

Л. В. Кулешевич, О. Б. Лавров

РУДНИК ВОИЦКИЙ – Au-Cu-S-КВАРЦЕВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В СЕВЕРО-ВЫГОЗЕРСКОЙ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОЙ СТРУКТУРЕ КАРЕЛИИ*

История открытия и изучения. Рудник Воицкий (рис. 1, 2) расположен на северном берегу оз. Выгозеро на п-ове Марфин Наволок, недалеко от современного пос. Надвоицы. Здесь в 1742 г. начали разрабатывать богатую кварцевую жилу с сульфидами меди на заложённом медном руднике, действовавшем с перерывами 40 лет, до 1794 г. (Майер, 1907; Соколов, 1923; Кузин, 1961). В старых описаниях приводится план рудника и схема расположения главной разрабатываемой жилы (рис. 3, Озерецковский, 1989). На руднике существовали несколько штолен, одна из них с шахтой глубиной 17 м, система вентиляции и подъема руды. Вначале месторождение разрабатывалось как медно-сульфидное. В те времена (начала горных работ в России) масштаб рудных тел большого значения не имел: разрабатывались небольшие и богатые по содержанию рудные тела, добывались наиболее богатые руды с содержанием меди более 1%. Руды выбирались вручную. Их минеральный состав был преимущественно халькопиритовый и халькопирит-борнитовый. Через два года после начала разработок, в 1744 г., в медной руде месторождения было обнаружено самородное золото. Осенью того же года указом Берг-коллегии предписывалось начать на руднике добычу благородного металла. В результате эксплуатации рудника жила была отработана на глубину 120 м (по другим данным – до 150 м) и в длину на 60 м. Из нее добыто около 106 т меди с попутным извлечением золота более 76 кг. По описанию горного начальника Александровского завода А. С. Ярцова, «золото в виде проволоки переплеталось с минералами меди». Иногда оно встречалось в жильном кварце мелкими блестками и даже самородками весом до 3,5 фунта (около 1,4 кг). Количество добытого золота по годам отражено в табл. 1, составленной по информации, приводимой в Горных журналах, и данным Центрального государственного архива древних актов (ЦГАДА) А. А. Кузиным (1961).

* Работа выполняется по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 2 «Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов», проекту «Золоторудные системы в архейских зеленокаменных поясах: геодинамические обстановки, возрасты, минералогеохимическая типизация». Грант РФФИ (08-05-98815-р_север_а) «Гидротермальные цирконы в терригенных породах Карелии как индикаторы древних геодинамических и рудогенных систем».

Рудник посещали известные геологи и академики РАН Э. Г. Лаксман, Н. Я. Озерецковский, путешественник П. И. Челищев. Поэт Г. Р. Державин, будучи губернатором Олонецкого края, в 1783 г. также удостоил своим посещением эту горную разработку. В период строительства Беломорско-Балтийского канала часть старых выработок и главная жила были затоплены, а вблизи рудника сейчас поставлен памятный знак горнорудным разработкам – производственный памятник XVIII в. (рис. 4).

Самородное золото, извлеченное из жилы, доставлялось в государственную казну, единичные образцы его хранятся в некоторых музеях России и мира, например, в Музее естественной истории г. Вены (рис. 5). Открытие рудного золота в кварцевой жиле Воицкого медного месторождения предшествовало находкам благородного металла на Урале, и именно здесь, на карельской земле, горняки положили начало золоторудным промыслам в России.

Геологическое строение и история изучения золотоносности Выгозерской структуры. Месторождение приурочено к западному окончанию полуострова, к кварцито-песчаникам ятулийского надгоризонта. Кварцито-песчаники (летнереченской свиты) имеют простирание СЗ 320° и крутое падение, близкое к 85–90°, к СВ либо СЗ. Предполагается существование антиклинальной складки в пределах участка (рис. 2). Севернее полуострова кварцито-песчаники перекрываются метабазами. В кварцито-песчаниках зерна кварца имеют размер около 1 мм, цементирующая масса представлена тонкочешуйчатым серицитом; цемент соприкосновения, слюда перекристаллизована. Состав безрудных кварцитов (обр. ПВ-10) (мас. %): SiO₂ – 91,06 %, TiO₂ – 0,18, Al₂O₃ – 3,36, Fe₂O₃ – 0,48, FeO – 0,5, MnO₂ – 0,026, MgO – 0,88, CaO – 0,72, Na₂O – 0,05, K₂O – 1,15, H₂O – 0,13, ппп – 1,39, P₂O₅ – 0,05, Cr₂O₃ <0,001, V₂O₅ – 0,021, CoO <0,001, NiO – 0,003, CuO – 0,078, ZnO – 0,001, Li₂O – 0,0006, Rb₂O – 0,004, Cs₂O – 0,001, сумма – 99,96%. Породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации. Южнее основной жилы (точнее расщелины, оставшейся от нее) в обнажениях наблюдаются деформации двух направлений.

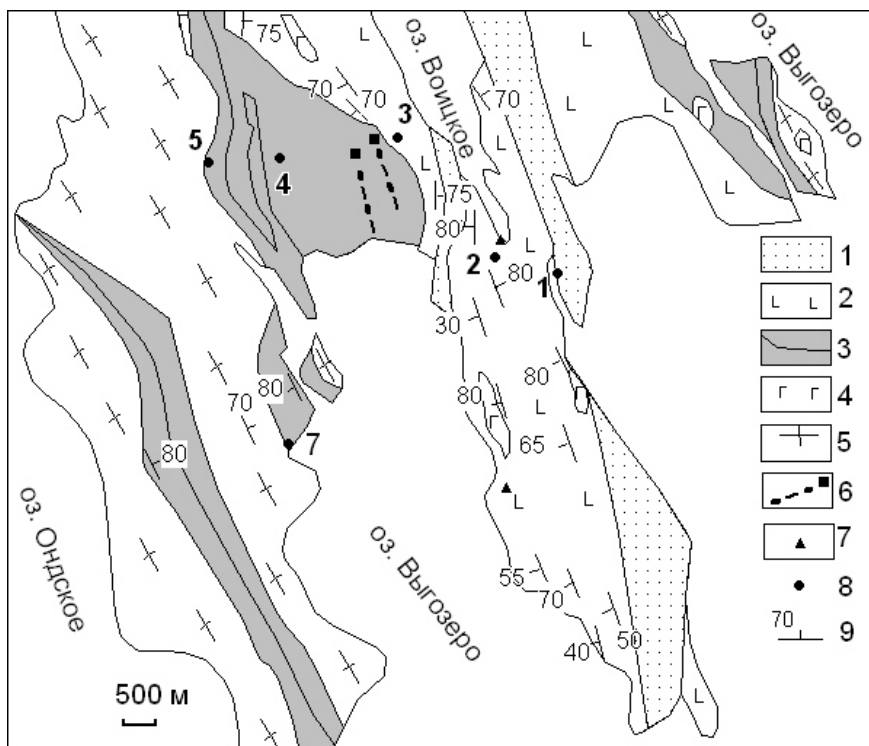


Рис. 1. Схема геологического строения Северо-Выгозерской структуры (оз. Воицкое, построена на основе материалов КГЭ):

1 – кварцито-песчаники летнеозерской свиты (PR₁jt); 2 – метабазалты (PR₁sm); 3 – лопийские вулканогенно-осадочные толщи (AR₂lp); 4 – габбро (нерасчлененные); 5 – граниты, гранито-гнейсы; 6 – углеродсодержащие сланцы с колчеданным оруденением (AR₂lp); 7 – медная минерализация; 8 – рудопроявления (2 – Серебряная гора, 3 – С-1, 4 – С-9, 5 – С-14) и месторождение (1 – рудник Воицкий); 9 – элементы залегания

