

## Минеральные виды Северной Карелии: рудные минералы палеопротерозойских (PR<sub>1sm</sub>) расслоенных массивов

Дмитриева А.В., Кулешевич Л.В.

ИГ Кар НЦ РАН, Петрозаводск, [dmitrievaA-V@yandex.ru](mailto:dmitrievaA-V@yandex.ru); [kuleshev@krc.karelia.ru](mailto:kuleshev@krc.karelia.ru)

**Аннотация.** В работе приводится сводка по результатам изучения рудной минерализации палеопротерозойских расслоенных массивов С. Карелии, выполненных разными исследователями (проявлений Луккулайсваара, Кивакка, Травяная Губа, Панфилова гора, Климовское). Наибольшее внимание уделяется минералам металлов платиновой группы.

**Ключевые слова:** минералы ЭПГ, проявления расслоенных интрузий Олангской и Беломорской группы, С. Карелия.

## Mineral species of North Karelia: ore minerals of Paleoproterozoic (PR<sub>1sm</sub>) layered massifs

Dmitrieva A.V., Kuleshevich L.V.

IG KarRC RAS, Petrozavodsk, [dmitrievaA-V@yandex.ru](mailto:dmitrievaA-V@yandex.ru); [kuleshev@krc.karelia.ru](mailto:kuleshev@krc.karelia.ru)

**Abstract.** The results of the study of ore mineralization in the Paleoproterozoic layered massifs of North Karelia conducted by various researchers (Lukkulaivaara, Kivakka, Travyanaya Guba, Panfilova Gora, and Klimovskoye occurrences), are reported. Attention is focused on platinum-group metal minerals.

**Keywords:** PGE minerals, Olanga and Belomorian Group layered intrusion occurrences, N.Karelia.

Ранний палеопротерозойский интрузивный базит-гипербазитовый магматизм Беломорского складчатого пояса и западной части Северной Карелии представлен метаморфизованными интрузивными телами и небольшими дайками комплексов лерцолит-габбро-норитов, габбро-анортозитов (~2.45 млрд. лет) (по данным М.М. Лаврова, В.С. Степанова, результатам работ производственных геологических организаций и др.). Настоящие тезисы являются обобщением результатов (сводка) многолетних исследований платинометалльной минерализации в расслоенных интрузиях сумийского возраста С. Карелии и приводятся по работам геологов, изучавших их металлогеническую нагрузку.

Интрузии Олангской группы находятся в северо-западной части Лоухского района. Минерогеническая зона, включающая палеопротерозойские (PR<sub>1sm</sub>) расслоенные интрузии, прослеживается от СЗ Финляндии (вблизи границы с Карелией – интрузия Койлисмаа) в В-СВ направлении до Олангской площади. На территории Финляндии в районах Кеми и Койлисмаа к подобным интрузиям приурочены несколько крупных месторождений и проявления Fe-V-Ti, Cr, Cu и ЭПГ (<https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>). Им аналогичны сумийские интрузии Карелии: в С. Карелии – это рудопроявления и наиболее крупные интрузии Олангской группы (Луккулайсваара, Кивакка, Ципринга) и некоторые небольшие массивы в Беломорском складчатом поясе (Беломорская группа).

### Рудная минерализация массивов Луккулайсваара и Кивакка

Расслоенный перидотит-пироксенит-габброноритовый массив Луккулайсваара расположен на СЗ Лоухского района Р. Карелия. Он изучался ЦКЭ в 90-х гг. прошлого века. В начале 2000-х гг. ЗАО «Норит» проводилось бурение и оценка интрузии на никель и платиноиды. В результате в массиве Луккулайсваара были выявлены вкрапленная пентландит-халькопирит-пирротиновая минерализация и ЭПГ. А также выделены следующие типы никелевой минерализации: 1) миллерит-борнит-халькопиритовая, 2) пентландит-борнит-миллеритовая, 3) пентландит-халькопиритовая. Но основным типом оруденения является платинометалльное. Таким образом, в результате проведенных работ было установлено, что для массивов Олангской группы характерна платинометалльная специализация и выделены проявления Надежда, Восточное КЗ, № 2 и № 15 и еще несколько перспективных участков с аномальными концентрациями ЭПГ (Минерально..., 2005). Все вместе они

