

## Благороднометальная минерализация в апатит-титаномагнетитовых рудах Суроямского массива (Средний Урал)

Д.Е. Савельев<sup>1\*</sup>, И.А. Блинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, Миасс, Россия

Изучен минералогический состав апатит-титаномагнетитовых клинопироксенитов Суроямского массива, характеризующихся устойчивыми повышенными содержаниями элементов платиновой группы при ведущей роли палладия. В ассоциации с акцессорным халькопиритом установлены минералы палладия и серебра – мертиит, меренскит, гессит. Высказано предположение о том, что присутствие собственных минеральных фаз палладия, представленных теллуридами и арсенидами-антимонидами, позволяет рассматривать Суроямский массив в качестве перспективного месторождения комплексных Pd-P-Fe руд.

**Ключевые слова:** ультрамафиты, клинопироксениты, апатит-титаномагнетитовые руды, палладий, мертиит

**Для цитирования:** Савельев Д.Е., Блинов И.А. (2020). Благороднометальная минерализация в апатит-титаномагнетитовых рудах Суроямского массива (Средний Урал). *Георесурсы*, 22(4), с. 98–100. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.98-100>

Суроямский мафит-ультрамафитовый массив расположен в южной части Нязепетровско-Бардымского аллохтона на западном склоне Среднего Урала (рис. 1) и представляет собой сложно построенный полиформационный комплекс, включающий породы дунит-верлит-клинопироксенитовой, офиолитовой и щелочно-ультраосновной ассоциаций (Белковский, Селиверстов, 1976; Волченко и др., 1995; Жилин, Пучков, 2009; Жилин, Фоминых, 1977). Большую часть массива занимают клинопироксениты, вмещающие титаномагнетитовое и апатит-титаномагнетитовое оруденение, сопровождающееся малосульфидной благороднометальной минерализацией.

Массив образует удлиненное в плане линзовидное тело площадью 15 км<sup>2</sup> при мощности от 500 до 1500 м и характеризуется линейно-зональным строением. Осевая часть массива сложена магнетитовыми клинопироксенитами, которые к западу и востоку сменяются апатит-титаномагнетитовыми. По периферии клинопироксениты окружены верлитами и полностью серпентинизированными ультрамафитами. Наиболее поздними породами комплекса являются щелочные габбро и сиениты, прорывающие ультрамафиты более ранней ассоциации. Массив представляется бескорневым отторженцем, тектонически перемещенным вместе с вулканическими породами Тагильской островной дуги с востока и залегающим на палеозойских породах края Восточно-Европейского континента (Жилин, Пучков, 2009).

По данным И.В. Жилина (Жилин, 2006), ресурсы железных руд, сосредоточенных на Суроямском массиве, составляют около 16 млрд тонн по категории Р<sub>1</sub>. Для них характерна золото-платино-палладиевая геохимическая

специализация. Геохимическое изучение керновых и технологических проб титаномагнетитовых и апатит-титаномагнетитовых руд показало, что содержание палладия в рудах варьирует от 30 до 700 мг/т при среднем 120 мг/т (Волченко и др., 2009; Жилин, Пучков, 2009), а ресурсы данного металла в центральном блоке ферроклинопироксенитов составляют 504 тонны до глубины 300 м (Жилин, 2006).

Нами были изучены образцы керна скважины №7, пробуренной в центральной части массива. По данным геохимического изучения, апатит-титаномагнетитовые руды, вскрытые данной скважиной в интервале 70–100 м, наиболее богаты платиноидами: здесь выявлены самые высокие концентрации палладия на массиве (рис. 1в). Исследование составов акцессорных минералов руд проводилось в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс) при помощи растрового электронного микроскопа Tescan Vega 3, оборудованного энерго-дисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-act. Анализы проведены при диаметре пучка 3 мкм, токе 20 нА, ускоряющем напряжении 30 кВ, времени набора спектра 120 с; для минералов платиновой группы (МПГ) использованы стандарты чистых металлов (Micro-Analysis Consultants Ltd., X-Ray Microprobe Standards, Registered Standard Number 1362).

