



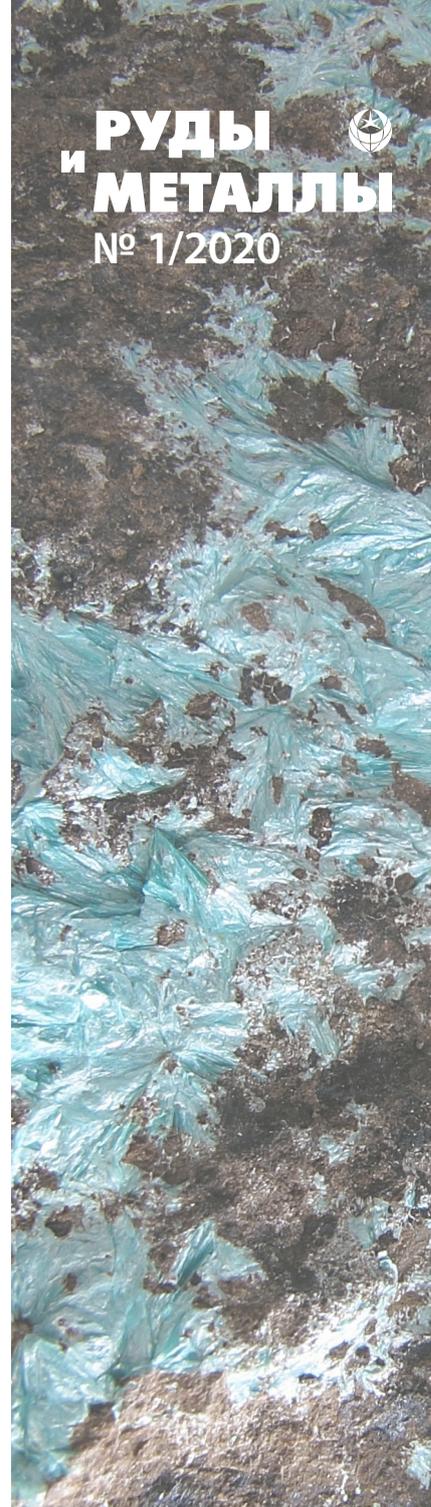
Au-Pd-Cu-Se-U-РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ

Au-Pd-Cu-Se-U минерализация рудопроявления Светлое (Центральная Карелия) формировалась близповерхностно в условиях привноса селена, меди, свинца, благородных металлов, урана и интенсивного окисления ~1500 млн лет назад. Оруденение содержит халькопирит, борнит, клаусталит и более редкие селениды, тонкодисперсное самородное золото (Ag 1–13 %), Au-Pd-Cu-фазы, глобулярные сростания Au-Pd-Se, Pd-As-Sb, минералы урана и редкоземельных элементов, а также гематит, гётит, халькозин и более сложные соединения зоны окисления. Рудная минерализация приурочена к зоне низкотемпературного щелочного метасоматоза и сброса Mg-Fe-компонентов, сформировавшейся вблизи контакта карбонатных пород и габбро-долеритов. Характером изменений и рудной минерализацией проявление Светлое подобно Au-Cu-U-месторождениям падминского типа в Онежской структуре и некоторым объектам Лапландского зеленокаменного пояса в Финляндии.

Ключевые слова: Au-Pd-Cu-Se-U минерализация, золото, палладсид, порпецит, купроаурид палладия, метасоматические изменения, палеопротерозой, Карелия.

Рудопроявление Светлое было открыто в палеопротерозойской Кумсинской структуре центральной Карелии предприятием «Невскгеология» (производственные работы Ю. В. Петрова за 1990 г.) в конце прошлого столетия. В одной из проб с богатой Cu-S минерализацией содержание Au достигало до 27 г/т [13]. Впоследствии при поверхностном опробовании изменённых пород с вкрапленно-прожилковым оруденением было установлено, что рудная зона характеризуется средними концентрациями Cu (2,7 %), U (2,16 %), содержит Au (1 г/т на 0,3 м), Pb (до 1,45 %), V (до 0,1 %), Cr (0,1 %), As (0,01 %), Y (0,07 %), Bi (до 0,03 %), Ag (99 г/т), Pt (1,1 г/т), Pd (1,3 г/т) [9]. Локализация в палеопротерозойских отложениях и геохимическая специализация оруденения в зоне складчато-разрывных деформаций (СРД) и щелочно-железomagнезиального метасоматоза подобны характеристикам известных комплексных палеопротерозойских месторождений и рудопроявлений падминского типа Онежской структуры [2, 8, 11, 12], Салла-Пана-Куоляярвинской структуры [1, 3, 5–8 и более ранние производственные поисковые работы А. Д. Дайна за 1978 г.], месторождениям палеопротерозойского Лапландского зеленокаменного пояса и сланцевого пояса Куусамо и Перяпохья в Финляндии (месторождения района Куусамо, Юомасуо, Ромпас, Перяпохья, Сааттопора, Суурикуусикко) [18]. Часть Au-Cu-U-месторождений финской Лапландии со значительными ресурсами разрабатывается [14, 19, 20, 24–28, 31–33].

Финские геологи выделяют три основных типа месторождений (проявлений) в изменённых вмещающих толщах [18–20, 26]: 1 – собственно гидротермальные орогенической группы



Кулешевич Людмила Владимировна

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
kuleshev@krc.karelia.ru

Лавров Олег Борисович

научный сотрудник, руководитель музея
геологии докембрия
petrlavrov@list.ru

ФГБУН Институт геологии Карельского
научного центра РАН,
г. Петрозаводск



золото-сульфидные, приуроченные к шир-зонам; 2 – золото-медно-сульфидные с атипичной минеральной ассоциацией (Au, Cu, Ni, Co, Bi с U, REE); 3 – палеороссыпные в осадках и конгломератах, часто с наложенной благороднометалльной минерализацией. В последние десятилетия в связи с открытием крупнейшего месторождения Олимпик Дам (Fe-O-Cu-Au-REE-U) в Австралии [29, 30] рифейского возраста (~1,5 млрд лет) в мире особенно возрос интерес к комплексным железо-оксидно-золото-медным объектам и родственным им золото-медно-сульфидным месторождениям [15]. Подобные рудные объекты типа IOCG (оксидно-железо-медно-сульфидные) были выделены в отдельную группу и в палеопротерозойских толщах севера Финляндии [24, 25].

Геохимический тип оруденения рудопроявления Светлое, связь с щелочно-железосиликатным характером изменений вмещающих пород, схожесть рудных минерализаций этого рудопроявления и месторождений падминской группы в Онежской структуре – всё это важные причины детального изучения характера изменений и рудных ассоциаций в палеопротерозойской Кумсинской структуре. Фактический материал для данной работы – образцы вмещающих пород (габброидов, базальтов и карбонатных толщ), их метасоматически преобразованных разновидностей, околорудных метасоматитов и руд, отобранные на рудопроявлении Светлое, а также результаты общегеологического изучения строения всей Кумсинской структуры.

Изучение закономерностей строения зон метасоматического изменения (геологическим, минералого-петрографическим и геохимическим картированием изменённых пород и оруденения) проводилось традиционными методами изучения околорудных низкотемпературных щелочных и сопряжённых им железосиликатных метасоматитов с отбором образцов по выделенным зонам. Силикатный и микрокомпонентный составы вмещающих пород, метасоматитов и руд определялись количественным химическим и ICP-MS анализами в Аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск). Минеральный состав рудных и нерудных минералов метасоматических зон изучался оптической (в шлифах и аншлифах) и электронно-зондовой микроскопией. Рудные минералы исследовались в аншлифах на электронном сканирующем микроскопе VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350. Радиологическое датирование (Rb-Sr и Pb^{206}/Pb^{207}) было выполнено по образцам Л. В. Кулешевич в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН [3].

Кумсинская структура – узкий, вытянутый в северо-западном направлении палеопротерозойский синклиниорий в центральной части Карелии (рис. 1). На юго-востоке он соединяется с Пергубской и более крупной Онежской структурами. Кумсинская структура образовалась на архейском (лопийском) основании. Она сложена отложениями сумийско-сариолийского (PR₁sm-sr, 2,6–2,3 млрд лет) надгоризонта, который перекрывается породами ятулийского надгоризонта (PR₁jt, 2,3–2,1 млрд лет). Именно к ятулийскому надгоризонту приурочены все известные рудопроявления Кумсинской структуры. Отложения ятулийского надгоризонта представлены нижним сегозерским и верхним онежским горизонтами (все названия даются по местной стратиграфической шкале). Сегозерский горизонт объединяет кварцевые конгломераты, кварцитопесчаники и базальты, онежский горизонт – доломиты, карбонатсодержащие песчаники и сланцы (алевролиты, аргиллиты), чередующиеся с основными вулканитами. Палеопротерозойские отложения через кору выветривания залегают на архейских породах лопийского надгоризонта и гранитах Чебинского массива возраста ~2,99 млрд лет. Ятулийские толщи прорываются силлами габбродолеритов (~2,0 млрд лет). Силлы габбродолеритов прослеживаются в северо-западном направлении вдоль р. Кумса от города Медвежьегорска на участках Медные Горы, Падун, Светлое (см. рис. 1). На участке Светлое разрез представлен преимущественно верхними толщами ятулийского надгоризонта (карбонатами, аргиллитами, базальтами), прорванными силлами габбродолеритов.

Кумсинская структура испытала складчатость и, в позднесвекофенское время, СРД северо-западного простирания (см. рис. 1). Дометаморфические преобразования сопровождались диагенезом осадков и интенсивной объёмной альбитизацией (спилитизацией) всех основных пород. Ранние метаморфические преобразования вмещающих ятулийских пород и секущих их тел габброидов отвечают зеленосланцевой фации и происходили ~1,78–1,76 млрд лет назад (табл. 1). К осевой плоскости складок приурочены сдвиговые деформации и рассланцевание. Зоны рассланцевания в наиболее сжатых складках в осадочных толщах сопровождаются щелочным и железосиликатным метасоматозом, в габбродолеритах развиты жилы секущих альбититов.