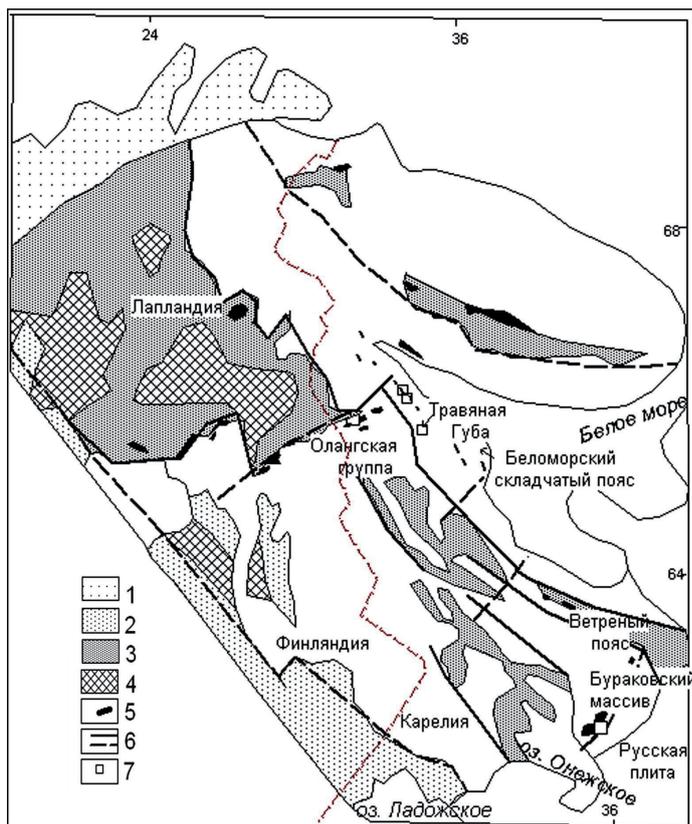


Рис. 1. Региональное положение PR1sm расслоенных интрузий Северной Карелии и проявлений ЭПГ, основа по С.И. Турченко (2007).

1 – каледониды; 2 – палеопротерозойские аккреционные образования; 3 – палеопротерозойские рифтогенные осадочно-вулканогенные образования; 4 – гранитоиды (1.8-1.74 млрд. лет); 5 – расслоенные интрузии и дайковые тела (PR1sm); 6 – тектонические зоны, трансформные разломы; 7 – PR1sm ЭПГ-рудопоявления: Олангская группа (Луккулайсваара, Кивакка, Ципринга), Беломорская группа: Травяная Губа, Панфилова гора, Климовское.

Fig. 1. Regional position of PR1sm layered intrusions and PGE occurrences in North Karelia.

1 – Caledonides; 2 – Paleoproterozoic accretionary rocks; 3 – Paleoproterozoic riftogenic sedimentary-volcanogenic rocks; 4 – granitoids (1.8-1.74 Ga); 5 – layered intrusions and dikes (PR1sm); 6 – tectonic zone, transform fault; 7 – PR1sm PGE occurrences: Olanga group (Lukkulaisvaara, Kivakka, Tsipringa), Belomorian group: Travyanaya Guba, Panphilova Gora, Klimovskoe.

объединяются в рудопоявление *Луккулайсваара*. Среднее содержание  $\Sigma$ ЭПГ в рудах колеблется от 3.84 до 9 г/т. Содержание ЭПГ сильно варьирует. На проявлении Надежда концентрация Pt достигает 3.22 г/т, Pd – 14.68 г/т. При среднем содержании ЭПГ 7.5 г/т, ресурсы P1+P2 составляют ~13.2 т (по данным работ С.Ф. Ключина).

Установлено, что рудная минерализация локализуется в толще переслаивания микрогабброноритов с мелкозернистыми норитами и прослоями анортозитов (критической зоне). Платиновая минерализация тяготеет к малосульфидным ассоциациям с сульфидами меди. Основное изучение рудной минерализации и минералов платиновой группы были выполнены А.Ю. Барковым (Барков и др., 1991, 1992, 1993; Barkov et al., 1996а-б, 2000, 2002, 2004 и др.). Они представлены теллуридами и висмито-теллуридами (такими как меренскиит, мончеит, теларгпалит, котульскит, соболевскит, майченерит, сопчеит, теллуropалладинит, луккулайсваараит, фаза  $(Pd,Ag)_2Te$ ), сульфидами (брэггит, висоцит), сульфоарсенидами (холлингуотит, ирарсит), арсенидами (сперрилит, меньшеиковит, стиллуотерит), станнидами и плюмбидами (минералы серии атокит-рустенбургит, паоловит, звягинцевит, таймырит, фазы  $Pd_2(Sn,Sb)$ ,  $Pd_2(Sn,As)$ ), антимонидами (мертиит, изомертиит, стибиопалладинит), сплавами (туламинит, Pt-Pd и Au-Ag сплавы), сульфотеллуридами (оуланкаит  $(Pd,Pt)_5(Cu,Fe)_4SnTe_2S_2$ ), интерметаллидами –  $(Fe,Ni)_3Cr$ . Встречаются гессит, галенит. Составы некоторых редких платиноидов, обнаруженных впервые в Карелии и впервые открытых в массиве Луккулайсваара, приведены в таблице 1.