Благороднометальная минерализация в изученных образцах представлена преимущественно минералами палладия и серебра: субмикронными выделениями мертиита во внешней гидроксидно-железистой кайме вокруг халькопирита (рис. 2а, б), мелкими зернами гессита, заключенными внутри халькопирита (рис. 2в), либо удлиненными выделениями гессита, располагающимися вдоль трещин в кристаллах клинопироксена (рис. 2г). Ранее также сообщалось о находках единичных зерен меренскита в ассоциации с халькопиритом (Волченко и др., 2009). Помимо минералов палладия и серебра,

\* Ответственный автор: Дмитрий Евгеньевич Савельев  
E-mail: [sav171@mail.ru](mailto:sav171@mail.ru)

© 2020 Коллектив авторов

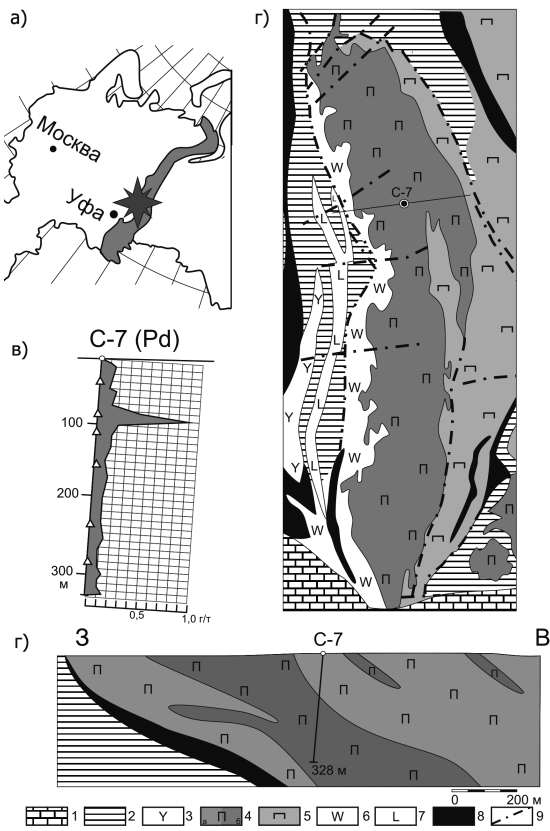


Рис. 1. Геологическое строение Суоямского ультрамафит-мафитового комплекса. а – обзорная карта, б – схема геологического строения Суоямского массива; в – распределение содержаний палладия по разрезу скв.7; г – разрез массива по линии скважин 1–9 в центральной части массива; б-г – по (Жилин, Пучков, 2009). 1 – палеозойские карбонатные отложения; 2 – туфы порфиров базальтового состава; 3 – сиениты; 4 – рудные клинопироксены (а – титаномангнетитовые; б – апатит-титаномангнетитовые); 5 – верлиты и клинопироксены калишпатизированные; 6 – верлиты; 7 – леуцолиты; 8 – серпентиниты; 9 – разрывные нарушения

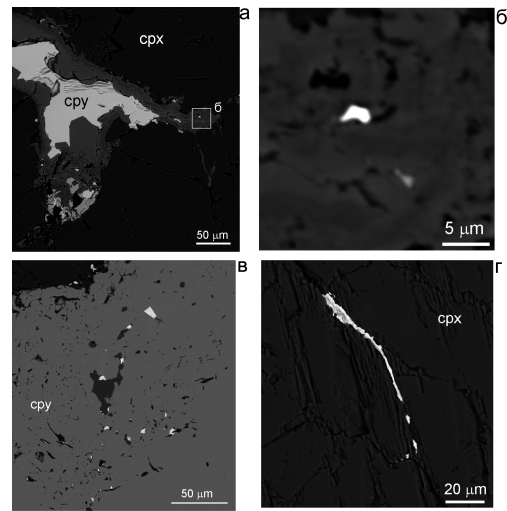


Рис. 2. Минералы палладия и серебра в малосульфидных апатит-титаномангнетитовых рудах. а, б – выделение меркюрита в оксидной оторочке халькопирита, в – включения гессита в халькопирите; г – выделение гессита вдоль трещины в клинопироксене; срх – клинопироксен, сру – халькопирит

в виде включений в халькопирите встречен кобальтин ( $Co_{0,892}Fe_{0,067}Ni_{0,034}Σ_{0,993}As_{0,972}S_{1,00}$ ) галенит и тончайшие включения минералов висмута и ртути.