В зонах северо-западного рассланцевания развиты слюдисто-карбонатно-хлоритовые метасоматиты, которые секутся жилами низкотемпературных карбонатсодержащих альбититов (эйситов). Альбититы сопровождаются медно-сульфидной мине-

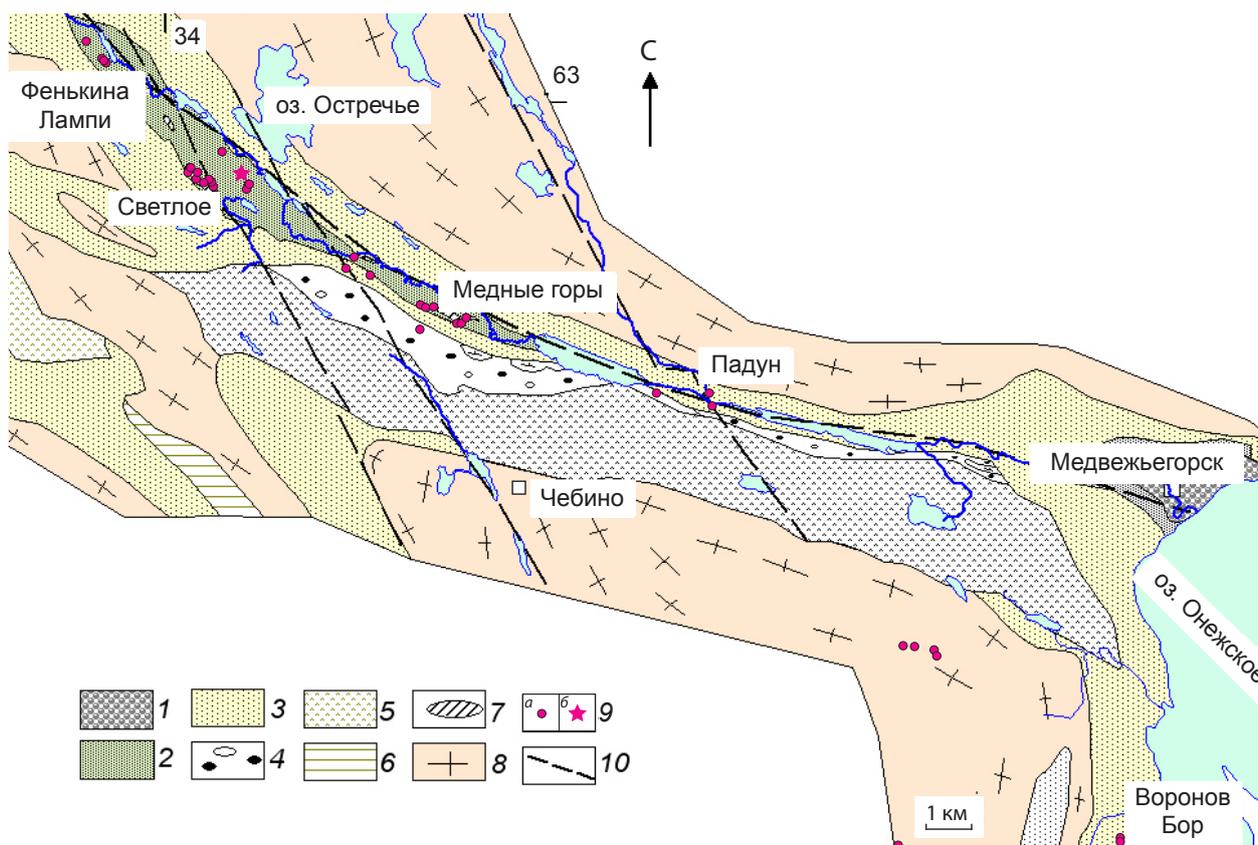


Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КУМСИНСКОЙ СТРУКТУРЫ (составлена автором с использованием материалов предшествующих работ):

1 – четвертичные отложения; ятулийский надгоризонт: 2 – базальты, карбонаты, алевролиты (PR_{jt_2}), 3 – базальты, кварцитопесчаники (PR_{jt_1}); 4 – полимиктовые конгломераты сариолийского надгоризонта (PR_{sr}); 5 – метабазалты и андезибазальты, туфы сумийского надгоризонта (PR_{sm}); 6 – лопийский надгоризонт (AR_2/p_1); 7 – габбродолериты, диориты (PR_1); 8 – граниты (AR_2); 9 – точки отбора образцов (а), рудопоявление Светлое (б); 10 – тектонические нарушения

рализацией на участках Светлое, Медные горы в Кумсинской и Воронов Бор в Пергубской структурах, соединяющихся южнее с Онежской структурой. Радиологическим датированием метасоматически изменённых пород с рудной минерализацией, проведённым Rb-Sr методом [3], установлено время их образования как более позднее – 1,50–1,41 млрд лет (см. табл. 1). Промежуточные цифры (~1,6 млрд лет), вероятно, отражают смешение минерального вещества (метаморфических и метасоматических ассоциаций).

Петрографо-петрохимические особенности вмещающих пород и метасоматитов. *Метабазальты* – тёмно-зелёные мелкозернистые миндалекаменные, массивные или слабодиссоцированные породы, составляющие основной объём ятулийских вулканогенных толщ. Они сложены минералами исключительно метаморфической ассо-

циации (актинолитом, хлоритом, раскисленным плагиоклазом, эпидотом, кальцитом, кварцем, акцессорным титанитом). Химический состав метабазалтов отличается от секущих их силлов габбродолеритов повышенным содержанием Fe_2O_3 , MgO, Al_2O_3 , Na_2O , умеренным содержанием TiO_2 и всех микрокомпонентов, низким ΣREE (табл. 2).

Карбонатные толщи представлены светлосерыми, иногда слегка желтоватыми мелкозернистыми породами из кальцита, доломита и незначительного количества других минералов (кварца, хлорита, серицита, акцессорного рутила). Для карбонатных пород характерно низкое содержание всех петрогенных и микрокомпонентов, за исключением CaO, в том числе низкий уровень содержания редкоземельных элементов (табл. 3; рис. 2, б). Потери при прокаливании (ППП) представлены преимущественно CO_2 . Прослои полос-

1. ВОЗРАСТ ИЗМЕНЁННЫХ ПОРОД И ОРУДЕНЕНИЯ НА РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ СВЕТЛОЕ, МЕДНЫЕ ГОРЫ КУМСИНСКОЙ И ВОРОНОВ БОР ПЕРГУБСКОЙ СТРУКТУР

Проявление	Породы, их изменения и рудная минерализация	Образец	Возраст, млн лет
Медные горы	Метаморфизованные габбродолериты (с титанитом)	МГ-6*	1763,2 ± 4,3
Воронов Бор	Метаморфизованные кварцитопесчаники	ВБ-17	1778,4 ± 6
	Метабазальты изменённые (с сульфидами)	ВБ-1а, 1в	1663,2 ± 7 1644 ± 11
	Альбитизированные породы с сульфидами	ВБ-4а, ВБ-4, ВБ5а	1609 ± 9,3 1606 ± 11 1597 ± 6,1
Медные горы	Альбититы, секущие габбродолериты, с халькопирит-карбонатными прожилками	МГ-7	1495 ± 7 1495 ± 13 1494 ± 17 1492 ± 10
Светлое	Тремолит-карбонатные метасоматиты по карбонатной толще с вкрапленностью пирита	СВ-6	1404,8 ± 7,9
	Тремолит-(хлорит)-карбонатные метасоматиты по карбонатной толще (на контакте с базитами)	СВ-9/4	1637 ± 5,6 1454,6 ± 5,3
	Fe-Mg-метасоматиты из центральной части рудной зоны с Au-Pd-Cu-Se-U минерализацией и жилой альбитита	СВ-12	1460 ± 17 1457 ± 7,3
	Альбит-(хлорит, эпидот)-кварцевая жила в альбитите с единичными сульфидами	СВ-7	1490 ± 5,2 1492 ± 21

Примечание. Определение возраста проводилось по минералам и валовому составу породы Rb-Sr методом или Pb^{206}/Pb^{207} методом по титаниту (*).

чатых тонкозернистых аргиллитов выходят на поверхность северо-западнее участка Светлое. Они пёстрые, сильнодеформированные и смятые в мелкие гофрированные складки.

Силлы габбродолеритов прослеживаются вдоль Кумсинской структуры. Они секут базальты, карбонатные толщи и совместно с вмещающими толщами смяты в складки. Габбродолериты – мелкозернистые плотные зеленовато-чёрные породы массивной текстуры, содержат амфибол, замещивший пироксен, раскисленный плагиоклаз (от ан-

дезина до альбита), хлорит, эпидот, биотит, реже кварц, кальцит (минералы стадии метаморфических изменений). Первичные силикаты в них практически не сохраняются. На месте первичных пироксенов образуются кальциевая роговая обманка и актинолит, в шлифах просматриваются лишь теньевые структуры первичных пироксенов. Рудные минералы представлены титаномagnetитом, ильменитом и образующимся по ним титанитом, редкой вкрапленностью халькопирита и пирротина. Габбродолериты характеризуются повышенными

2. ХИМИЧЕСКИЙ И МИКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ МЕТАБАЗАЛЬТОВ, ГАББРОДОЛЕРИТОВ И ГАББРОДИОРИТОВ УЧАСТКА СВЕТЛОЕ (масс. %, г/т)

Порода	Метабазальты (к северо-западу от проявления Светлое)		Габбродолериты с бедной халькопиритовой вкрапленностью			Хлоритизи- рованные габбродолериты вблизи зоны изменения	Диориты, габбродиориты					
	№ пп	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10
Образец	220K	201K	CB-2/3	CB-3*	CB-8/4	CB-5/6	DSV-4	DSV-2	DSV-5	DSV-3	DSV-6	
SiO ₂ , %	47,96	51,36	50,32	48,66	48,40	44,24	59,84	56,40	56,04	53,40	52,64	
TiO ₂	1,61	1,27	2,54	2,4	2,18	2,48	0,86	1,65	1,71	1,63	1,56	
Al ₂ O ₃	14,93	14,12	11,74	13,14	13,28	12,14	15,93	14,65	13,31	13,30	14,96	
Fe ₂ O ₃	8,7	8,85	7,44	7,39	6,83	2,85	5,31	2,62	7,66	8,13	2,70	
FeO	3,66	3,16	7,90	9,63	10,13	11,85	3,09	3,44	4,53	5,60	4,31	
MnO	0,206	0,162	0,155	0,181	0,133	0,19	0,04	0,091	0,072	0,088	0,012	
MgO	8,01	6,99	3,08	4,52	4,54	10,18	2,08	5,80	3,59	4,16	8,15	
CaO	6,59	6,01	8,47	6,86	7,70	6,64	2,49	4,39	3,88	3,95	4,32	
Na ₂ O	4,0	4,24	3,13	2,78	3,08	2,46	8,96	6,75	7,50	6,96	5,57	
K ₂ O	0,47	0,28	0,21	1,38	0,61	0,83	0,16	1,38	0,10	0,58	2,74	
H ₂ O	0,20	0,18	0,22	0,34	0,14	0,21	0,25	0,25	0,22	0,21	0,24	
ППП	3,11	2,66	4,11	2,67	2,85	5,11	0,60	1,84	0,94	1,17	2,42	
P ₂ O ₅	0,18	0,17	0,45	0,28	0,30	0,38	0,28	0,25	0,30	0,30	0,27	
Σ	99,72	99,55	99,77	100,2	100,1	99,56	99,89	99,51	99,85	99,54	99,89	
alk	4,47	4,52	3,34	4,16	0,75	3,29	9,12	8,13	7,60	7,54	8,31	
Cr, г/т	217	201	33	18	30		7,12					
V	288	267	330	516	584	454	119	209	190	247	267	
Ni	104	81	35	52	61	26	5	6	2,5	6,5	8	
Co	48	36	62	47	57	28	18	21	30	17	22	
Cu	9,1	7,6	349	253	193	57	10	14	15	15	12	
Ag	0,07	0,10	0,53	0,36	0,34	0,39	0,35	0,19	0,23	0,19	0,16	
Pb	4	3	1,8	5,3	1,4	0,5	2,5	1,2	2,1	1,5	1,1	
Bi	0,03	0,04	0,12	0,08	0,08				0,13			
Sb	0,71	0,50					0,21	0,24	0,29	0,21	0,28	
Zr	72	64	300	193	205	294	604	244	283	269	183	
Sr	164	133	185	151	108	23	41	18	38	17	33	
Ba	248	174	45	211	54	100	35	40	45	33	59	
Y	24	21	48	28	51	53	22	29	35	36	20	
ΣREE	62	54	198	139	150	134	199	86	122	204	48	
Th	1,4	1	4,2	3	3,2	3,6	18	5,9	8,7	6,9	4,8	
U	0,4	0,3	1,2	0,6	0,7	4,4	2	2,1	1,8	1,5	2	