К впервые установленным в Карелии относятся Pd-Ni-арсенид – меньшеиковит; Ag-Pd теллуриды – теларгпалит и сопчеит; атокит-рустенбургит, таймырит, звягинцевит (Pd 60.03, Pb 40.2 %), туламинит, к впервые открытым – оуланкаит и луккулайсваараит.

Оуланкаит  $(Pd,Pt)_5(Cu,Fe)_4SnTe_2S_2$ , в том числе, с Ag, был обнаружен в сульфидных обособлениях среди пегматоидных пироксенитов (табл. 1/1-2). Он был назван по р. Оланге (Оуланке – фин.). Минерал образует пластинки размером до  $0.2 \times 0.1$  мм в тесной ассоциации с медными и никелевыми сульфидами и минералами ЭПГ – мончеитом, котульскитом, теларгпалитом. Луккулайсваараит  $(Pd_{14}Ag_2Te_9)$  – новый минерал, получивший название по массиву Луккулайсваара, содержит Ag до 7.34-7.68 % (табл. 1/3-4). В линзах ЭПГ-Ag-содержащих габброноритов была обнаружена также не-

обычная высокоглиноземистая ассоциация и микрокристаллический ставролит. Апатит и амфиболы в рудном горизонте содержат высокое содержание хлора в добавочных анионах, что характерно для рудного процесса и является типоморфной чертой рудопоявления (Барков и др., 1993).

Таблица 1. Составы редких минералов ЭПГ в массивах Олангской группы (мас. %).

Table 1. Rare-mineral compositions of PGE in Olanga Group massifs, wt. %.

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pd	41.3	42.04	52.15	51.49	48.48	48.66	43.4	24.8	15.9	51.0	56.2	0.4
Pt	2.6	2.37							57.3	28.2	9.5	76.5
Cu	17.4	17.45					0.4		0.7	0.4	6.1	11.8
Fe	2.7	2.31					0.4		0.3	0.1	0.1	10.6
Ni					17.22	17.60						1.0
Ag			7.34	7.68			28.9	34.3	0.2		0.3	
Sn	9.6	9.65							25.6	20.03	26.8	
Te	21.6	21.21	39.98	41.03			23.4	40.7				
Bi							1.6					
As					33.71	33.46						
S	4.7	4.88					0.9					
Сумма	99.9	99.91	99.47	100.2	99.41	99.93	99.2	99.8	100	100.1	99.0	100.6
Ссылка	1	1	2	2	3	4	5	5	5	5	5	5

Примечание. 1-2 – оуланкаит (Pd,Pt)<sub>5</sub>(Cu,Fe)<sub>4</sub>SnTe<sub>2</sub>S<sub>2</sub>), 3-4 – луккулайсваарит (Pd<sub>14</sub>Ag<sub>2</sub>Te<sub>9</sub>), 5-6 – меньшековит (Pd<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>As<sub>3</sub>), 7 – теларгпалит, 8 – сопчеит, 9 – атоцит, 10 – промежуточный атоцит-рустенбургит (Pb-0.1 %), 11 – таймырит, 12 – туламенит. Ссылки: 1 – Barkov, 1996 б; 2 – Vymazalova et al., 2014; 3 – Barkov, Martin, 2002; 4 – Barkov et al., 2000; 5 – Barkov, Lednev, 1993.

Среди сульфидов обнаружен новый минерал – Cu-Мо-рениит (Cu,Fe)(Re,Mo)<sub>4</sub>S<sub>8</sub> (Barkov, Lednev, 1993), состава: Re 55.39, Мо 10.87, Cu 5.75, Fe 1.14, S 26.46 мас. %. Cu-Мо-рениит всегда ассоциирует с минералами-платиноидами.