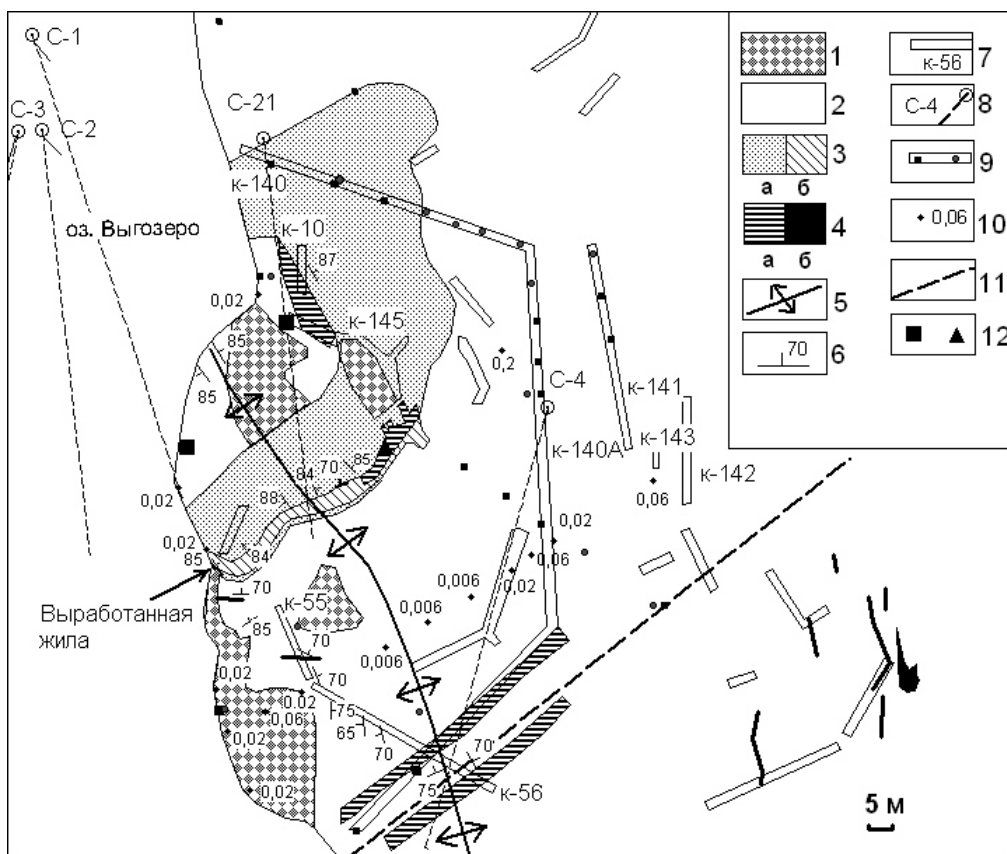


Рис. 2. Схематический план Воицкого рудника (построен на основе схемы, составленной А. Ф. Горощко):

1 – рудные отвалы; 2 – ятулийские кварцито-песчаники, летнеозерская свита); 3 – березитизированные кварцито-песчаники (а – с кварцем, серицитом, карбонатом, б – то же, с мелкозернистым пиритом); 4 – штокверк (а – участки кварцево-жильной пропитки, в том числе выработанные жилы, б – кварцевые жилы и прожилки); 5 – ось складки; 6 – элементы залегания; 7 – каналы; 8 – скважины; 9 – опробование шликотное: пирит (а) и золото (б); 10 – литохимическое: содержание золота; 11 – предполагаемый разлом; 12 – шурф (а) и вентиляционная шахта (б)

Профиль

Воицкой горы съ означенною въ ней рудною залежиюю
железою съ стороны въ рѣкѣ въгнѣ по дѣливи этой

А Гора Воицкая съ показаніемъ слоевъ земли, каковы
они въ ступѣ склоняются

В Рудная залежиюя железа, которая выработана

С Конная поперѣкъ земли машины

Д Глинистая и песчаная земля

Е Рѣка въгнѣ

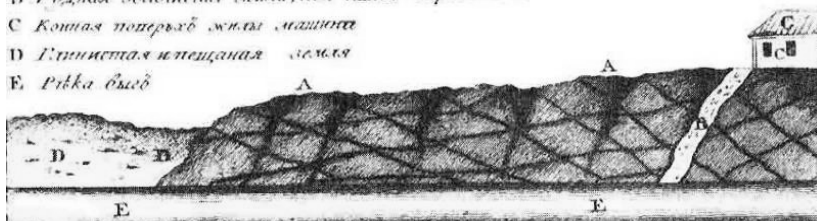


Рис. 3. Схема расположения Главной жилы Воицкого рудника (Озерецковский, 1989)



Рис. 4. Воицкий медный рудник – производственный памятник XVIII в., действовал с 1742 по 1791 г. (современные фотографии памятного знака, установленного в д. Воицкое)

Таблица 1

Добыча золота и меди на Воицком руднике (1744–1754 г.)
(Кузин, 1961)

Год	Золотосодержащая порода			Медьсодержащая руда		
	фунтов	золотников	кг	пудов	фунтов	тонн
1744				685	10	11,2244
1745				630	20	10,3276
1746	2	78	1,1178	783	5	12,8276
1747	3	39	1,3538	619	35	10,1535
1748	2	14	0,8528	766	10	12,5512
1749	2	41	0,9646	888	15	14,5516
1750	1	52	0,6127	820	5	13,4336
1751	2	4	0,8114	633		10,3685
1752	1	10	0,4388	1633	10	26,7526
1753				1420	10	23,2637
1754				1004	10	16,4496

На участке месторождения крутопадающие кварцевые жилы секут вмещающие их кварцито-песчаники. Они имеют преимущественно СВ и СЗ простирание ($40-45^\circ$ и 320°) и формируют штокверк. Мощность жил на участке колеблется от 0,5 до 4 м, прожилки более маломощные. Главная кварцевая жила имела СВ простирание, мощность 0,7–2,5 м, в раздуже – до 4 м, при вскрытой длине 50 м и крутом падении на СЗ под углом 70° . Благодаря геологическим работам Карельской экспедиции, проводимым в 1970-х гг. по доизучению, серия жил была прослежена скважинами до глубины 130 м. Сейчас главная жила частично

затоплена, на поверхности осталась только выработанная расщелина, а штольни обвалились.

В обнаженной части площади жильного штокверка развиты низкотемпературные изменения, не контрастные, плохо отличимые от первичных минералов вмещающих кварцито-песчаников и устанавливаемые лишь по развитию мелкого коричневатого карбоната и гидроокислам, образовавшимся по окисленным сульфидам (размер 1–3 мм). По этим изменениям можно оконтурить площадь измененных пород (березитизации), охватывающую почти все плохо обнаженное пространство в ореоле развития жил и прожилков (рис. 2). В зальбандах жил развиты скопления тонкочешуйчатой плотной слюды бледно-зеленоватого цвета.

Геохимия и минеральный состав руд

Руды уч. Воицкого золото-медно-сульфидно-кварцевые прожилковые и гнездовые. Руды содержали халькопирит, борнит, халькозин, в них были отмечены пирит, молибденит, галенит, среди минералов из зоны окисления – ковеллин, малахит, гематит и даже самородная медь. Среднее содержание Cu в рудах – 1,27%, максимальные концентрации достигали 14,2%. Запасы меди (забалансовые) оцениваются в 114 т (Минерально-сырьевая база..., 2005).