Примечание. * – с биотитом. Малые элементы определялись методом ICP-MS, пустые клетки – элемент не определялся, ΣREE – сумма редкоземельных элементов (здесь и далее), alk = (Na₂O + K₂O).

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И МЕТАСОМАТИТОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ (масс. %, г/т)

Зона метасоматической колонки	Карбонатные породы (внешняя зона 1)		Тремолит-карбонатные породы с бордовым карбонатом и редкой вкрапленностью пирита (зона 2)		Пирит-тремолит-карбонатные метасоматиты ⁽¹⁾ , иногда с гематитом ⁽²⁾ (зона 3)			Рудная зона с сульфидами меди ⁽³⁾ , клаусталитом ⁽⁴⁾ и уранинитом (внутренняя зона 4)			
	Образец	СВ-3/3	СВ-5/3	СВ-8	СВ-8/6	СВ-6*	СВ-8/3 ¹	СВ-8/5 ²	СВ-9/4 ³	СВ-9/4 ³	7 ⁴
SiO ₂ , %	1,18	4,19	2,42	3,99	10,19	4,48	6,99	7,54			
TiO ₂	0,02	0,06	0,01	0,03	0,05	0,04	0,07	0,13			
Al ₂ O ₃	2,95	2,32	2,22	1,8	2,95	2,19	3,4	1,24			
Fe ₂ O ₃	0,08	0,27	1,1	2,1	1,88	2,72	4,23	4,77			
FeO	0,14	1,44	0,5	0,57	1,68	1,11	2,23	0,57			
MnO	0,063	0,334	0,331	0,322	0,271	0,277	0,275	0,301			
MgO	2,53	2,06	13,67	17,67	4,89	1,14	4,78	2,09			
CaO	49,48	50,22	36,8	30,66	43,65	48,92	43,38	45,26			
Na ₂ O	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02			
K ₂ O	0,13	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,08			
H ₂ O	0,23	0,23	0,21	0,27	0,17	0,014	0,14	0,29			
ППП	42,75	38,33	42,22	42,14	33,75	38,60	33,98	37,24			
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,005	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02			
Σ	99,62	99,55	99,53	99,57	99,54	99,97	99,54	99,55			
Cr, г/т	3	5	12	18	4	25	8	1796	1691	1145	1229
V	5	10	11	22	10	23	29	878	815	534	599
Ni	6	5	7,5	8	7	7,4	9	13	16	12	5,4
Co		0,3	7,4	3,3	112	98	35	26	25	21	20
Cu	2	13	7	10	11	10	32	3947	3298	1814	
Ag			0,06	0,12	0,06		0,06	2,96	3,1	7,2	4,33
Pb	1,0	1,5	1,1	1,5	0,8	3,9	0,7	35,5	481	5917	4440
Bi		0,03		3,62	0,05	0,04		13,7	12,66	8,76	10,12
Sb			0,17	0,35				1,14	1,03	0,79	1,07
Se								19	16	1350	1562
Zr	2	7	8	11	6	10	12	9	6	5	6
Sr	178	170	66	35	171	217	184	129	108	89	104
Ba	11	5	12	15	8	9	3	41	36	14	15
Y	1,2	3,3	1,8	3,2	2,0	3,8	2,3	392	387	204	211
ΣREE	6,2	5,5	8,7	15,6	3,5	3,9	5,3	628	577	422	457
Th	0,2	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	1	0,1	0,2	0,3	0,3
U	0,1	2,3	0,8	2,7	1,7	2,1	4,7	551	567	801	773
Au			0,20		0,1		0,16		0,12	0,86	0,31
ΣЭПГ			0,31				0,07		0,13	1,77–2,0	0,23

Примечание. Малые элементы определялись методом ICP-MS. Пустая клетка – элемент не определялся.

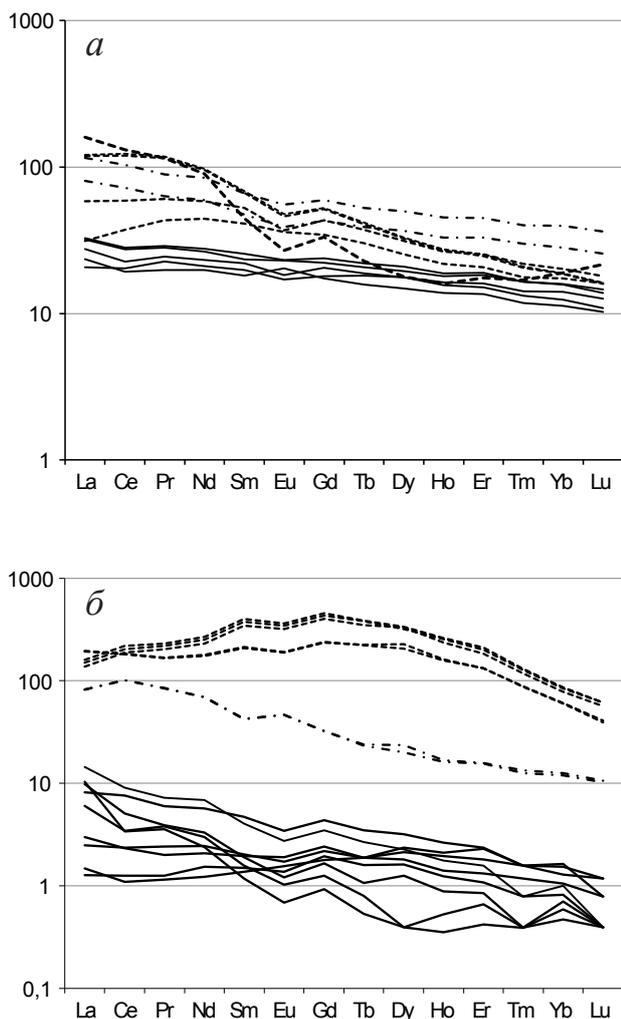


Рис. 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (нормализовано относительно хондрита C_1):

a – базальты (сплошная линия), габбро-диориты (штрих-пунктир), габбро-диориты (штрих); *б* – карбонатные породы (сплошная линия), пирит-тремолит-кальцитовые метасоматиты (штрих-пунктир), метасоматиты околорудной зоны (штрих)

концентрациями TiO_2 (2,18–2,54 %), ΣFe ($FeO > Fe_2O_3$) и более низкими (относительно базальтов) Al_2O_3 , MgO (см. табл. 2).

Метагаббродиориты прослеживаются западнее участка Светлое. Они красновато-чёрного цвета, массивной текстуры, обычно выделяются как дифференциаты габбро-диоритов. Породы содержат роговую обманку, плагиоклаз (раскисленный до альбита), биотит, иногда микроклин, в меньшем количестве – вторичные минералы (хлорит, эпи-

дот), ильменит, титанит. Акцессорные минералы представлены цирконом и монацитом. Породы содержат SiO_2 до 53–60 %, Na_2O до 5,57–8,96 %, в них низкая концентрация MgO , ΣFe (причем $Fe_2O_3 > FeO$), также присутствуют TiO_2 , CaO , Cr , V , Mn , Cu , Ni , Co (см. табл. 2). Породы имеют высокую существенно натриевую щёлочность и характеризуются повышенным и неоднородным распределением K_2O , Zr , Th и REE (см. рис. 2, *a*). Локально породы бывают биотитизированы, при этом в них повышается содержание K_2O до 1,34–2,74 %.

Метасоматические изменения по базитам. В зонах СРД и рассланцевания северо-западного простирания на контактах разнородных пород (основных и карбонатных) развивается железо-магнезиальный метасоматоз. Линза изменённых базитов в центре участка Светлое полностью преобразуется в зелёные хлоритовые сланцы, в химическом составе изменённых пород увеличивается содержание MgO и FeO (см. табл. 2). На этапе более поздних деформаций метабазальты и габбро-диориты секутся телами эйцитов и кварц-кальцитовыми жилами с медно-сульфидной минерализацией.

Метасоматические изменения по карбонатной толще. Биметасоматические изменения развиваются на такого же типа контактах разнородных пород; формируются амфибол-карбонатные метасоматиты, сопровождающиеся вкрапленностью пирита. В центральной зоне метасоматической колонки присутствуют слюды, хлорит, кальцит, развита рудная минерализация. Протяжённость зоны метасоматически изменённых пород на участке Светлое 420 м, мощность зоны с рудной минерализацией 6–20 м. Микрокомпонентный состав изменённых карбонатных пород представлен в табл. 3 и на графиках рис. 3. Рудная минерализация приурочена к внутренней, четвёртой, зоне колонки.

Изменение карбонатных пород начинается с замещения доломита кальцитом (см. табл. 3), затем в них начинают выделяться метакристаллы светло-зелёного игольчатого амфибола (тремолита). Амфибол-кальцитовые метасоматиты зоны 3 (см. табл. 3) содержат вкрапленность пирита пентагондодекаэдрического габитуса (до 7–15 %). Тремолит на поздних стадиях изменения незначительно замещается хлоритом. Хлорит ассоциирует с гематитом и акцессорным рутилом, его температура образования оценивается в 215–190 °С [9].