В расслоенном перидотит-пироксенит-габброноритовом массиве Кивакка небогатое никелевое оруденение содержит Ni 0.36-0.4 %, Cu 0.3-0.65 % (рудопоявления *Кивакка*, *Кивакка-1*, *Кивакка-2*; по данным работ С.Ф. Ключина; Минерально..., 2005), в массиве Ципринга (*3. Ципрингское*) Cu – 1 %, северо-восточнее в массиве Ханкусъярви Cu – до 3.75 %. В габброноритовой зоне интрузии Кивакка локализуется халькопирит-пентландит-пирротиновая минерализация. Мощность рудных зон выделяемых проявлений составляет 5-40 м, протяженность достигает 400 м. В массиве Кивакка в расслоенной серии было выявлено несколько проявлений минерализации ЭПГ с содержанием Σ(Pt+Pd) 3-6 г/т (Pt 1-3, Pd 1-5 г/т), а также был установлен полный ряд составов минералов серии меренскиит-мончеит. Реже встречаются котульскит и сперрилит. Прогнозные ресурсы ЭПГ по Олангскому узлу в целом по категориям (P1+P2) оцениваются в 26.48 т, по категории P3 – 35 т (Минерально..., 2005).

В Беломорском складчатом поясе в Куземском лерцолит-габбро-пироксенитовом комплексе (Беломорская группа интрузий) небогатая пентландит-халькопирит-пирротиновая гнездово-вкрапленная минерализация локализуется в краевых (верхней и придонной) частях интрузии. Руды проявления *Гора Панфилова* содержат в среднем Ni 0.74 % и Cu 1.18 % (P1+P2 меди – 50 тыс. т; никеля – 40 тыс. т); Σ(Pt+Pd) достигает 5.56 г/т (P1+P2 – 10 тыс. т, по данным ГР работ Полякова Е.В. за 2002; Минерально..., 2005). Малосульфидная платинометаллическая рудная минерализация представлена висмуто-теллуридами.

В Климовском рудном узле выделяются рудные зоны с вкрапленной медно-никелевой минерализацией и повышенными концентрациями Ni – 0.28-0.5 %, Cu – 0.26-1.0 % и благородных металлов (по ГР работам Абрамова А.В. за 1992 г., материалам статей и отчетов сотрудников ВСЕГЕИ).

На проявлении Климовском в амфиболлизированных габбро-пироксенитах (2.43-2.41 млрд. лет) в области развития пегматитов (месторождение им. Чкалова) выявлена вкрапленная сульфидная минерализация (пирротин, халькопирит, борнит, пентландит, виоларит, пирит) с мельчайшими рассеянными минералами благородных металлов – висмута-теллуридов Pd, реже сульфоарсенидов (сперрилита, холлингуортита), кобальтина-герсдорфита, а также тонкодисперсное золото, электрум, пильзенит, гессит, висмут (по работам ВСЕГЕИ – Соколова С.В., Петрова О.В., Шевченко С.С., Крупник В.А. и др.) Первичные силикаты основных пород замещены амфиболом и хлоритом (выделяются как пропициты), на поздних стадиях породы бывают биотитизированы. Содержания Pd составляют 0.1-1.4 г/т, Pt 0.04-0.18 г/т, Au 0.05-0.32 г/т (Шевченко, 2009; Шевченко и др., 2009). Данные, полученные по изотопному составу серы сульфидной минерализации, указывают на ее мантийный источник. В наложенных зонах расланцевания и развития серицита с пиритом характерны повышенные концентрации Au. Влияние свекофенских процессов – образование гранитов и пегматитов (1799±9 млн. лет), сопровождалось обогащением рудной минерализации Bi, Te, Mo, образованием турмалина, слюд, скаполита и более низкотемпературных минералов и смешением геохимических ассоциаций.

Ильменит-титаномагнетитовые руды проявления Травяная Губа, расположенного восточнее оз. Кереть в С. Карелии, приурочены к небольшой интрузии сумийского возраста (PR<sub>1sm</sub>), прорывающей архейские толщи. Интрузивное тело сложено оливиновыми и рудными вебстеритами, амфиболитами по ним и габбро (Степанов, 1994, 2001). Совместно с вмещающими толщами оно было смято и метаморфизовано в условиях амфиболитовой фации. Интрузия сечется пегматитами с жилами ильменита. Процессы метаморфического преобразования сопровождаются выделением гидротермальных цирконов (Кожевников, Земцов, 2014).

