13	0.09	0.88	0.56
Сумма Т	2.00	2.00	8.00	8.00
Al <sup>VI</sup>	0.16	0.13	0.75	0.32
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.00	0.41	0.41
Fe <sup>2+</sup>	0.13	0.24	0.04	0.04
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00
Ni	0.02	0.01	0.06	0.05
Mg	1.39	1.31	3.73	4.18
Сумма О	1.71	1.70	5.00	5.00
Ca	0.24	0.26	1.70	1.82
Na	0.04	0.04	0.30	0.17
K	0.00	0.00	0.01	0.01
Сумма Ca-Na	0.28	0.30	2.00	1.99
F			0.00	0.00
ОН			2.00	2.00
Mg#	0.91	0.85	0.99	0.99

Примечание. центр, край – центр и край зерна, соответственно;  $Mg\# = Mg / (Mg + Fe^{2+})$ ; включение Inc9 показано на рис. 2. Содержания FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитаны по балансу зарядов, содержания ОН и H<sub>2</sub>O – как ОН = 2-F-Cl-O. Для пироксена формула рассчитана на четыре катиона и шесть атомов кислорода, для амфибола – на 13 катионов в октаэдрических и тетраэдрических позициях и 24 аниона.

Note. центр, край – core and rim, respectively;  $Mg\# = Mg / (Mg + Fe^{2+})$ ; inclusion Inc9 is shown in Fig. 2. The FeO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents are calculated by charge balance; the OH and H<sub>2</sub>O contents are estimated as OH = 2-F-Cl-O. Formula of pyroxene is based on four cations and six O atoms; formula of amphibole is based on 13 cations in octahedral and tetrahedral sites and 24 anions.

и др., 1985; Дистлер и др., 1986) и массива Наган, Монголия (Агафонов, Леснов, 1997). В остальных случаях указывается наличие этой фазы, приводятся BSE фотографии и изредка – процент примесей в томамазите. Особо отметим Оспинско-Китойский

массив в Восточном Саяне. Здесь томамазит имеет специфический состав: он обогащен Au (до 8–14 мас. %) и Sb (до 6.2 мас. %) (Orsoev et al., 2000; Орсов и др., 2001) и, возможно, представляет собой новый минеральный вид  $(Pt,Au)(Cu,Sb)_3$ .