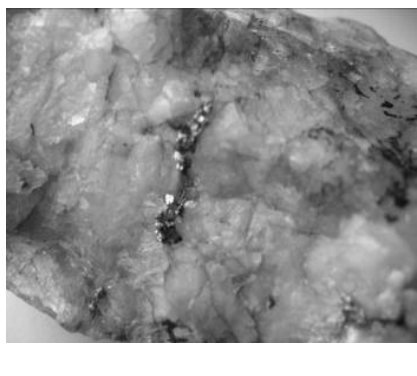
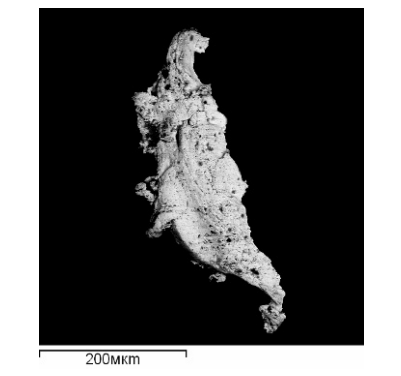
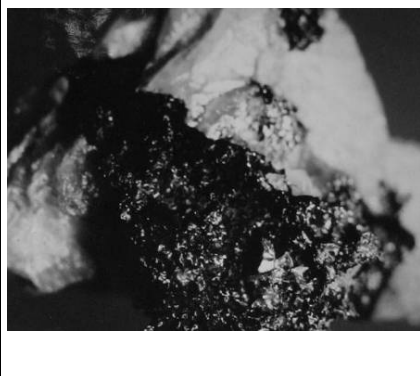
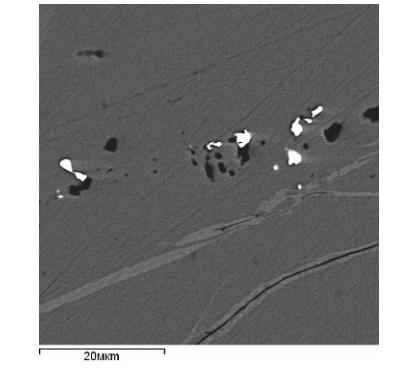
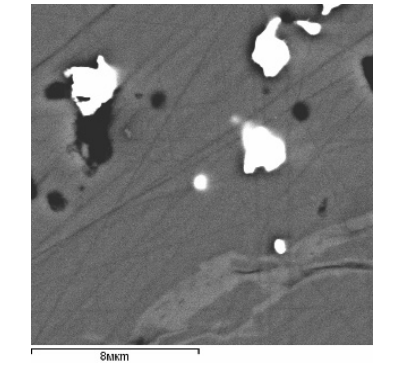
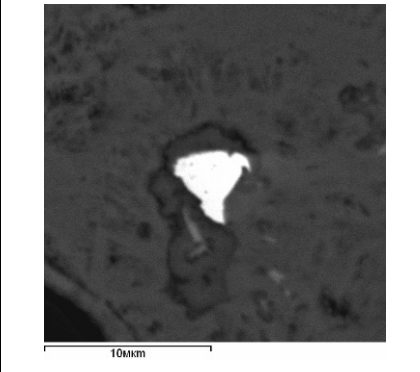
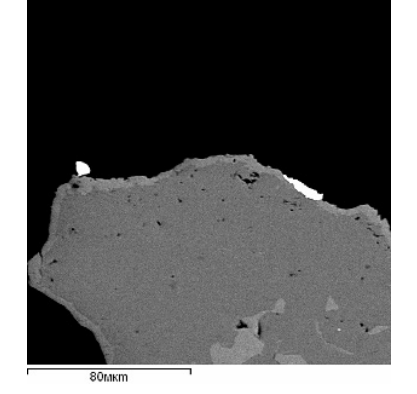
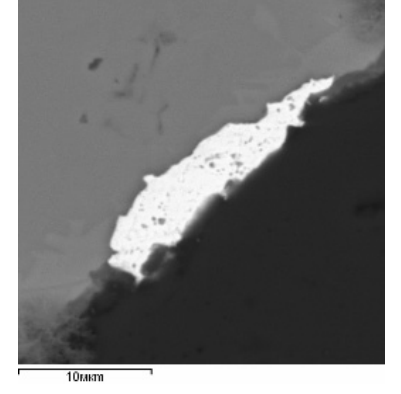
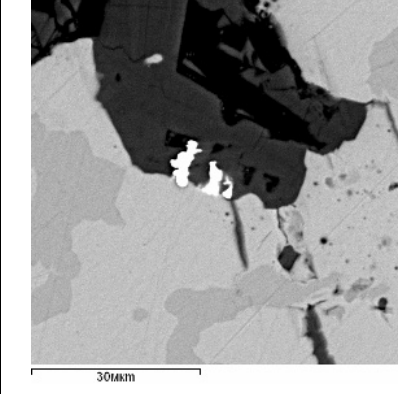
	 200мкм	
1. Золото в кварцевой жиле. Воицкий рудник (ККМ, г. Петрозаводск)	2. Золотина. Состав: Au – 93,47–94,96%, Ag – 5,06–6,53%	3. Золото с Воицкого рудника. Музей естественной истории, г. Вена, Австрия (фото П. В. Медведева)
 20мкм	 8мкм	 10мкм
4. РВ-11/2_15. Золото (белое, Ag – 13,6–18,39) в борните	5. РВ-11/16_1. Золото в борните	6. РВ-11/2_20. Золото (Ag – 17,57) в куприте
 80мкм	 10мкм	 30мкм
7. VO2/9-1. Золото (белое), борнит, халькозин (светло-серое)	8. VO2a/10-1. Золото (белое), борнит, халькозин	9. VO3/3-1. Золото (белое), борнит, халькозин (светло-серое)

Рис. 5. Самородное золото из кварцевой жилы Воицкого рудника

Кроме того, в главной жиле было обнаружено самородное золото, и оно же установлено в рудах, где его концентрация равна 0,1–10 г/т Au (среднее на массу руды – 0,26 г/т). На отдельных участках с прожилковым окварцеванием также были встречены жилы с концентрацией Au до 13,2 г/т. Опробование, проводимое с поверхности, позволило установить фоновые содержания в околожилльных метасоматитах 0,01–0,06 г/т. На руднике повсеместно встречается шлиховое золото (работы А. Ф. Горош-

ко, В. В. Ушкова, Г. Г. Плетнева). Самородное золото выделяется в виде мелких чешуек, комковатых зерен и их скоплений размером ~1–2 мм. Согласно результатам предшествующих исследований, золото содержит примесь Ag и имеет пробу 800–980 (ЦНИГРИ).

Севернее Воицкого рудника на Надвоицком участке в скважинах С-12 и С-13 были обнаружены прожилковые и жильные руды подобного типа с содержанием Au 0,01–0,13 г/т. На участке Серебряная

горка в кварцевых и кварц-карбонатных жилах установлено 0,2–3 г/т Au (рис. 1; Ушков и др., 1978).

Проведенное авторами опробование отвалов медно-сульфидно-кварцевых руд позволило установить, что в них содержится (в %): Ag – 0,001–0,046, Mo – до 0,032, Ni – 0,002–0,01, Co – до 0,001, Mn – 0,015–0,032, В – 0,046–0,1, Cr – до 0,005, Ti – 0,015–0,1, Ва – 0,015–0,022, Sr – до 0,032, Zr 0,01 (данные спектрального анализа). Так же, как и на месторождении Воронов Бор (Кулешевич и др., 2009), руды уч. Воицкого можно разделить на два минеральных типа – существенно халькопиритовые и борнитовые. Среди них первые имеют массивное гнездовое или прожилковое строение и содержат преимущественно халькопирит, вторые содержат борнит, в меньшем количестве – халькопирит и халькозин.

Нерудная ассоциация. Микросондовое изучение отобранных образцов показало, что нерудная ассоциация жил и прожилков представлена преимущественно кварцем, в зальбандах встречаются серицит, альбит, барит (табл. 2–4). *Альбит* имеет практически чистый состав, иногда с небольшим количеством Са-компонента (табл. 2). *Кварц* составляет основу жил и прожилков. Он белый, полупрозрачный, иногда с включениями тонкочешуйчатого фенгита, реже альбита. По границам зерен вблизи контактов с сульфидами развиты гидроокислы железа, иногда окрашивающие его в красно-коричневаты цвета.

Фенгит. Мелкочешуйчатые слюды, названные при документации серицитом, представлены несколькими

генерациями: 1-й тип, во вмещающих песчаниках и сланцах, имеет белый цвет и тонкочешуйчатый облик. 2-й тип развит в зальбандах кварцевых жил, зонах рассланцевания, где они сгруппированы в зеленовато-желтоватые и бежевые по цвету прослойки значительной протяженности («сплошные пласты», полосы и линзы толщиной от 1 мм до 2 см). Слюда 2-й генерации выделяется в виде плотных тонкочешуйчатых масс, они формируют так называемые изогнутые блестящие «зеркала скольжения». Состав этих слюд (табл. 3; рис. 6: 1) отличается незначительно. Для них характерно количество Si 3,23–3,53 (форм. ед.) и присутствие в составе небольшого количества Mg, Fe, иногда и реже Na и Ti. Соотношение Si/Al > 5.

Таблица 2

Полевые шпаты в зальбандах кварцевых прожилков

Компонент	1	2	3	4
Na (мас. %)	7,84	7,99	8,03	8,51
Al	10,15	9,88	9,93	10
Si	32,53	32,98	32,91	32,32
Ca	0,48			0,36
O	49	49,14	49,12	48,81
Сумма	100	99,99	99,99	100
		К. ф.		
Na	0,90	0,92	0,92	0,97
Al	1	0,97	0,97	0,98
Si	3,07	3,11	3,10	3,03
Ca	0,03	0	0	0,02
Сумма	5	5	5	5
№ обр.	PВ-11/2а	PВ-11/2а	PВ-11/2а	PВ-11/2а
Участок	2_1	5_4	6_1	7_4