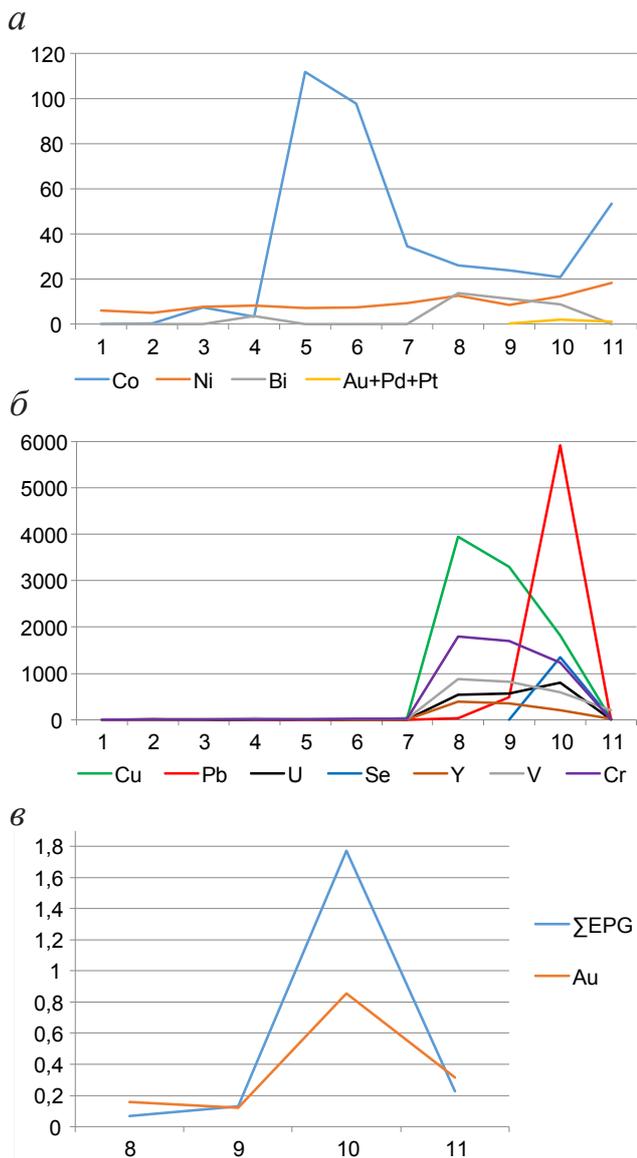


Рис. 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ОКОЛУРУДНЫХ МЕТАСОМАТИТАХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ:

а – Co, Ni, Bi, (Au + Pd + Pt); б – Cu, Pb, U, Se, Y, V, Cr; в – ΣEPG, Au; номера проб по оси x соответствуют номерам в табл. 2

Появление зоны «бордовых карбонатов» обусловлено выпадением гематита. Во внутренней (центральной) зоне 4 развиты хлорит-слюдисто-кальцитовые метасоматиты и кальцитовые жилы с Cu-Pb-Se-S-U-рудной минерализацией с благородными металлами.

Карбонатные толщи внешней зоны метасоматической колонки (зона 1) содержат самые низкие

концентрации рудогенных и редкоземельных элементов (см. табл. 3; см. рис. 3). Тем не менее уже и в этой зоне фиксируются фоновые содержания U до 2,3 г/т (см. табл. 3). Амфибол-карбонатные метасоматиты зоны 2 выделяются повышенным содержанием MgO. В зоне 3, содержащей вкрапленность пирита, заметно повышается концентрация Co, возрастает суммарное содержание железа, SiO₂ и, незначительно, Cu, Bi, U. Метасоматиты центральной части рудной зоны (зона 4) представлены карбонат-слюдисто-хлоритовыми сланцами, пронизанными более поздними кальцитовыми жилами с Pd-Au-U-Cu-Pb-Se-S минерализацией. Они содержат аномальные концентрации всех рудогенных и редких элементов.

В рудной зоне в целом значительно возрастают содержания окисленного железа (Fe₂O₃), Cr, V, Cu, Pb, Bi, Se, S, U, ΣREE (до 628 г/т) и особенно Y (до 392 г/т), а также благородных металлов, однако распределены они неравномерно.

Au-Pd-Cu-Pb-Se-U минерализация рудопроявления Светлое приурочена к зоне сброса Mg-Fe-компонентов (слюдисто-хлоритовая зона). Нерудная ассоциация зоны 4 представлена голубовато-зелёными и жёлто-зелёными минералами – хлоритами, Cr-V-содержащими слюдами, кальцитом, сложными минеральными смесями зоны окисления. Рудная минерализация формировалась вблизи поверхности при дефиците серы и сопровождалась привнесом селена, меди, свинца, урана и благородных металлов, отложением оксидов и гидроксидов железа. Рудная зона выделяется по геохимическому признаку – повышенным концентрациям Cr, V, U, ΣREE, Y, Se, Cu и благородных элементов (см. рис. 3; см. табл. 3), которые находят отражение в минеральном составе. Форма выделения ранних гидротермальных минералов (сульфидов и селенидов) прожилковая, вкрапленно-гнездовая, у поздних гипергенных ассоциаций, образующихся в приповерхностной зоне окисления, – натёчная, почковидная, в виде шариков и зональных обрастаний, веточек, игольчатая (у гётита) (рис. 4–6).

Сульфиды и селениды. Среди сульфидов наиболее распространёнными являются халькопирит и борнит Cu₅FeS₄ (Cu 59,74 %, Fe 10,27 %, S 10,27 %). Они образуются первыми, при окислении интенсивно замещаются халькозином, ковеллином, купритом. Реже встречается галенит и очень редко – акантит Ag₂S, иногда в сростании с самородным серебром. Состав сульфидов меди и свинца обыч-

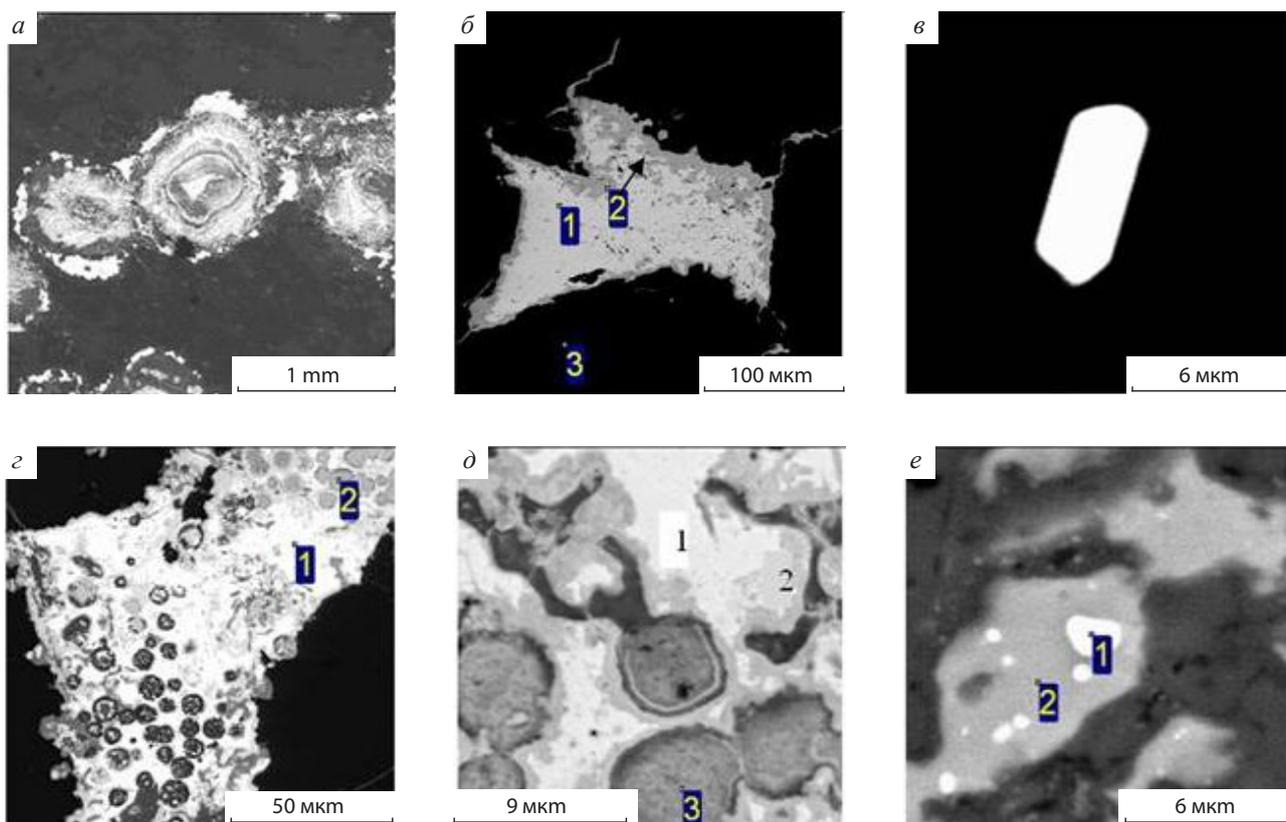


Рис. 4. СЕЛЕНИДЫ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ:

а – зональные почки клаусталита (белый), гематита (серый), уранинита (белый во внешней кайме); *б* – клаусталит (1) в кальците, в кайме – молибдоменит (2); *в* – гуанахуатит; *г* – клаусталит (1), в порах – сложная минеральная смесь (2); *д* – клаусталит (1) замещается молибдоменитом (2), серые овальные стяжения состоят из Y-Fe-Cu-Se-Pb-минеральной смеси (3); *е* – богдановичит (1) в ковеллине (2)

4. СЕЛЕНИДЫ И Se-СОДЕРЖАЩИЕ СУЛЬФИДЫ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ (масс. %)

	Ковеллин (с Se)		Ковеллин (с Ag, Se)	Клаусталит		Эвкайрит	Гуанахуатит	Богдановичит	Умангит	Тиманнит
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Образец	СВ9-4	лРСВ-9	лРСВ-9	СВ7а	СВ7а	СВ9-4	СВ-8/3	Лрsv-9	СВ	лРСВ9
S	29,67	33,04	29,01			4,09				
Cu	62,64	63,85	56,97			13,97			53,95	
Fe						4,07				
Se	7,17	3,11	4,07	29,98	29,76	33,13	33,66	20,80	46,05	25,82
Pb				70,02	70,24					
Ag			9,96			44,75		42,92		
Hg										74,18
Bi							66,34	36,28		
Σ	99,4	100	100,01	100	100	99,99	100	100	100	100

но стандартный. Халькозин и ковеллин Cu_2S_2 , образующиеся при окислении, содержат примеси селена (3–7 %) и серебра (10 %) (табл. 4).