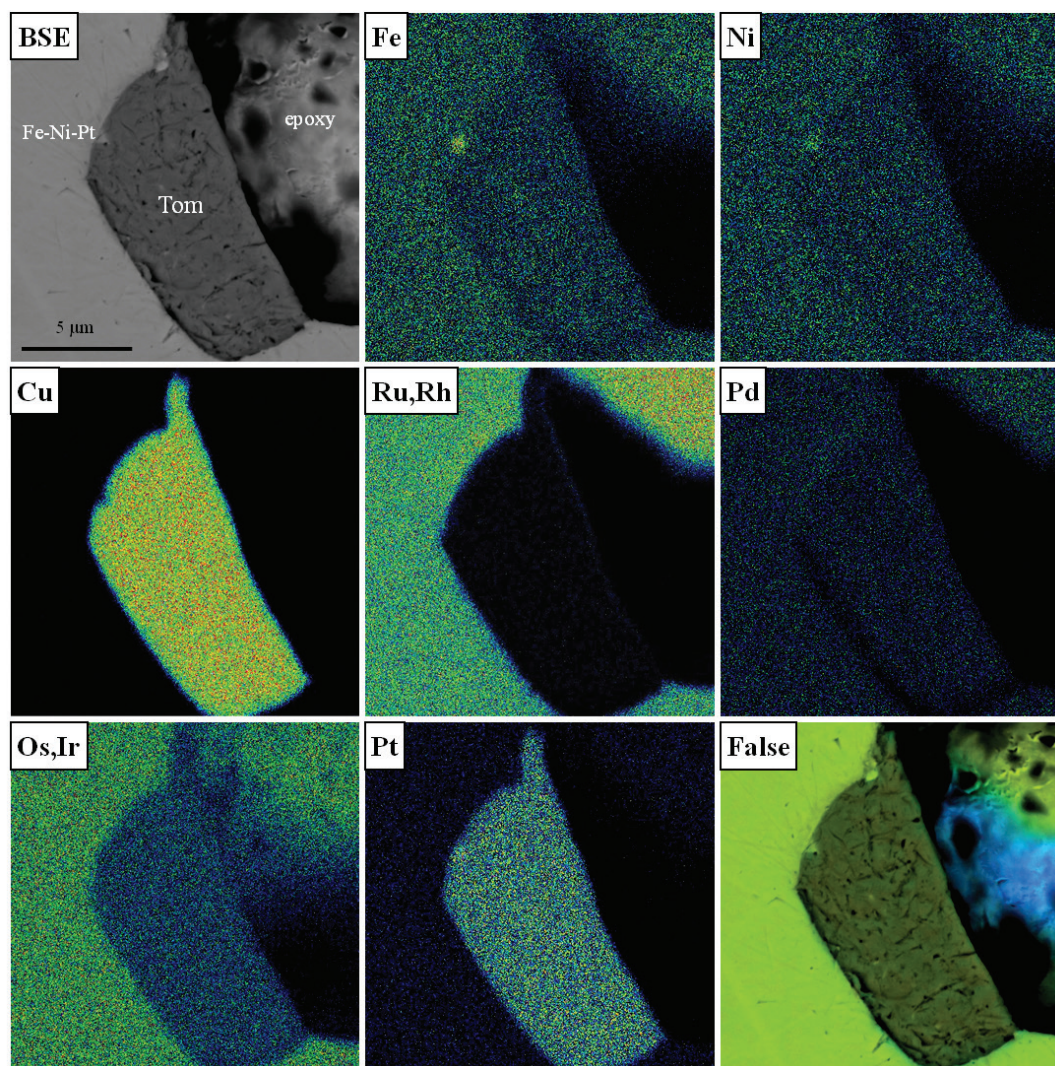


Рис. 3. Зерно томамазита (Tom) и карты распределения элементов для включения Inc6 в зерне самородного осмия (9902-1), Нижнесергинский район, Средний Урал.

Fe-Ni-Pt – Fe-Ni-Pt сплав; эпоху – эпоксидная смола.

Fig. 3. Tomamaeite (Tom) grain and elemental maps of inclusion Inc6 in native osmium grain (9902-1), Nizhnie Sergi area, Central Urals.

Fe-Ni-Pt – Fe-Ni-Pt alloy; эпоху – epoxy resin.

### Обсуждение и заключение

Полученные немногочисленные данные по минералам ЭПГ в пределах Нижнесергинского района (Средний Урал), к сожалению, пока не дают всей полноты картины об источниках, эволюции и распространенности ЭПГ минерализации в коренных и россыпных проявлениях в данном районе. Тем не менее, можно сделать некоторые предварительные выводы.

Во-первых, обнаружено новое проявление редкого минерала томамазита  $\text{Cu}_3\text{Pt}$ . Согласно исследованиям крупных базит-ультрабазитовых масси-

вов и прилегающих россыпей в пределах платиноносных поясов, его присутствие является индикатором постмагматических преобразований первичной ЭПГ минерализации ( $\text{Pt}$ ,  $\text{Pt}_3\text{Fe}$ ,  $\text{PtFe}$ ,  $\text{Pt}_2\text{FeNi} \rightarrow \text{Pt}_2\text{FeCu} \rightarrow \text{PtCu}_3$ ), которые вероятно происходили в процессе серпентинизации (Дистлер и др., 1986; Tolstykh et al., 2002; 2004; 2015; Козлов и др., 2011; Степанов, 2015; Степанов и др., 2020; Kutyrev et al., 2021). В нижнесергинских пробах пока не обнаружены первичные платиновые минералы (самородная платина, железистая платина, изоферроплатина, тетраферриплатина, ферроникельплатина, туламинит). Во-вторых, выявлены зерна Os-Ru-Ir ин-