Таблица 3

Слюды в зальбандах кварцевых прожилков

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na (мас. %)	0,24	0,29	0	0	0,46	0,54	0	0	0	0	0	0,62
Mg	1,21	1,5	1,22	0,67	0,66	1,38	1,25	0,53	1,51	1,5	0,8	0,5
Al	16,34	15,95	16,58	17,79	17,74	15,78	15,96	17,78	15,64	16,34	17,52	18,05
Si	24,35	24,75	24,58	24,3	23,63	24,74	24,42	24,87	25,72	24,27	24,06	23,69
K	8,86	8,92	9,49	8,72	8,7	9,5	9,21	10,24	9,07	9,43	9,46	9,3
Ti	0,93	0,42	–	–	0,34	–	0,52	–	–	0,49	–	0,48
Fe	1,91	2,03	2,05	2,16	2,46	2,16	2,79	–	1,54	1,98	2,12	1,18
O	46,15	46,15	46,08	46,36	46,01	45,89	45,86	46,59	46,51	45,99	46,05	46,16
Сумма	99,99	100,01	100	100	100	99,99	100,01	100,01	99,99	100	100,01	99,98
						К. ф.						
Na	0,04	0,05	0	0	0,08	0,09	0	0	0	0	0	0,10
Mg	0,19	0,24	0,19	0,11	0,10	0,22	0,20	0,08	0,24	0,24	0,13	0,08
Al	2,34	2,27	2,36	2,54	2,53	2,24	2,29	2,52	2,23	2,33	2,50	2,56
Si	3,35	3,39	3,37	3,34	3,24	3,37	3,36	3,39	3,53	3,36	3,30	3,23
K	0,87	0,88	0,93	0,86	0,86	0,93	0,91	1,00	0,89	0,93	0,93	0,91
Ti	0,07	0,03	0	0	0,03	0	0,04	0	0	0,04	0	0,04
Fe	0,13	0,14	0,14	0,15	0,17	0,15	0,19	0	0,11	0,14	0,15	0,08
Сумма	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Al ^{IV}	0,65	0,61	0,63	0,66	0,76	0,63	0,64	0,61	0,47	0,67	0,70	0,77
Al ^{VI}	1,69	1,66	1,73	1,88	1,77	1,61	1,65	1,91	1,76	1,66	1,80	1,79
K (2)	0,40	0,41	0,33	0,26	0,30	0,37	0,43	0,08	0,35	0,41	0,27	0,20
K (2–3)	2,08	2,07	2,07	2,14	2,07	1,98	0,09	2,00	2,11	2,07	2,07	1,99
K (1)	0,92	0,9	0,93	0,86	0,93	1,02	0,91	1,00	0,89	0,93	0,93	1,01
Сумма K	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Si/Al ^{IV}	5,13	5,55	5,32	5,05	4,24	5,39	5,3	5,56	7,47	4,94	4,69	4,18
№ обр.	PВ-6	PВ-6	PВ-11/2	11/2а	11/2а	PВ-11/3а	ВО-1	ВО-2а	ВО-2а	PВ-10	PВ-10	PВ-10
Участок	1	2_3	11_1	4_2	7_1	2_2	3-4	1-4	18-1	1-2	8-8	12-1

Примечание. 1–2 – пластинчатые фенгиты из зальбандов жил (обр. PВ-6); 3–7, 8–9 – борнитовые и борнит-халькозиновые руды; 10–12 – вмещающие кварцито-песчаники. Здесь и далее использованы образцы из коллекций Л. В. Кулешевич, О. Б. Лаврова. Расчет катионов (K) 1, 2, 3-валентных осуществляется с учетом рекомендаций номенклатуры, Si/Al^{IV} > 5. Количество коэффициентов в формуле (к. ф.) рассчитано по катионному методу.

Таблица 4

Циркон

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na					0,83				
Al	0,44			1	1,17		0,51		
Si	13,12	14,41	14,32	14,4	14,95	14,52	13,08	14,73	14,96
Ca	1,39			1,24	1,33		1,1		
Fe	0,86			2,46			1,07		
Cu	2,64						2,83		
Zr	47,92	51,21	51,35	46,21	46,52	51,03	47,81	50,7	50,33
O	33,62	34,38	34,33	34,7	35,21	34,45	33,59	34,57	34,7
Сумма	99,99	100	100	100,01	100,01	100	99,99	100	99,99
№ обр.	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	ВО-3
Участок	1_5	2_1	2_2	2_3	2_8	6_1	6_2	13_4	9_1

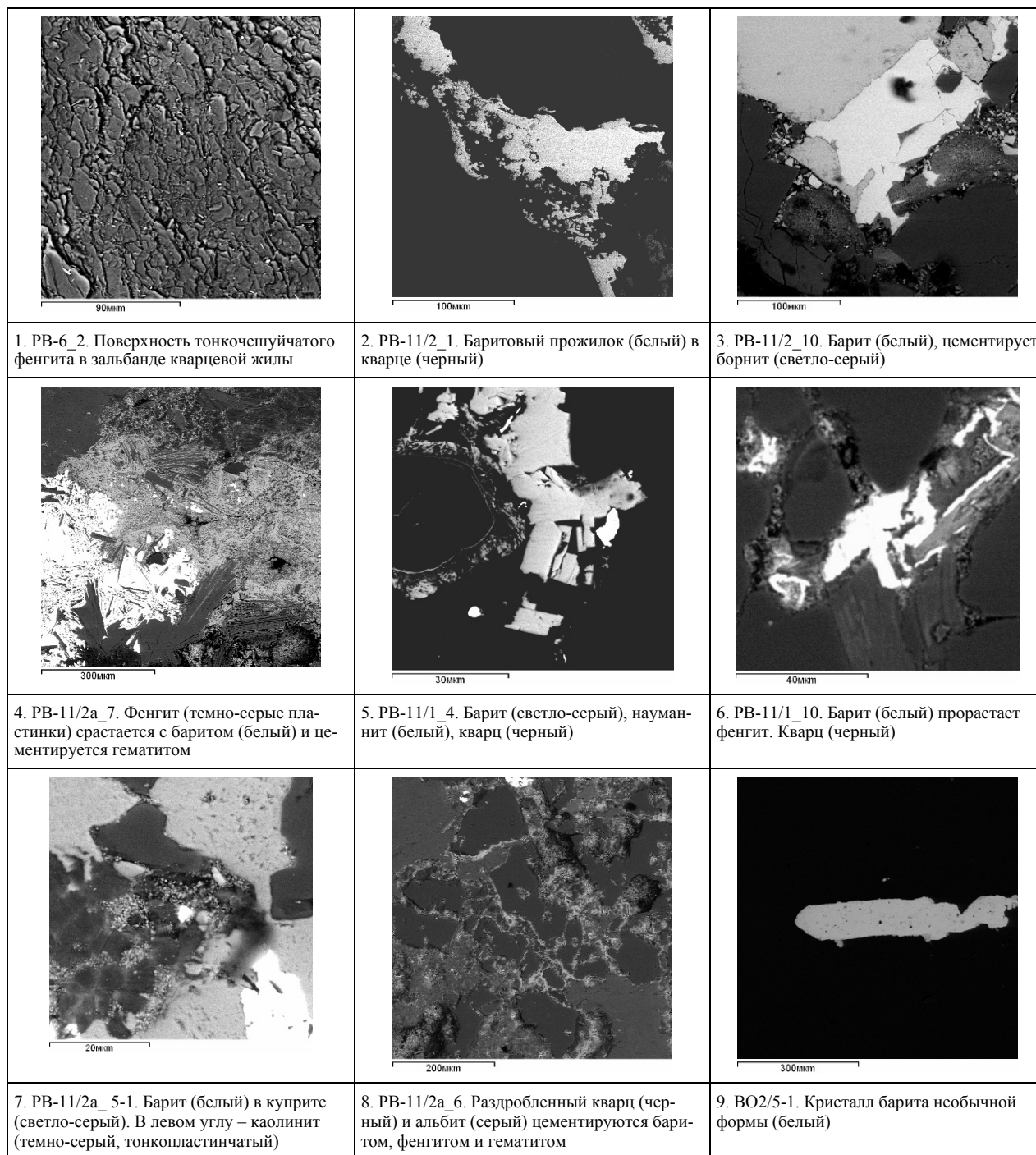


Рис. 6. Нерудная ассоциация сульфидно-кварцевых жил участка Воицкого

Перекристаллизация слюды наблюдается и в околорудных изменениях по появлению тонких просечек и скоплений фенгита, «обтекающего» песчинки кварца и образующего прослой. К этим же просечкам приурочены выделения мелких зерен халькопирита и сростаний акцессорных минералов – циркона, фосфатов редкоземельных элементов и апатита. Эти минералы имеют хорошую огранку и общую приуроченность к прослоям с сульфидами, что свидетельствует об их гидротермальном генезисе.