Размер выделений минералов благородных металлов составляет обычно первые микроны, вследствие чего получение количественных данных об их составе затруднено. Следует отметить, что для минералов палладия в изученных рудах характерно присутствие значимых количеств серебра (до 3,78 мас.% в меркюрите) (табл. 1), а для гессита – примесей платиноидов, главным образом палладия (Волченко и др., 2009).

По геолого-минералогическим критериям и геохимической специализации руды Суоямского массива близки к месторождениям Баронского и Качканарского типов

№ п/п	S	Fe	Ni	Cu	As	Se	Pd	Ag	Pt	Sb	Te	Bi	Hg	Сумма
1	–	–	–	–	–	1,12	–	63,29	–	–	36,02	–	–	100,4
2	–	–	–	–	–	1,22	–	64,09	–	–	34,69	–	–	100,0
3	–	–	–	–	–	–	–	63,28	–	–	36,72	–	–	100,0
4	34,33	29,79	–	35,62	–	–	–	–	–	–	–	–	–	99,74
5	–	–	–	–	–	1,18	–	62,21	–	–	36,61	–	–	100,0
6	34,71	29,81	–	35,21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	99,72
7	–	1,69	–	1,94	11,01	–	68,76	3,78	–	12,83	–	–	–	100,0
8	35,9	30,35	–	33,75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100,0
9	–	0,11	2,1	0,31	–	–	26,1	–	2,3	–	66,0	2,1	1,5	100,5

№ п/п	Формула	название
1	$Ag_{1,983}(Te_{0,952}Se_{0,048})_{1,00}$	гессит
2	$Ag_{2,072}(Te_{0,946}Se_{0,054})_{1,00}$	гессит
3	$Ag_{2,042}Te_{1,00}$	гессит
4	$Cu_{1,038}Fe_{0,992}S_{2,00}$	халькопирит
5	$Ag_{1,914}(Te_{0,95}Se_{0,05})_{1,00}$	гессит
6	$Cu_{1,014}Fe_{0,982}S_{2,00}$	халькопирит
7	$(Pd_{10,298}Ag_{0,556})_{10,854}(As_{2,33}Sb_{1,67})_{4,00}$	меркюрит
8	$Fe_{0,966}Cu_{0,94}S_{2,00}$	халькопирит
9	$(Pd_{0,882}Pt_{0,042}Ni_{0,129}Fe_{0,036})_{1,107}(Te_{1,885}Bi_{0,014}Hg_{0,011})_{1,91}$	меренскит

Табл. 1. Химический состав аксессуарных минералов апатит-титаномангнетитовых руд (мас.%). Примечание: «–» – содержание элемента ниже предела обнаружения; халькопириты 4 и 6 вмещают выделения гессита 3 и 5, соответственно; выделение меркюрита (7) находится в оксидной оторочке зерна халькопирита (8). Анализ меренскита (9) заимствован из работы (Волченко и др., 2009)

Платиноносного пояса Урала (Волченко и др., 2009; Жилин, 2006). Образование благороднометальной минерализации в изученных образцах происходило, по-видимому, на поздних стадиях развития магматической системы, о чем свидетельствует приуроченность выделений МПГ и гессита к зонам окисления халькопирита и трещинам в силикатах.

Установленные в изученных апатит-титаномagnetитовых рудах повышенные содержания элементов платиновой группы (в основном палладия) и наличие собственных минеральных форм ЭПГ, представленных теллуридами и арсенидами-антимонидами, позволяет рассматривать Суоямский массив в качестве перспективного месторождения комплексных Pd-P-Fe руд.

### Финансирование

Исследования выполнены в рамках темы Госзадания Минобрнауки РФ (№ 0246–2019–0078)

### Литература

Белковский А.И., Селиверстов Г.Ф. (1976). О формационной принадлежности Суоямского щелочно-ультраосновного массива (Средний Урал). *Доклады АН СССР*, 230(13), с. 660–663.

Волченко Ю.А., Золоев К.К., Коротеев В.А., Мардиросьян А.Н. (1995) Типы платиновометального оруденения и их генетическая сущность. *Актуальные проблемы магматической геологии, петрологии и рудообразования*, Екатеринбург, с. 38–55.

Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Нестерова С.И. (2009). Сравнительная характеристика платиноносности ферроклинопироксенитовых комплексов Уральского подвижного пояса. *Ежегодник-2008*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, с. 209–216.