При понижении температуры на стадии привноса Se отлагаются селениды. Они преобладают над сульфидами и обычно ассоциируют с халькозином и уранинитом. Наиболее распространённый среди них – клаусталит $PbSe$ (см. рис. 4). К более редким относятся низкотемпературные селениды Ag, Cu, Bi, Hg. Содержание Pb и Se пропорционально возрастает к центральной части рудной зоны.

Клаусталит встречается в прожилках, гнездах, выделяется в тонких просечках, секущих сульфиды меди (см. табл. 4). Он начинает отлагаться после халькопирита, продолжает совместно с уранинитом и образует концентрически зональные почковидные сростания с гематитом (см. рис. 4, а, б). При окислении замещается молибденом $PbSeO_3$ (см. рис. 4, в). Все остальные селениды – более редкие минералы (< 1 %), они представлены Fe-эвкайритом $Ag(Cu,Fe)Se$, науманнитом Ag_2Se , богдановичитом $AgBiSe_2$, умангитом Cu_3Se_2 , тиманнитом $HgSe$ (см. табл. 4). Эвкайрит ($T_{обр.} < 190$ °C) и науманнит ($T_{обр.} < 128$ °C) встречаются в сростаниях с борнитом, замещаются вторичными сульфидами меди (халькозином, ковеллином). При этом в халькозине и ковеллине избыточный селен выделяется в мельчайших включениях клаусталита (~1–2 мкм), реже науманнита и богдановичита (см. рис. 4, е; см. табл. 4); для последних из-за мелкого размера зёрен состав не всегда чётко рассчи-

тывается. В пирит-тремолит-кальцитовых метасоматитах зоны 3 установлен достаточно редкий селенид висмута – гуанахуатит Bi_2Se_3 , образующий мелкие, но хорошо огранённые кристаллы (см. табл. 4; см. рис. 4, в). В центре рудной зоны обнаружены микронные зёрна наиболее редких селенидов меди и ртути – умангита и тиманнита (см. табл. 4). Умангит ($T_{обр.} < 143$ °C) бывает окружён ореолом ковеллина. Тиманнит установлен в ассоциации с настураном и Y-фазами; минерал очень редкий.

Благороднометалльная минерализация. Золото (табл. 5; рис. 5) в рудной зоне встречается в двух генерациях: 1-я – в ассоциации с гидротермальными сульфидами и селенидами, 2-я – в виде тонкодисперсного гипергенного золота в зоне окисления, входящего в состав Au-Pd глобул. Содержание золота в рудной зоне неравномерное: от 0,1–0,86 (см. табл. 2) до 27 г/т по [13]. Самородное золото 1-й генерации имеет неправильную форму, размер до 10 x 40 мкм, выделяется в халькопирите и сохраняется в куприте, образующемся при окислении халькопирита (см. рис. 5, а). Золото входит в состав редких интерметаллидов Au-Pd-Cu-фаз – порпецита (Au,Pd) и купроаурида палладия $(Cu,Pd)_3Au_2$ (табл. 6; см. рис. 5, б). Иногда в ассоциации с халькопиритом встречается самородный висмут (100 % Bi), который при окислении замещается оксидом висмута – бисмитом (Bi_2O_3).

Гипергенное золото 2-й генерации образует глобулы – овальные выделения и шарики неоднородного состава (см. рис. 5, г–е). Размер глобул от

5. СОСТАВ ЗОЛОТА РУДОПРояВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ (масс. %)

Образец	Золото 1-й генерации		Золото 2-й генерации (центральная зона 4)										
	RSV-9aL		RSV-9L			RSV-9aL			RSV-9L				PCB-9к
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	13	14	15
Ag	12,06	11,78	8,61	8,52	12,74	9,13	8,80	8,90	7,21	9,3	8,65	7,43	5,63
Au	87,94	88,22	91,39	91,48	87,26	90,87	91,20	91,10	92,79	90,7	91,35	92,57	94,37
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

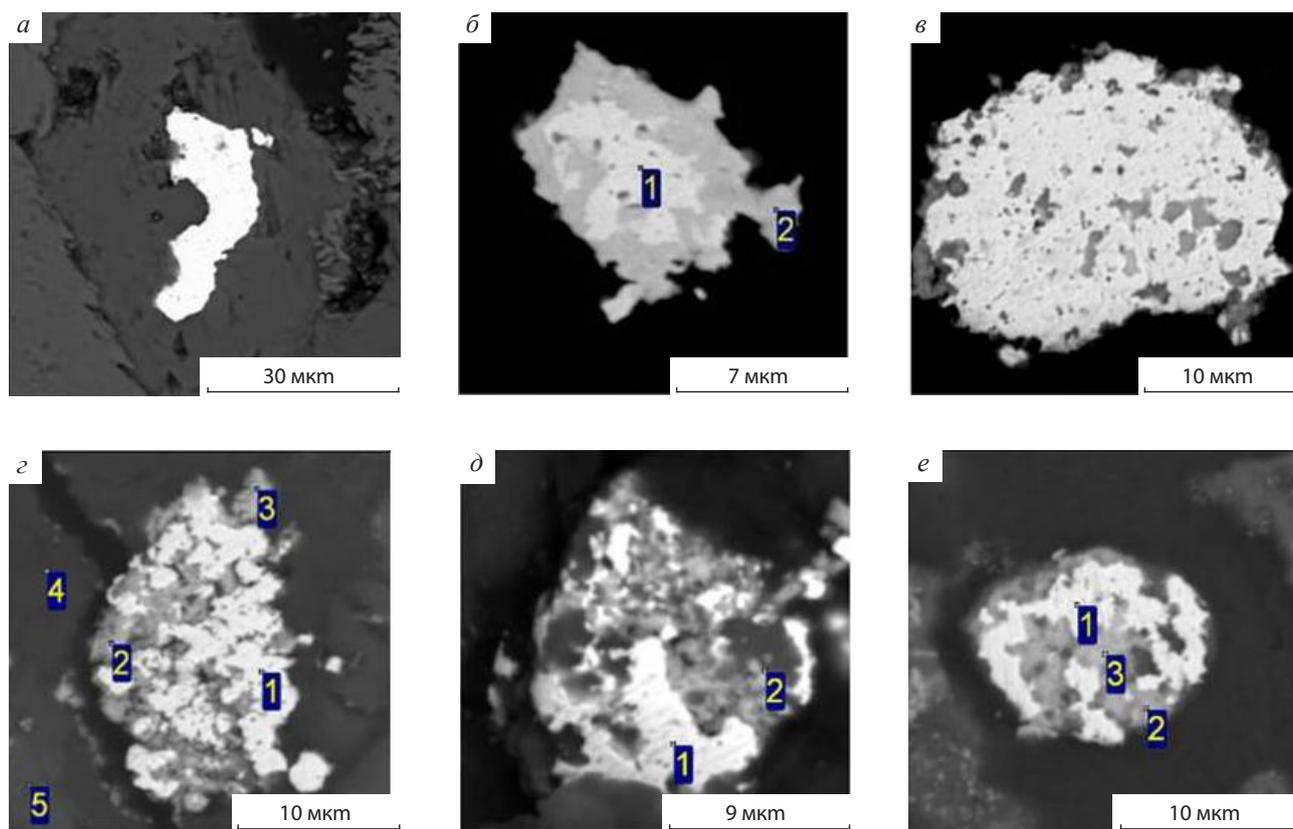


Рис. 5. ЗОЛОТО И МИНЕРАЛЫ ПАЛЛАДИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ:

а – самородное золото 1-й генерации в куприте по халькопириту; *б* – порпецит (1) обрастает палладиевым купроауридом (2); *в* – глобулярное срастание золота 2-й генерации (белое) и Pd-фаз (серое); *г* – глобулярное срастание золота (1) и палладсеида (2, 3) в хромселадоните (4, 5); *д* – золото (1) в срастании с палладсеидом (2); *е* – золото (1), палладсеид (2), мертиит (3)

6. МИНЕРАЛЫ ПАЛЛАДИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ (масс. %)

	Порпецит	Купроаурид палладия	Палладсеит Cu-Au-содержащий			Палладсеит Pd ₁₇ Se ₁₅			Арсенопалладинит с Au	Au-содержащий мертиит		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Образец	PCB-9I-1	PCB-9I-2	Lav19 17-2	PCB-9-3	PCB-9-9	Lav19 17-3	PCB-9-15	PCB-9-16	PCB-9-3	PCB-9-5	PCB-9-4	RSV9a-8
Se			28,91	27,61	28,64	37,11	39,42	35,78				
As									14,68	4,57	3,24	4,76
Sb										18,0	16,77	20,72
Pd	10,02	10,24	57,60	62,07	62,61	60,97	58,32	64,22	80,68	63,88	55,96	63,07
Au	88,17	67,46	13,49	7,12		1,92	2,26		5,13	11,63	24,04	11,45
Cu	1,82	22,29		3,2	8,75					1,91		
Σ	100,01	99,99	99,99	100	100	100	100	100	99,99	99,99	100	100