Циркон, апатит и фосфаты РЗЭ (Ce, La, Nd, Y) были установлены в зальбандах жил в сростании с сульфидами и в околорудно-измененных породах, где наблюдается их высыпание по тонким прослоям с перекристаллизованным фенгитом (табл. 4–6). Циркон образует крупные (40–60 мкм) зональные зерна (рис. 7), в которых чередуются светлые и более темные зерна. Темные участки содержат более высокие концентрации примесей Ca, Fe, Al, реже Na, в некоторых цирконах установлена примесь Cu, причем сульфидов на контакте с акцессорием не было обнаружено. В одном из зерен циркона из борнитовых руд были обнаружены включения сульфида меди, замещенного купритом, и микровключение монацита. Монацит по микротрещинке проникает в циркон и,

соответственно, образуется позднее. Удлиненное зерно куприта, вероятно, образовалось при замещении оксидом захваченного цирконом сульфида меди.

Монацит образует небольшие (до 10–40 мкм) овальные, реже пластинчатые зерна в сростании с фенгитом, апатитом, цирконом, реже торитом. Он содержит в своем составе: Ce_2O_3 – 31,30–36,16, Nd_2O_3 – 15,01–15,2, La_2O_3 – 12,08–12,57, P_2O_5 – 36,25–41,42% и в меньшем количестве другие редкоземельные элементы, иногда Ca и F.

Ксенотим встречается в небольших редких зернах в сростании с цирконом. Он выделяется как включение, вросшее в циркон, содержит микровключения торита.

Торит образует очень мелкие включения в ксенотиме, монаците, цирконе, он обогащен U (5,06%) и Pb (5,85%). Фтористый апатит встречается в той же ассоциации в околорудных изменениях, он образует хорошо ограненные зерна размером 50×120 мкм. Эти минералы находятся в сростании с Ce-минералом группы эпидота – ортитом (алланитом), который кроме традиционных элементов содержит такие примеси, как La (3,94–4,22%), Nd (1,92–2,41%), Mn (1,17–1,19%), Pb (2,91–3,64%). Присутствие всех этих минералов, Ba, Sr и РЗЭ элементов свидетельствует о связи предрудного метасоматоза с субщелочным источником.

Таблица 5

Монацит

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
F						0,61					0,12			
P	15,82	18,08	15,67	20,81	15,97	15,96	15,82	15,9	15,76	15,79	15,16	16,15	16,23	16,3
La	10,72	10,3	13,49	12,26	15,08	14,99	15,32	13,35	14,78	15,34	13,94	16,21	8,96	7,48
Ce	30,87	26,72	27,94	23,86	29,07	28,88	29,48	29,56	28,76	29,5	26,95	28,27	25,06	22,76
Nd	12,87	13,03	13,32	8,56	10	9,78	9,64	11,38	10	9,67	9,62	9,31	16,89	19,93
Pr											1,81			
Sm													2,81	3,43
Th											3,43			
O	29,71	31,87	29,56	34,5	29,88	29,78	29,73	29,8	29,84	29,7	28,98	30,05	30,06	30,1
Сумма	99,99	100	99,98	99,99	100	100	99,99	99,99	99,14	100	99,22	99,99	100,01	100
№ обр.	PВ-11/1	PВ-11/1	ВО1	ВО3	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-10	PВ-11/3а	PВ-11/3а
Участок	9 1	9 2	4 1	10 1	1 1	8 5	8 6	9 2	10 1	12 2	13 2	16 1	5 1	17 2

Таблица 6

Акцессорные минералы из околорудно-измененных пород

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	5,25	5,42	5,86	4,73	6,5				
P	19,45	19,4	19,66	19,49	19,76		20,11		
Ca	35,88	35,83	35,08	36,18	34,47			9,11	8,54
Al								10,38	9,93
Si						10,44		17,55	17,19
Mn								1,19	1,17
Fe								8,15	8,04
La								3,94	4,22
Ce								6,42	7,40
Nd								2,41	1,92
Pb						5,85		2,91	3,64
Th						57,38	3,65		
U						5,06			
Y								32,33	
Gd								2,49	
Dy								5,08	
O	39,43	39,35	39,4	39,61	39,27	21,28	36,33	37,94	37,07
Сумма	100	100	100	100,01	100	100,01	99,99	100,01	100
Участок	3 1	5 1	7 1	11 1	13 7	13 1	13 5	13 3	13 6

Примечание. Изучался обр. PВ-10. 1–5 – апатит; 6 – торит; 7 – ксенотим; 8–9 – ортит (алланит).

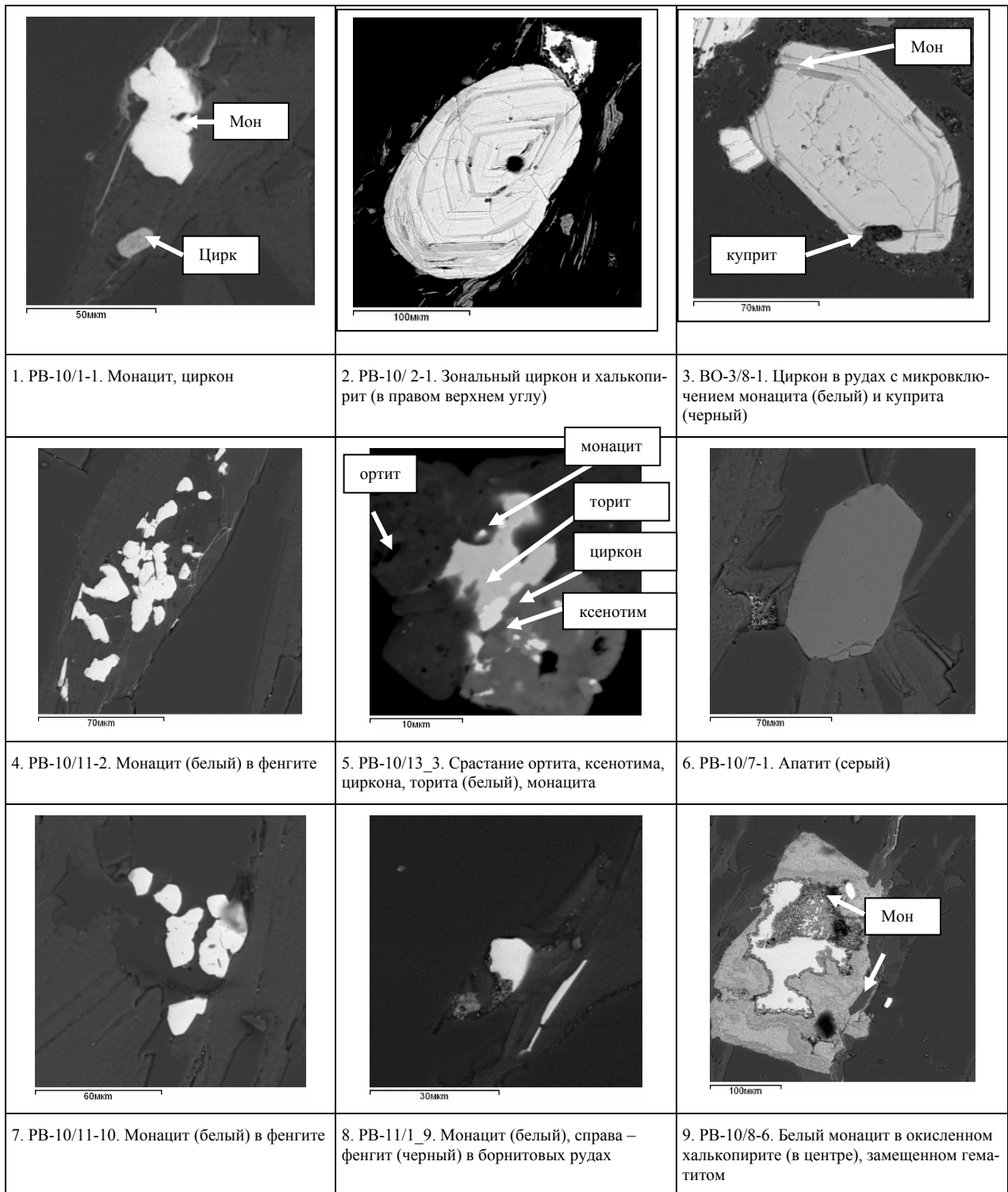


Рис. 7. Акцессорные минералы – циркон, монацит, апатит – в околорудно-измененных кварцито-песчаниках и рудах

Наиболее часто в кварцевых жилах с сульфидами встречается *барит* (рис. 6: 2–9; табл. 7), поэтому его можно отнести к типоморфным минералам нерудной ассоциации. Барит сечет и цементирует халькопирит и борнит. Он сростается с фенгитом и по микротрещинкам проникает в него, ассоциирует с купритом. Барит образует неправильные срастания просечки и веретенообразные зерна. Иногда барит содержит Sr до 1,1–1,42%. В пластинчатых кристаллах он встречается во внутрируд-

ной брекчии. Окисление руд, по-видимому, происходило до и после образования барита, так как он сечет халькозиновые каймы и сам пересекается гематитом.