Таблица 2. Минералы палладия и платины (мас. %).

Table 2. Palladium and platinum minerals, wt. %.

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fe %		3.12	4.09	1.20		1.37	1.60	3.47					0.86
Co						1.32	3.23	15.07					
Ni				0.97		7.37	6.12	6.43					
Cu	2.42	1.38	0.63	3.14		1.23			6.24	2.12	0.96		
As	9.56	8.90	8.38	20.08	10.42	25.04	14.76	30.17		23.5		43.08	41.12
Pd	74.43	70.07	67.39	74.61	82.37	62.31	53.45	44.86	66.54	12.3	2.37		
Pt			8.49			1.36				62.09	96.67	56.92	48.55
Rh													7.18
Sb	9.48	4.53	6.57		7.22		1.42						
Bi	4.11	9.71	4.02				19.42						
Te		2.28	4.53										
Sn									26				
Сумма	99.99	99.99	100	100	100.01	100	100	100	100	100	100	100	99.99

Примечание. Составы минералов взяты из работы (Кулешевич, Земцов, 2009). 1-2 – Bi-Sb-As-палладинит (Pd,Cu)<sub>3</sub>(As,Sb,Bi,Te)<sub>1</sub>, 3 – винцентит ?; 4 – арсенопалладинит (Pd<sub>3</sub>As); 5 – арсениды-стибиоарсениды Pd<sub>2</sub>(As,Sb); 6 – Pd-Ni-арсенид (Pd,Ni)<sub>7</sub>As<sub>3</sub>; 7 – Pd-Ni-бисмутаарсенид (Pd, Ni)<sub>2</sub>(As,Bi)<sub>3</sub>; 8 – Co-Pd арсенид (Pd,Co,Ni)<sub>2</sub>As (маякит?); 9 – станнопалладинит (Pd,Cu)<sub>3</sub>Sn, Au до 1.56 %; 10 – Pd-Pt-арсениды; 11 – платина; 12 – сперрилит PtAs<sub>2</sub>, 13 – Rh-сперрилит (Pt,Rh)(As,S)<sub>2</sub>, с S – 2.48 %.

На рудопроявлении выделяются два типа руд: ильменит-титаномагнетитовые (1) и существенно ильменитовые (2) (Кулешевич, Земцов, 2009). Вкрапленные и сидеронитовые руды 1-го типа сложены титаномагнетитом, ильменитом и их симплектитовыми сростаниями с оливином и ортопироксеном. Нерудная ассоциация представлена оливином, ромбическим и моноклинным пироксенами. Титаномагнетиты первично магматических руд 1-типа содержат TiO<sub>2</sub> 3.35-15.58 % и

$V_2O_5$  2.35-3.12 %. Как перекристаллизованные и переотложенные при метаморфизме выделяются руды 2-типа (ильменитового) в гранатовых амфиболитах и прожилки ильменита в пегматитах и вблизи контакта с ними. В магнетитах 2-типа руд содержание  $TiO_2$  ниже – 0.62-1.7 %, однако  $V_2O_5$  увеличивается до 7.9 %.

Pt-Pd минерализация приурочена к богатым титаномагнетитовым рудам, содержащим рассеянную вкрапленность сульфидов меди, которые выделяются на контакте с оксидами и в силикатной матрице (Кулешевич, Земцов, 2009). Содержание  $\Sigma$ ЭПГ в рудах достигает 2.8 г/т, Au до 2.5 г/т (по данным В.С. Степанова). Благороднометалльная малосульфидная минерализация представлена халькопиритом, борнитом, Pd-Pt-стибиоарсенидами, в том числе с Bi и Te, сульфидами Pt и Pd, редкими интерметаллидами (Pd-Cu-Sn) и самородной платиной (табл. 2). В ильменитовых рудах и прожилках вблизи пегматитов обнаружены высокородиевый сперрилит и более поздняя ассоциация висмута, серебра, галенита и акцессорных минералов (циркон, монацит).

Работа выполняется по темам НИР ИГ КарНЦ РАН № ГР АААА-А18-118020290084-7, раздел «Минеральные виды Карелии» и АААА-А18-118020290085-4, раздел «Металлогения».