Таблица 3

Химический состав томамаэита из включений в зерне самородного осмия (9902-1),  
 Нижнесергинский район, Средний Урал (мас. %)

Table 3

Chemical composition of tomamaeite from inclusions in native osmium grain (9902-1),  
 Nizhnie Sergi area, Central Urals (wt. %)

Включение	Inc2	Inc3	Inc4	Inc5	Inc6	Идеальный $Cu_3Fe$
<b>n</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	
Fe	0.12	0.00	0.18	0.00	0.20	49.42
Ni	0.32	0.20	0.40	0.56	0.62	
Cu	49.11	49.14	49.08	49.25	48.92	
Ru	0.07	0.27	0.10	0.62	0.06	
Rh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Pd	2.00	1.61	1.85	1.88	1.67	
Os	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	
Ir	0.00	0.96	0.25	1.65	0.12	
Pt	48.24	47.95	47.59	45.52	48.22	50.58
Сумма	99.87	100.11	99.45	99.70	99.81	100.00
Расчет формулы на 4 атома						
Fe	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	3.00
Ni	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	
Cu	2.95	2.96	2.95	2.95	2.94	
Ru	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	
Pd	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	
Ir	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	
Pt	0.94	0.94	0.93	0.89	0.94	1.00
Cu+Fe+Ni	2.98	2.97	2.99	2.98	2.99	3.00
ΣЭПГ	1.02	1.03	1.01	1.02	1.01	1.00

Примечание. включения Inc2, Inc4, Inc5 и Inc6 показаны на рис. 1.

Note. The Inc2, Inc4, Inc5 and Inc6 inclusions are shown in Fig. 1.

терметаллидов, где Ru играет существенную роль, что типично для платиноносного пояса Урала и, в частности, для россыпей Южного Урала (Zaykov et al., 2017).

В случае речных отложений Нижнесергинского района ЭПГ минерализация пока представлена Os-Ru-Ir сплавами, Fe-Ni-Pt сплавом (ферроникельплатина?), неидентифицированной Pd фазой, лауридом и ирарситом. О возможной связи ее с базит-ультрабазитовыми массивами района свидетельствует наличие низкокальциевого пироксена и магнезиогорнблендита во включениях в самородном осмии.

Следует отметить, что фазовый состав силикатных включений в минералах ЭПГ из россыпей и коренных пород иногда четко указывает на источник ЭПГ минерализации (Kutyrev et al., 2020; Airiyants et al., 2022 и другие работы). Летом 2021 г. при работах по геологическому картированию в пределах района и отборе шлиховых проб выявлены отдельные мелкие интрузивные тела, относящиеся, предпо-

ложительно, к раннепалеозойскому расслоенному комплексу офиолитовой ассоциации. Тела сложены пироксенитами разной степени серпентинизации и габброидами (от меланократовых до лейкократовых). Переходы от пироксенитов к габброидам – постепенные (через меланократовые габбро). По всей вероятности, именно с этими интрузиями связана ЭПГ минерализация, являющаяся источником для россыпных скоплений минералов ЭПГ в аллювии рек Бардым и Полуденный Бардым.

Авторы признательны И.С. Шарыгину (Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск) за поддержку и М.В. Хлестову (ИГМ СО РАН) – за техническое обеспечение при работе на сканирующем микроскопе. Данная работа была частично поддержана государственным заданием (проект ИГМ СО РАН IX.125-2). Авторы также благодарны рецензенту за высказанные замечания.