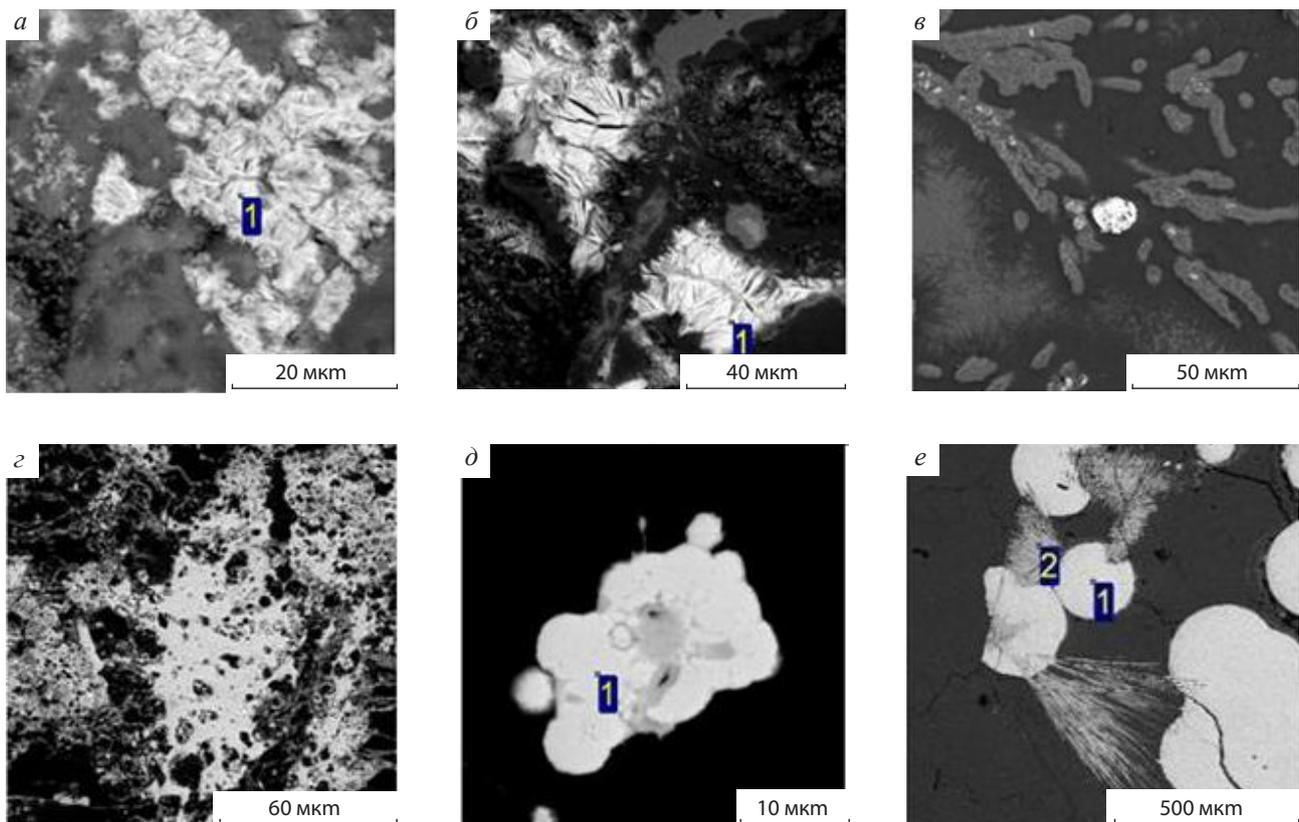


Рис. 6. ФОРМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ, Cr-V-СЛЮД И МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗА ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СВЕТЛОЕ:

a, б – карнотит (1); *в* – веточки гематита с карнотитом (белые точки) в сростании с Au-Pd-глобулой в хромовой слюде; *г* – уранинит; *д* – глобулы настурана (1); *е* – гематит (зональные почки) и гётит (игольчатые кристаллы) в кальците

5–6 до 25–30 мкм, размер мельчайших частичек, входящих в них, бывает менее 6–1 мкм. Глобулы находятся в сростании с карнотитом, V-Cr-слюдами и кальцитом. В глобулах золото ассоциирует с селенидами и арсеноантимонидами палладия. Золото обеих генераций высокопробное, содержит 2,6–13 % Ag (см. табл. 5).

Из минералов группы платины в шариках преобладают тонкодисперсные селениды, реже встречаются арсениды и антимониды палладия. Они представлены преимущественно палладсеитом $Pd_{17}Se_{15}$ и менее распространёнными арсенопалладинитом Pd_5As_2 и мертиитом $(Pd,Au)_5(Sb,As)$ (см. рис. 5, см. табл. 6). В составе этих минералов, особенно палладсеита и мертиита, установлено повышенное содержание Au и Cu, возможно из-за тонкого прораствания палладиевых минералов с золотом. Все минеральные фазы повышают концентрации благородных металлов в рудах и дают возможность

отнести рудный объект к Au-Pd-содержащему проявлению.

Fe-Cr-V-U-минералы. В геохимическом составе метасоматитов из центральной рудной зоны 4 фиксируется повышенное содержание V (до 878 г/т) и Cr (до 1796 г/т), что выше в 3 и 60 раз соответственно, чем в габбродолеритах силла, содержащих титаномagnetит (см. табл. 2, 3). Хром входит в хлорит и пластинчатые Cr-V-слюды, которые ассоциируют с кальцитом и сростаются с Au-Pd глобулами (см. ниже) (рис. 6). Ванадий накапливается в разных минералах: в гематите и гидроксидах железа (до 1,5 %), в ванадатах. В сростании с хромовой слюдой (хромселадонитом) установлен карнотит $K_2(UO_2)_2[V_2O_8] \cdot 3H_2O$ зеленовато-жёлтого цвета. Он образует чешуйчатые кристаллы (см. рис. 6, *a, б*) в сростании с гематитом и Au-Pd-глобулами (см. рис. 6, *в*). Не всегда чётко определяемый однородный состав и примесь Ca (до 5,98–5,19 %) позволя-

ют предполагать возможность образования минеральной смеси с тюямунитом $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Уранинит встречается в неправильных обособлениях, реже кристаллах, настуран – в форме почечек, шариков и неправильных стяжений в центре рудной зоны (см. рис. 6). Иногда выделяется в концентрически-зональных сростаниях совместно с клаусталитом и гематитом. Настуран содержит до 7,56–13,77 % Pb, иногда незначительное количество Ca, по составу близок к $(\text{U,Pb})_3\text{O}_8$. Кроме того, как было отмечено выше, уран входит в ванадаты – карнотит и тюямунит. В промежуточной зоне 3 установлены мелкие и редкие зёрна аксессуарного торита, коффинита $(\text{U,Th,Fe})[\text{SiO}_4]$ и браннерита $(\text{U,Pb,Ca,Ce})(\text{Ti,Fe})_2\text{O}_6$. Торит $(\text{Th,U,Pb,Ca})[\text{SiO}_4]$ встречен в окисленной кайме пирита. Он содержит до 7,0 % U и примеси Pb, Ca. Единичные зёрна коффинита и браннерита обнаружены в кальците.

Содержание Y в рудах проявления Светлое достигает 204–392 г/т, ΣREE 422–628 г/т. Повышенные концентрации связаны с присутствием Ca-Y-REE-карбонатов, Y-содержащего уранинита (2,49–3,19 %), а также тонкодисперсных и сложно диагностируемых минеральных смесей, возможно, таких фаз, как Y-паризит, Y-камафугит.

Железо, высвобождённое при изменении основных пород и доломитов в зоне окисления, входит в гематит и гётит. Гидроксиды железа оседают в рыхлой пористой приповерхностной зоне, выпадают по спайности в кальците, окрашивая его в бордовый цвет. Гематит и гидроксиды железа образуют своеобразные сростания: гематит – пористые замещения, кружевные зональные почки, шарики, веточки, гётит – игольчатые кристаллы и их радиально-лучистые сростания (см. рис. 6, e). Гематит содержит до 1,64 % V. В зоне окисления сульфиды замещаются халькозином, ковеллином, купритом; селениды замещаются селенатами. По клаусталиту при окислении образуется молибдомениит. В сростании с ним встречаются сложные соединения типа моттрамита селенсодержащего $\text{PbCu}(\text{V,SeO})_4(\text{OH})$, реже – церуссит, барит, гипс. Пористые отверстия в минералах заполняются Y-содержащими фазами или настураном.

Состав всех минералов определяет аномальный геохимический спектр руд проявления Светлое.

Изучение рудопроявления Светлое показало, что Au-Pd-Cu-S-Se-U-оруденение приурочено к зоне метасоматитов, сформировавшихся вблизи контакта изменённых основных и карбонатных пород

ятулийского надгоризонта, и контролируется северо-западной тектонической зоной и осевой плоскостью антиклинальной складки, осложнённой дополнительными смещениями. По локализации и геохимической специализации оруденения в зоне СРД и щёлочно-железомагнезиального метасоматоза рудопроявление подобно известным комплексным месторождениям падминского типа Онежской структуры, рудопроявлениям Салла-Пана-Куоляярвинской структуры и месторождениям Лапландского зеленокаменного пояса. Для рудопроявления Светлое установлено, что метасоматические изменения происходили в условиях повышенной щёлочности растворов, сопровождались альбитизацией и эпидотизацией основных пород, формированием жильных альбититов, сопряжённым сбросом Fe-Mg-компонентов и привнесом рудогенных элементов. Изменения в зонах рассланцевания на контакте разнородных пород проявились в формировании амфибол-карбонатных и хлоритовых зон на ранней стадии, затем в отложении Сг-слюд и кальцитовых жил во внутренней зоне метасоматической колонки. Как и на месторождениях Лапландского зеленокаменного пояса, изменения пород происходили в условиях повышенной NaCl-солёности [16, 21] из-за участия высокосолёных растворов палеопротерозойских бассейнов.

Метасоматиты рудопроявления Светлое зональные, развиваются они преимущественно по карбонатным толщам. В выделяемых метасоматических зонах наблюдается изменение набора петрогенных компонентов и микроэлементов. К центральной зоне колонки приурочено сопряжённое Au-Pd-Pb-Cu-S-Se-U-оруденение. Рудная минерализация представлена в основном сульфидами Cu и селенидами Cu и Pb (клаусталитом и более редкими). Ранние сульфиды (халькопирит и борнит) замещаются селенидами, затем минералами зоны окисления. благороднометалльная минерализация представлена Au-Pd-минералами двух генераций (гидротермальной и гипергенной). Гидротермальное золото встречается как самородное, так и в сростаниях с порпечитом и купроауридом палладия. Гипергенное золото образует мелкие глобулярные сростания совместно с палладсеитом, реже – арсенопалладинитом и мертиитом. При увеличении окислительного потенциала в рудах формируются Сг-V-слюды, минералы урана (уранинит, карнотит, тюямунит, Y-фазы, реже встречаются коффинит, браннерит). Широко развиты

гематит, образующий сетчатые и ажурные выделения, и игольчатый гётит. По первичным сульфидам и селенидам в зоне окисления развиваются селенаты, халькозин, куприт. Оруденение и характер метасоматических преобразований рудопрооявления Светлое и месторождений падминского типа похожи, но для первого являются более близкповерхностными и преобразованными в зоне окисления. Большинство из этих редких селенидов, самородных элементов и интерметаллидов были обнаружены при изучении руд авторами впервые и лишь некоторые отмечались ранее. Геохимический профиль оруденения определяется ведущими элементами: Cu, Pb, S, Se, U, Au, Pd, V, Cr, Fe, Bi, Y, REE.

Радиологическое датирование метаморфического преобразования интрузивных пород и образования более поздних щелочных и железомagneзиальных околорудных метасоматитов, проведённое для участков Светлое, Медные Горы Кумсинской и Воронов Бор Пергубской структур, позволило установить время их формирования от 1,76 до 1,45 млрд лет. Наиболее интенсивные метаморфические преобразования происходили около 1,76 млрд лет назад (определены по сфену, породе и полевым шпатам), а образование эйситов и ассоциаций рудных жил происходило ~1,5–1,46 млрд лет назад. Временная оценка свекофенских процессов и щелочного метасоматоза в сравнении с данными финских геологов для Лапландского зеленокаменного пояса [20, 22, 27] отчётливо показывает, что свекофенские метаморфогенно-метасоматические изменения, происходившие ~1,78–1,76 млрд лет назад в Кумсинской структуре центральной Карелии, близки по времени формирования орогеническим процессам в палеопротерозойских толщах северной Финляндии (~1,78 млрд лет). К этому же времени финские геологи относят процесс отложения Au-Cu-S- и Au-U-оруденения. По существующим данным [3], щелочной метасоматоз и отложение нетипичных рудных ассоциаций на рудопрооявлениях Кумсинской структуры ближе по времени формирования к раннерифейским процессам северного Приладожья. Это подтверждается и для Онежской струк-

туры, для которой по цирконам из габбро и молибдениту из метасоматитов с вкрапленной минерализацией установлен близкий возраст [10, 17].