В медно-сульфидных рудах в кварце и в фенгите в ассоциации с молибденитом встречаются мельчайшие иголки *рутила* (TiO_2 ; рис. 8: 5), что подчеркивает более кислотный характер среды, чем в метасоматитах уч. Воронов Бор, где доминировал сфен. Рутил иногда содержит небольшую примесь Fe (до 0,97%).

Таблица 7
Состав барита и шеелита

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	14,76	15,61	14,51	14,13	14,07	13,98	14,94	13,5		
Sr		1,3			1,1			1,42		
Ba	56,57	53,28	57,11	57,98	56,93	58,3	56,15	57,88		
Ca									13,88	12,38
W									63,90	65,56
O	29,68	29,81	28,38	27,9	27,9	27,72	28,91	27,2	22,22	22,06
№ обр.	PB-11	PB-11	PB-11/2a	PB-11/2	PB-11/2	PB-11/2	PB-12	PB-12/1	PB-11/3a	PB-12/1
Участок	2-1	3-1	5-1	1-1	2-1	10-1	1	1-1	12_1	3_1

Примечание. 1–8 – барит; 9–10 – шеелит.

Брекчированные кварц и альбит цементируются баритом. Участки пострудных брекчий содержат обломки борнита, кварца, альбита, кристаллы барита и наиболее поздний тонко-пластинчатый каолинит, который выделяется в пустотах (рис. 6: 7). В своем составе он содержит Al_2O_3 39,88 %, SiO_2 57,59% и примесь CuO до 2,53%.

Рудные минералы. Для медных руд помимо ведущих сульфидов характерно большое разнообразие минералов-спутников, представленных молибденитом, Ag-золотом, галенитом, клаусталитом, гесситом, штюцитом, богдановичитом, виттихенитом, фишессеритом, более сложными соединениями Au-Ag-Se-Te и реже сам. теллуром (рис. 8, 9). В борнитовых рудах иногда встречается теннантит с каймой борнита. Срастания молибденита установлены в борнитовых и халькопиритовых рудах, в срастании с кварцем, борнитом. Более крупные выделения молибденита в ассоциации с рутилом видны в фенгите невооруженным глазом. Барит замещает главные сульфиды меди (рис. 8: 12). Золото установлено в кварце и в борнитовых и халькозиновых рудах в срастании с халькозином. Теллуриды и селениды выделяются совместно с халькозином. Рассмотрим минеральный состав руд и последовательность минералообразования.

Халькопиритовые руды. Халькопирит образует богатые гнезда, прожилки (табл. 8, 9). Выделяется первым, замещается борнитом, цементируется и замещается баритом. В халькопирите установлены в пределах 2–3% небольшие колебания в содержании Fe. В нем встречаются мелкие выделения галенита (1–5 мкм), тонкопластинчатые кристаллы молибденита (4×10 мкм) и небольшие (микронные) выделения самородного Te, в котором зафиксирована примесь Se. Эти минералы выделяются в микротрещинках в халькопирите и на границе сульфидов с кварцем. В такой же ситуации на границе с борнитом в халькопиритовых рудах были обнаружены Ag-Bi-Se соединения (размером 2–5 мкм), которые относятся к богдановичиту $AgBiSe_2$ (рис. 9; табл. 9). Очень редко встречаются единичные зерна шеелита в рудах в ассоциации с мелкими зернами кварца (табл. 7; CaO – 17,32%, WO_3 – 82,68%).

Борнитовые и борнит-халькозиновые руды. Борнит и халькозин образуют гнезда и прожилки в кварце, имеют розоватый и синеватый цвет. Халькозин образует неправильные зерна и ламеллы в

борните. При снижении температуры происходит распад твердого раствора борнита, содержащего избыточные компоненты относительно стехиометрического состава. Встречены зерна с промежуточным составом, отнесенные к идаиту. В связи с этим и появляется решетка, представленная ламеллами халькозина и мелкими зернами халькопирита-2. К ним чаще всего приурочены поздние селениды и теллуриды, а также самородные золото и реже теллур.

Борнит выделяется после халькопирита-1, он содержит Fe 8,5–11,8% (рис. 8; табл. 8). В борните по ортогональной сетке выделяются ламеллы – пластинчатые зерна халькозина и мелкие неправильные чечевицеобразные вроски халькопирита-2 (рис. 9). «Халькозином» здесь мы называем все минералы этой системы с разным содержанием меди. В этой ассоциации с халькопиритом-2 в борните снижается содержание Fe до 7,57%, а более светлый минерал содержит 5,36% Fe. При пересчете составов «халькозина» получаем соотношения ($S = 1$ ф. ед., $Cu+Fe = 1,22-1,69$ ф. ед.), позволяющие отнести его к спинокопиту и гириту-(анилиту?), их верхний предел устойчивости имеет $T = 157-70$ °C (Справочник-определитель..., 1988). Реже встречается ковеллин (CuS). Характерно то, что именно к халькозину приурочены селениды и золото. В борните, содержащем халькозин, и, главным образом, в халькозине встречаются мельчайшие включения галенита, селениды Pb и Ag – клаусталит, науманнит и теллуроселениды, тонкодисперсное Ag-золото, реже микроскопические выделения самородных Ag, Te (рис. 9; табл. 9). Шеелит обнаружен лишь в одном зерне размером 3–5 мкм в срастании с кварцем, включенном в борнит (обр. PB-11/3a).

Молибденит – достаточно широко распространенный минерал, образующий мелкие чешуйки и пластинки (рис. 8: 5–9). Молибденит чаще встречается в борнитовых рудах, встречен в халькопиритовых, где выделяется в сульфидах, но также образует самостоятельные обособления в кварце, серците в ассоциации с рутилом. Встречаются тонкочешуйчатые («порошковые») формы и более хорошо ограненные зерна и их скопления, видимые невооруженным глазом. Галенит (рис. 8: 11) встречается редко, образует небольшие зерна (1–4 мкм). В своем составе он иногда содержит небольшую примесь Se. Состав минералов приведен в табл. 8.

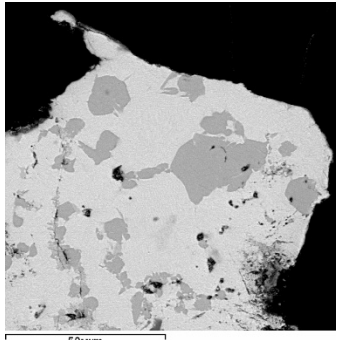
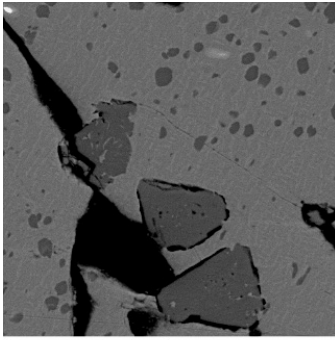
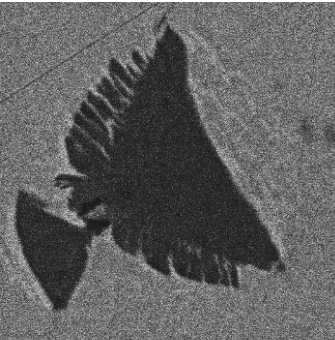
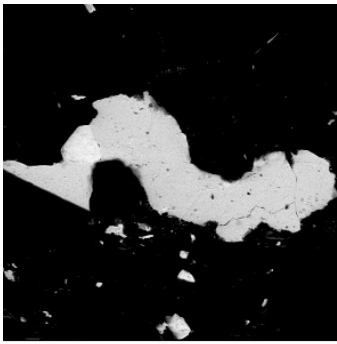
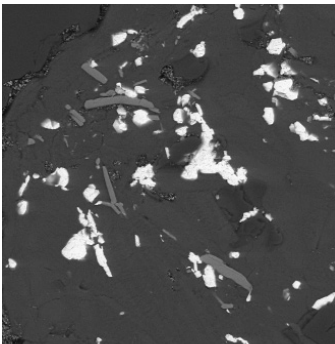
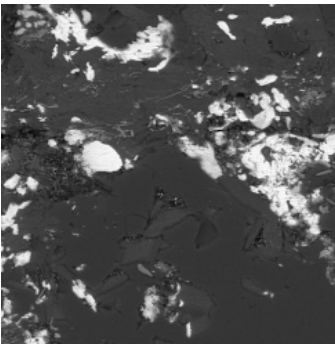
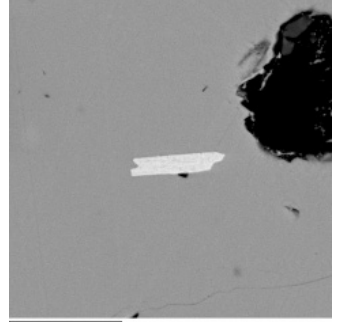
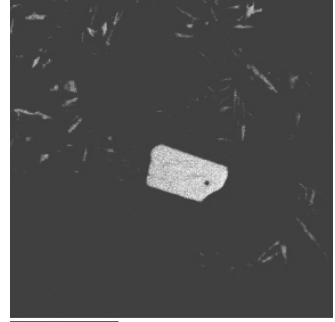
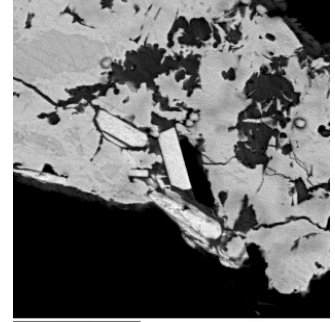
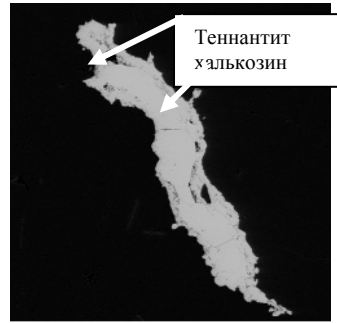
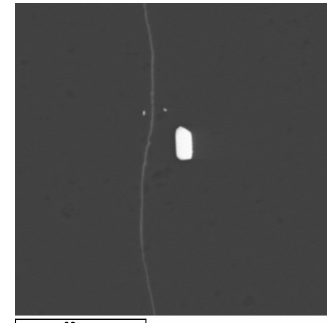
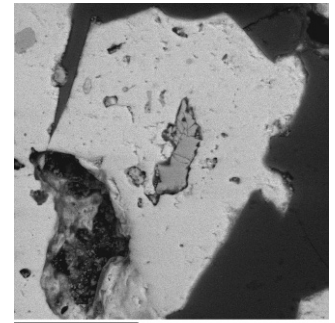
		