### Литература

1. Барков А.Ю., Леднев А.И., Меньшиков Ю.П., Бритвин С.Н. Первая находка звягинцевита в Карело-Кольском регионе // ДАН СССР. 1991. № 318. С. 705–708.
2. Барков А.Ю., Леднев А.И., Меньшиков Ю.П. Некоторые особенности распределения и состава минералов ЭПГ из массива Луккулайсваара (Северная Карелия) // ДАН СССР. 1992. № 323. С. 539–544.
3. Барков А.Ю., Савченко Е.Э., Меньшиков Ю.П. Хлорапатит как показатель флюидной мобилизации платиновых элементов в интрузии Луккулайсваара, Северная Карелия // ДАН. 1993. Т. 328. №1. С. 84–89.
4. Кулешевич Л.В., Земцов В.А. Минералогия благороднометалльных ильменит-титаномагнетитовых руд проявления Травяная Губа (Северная Карелия) // Записки РМО. 2009. Ч. 138. Вып. 5. С. 51–62.
5. Кожевников В.Н., Земцов В.А. Гидротермальные цирконы из рудных амфиболитов массива Травяная Губа, Северная Карелия // Труды КарНЦ РАН. Серия геология докембрия. 2014. № 1. С. 76–89.
6. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Под ред. В.П. Михайлова и В.Н. Аминова. 2005. Кн. 1. 286 с.
7. Степанов В.С. Минеральные ассоциации рудных перидотитов, оливковых вебстеритов и амфиболитов района Травяной Губы оз. Кереть // Минералогия магматических и метаморфических пород докембрия Карелии. Петрозаводск. 1994. С. 53–76.
8. Степанов В.С. Благороднометальное рудопроявление Травяная Губа и возможная генетическая связь его с комплексом габбро-анортозитов западного Беломорья // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2001. Вып. 4. С. 54–62.
9. Шевченко С.С. Минералого-геохимические особенности благороднометалльных метасоматитов Беломорской подвижной зоны (Северная Карелия) // Материалы Всерос. конф. Минерагения докембрия. Петрозаводск. 2009. С. 299–300.
10. Шевченко С.С., Ахмедов А.М., Крупеник В.А., Свешникова К.Ю. Благороднометалльные метасоматиты позднего архея Чупино-Лоухского фрагмента Беломорской подвижной зоны // Региональная геология и металлогения. 2009. № 37. С. 106–120.
11. Barkov A.Y., Alapieti T.T., Laajoki K., Peura R. Osmian hollingworthite and rhodian cobaltite-gersdorffite from the Lukkulaivaara layered intrusion, Russian Karelia // Mineralogical Magazine. 1996a. V. 60. P. 973-978.
12. Barkov A.Y., Laajoki K., Gervilla F., Makovicky E. Menshikovite, Pd-Ni arsenide and synthetic equivalent // Mineralogical Magazine. 2000. V. 64. P. 847–851.
13. Barkov A.Y., Fleet M.E., Martin R.F., Tarkian M. Compositional variations in oulankaite and a new series of argentoan oulankaite from the Lukkulaivaara layered intrusion, Northern Russian Karelia // The Canadian Mineralogist. 2004. V. 42. P. 439–453.
14. Barkov A.Yu., Lednev A.I. A rhenium-molybdenum-copper sulfide from the Lukkulaivaara layered intrusion, northern Karelia, Russia // Eur. J. Mineralogy. 1993. V. 5. P. 1227–1233.
15. Barkov A.Y., Martin R.F. Menshikovite,  $Pd_3Ni_2As_3$ , a new platinum-group mineral species from two layered complexes, Russia // The Canadian Mineralogist. 2002. V. 40. P. 679–692.
16. Barkov A.Y., Men'shikov Y.P., Begizov V.D., Lednev A.I. Oulankaite, a new platinum-group mineral from the Lukkulaivaara layered intrusion, N. Karelia, Russia // European J. of Mineralogy. 1996b. V. 8. P. 311–316.
17. Vymazalova A., Grokhovskaya T.L., Laufek F., Rassulov V.A. Lukkulaivaaraite,  $Pd_{14}Ag_2Te_9$ , a new mineral from Lukkulaivaara intrusion, northern Russian Karelia, Russia // Mineralogical Magazine. 2014. V. 78. № 7. P. 1743–1754. DOI 10.1180/minmag.2014.078.7.16.
18. <https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>