Таким образом, по минералого-геохимическим особенностям низкотемпературных щелочных и сопутствующих им железомagneзиальных метасоматитов и связанного с ними оруденения, а также преобладающим датировкам околорудных процессов, формирование этого оруденения и околорудных изменений относится к раннерифейскому времени (1,5–1,45 млрд лет), что сопоставимо с подобным типом оруденения и преобразованиями Au-Cu-TR-U-Fe месторождений в протерозойских отложениях Австралии [23, 29, 30].

Минерализацию рудопрооявления Светлое можно отнести к типу руд 5–7-элементных формаций. Ведущие элементы – Cu, Pb, Au, Pd, Se, U; наблюдаются повышенные концентрации Y, V, Cr, Σ REE, Bi, Co. Аналогичные повышенные концентрации благородных металлов (Au и Pd) известны на месторождениях падминской группы (в северо-западных шир-зонах Онежской структуры) и связываются с интенсивными преобразованиями габбродолеритов (PR₁/d). Установленная благороднометалльная минерализация уникальна. Она представлена ранней гидротермальной ассоциацией золота, порпечита и купроаурида палладия и поздней гипергенной – тонкодисперсными глобулярными сростаниями золота, палладсеида, арсенопалладинита и мертиита. Интенсивный щелочной метасоматоз и высокий окислительный потенциал, наиболее интенсивно проявившийся в конце процесса в связи с малой глубиной формирования и близостью к поверхности, сопровождались отложением уранинита, минералов урана, образующихся в зоне окисления, REE и гематит-гётитовыми сростаниями, определившими основные перспективы рудопрооявления как уранового. По систематике, принятой для месторождений северной Финляндии, рудопрооявление Светлое относится к орогенической группе месторождений с атипичной металлогенией.

Работа выполнена по госбюджетной теме НИР Института геологии КарНЦ РАН, № ГР № АААА-А18-118020290084-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Комплексное золото-урановое оруденение восточной части Балтийского щита // Золото Фенноскандинавского щита. Материалы Международной конференции. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2013. – С. 9–12.
2. Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. – 1991. – № 6. – С. 3–14.
3. Глебовицкий В. А., Бушмин С. А., Беляцкий Б. В., Богомолов Е. С., Бороздин А. П., Савва Е. В., Лебедева Ю. М.

- Rb-Sr возраст метасоматоза и рудообразования в низкотемпературных зонах сдвиговых деформаций Фенно-Карельского кратона, Балтийский щит // Петрология. – 2014. – Т. 22, № 2. – С. 208–232.
4. Калинин А. А. Золото в метаморфических комплексах северо-восточной части Фенноскандинавского щита. – Апатиты : Кольский научный центр РАН, 2018. – 250 с.
 5. Калинин А. А., Савченко Е. А., Селиванова Е. А. Минерализация Se и Te в альбититах и перспективы золотоносности метасоматитов Салла-Куоляярвинской зоны, Северная Карелия // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 455. – С. 58–61.
 6. Калинин А. А. Золотоносная молибден-урановая минерализация Салла-Пана-Куоляярвинской зоны // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона. Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвящённой 60-летию Геологического института КНЦ РАН (Апатиты, 2–3 апреля, 2012 г.). – Апатиты. – 2012. – С. 142–147.
 7. Колядина Н. И. Урановая минерализация в эйситах рудопроявлений Лагерное и Озёрное (Северная Карелия) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – 2017. – Т. 40, № 1. – С. 83–96.
 8. Кулешевич Л. В., Голубев А. И. Благородные металлы в щелочных метасоматитах Средней Падмы, Карелия // Руды и металлы. – 2012. – № 1. – С. 17–25.
 9. Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Дмитриева А. В. Геологическое строение и Cu-Pb-Au-Pd-Se-U минерализация Кумсинской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск. – 2011. – № 14. – С. 127–145.
 10. Кулешевич Л. В., Филиппов М. М., Гольцин Н. А., Крымский Р. Ш., Лохов К. И. Метасоматиты по шунгитоносным породам Максовского месторождения (Онежская структура, Карелия) // Литология и полезные ископаемые. – 2019. – С. 149–164. – DOI 10.31857/S0024-497X20192149-164.
 11. Леденева Н. В., Пакульнис Г. В. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 39, № 3. – С. 258–268.
 12. Мельников Е. К., Шумилин М. В. О возможной модели образования уран-ванадиевых месторождений с благородными металлами в Онежском районе (Карелия) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1995. – № 6. – С. 31–37.
 13. Металлогения Карелии / Под ред. Рыбакова С. И. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 1999. – 340 с.
 14. Полеховский Ю. С., Петров С. В., Калинин А. А., Коваль А. В. Новые данные о минералогии золото-уранового рудопроявления Ромпас, Финляндия // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 482–486.
 15. Соловьёв С. Г. Железоокисдно-золото-медные и родственные месторождения. – М. : Научный мир, 2011. – 469 с.
 16. Barton M. D., Johnson D. A. Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization // Geology. – 1996. – № 24. – pp. 259–262. – URL: https://www.geo.arizona.edu/~mdbarton/MDB_papers_pdf/Barton96_IOCG_GEOL.pdf
 17. Goltsin N. A., Saltykova A. K., Polekhovsky Yu. S., Presnyakov S. L., Prasolov E. M., Prilepsky E. B., Lokhov K. I. Zircon from high carbon paleoproterozoic sediments (shungites) of the Onega structure (Central Karelia, NW Russia) // 4-th International Shrimp Workshop. Abstract Volume. – Saint-Petersburg : VSEGEI Press, 2008. – pp. 50–53.
 18. Eilu P. FINGOLD – a public database on gold deposits in Finland // Geological Survey of Finland Report of Investigation. – 1999. – № 146. – 224 p.
 19. Eilu P., Niiranen T. Iron oxide-copper-gold deposits in Finland // Global Sourcing Finland (Espoo, Finland, 20.12.2002). – URL: http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/commodities/images/iocg_in_finland.pdf
 20. Eilu P., Pankka H., Keinänen V., Kortelainen V., Niiranen T., Pulkkinen E. Characteristics of gold mineralization in the greenstone belts of northern Finland // Geological Survey of Finland. – 2007. – Spec. Paper 44. – pp. 57–106.
 21. Frietsch R., Frietsch R., Tuisku P., Martinsson O. Early Proterozoic Cu-(Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasomatism in northern Fennoscandia // Ore Geology Reviews. – 1997. – V. 12. – pp. 1–34.
 22. Hitzman M. W., Oreskes N., Einaudi M. T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron-oxide (Cu-U-Au-REE) deposits // Precambrian Research. – 1992. – V. 58. – pp. 241–287.
 23. Johnson J. P., Cross K. C. U-Pb geochronological constraints on genesis of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia // Economic Geology. – 1995. – V. 90. – pp. 1046–1063.
 24. Niiranen T., Eilu P. (ed.) Iron oxide-copper-gold excursion and workshop to Northern Finland and Sweden (Excursion locality 2 Hannukainen, Finland, 31.5.–4.6, 2004) // Geological Survey of Finland. Report M10.3/2004/1/10. – pp. 42–57.
 25. Niiranen T. Iron Oxide-Copper-Gold Deposits in Finland: case studies from the Peräpohja schist belt and the Central Lapland greenstone belt. Academic dissertation //

- University of Helsinki. – Helsinki : Department of Geology. – 2005. – 27 p.
26. Ojala V. Juhani (ed.) Gold in the Central Lapland Greenstone Belt // Geological Survey of Finland. – Espoo, 2007. – Spec. Paper 44. – 267 p.
 27. Patison N. L. Structural Controls on Gold Mineralisation in the Central Lapland Greenstone Belt // Geological Survey of Finland. – 2007. – Spec. Paper 44. – pp. 107–124.
 28. Patison N. L., Salmis G., Kortelainen V. J., V. Juhani Ojala (ed.) The Suurikuusikko gold deposit: project development summary of northern Europe's largest gold resource gold in the Central Lapland Greenstone Belt, Finland // Geological Survey of Finland. – 2007. – Spec. Paper 44. – pp. 125–134.
 29. Reynolds L. J., In Porter T.M. (ed.) Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE Deposit // Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective. – Adelaide : PGC Publishing, 2000. – pp. 93–104.
 30. Roberts D. E., Hudson G. R. T. The Olympic Dam copper-uranium-gold deposit, Roxby Downs, South Australia // Economic Geology. – 1983. – V. 78, № 5. – pp. 799–822.
 31. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland // Geological Survey of Finland. Bulletin 399. – 2001. – 229 p.
 32. Vanhanen E., Cook N. D. J., Hudson M. R., Dahlenborg L., Ranta J. P., Havela T., Kinnunen J., Molnár F., Prave A. R., Oliver N. H. S. The Rompas Prospect, Peräpohja Schist Belt, Northern Finland // Mineral Deposits of Finland. – 2015. – Chapter 5. 4. – pp. 467–484.
 33. Wyche N. L., Eilu P., Koppström K., Kortelainen V. J., Niiranen T., Välimaa J. The Suurikuusikko Gold Deposit (Kittilä Mine), Northern Finland // Mineral Deposits of Finland. – 2015. – Chapter 5. – pp. 411–433. – DOI: 10.1016/B978-0-12-410438-9.00016-9.