## Литература

- Агафонов Л.В., Леснов Ф.П.** (1997) Платиноиды в вебстеритах основного-ультраосновного массива Наган (Зап. Монголия). *Геология и геофизика*, **38**(12), 1949–1954.
- Белковский А.И., Селиверстов Г.Ф.** (1976) О формационной принадлежности Суроямского щелочно-ультраосновного массива (Средний Урал). *Доклады АН СССР*, **230**(3), 660–663.
- Власов Е.А., Ульянов А.А., Мочалов А.Г.** (2002) Окислы элементов платиновой группы из россыпи ручья Ледяной (Корякия, Россия) / Минералогия. Минералы и парагенезисы минералов. С.-Петербург, Наука, 13–14.
- Григорьева А.В., Дамдинов Б.Б., Служеникин С.Ф.** (2018) Рудная минерализация в ультрабазитах и метасоматитах Оспинско-Китойского Массива (Восточный Саян). *Геология рудных месторождений*, **60**(2), 141–163.
- Гроховская Т.Л., Лапина М.И., Ганин В.А. Гриневич Н.Г.** (2005) Проявления ЭПГ-минерализации в Бураковском расслоенном комплексе (Южная Карелия, Россия). *Геология рудных месторождений*, **47**(4), 315–341.
- Гроховская Т.Л., Лапина М.И., Мохов А.В.** (2009) Ассоциации и генезис минералов платиновой группы в малосульфидных рудах месторождения Мончетундра (Кольский полуостров, Россия). *Геология рудных месторождений*, **5**(6), 520–530.
- Дистлер В.В., Крячко В.В., Лапутина И.П.** (1986) Эволюция парагенезисов платиновых металлов в альпинотипных гипербазитах. *Геология рудных месторождений*, **5**, 16–33.
- Дмитренко Г.Г., Мочалов А.Г., Паланджян С.А., Горячева Е.М.** (1985) Химические составы породообразующих и акцессорных минералов альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья. Часть 2. Минералы платиновых элементов. Магадан, СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 60 с.
- Жилин И.В.** (2006) Au-Pt-Pd специализация апатит-титаномagnetитовых руд Суроямского щелочно-ультраосновного массива (Западный склон Урала). *Металлогения древних и современных океанов-2006. Условия рудообразования*. Миасс: ИМин УрО РАН, 214–217.
- Жилин И.В., Пучков В.Н.** (2009) Геология и рудоносность Нязепетровской зоны (Средний Урал). Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 184 с.
- Иванов О.К.** (1997) Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург, Уральский государственный университет, 488 с.
- Козлов А.П., Чантурия В.А., Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д., Телегин Ю.М.** (2011) Крупнообъемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаянского типа и перспективы их освоения. *Геология рудных месторождений*, **53**(5), 419–437.
- Кривовичев В.Г.** (2021) Минеральные виды. СПб, СПбГУ, 600 с.
- Кузьмин И.А., Паламарчук Р.С., Калугин В.М., Козлов А.В., Варламов Д.А.** (2020) Хромит-платиновая минерализация клинопироксенит-дунитового массива Жёлтая Сопка, Северный Урал. *Минералогия*, **6**(4), 46–59.
- Орсоев Д.А., Толстых Н.Д., Кислов Е.В.** (2001) Минерал состава PtCu<sub>3</sub> из хромититов Оспинско-Китойского гипербазитового массива (В. Саян). *Записки РМО*, **130**(4), 61–71.
- Пучков В.Н., Жилин И.В., Ронкин Ю.Л., Волченко Ю.А., Лепихина О.П.** (2010) Геологическая природа и возраст Суроямского клинопироксенитового массива (Средний Урал). *Доклады Академии наук*, **431**(2), 223–227.
- Рудашевский Н.С., Бураков Б.Е., Малич К.Н., Хаецкий В.В.** (1992) Акцессорная платиновая минерализация хромититов Кондерского щелочно-ультраосновного массива. *Минералогический журнал*, **14**(5), 2–12.
- Савельев Д.Е., Блинов И.А.** (2020) Благороднометальная минерализация в апатит-титаномagnetитовых рудах Суроямского массива (Средний Урал). *Георесурсы*, **22**(4), 98–100.
- Степанов С.Ю.** (2015) Онтогенез минералов платиновой группы в зональных ультраосновных массивах (Средний Урал). *Онтогенез, филогенез и система минералогии*. Миасс: ИМин УрО РАН, 182–186.
- Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Антонов А.В., Козлов А.В., Варламов Д.А., Ханин Д.А., Золотарев-мл. А.А.** (2020) Морфология, состав и онтогенез минералов платиновой группы в хромититах зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала. *Геология и геофизика*, **61**(1), 60–83.
- Airiyants E.V., Kiseleva O.N., Zhmodik S.M., Belyanin D.K., Ochirov Y.C.** (2022) Platinum-group minerals in the placer of the Kitoy river, East Sayan, Russia. *Minerals*, **12**, 21.
- Grokhovskaya T.L., Karimova O.V., Vymazalová A., Laufek F., Chareev D.A., Kovalchuk E.V., Magazina L.O., Rassulov V.A.** (2019) Nipalarsite, Ni<sub>8</sub>Pd<sub>3</sub>As<sub>4</sub>, a new platinum-group mineral from the Monchetundra Intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Mineralogical Magazine*, **83**(6), 837–845.
- Harris D.C., Cabri L.J.** (1991) Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision. *The Canadian Mineralogist*, **29**, 231–237.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D.** (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**, 2031–2048.
- Kutyrev A.V., Kamenetsky V.S., Sidorov E.G., Abersteiner A., Chubarov V.M.** (2020) Silicate inclusions in isoferroplatinum: Constraints on the origin of platinum mineralization in podiform chromitites. *Ore Geology Reviews*, **119**, 103367.
- Kutyrev A.V., Sidorov E.G., Kamenetsky V.S., Chubarov V.M., Chayka I.F., Abersteiner A.** (2021)