<p>1. РВ-11/3а_5. Халькопирит (серый) в борните</p>	<p>2. РВ-11/3б-6. Халькопирит-1 (крупный темно-серый) и 2 (мелкие зерна) в борните (серый)</p>	<p>3. РВ-11/16-1 халькопирит (темный, «рыбка») в борните (серый)</p>
		
<p>4. ВО-1/1-1. Молибденит (белый кристалл) в халькозине (светло-серый)</p>	<p>5. ВО-1/5-1. Молибденит (белый), рутил (серый, игольчатый) в фенгите</p>	<p>6. ВО1/5-1. Молибденит, мелкочешуйчатое скопление (белый)</p>
		
<p>7. РВ-12_9. Пластинка молибденита в халькопирите</p>	<p>8. ВО-2а/9-1. Молибденит в кварце</p>	<p>9. ВО-2а/1. Молибденит (белые пластинки) в борните (серый) с халькозином (светло-серый)</p>
		
<p>10. ВО-1/2_1. Теннантит (в центре белый) и кайма халькозина</p>	<p>11. ВО-3/8-1. Se-галенит (белый кристалл)</p>	<p>12. РВ-12_1. Реликты халькопирита (серый в центре) и борнита (серый слева в верхнем углу) в барите (белый)</p>

Рис. 8. Соотношения главных сульфидов меди, молибденита, галенита, теннантита в рудах Воицкого месторождения

Таблица 8

Сульфиды меди, молибденит и менее распространенные минералы в рудах Воицкого месторождения

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
S	37,72	38,26	38,2	37,35	31,32	29,16	29,1	28,88	29,16	28,60	36,87	27,49	27,76	25,96	26,15	29,14	25,63	24,67	24,02	33,26	30,54	30,34
Fe	30,59	28,62	30,01	30,03	10,59	10,54	10,87	10,76	10,93	11,05	15,05	8,84	5,36	2,64	1,13	0,77	0,43				2,01	2,55
Cu	31,69	33,12	31,79	32,62	58,1	60,3	60,03	60,36	59,91	60,35	48,08	63,67	66,87	71,4	70,95	70,1	73,93	75,33	75,98	66,74	43,39	44,60
Zn																					3,71	2,73
As																					20,35	19,78
Ag	100	100	100	100	100,01	100	100	100	100	100	100	100,01	99,99	100	1,77	100,01	99,99	100	100	100	100	100
№ обр.	PB-11/3a	PB-12	PB-12/1	PB-12/1	PB-11/1	PB-11/2	PB-11/2	PB-11/2	PB-11/2	BO-2	PB-12	PB-11/3a	PB-11/3a	PB-11/2	кBO-2a	PB-11/2	BO-2 a	BO-2	BO-1	PB-3	BO-1	BO-1
Участок	2_1	1_1	1_1	6_2	2_2	5_2	23_2	15_6	2_3	10_3	3_2	4_4	4_3	15_5	5_3	11_2	1_6	10_4	1_2	11_2	2_1	2_2
Тип руд	Б	Х	Х	Х	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Х	Б	Б	Б	С	Б	Б	ХЗ	Б	Б	Б	Б

Примечание. 1–4 – халькопирит CuFeS₂; 5–10, 12 – борнит Cu₃FeS₄ (8 содержит распад халькозина); 14, 10 – сростание с 15, 12 – сростание с 13; 11 – идаит Cu₃FeS₄; 13–15 – спинокопит Cu_{1,3-1,5}S₁ (T < 157°). Более низкотемпературные: 16–19 – гирит Cu_{1,5-1,6}S (№ 18 в кайме борнита, содержит теннантит – № 21–22); 20 – ковеллин CuS; 21–22 – теннантит. X – халькопиритовые руды (авторский номер PB-12 и 12/1); Б – борнитовые руды; ХЗ – халькозиновые руды.

Окончание табл. 8

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	14,62	14,75	15,35	16,45	15,35	38,19	39,82	41,5	42,21	39	40,53	38,19
Pb	85,38	85,25	84,65	83,55	84,65	–	–	–	–	61	59,47	61,81
Mo	100	100	100	100	100	61,81	60,18	58,5	57,79	100	100	100
№ обр.	PB-11/2	PB-11/1	PB-12	PB-12/1	PB-12/1	PB-12	BO-1	BO-1	BO-3	BO-2a	BO-2a	BO-2a
Участок	25_1	4_1	8_1	5_1	6_1	6_2	5-1	5_2	1_3	1_2	1_3	9-1
Тип руд	Б	Б	Х	Х	Х	Х	Б	Б	Б	Б	Б	Б
Размер, мкм	3		3×4		4×20					15×5		17×10

Примечание. 1–5 – галенит, 6–12 – молибденит. Тип руд – обозначения выше.

Таблица 9

Селениды и более редкие минералы в рудах месторождения участка Воицкого

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Se	6,22			26,45	27,16	29,58	25,69	63,72	61,15	62,33	60,24	58,37	57,75	56,72	58,26	29,58	10,83	7,61	30,62	21,51	9,88	15,75	53,38	1,98	21,23
Ag				73,55	72,84	70,42	73,86	36,28	38,85	37,67	39,76	41,63	42,25	43,28	41,74	70,42	23,05	29,01	64,34	69,82	57,44	68,8	11,13	50,73	46,73
Te			100				0,46												5,04	6,51	32,68	15,46	9,39	41,25	1,34
Au																			2,16	2,16	100	26,11	6,04	30,70	
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,01	100	100	100
№ обр.	PB-12	PB-11/3a	PB-11/2	PB-11/2	PB-11/1	PB-11/2	BO-2a	BO-2	BO-2	BO-2a	BO-1	BO-2a	BO-2a	BO-2a	BO-2	PB-11/2	BO-2a	BO-2a	BO-2	BO-2	BO-2	BO-2	BO-2	BO-2	BO-2
Участок	4_1	6_6	14	4_1	5_1	13_1	3_1	3-1	1_2	4_1	8_1	4_2	5_1	12_1	8_1	13_1	15_1	15_2	4_5	4_1	2_2	2_1	2_3	6_1	
Размер, мкм	1×2	6×8	2			10×20	40×20			1×2	1	15×10	30×25	20	1	3	5×4	3×7	10×5	10×5	5	5	2×3	3	
Тип руд	Х	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б

Примечание. 1–3 – теллур, 4–7 – науманнит, 8–11 – гессит, 12–15 – шлюцит, 16 – фаза AgTe; 17–18 – Se-гессит; 19–20 – Te- и Au-Te-науманнит; 21–22 – Se-шлюцит; 23–24 – Au-Se-шлюцит; 25 – филлессерит.