REFERENCES

1. Afanas'eva E. N., Mironov Yu. B. Kompleksnoe zoloto-uranovoe orudnenie vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita [Complex gold-uranium mineralization of the eastern part of the Baltic Shield], *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita. Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii [Gold of the Fennoscandinavian shield. Materials of the International Conference]*, Petrozavodsk, Karelskii nauchnyi tsentr RAN Publ., 2013, pp. 9–12.
2. Bilibina T. V., Mel'nikov E. K., Savitskii A. V. O novom tipe mestorozhdenii kompleksnykh rud v Yuzhnoi Karelii [About a new type of complex ore deposits in South Karelia], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 1991, No 6, pp. 3–14. (In Russ.).
3. Glebovitskii V. A., Bushmin S. A., Belyatskii B. V., Bogomolov E. S., Borozdin A. P., Savva E. V., Lebedeva Yu. M. Rb-Sr vozrast metasomatoza i rudoobrazovaniya v nizkotemperaturnykh zonakh sdvigovykh deformatsii Fenno-Karel'skogo kratona, Baltiiskii shchit [Rb-Sr age of metasomatism and ore formation in low-temperature zones of shear deformations of the Fenno-Karelian craton, Baltic Shield], *Petrologiya [Petrology]*, 2014, V. 22, No 2, pp. 208–232. (In Russ.).
4. Kalinin A. A. Zoloto v metamorficheskikh kompleksakh severo-vostochnoi chasti Fennoskandinavskogo shchita [Gold in metamorphic complexes of the northeastern part of the Fennoscandinavian shield], Apatity, Kol'skii nauchnyi tsentr RAN Publ., 2018, 250 p.
5. Kalinin A. A., Savchenko E. A., Selivanova E. A. Mineralizatsiya Se i Te v al'bitakh i perspektivy zolotonosnosti metasomatitov Salla-Kuolayarvinskoi zony, Severnaya Kareliya [Mineralization of Se and Te in Albitites and Prospects for Gold Metasomatites in the Salla-Kuolajarvinsky Zone, North Karelia], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2012, V. 455, pp. 58–61. (In Russ.).
6. Kalinin A. A. Zolotonosnaya molibden-uranovaya mineralizatsiya Salla-Pana-Kuolayarvinskoi zony [Gold-bearing molybdenum-uranium mineralization of the Salla-Pan-Kuolajarvinsky zone], *Geologiya i strategicheskie poleznye iskopaemye Kol'skogo regiona. Trudy IX Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) Fersmanovskoi nauchnoi sessii, posvyashchennoi 60-letiyu Geologicheskogo instituta KNTs RAN (Apatity, 2–3 aprelya, 2012 g.) [Geology and strategic minerals of the Kola region. Proceedings of the IX All-Russian (with international participation) Fersman scientific session dedicated to the 60th anniversary of the Geological Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences (Apatity, April 2–3, 2012)]*, Apatity, 2012, pp. 142–147.
7. Kolyadina N. I. Uranovaya mineralizatsiya v eisitakh rudoproyavlenii Lagernoe i Ozernoe (Severnaya Kareliya) [Uranium mineralization in sites of ore occurrences Lagernoye and Ozernoye (North Karelia)], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektii nauk o Zemle RAEN. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Bulletin of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits]*, 2017, V. 40, No 1, pp. 83–96. (In Russ.).
8. Kuleshevich L. V., Golubev A. I. Blagorodnye metally v shchelochnykh metasomatitakh Srednei Padmy, Kareliya [Noble metals in alkaline metasomatites of Mid-

- dle Padma, Karelia), *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2012, No 1, pp. 17–25. (In Russ.).
9. Kuleshevich L. V., Lavrov O. B., Dmitrieva A. V. Geologicheskoe stroenie i Su-Pb-Au-Pd-Se-U mineralizatsiya Kumsinskoi struktury [Geological structure and Cu-Pb-Au-Pd-Se-U mineralization of the Kumsinsky structure], *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii [Geology and Useful Minerals of Karelia]*, Petrozavodsk, 2011, No 14, pp. 127–145. (In Russ.).
 10. Kuleshevich L. V., Filippov M. M., Gol'tsin N. A., Krymskii R. Sh., Lokhov K. I. Metasomatity po shungitonosnym porodam Maksovskogo mestorozhdeniya (Onezhskaya struktura, Kareliya) [Metasomatites from schungite-bearing rocks of the Makovsky deposit (Onega structure, Karelia)], *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 2019, pp. 149–164, DOI 10.31857/S0024-497X20192149-164.
 11. Ledeneva N. V., Pakul'nis G. V. Mineralogiya i usloviya obrazovaniya uran-vanadievyykh mestorozhdenii Onezhskoi vpadiny (Rossiya) [Mineralogy and conditions for the formation of uranium-vanadium deposits of the Onega Depression (Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 1997, V. 39, No 3, pp. 258–268. (In Russ.).
 12. Mel'nikov E. K., Shumilin M. V. O vozmozhnoi modeli obrazovaniya uran-vanadievyykh mestorozhdenii s blagorodnymi metallami v Onezhskom raione (Kareliya) [On a possible model for the formation of uranium-vanadium deposits with precious metals in the Onega region (Karelia)], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*, 1995, No 6, pp. 31–37. (In Russ.).
 13. Metallogeniya Karelii [Geology of Karelia], Pod red. Rybakova S. I., Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 1999, 340 p.
 14. Polekhovskii Yu. S., Petrov S. V., Kalinin A. A., Koval' A. V. Novye dannye o mineralogii zoloto-uranovogo rudoproyavleniya Rompas, Finlyandiya [New data on the mineralogy of gold-uranium ore occurrence Rompas, Finland], *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN [Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Kola Scientific Center]*, 2019, No 16, pp. 482–486. (In Russ.).
 15. Solov'ev S. G. Zhelezooksidno-zoloto-mednye i rodstvennye mestorozhdeniya [Iron oxide-gold-copper and related deposits], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2011, 469 p.
 16. Barton M. D., Johnson D. A. Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization, *Geology*, 1996, No 24, pp. 259–262, URL: https://www.geo.arizona.edu/~mdbarton/MDB_papers_pdf/Barton96_IOCG_GEOL.pdf
 17. Goltsin N. A., Saltykova A. K., Polekhovskiy Yu. S., Prasolov S. L., Prasolov E. M., Prilepsky E. B., Lokhov K. I. Zircons from high carbon paleoproterozoic sediments (shungites) of the Onega structure (Central Karelia, NW Russia), 4-th International Shrimp Workshop. Abstract Volume, Saint-Petersburg, VSEGEI Press, 2008, pp. 50–53.
 18. Eilu P. FINGOLD – a public database on gold deposits in Finland, Geological Survey of Finland Report of Investigation, 1999, No 146, 224 p.
 19. Eilu P., Niiranen T. Iron oxide-copper-gold deposits in Finland, Global Sourcing Finland (Espoo, Finland, 2012. 2002), URL: http://en.gtk.fi/export/sites/en/information-services/commodities/images/iocg_in_finland.pdf
 20. Eilu P., Pankka H., Keinänen V., Kortelainen V., Niiranen T., Pulkkinen E. Characteristics of gold mineralization in the greenstone belts of northern Finland, Geological Survey of Finland, 2007, Spec. Paper 44, pp. 57–106.
 21. Frietsch R., Frietsch R., Tuisku P., Martinsson O. Early Proterozoic Cu-(Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasomatism in northern Fennoscandia, *Ore Geology Reviews*, 1997, V. 12, pp. 1–34.
 22. Hitzman M. W., Oreskes N., Einaudi M. T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron-oxide (Cu-U-Au-REE) deposits, *Precambrian Research*, 1992, V. 58, pp. 241–287.
 23. Johnson J. P., Cross K. C. U-Pb geochronological constraints on genesis of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia, *Economic Geology*, 1995, V. 90, PP. 1046–1063.
 24. Niiranen T., Eilu, P. (ed.) Iron oxide-copper-gold excursion and workshop to Northern Finland and Sweden (Excursion locality 2 Hannukainen, Finland, 31.5.–4.6, 2004), Geological Survey of Finland. Report M10.3/2004/1/10, PP. 42–57.
 25. Niiranen T. Iron Oxide-Copper-Gold Deposits in Finland: case studies from the Peräpohja schist belt and the Central Lapland greenstone belt. Academic dissertation, University of Helsinki, Helsinki, Department of Geology, 2005, 27 p.
 26. Ojala V. Juhani (ed.) Gold in the Central Lapland Greenstone Belt, Geological Survey of Finland, Espoo, 2007, Spec. Paper 44, 267 p.
 27. Patison N. L. Structural Controls on Gold Mineralisation in the Central Lapland Greenstone Belt, Geological Survey of Finland, 2007, Spec. Paper 44, pp. 107–124.
 28. Patison N. L., Salamis G., Kortelainen V. J., V. Juhani Ojala (ed.) The Suurikuusikko gold deposit: project development summary of northern Europe's largest gold resource gold in the Central Lapland Greenstone Belt, Finland, Geological Survey of Finland, 2007, Spec. Paper 44, pp. 125–134.
 29. Reynolds L. J., In Porter T.M. (Ed.) Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE Deposit, Hydrothermal Iron

- Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, 2000, V. 1. PGC Publishing, Adelaide. pp. 93–104.
30. Roberts D. E., Hudson G. R. T. The Olympic Dam copper-uranium-gold deposit, Roxby Downs, South Australia, *Economic Geology*, 1983, V. 78, № 5, pp. 799–822.
 31. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland, *Geological Survey of Finland. Bulletin 399*, 2001, 229 p.
 32. Vanhanen E., Cook N. D. J., Hudson M. R., Dahlenborg L., Ranta J. P., Havela T., Kinnunen J., Molnár F., Prave A. R., Oliver N. H. S. The Rompas Prospect, Peräpohja Schist Belt, Northern Finland, *Mineral Deposits of Finland*, 2015, Chapter 5. 4, pp. 467–484.
 33. Wyche N. L., Eilu P., Koppström K., Kortelainen V. J., Niiranen T., Välimaa J. The Suurikuusikko Gold Deposit (Kittilä Mine), Northern Finland, *Mineral Deposits of Finland*, 2015, Chapter 5, pp. 411–433, DOI: 10.1016/B978-0-12-410438-9.00016-9.

Au-Pd-Cu-Se-U MINERALIZATION OF SVETLOYE ORE OCCURRENCE IN CENTRAL KARELIA

Kuleshevich L. V. (PhD in geology and mineralogy, leading researcher)

Lavrov O. B. (researcher, head of the precambrian museum of geology)

Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk

Au-Pd-Cu-Se-U mineralization of Svetloye ore occurrence in Central Karelia, was deposited near the earth surface and affected by the supply of selenium, copper, lead, noble metals, uranium and intense oxidation (~1500 Ma). The mineralization contains chalcopyrite, bornite, clausthalite and rarer selenides, finely dispersed native gold (Ag 1-13 %), Au-Cu-phases (porpezite and cuproauride), globular Au-Pd-Se and Pd-As-Sb intergrowths, the minerals of uranium and rare-earth elements, as well as hematite, goethite, chalcosine and more complex oxidation-zone compounds. The ore mineralization is confined to a zone of low-temperature alkaline metasomatism and fault of Mg-Fe-components which formed near the gabbro-dolerite-carbonate rock contact. The alteration pattern and ore mineralization of Svetloye occurrence are similar to those of Padma-type Au-Cu-U deposits in the Onega Structure and some localities of the Lapland Greenstone Belt, Finland.

Keywords: Au-Pd-Cu-Se-U mineralization, gold, palladseite, porpezite, palladium cuproauride, metasomatic alteration, Paleoproterozoic, Karelia.