Platinum mineralization and geochemistry of the Matysken zoned Ural-Alaskan type complex and related placer (Far East Russia). *Ore Geology Reviews*, **130**, 103947.

**Nishio-Hamane D., Saito K.** (2020) Tommaeite, IMA 2019-129. CNMNC Newsletter No. 55. *Mineralogical Magazine*, **84**.

**Nishio-Hamane D., Saito K.** (2022) Platinum-group minerals in the placer deposit in northwestern Hokkaido, Japan: description of a new mineral, tommaeite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **117**. (in press)

**Oberti R., Boiocchi M., Hawthorne F.C., Ciriotti M.E.** (2018) Magnesio-hornblende from Lüderitz (Namibia): mineral description and crystal chemistry. *Mineralogical Magazine*, **82**, 1253–1259.

**Orsoev D.A., Kislov E.V., Tolstykh N.D.** (2000) PGE mineralization in the chromitites of the Ospa-Kitoy ultramafic massif, Eastern Sayan, Russia. *Proceedings of ICAM 2000: Applied mineralogy in research, economy, technology and culture*. Goettingen, 387–390.

**Tolstykh N., Krivenko A., Sidorov E., Laajoki K., Podlipsky M.** (2002) Ore mineralogy of PGM placers in Siberia and the Russian Far East. *Ore Geology Reviews*, **20**(1), 1–25.

**Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Kozlov A.P.** (2004) Platinum-group minerals in lode and placer deposits associated with the Ural-Alaskan-type Gal'moenan complex, Koryak-Kamchatka Platinum Belt, Russia. *The Canadian Mineralogist*, **42**(2), 619–630.

**Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Y.** (2015) Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore Geology Reviews*, **67**, 234–243.

**Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Krasner Y.D.** (2017) Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: Composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geology Reviews*, **85**, 299–320.

## References

**Agafonov L.V., Lesnov F.P.** (1997) [Platinoids in websterites from the Naran massif of mafic and ultramafic rocks (Western Mongolia)]. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, **38**(12), 1949–1954. (in Russian)

**Airiyants E.V., Kiseleva O.N., Zhmodik S.M., Belyanin D.K., Ochirov Y.C.** (2022) Platinum-group minerals in the placer of the Kitoy river, East Sayan, Russia. *Minerals*, **12**, 21.