Жилин И.В. (2006). Au-Pt-Pd специализация апатит-титаномagnetитовых руд Суоямского щелочно-ультраосновного массива (Западный склон Урала). *Металлогения древних и современных океанов-2006*. Миасс: ИМин УрО РАН, с. 214–217.

Жилин И.В., Пучков В.Н. (2009). Геология и рудоносность Нязепетровской зоны (Средний Урал). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 184 с.

Жилин И.В., Фоминых В.Г. (1977). Щелочной метасоматоз Суоямского гипербазитового массива на Южном Урале. *Доклады АН СССР*, 233(2), с. 465–467.

### Сведения об авторах

*Дмитрий Евгеньевич Савельев* – доктор геол.-мин. наук, профессор Академии наук Республики Башкортостан  
Институт геологии УФИЦ РАН  
Россия, 450077, Уфа, ул. К.Маркса, д. 16/2

*Иван Александрович Блинов* – канд. геол.-мин. наук  
Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН  
456301, Миасс, Челябинская область, Ильменский заповедник, д. 1

Статья поступила в редакцию 07.05.2020;

Принята к публикации 08.09.2020;

Опубликована 11.12.2020

IN ENGLISH

## Noble metal mineralization in apatite titanomagnetite ores of the Suoyam massif (Middle Urals)

*D.E. Saveliev<sup>1\*</sup>, I.A. Blinov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Geology of the Ufimian Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of Mineralogy of the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russian Federation*

\*Corresponding author: Dmitry E. Saveliev, e-mail: savl71@mail.ru

**Abstract.** The mineralogical composition of apatite-titanomagnetite clinopyroxenites of the Suoyam massif, characterized by stable elevated contents of platinum group elements with the leading role of palladium, has been studied. In association with accessory chalcocopyrite, palladium and silver minerals have been identified – mertieite, merenskyite, hessite. It has been suggested that the presence of intrinsic mineral phases of palladium, represented by tellurides and arsenides-antimonides, allows us to consider the Suoyam massif as a promising deposit of complex Pd-P-Fe ores.

**Keywords:** ultramafic rocks, clinopyroxenite, apatite-titanomagnetite ore, palladium, mertieite

**Recommended citation:** Saveliev D.E., Blinov I.A. (2020). Noble metal mineralization in apatite titanomagnetite ores of the Suoyam massif (Middle Urals). *Georesursy = Georesources*, 22(4), pp. 98–100. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.98-100>

### References

Belkovsky A.I., Selivyorstov G.F. (1976). About formational type of Suoyam alkali-ultramafic massif (Middle Urals). *Doklady Earth Sciences*, 230(13), pp. 660–663. (In Russ.)

Volchenko Yu.A., Korotееv V.A., Nesterova S.I. (2009). Comparative characteristic of Pt-bearings of ferroclinopyroxenite complexes of Uralian mobile belt. *Ezhegodnik-2008*. Екатеринбург, pp. 209–216. (In Russ.)

Volchenko Yu.A., Zoloev K.K., Korotееv V.A., Mardirosyan A.N. (1995). Types of PGE-ores and their genetical meaning. *Proceedings of*

*Actual problems of magmatic geology, petrology and ore forming processes*. Ekaterinburg, pp. 38–58. (In Russ.)

Zhilin I.V. (2006). Au-Pt-Pd-specialization of apatite-Ti-magnetite ores of Suoyam alkali-ultramafic massif (West slope of Urals). *Metallogeny of ancient and modern oceans-2006*. Miass, pp. 214–217. (In Russ.)

Zhilin I.V., Fominykh V.G. (1977). Alkali metasomatism of Suoyam giperbasite massif on the Southern Urals. *Doklady Earth Sciences*, 233(2), pp. 465–467. (In Russ.)

Zhilin I.V., Puchkov V.N. (2009). Geology and ore-bearing of Nyazepetrovsky zone (Middle Urals). Ufa: DizaynPoligraphServis, 184 p. (In Russ.)

### About the Authors

*Dmitry E. Saveliev* – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Institute of Geology of the Ufimian Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences  
16/2, K.Marks st., Ufa, 450077, Russian Federation

*Ivan A. Blinov* – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Institute of Mineralogy of the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences  
1, Ilmeny State Reserve, Miass, Chelyabinsk region, 456301, Russian Federation

Manuscript received 7 May 2020;

Accepted 8 September 2020;

Published 11 December 2020