**Belkovsky A.I., Seliverstov G.F.** (1976) [Formation conditions of the Suoyam alkaline-ultrabasic massif (Central Urals)]. *Doklady Akademii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, **230**(3), 660–663. (in Russian)

**Distler V.V., Kryachko V.V., Laputina I.P.** (1986) [Evolution of platinum metals assemblages in the Alpine-type ultramafic rocks]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **5**, 16–33 (in Russian).

**Dmitrenko G.G., Mochalov A.G., Palandjan S.A., Goryacheva E.M.** (1985) [Chemical compositions of rock-forming and accessory minerals of Alpine-type ultramafic rocks of the Koryak Highland. Part 2. Minerals of platinum-group elements]. Magadan, SVKNII SVNC AN SSSR, 60 p. (in Russian).

**Grigor'eva A.V., Damdinov B.B., Sluzhenikin S.F.** (2018) Ore mineralization in ultramafic and metasomatic rocks of the Ospin-Kitoy massif, eastern Sayan. *Geology of Ore Deposits*, **60**(2), 121–141.

**Grokhovskaya T.L., Karimova O.V., Vymazalová A., Laufek F., Chareev D.A., Kovalchuk E.V., Magazina L.O., Rassulov V.A.** (2019) Nipalarsite,  $\text{Ni}_8\text{Pd}_3\text{As}_4$ , a new platinum-group mineral from the Monchetundra Intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Mineralogical Magazine*, **83**(6), 837–845.

**Grokhovskaya T.L., Lapina M.I., Ganin V.A., Grinevich N.G.** (2005) PGE mineralization in the Burakovsk layered complex, southern Karelia, Russia. *Geology of Ore Deposits*, **47**(4), 283–308.

**Grokhovskaya T.L., Lapina M.I., Mokhov A.V.** (2009) Assemblages and genesis of platinum-group minerals in low-sulfide ores of the Monchetundra deposit, Kola Peninsula, Russia. *Geology of Ore Deposits*, **5**(6), 467–485.

**Harris D.C., Cabri L.J.** (1991) Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision. *The Canadian Mineralogist*, **29**, 231–237.

**Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D.** (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**, 2031–2048.

**Ivanov O.K.** (1997) [Concentrically-zoned pyroxenite-dunite massifs of the Urals]. Yekaterinburg, Urals State University, 488 p. (in Russian).

**Kozlov A.P., Chanturiya V.A., Sidorov E.G., Tolstykh N.D., Telegin Yu.M.** (2011) Large-volume platinum ore deposits in zonal mafic-ultramafic complexes of the Ural-Alaskan type and the outlook for their development. *Geology of Ore Deposits*, **53**(5), 374.

**Krivovichev V.G.** (2021) [Mineral species]. St. Petersburg, St. Petersburg State University, 600 p. (in Russian).

**Kutyrev A.V., Kamenetsky V.S., Sidorov E.G., Abersteiner A., Chubarov V.M.** (2020) Silicate inclusions in isoferroplatinum: Constraints on the origin of platinum mineralization in podiform chromitites. *Ore Geology Reviews*, **119**, 103367.

**Kutyrev A.V., Sidorov E.G., Kamenetsky V.S., Chubarov V.M., Chayka I.F., Abersteiner A.** (2021) Platinum mineralization and geochemistry of the Matysken zoned Ural-Alaskan type complex and related placer (Far East Russia). *Ore Geology Reviews*, **130**, 103947.

**Kuzmin I.A., Palamarchuk R.S., Kalugin V.M., Kozlov A.V., Varlamov D.A.** (2020) [Chromite-platinum mineralization of clinopyroxenite-dunite massif Zheltaya Sopka, North Ural]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **6**(4), 46–59 (in Russian).

- Nishio-Hamane D., Saito K.** (2020) Tomamaeite, IMA 2019-129. CNMNC Newsletter No. 55. *Mineralogical Magazine*, **84**.
- Nishio-Hamane D., Saito K.** (2022) Platinum-group minerals in the placer deposit in northwestern Hokkaido, Japan: description of a new mineral, tomamaeite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **117**. (in press)
- Oberti R., Boiocchi M., Hawthorne F.C., Ciriotti M.E.** (2018) Magnesio-hornblende from Lüderitz (Namibia): mineral description and crystal chemistry. *Mineralogical Magazine*, **82**, 1253–1259.
- Orsoev D.A., Kislov E.V., Tolstykh N.D.** (2000) PGE mineralization in chromitites of the Ospin-Kitoy ultramafic massif, Eastern Sayan, Russia. *Proceedings of ICAM 2000: Applied mineralogy in research, economy, technology and culture*. Goettingen, 387–390.
- Orsoev D.A., Tolstykh N.D., Kislov E.V.** (2001) [Mineral composition PtCu<sub>3</sub> from chromitites of the Ospin-Kitoy ultramafic massif (Eastern Sayan)]. *Zapiski Vserossiiskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], **130**(4), 61–71. (in Russian).
- Puchkov V.N., Zhilin I.V., Ronkin Yu.L., Volchenko Yu.A., Lepikhina O.P.** (2010) The nature and age of the Suroyam clinopyroxenite massif (Middle Urals). *Doklady Earth Sciences*, **431**(1), 294–298.
- Rudashevsky N.S., Burakov B.E., Malich K.N., Khaetsky V.V.** (1992) [Accessory Pt mineralization in chromitites of the Konder alkali-ultramafic massif.] *Mineralogicheskii zhurnal* [Mineralogical Journal], **14**(5), 12–22 (in Russian).
- Saveliev D.E., Blinov I.A.** (2020) [Precious metal mineralization in apatite-titanomagnetite ores of the Suroyam massif (Central Urals)]. *Georesursy* [Georesources], **22**(4), 98–100. (in Russian).
- Stepanov S.Yu.** (2015) [Ontogenesis of platinum-group minerals of zoned ultramafic massifs (Central Urals)]. *Ontogenez, filogenez i sistema mineralogii* [Ontogenesis, Phylogenesis, and System of Mineralogy]. Miass: IMin UrO RAN, 182–186. (in Russian).
- Stepanov S.Yu., Palamarchuk R.S., Antonov A.V., Kozlov A.V., Varlamov D.A., Khanin D.A., Zolotarev A.A., Jr.** (2020) Morphology, composition, and ontogenesis of platinum-group minerals in chromitites of zoned clinopyroxenite-dunite massifs the Middle Urals. *Russian Geology and Geophysics*, **61**(1), 47–67.
- Tolstykh N., Krivenko A., Sidorov E., Laajoki K., Podlipsky M.** (2002) Ore mineralogy of PGM placers in Siberia and the Russian Far East. *Ore Geology Review*, **20**(1), 1–25.
- Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Kozlov A.P.** (2004) Platinum-group minerals in lode and placer deposits associated with the Ural-Alaskan-type Gal'moenan complex, Koryak-Kamchatka Platinum Belt, Russia. *The Canadian Mineralogist*, **42**(2), 619–630.
- Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Y.** (2015) Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore Geology Reviews*, **67**, 234–243.
- Vlasov E.A., Ulyanov A.A., Mochalov A.G.** (2002) [Platinum-group element oxides from a placer of the Ledianoy Stream, Koryakia, Russia]. In: *Mineralogiya. Mineraly i mineralnye paragenезisy* [Mineralogy. Minerals and Mineral Parageneses]. St. Petersburg, Nauka, 13–14 (in Russian).
- Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Krasner Y.D.** (2017) Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: Composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geology Reviews*, **85**, 299–320.
- Zhilin I.V.** (2006) [Au-Pt-Pd mineralization of apatite-titanomagnetite ores of the Suroyam alkali-ultramafic massif (western slope of the Urals)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2006. Usloviya rudoobrazovaniya* [Metallogeny of ancient and modern oceans-2006. Formation conditions]. Miass: IMin UrO RAN, 214–217. (in Russian).
- Zhilin I.V., Puchkov V.N.** (2009) [Geology and ore potential of the Nyazepetrovsk zone (Central Urals)]. Ufa: DizainPoligrafServis, 184 p. (in Russian).