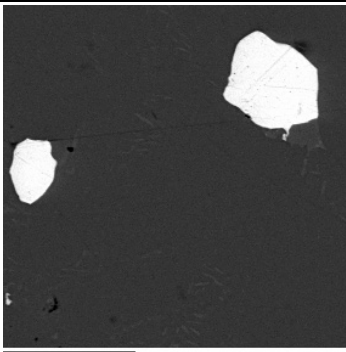
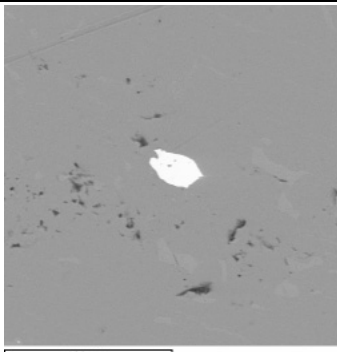
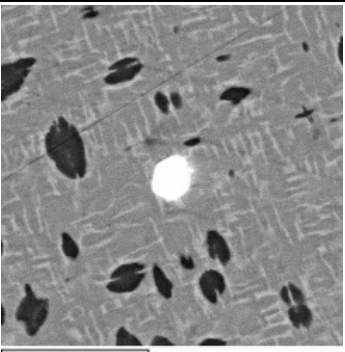
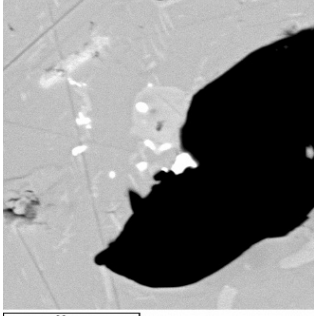
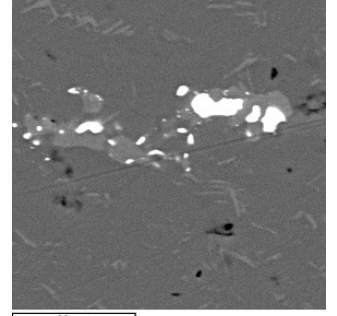
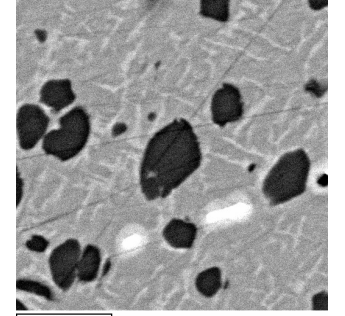
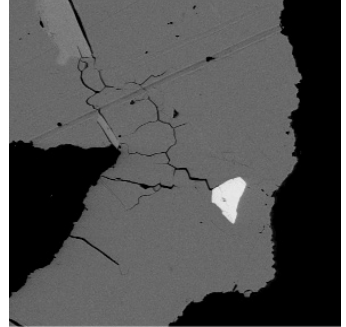
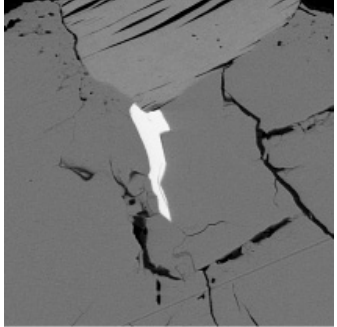
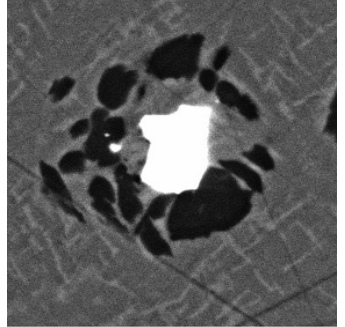
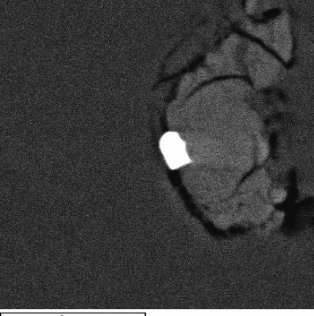
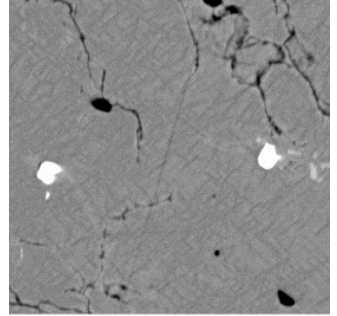
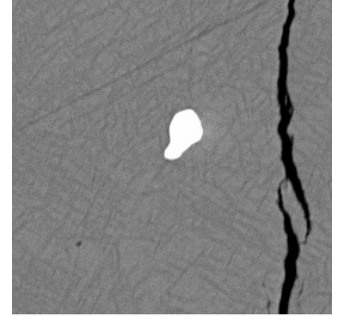
		
<p>1. BO-2a/4-1. Гессит Ag_2Te (белый, слева) и стьюцит ($Ag_{5.4}Te_3$, справа) в борните</p>	<p>2. BO-2/3-1. Гессит (Ag_2Te) в борните</p>	<p>3. РВ-11/3а_4. Распад борнита с ламеллями халькозина (светло-серый) и халькопирита (черный). Гессит Ag_2Te (белый в центре)</p>
		
<p>4. BO-2/6-1. Фишессерит, соединения $(Ag,Au)_2(Se,Te)$ (белые) в халькозине (светло-серый). Борнит (серый)</p>	<p>5. BO-2/4-1. $(Ag,Au)_2(Se,Te)$, $Ag_2(Te,Se)$ (белые) в халькозине (серый). Борнит (темно-серый)</p>	<p>6. РВ-11. 3-1. Науманнит Ag_2Se (белый) с каймой Ag-халькозина. Распад борнита на халькозин (решетка, светло-серый) и халькопирит-2 (черный)</p>
		
<p>7. BO-3/1-1. Виттихенит Cu_3BiS_3 (белый), молибденит (серый), халькозин (темно-серый)</p>	<p>8. BO3/2-1. Виттихенит (белый), молибденит (серый) в халькозине</p>	<p>9. РВ-11/3 б-6. Сам. теллур (белый) с халькопиритом-2 (черный) в борните с решеткой халькозина</p>
		
<p>10. РВ-12_3. Богдановичит (белый) в борните (серый) в халькопиритовой руде (темно-серый)</p>	<p>11. BO-3/5-1. Богдановичит $AgBiSe_2$ (белый) в борните с решеткой распада халькозина</p>	<p>12. BO-3/4-1. Богдановичит $AgBiSe_2$ в борните</p>

Рис. 9. Редкие селениды и теллуриды в сульфидных медных рудах участка Воицкого

Селениды и теллуриды. В округлых и неправильных обособлениях халькозина встречаются включения селенидов и теллуридов (рис. 9). В кайме халькозина, окружающего науманнит и более светлого, чем основная масса. Для «халькозина», ассоциирующего с науманнитом, характерно увеличение содержания Ag до 1,77%. Минералы системы Ag-Te имеют размер от 2–3 до 40–50 мкм и относятся к гесситу или штюциту (табл. 9). В минералах этой группы намечается изоморфизм Ag и Au, Te и Se (табл. 9; рис. 10). Распространены мелкие промежуточные соединения мельчайших зерен Au-Ag-Te состава (Au до 2,16–12,35%). Среди них О. Б. Лавровым обнаружен редкий селенид золота и серебра – фишессерит $AuAg_3Se_2$. В нем содержание золота достигает 30,7%. (Следует отметить, что этот минерал является ти-

поморфным для Au-U-Se месторождений.) Все изученные минералы могут содержать незначительное количество Cu, чаще связанное с матрицей. В подобной же ассоциации встречаются самородный теллур, иногда с примесью Se или Ag, и очень редко – серебро.

Самородный теллур образует зерна до 40 мкм в окружении мелких чечевицеобразных образований халькопирита-2 и ламелл халькозина, которые выделяются в его окружении в борните (табл. 9; рис. 9: 9).

В тонких сростаниях с борнитом и халькозином и реже в халькопирите встречаются редкие селениды и сульфиды Bi и Ag, Bi и Cu – *богдановичит* $(Ag,Bi)Se_2$ и *виттихенит* – Cu_3BiS_3 (табл. 10; рис. 9–10), образующие мелкие зерна.

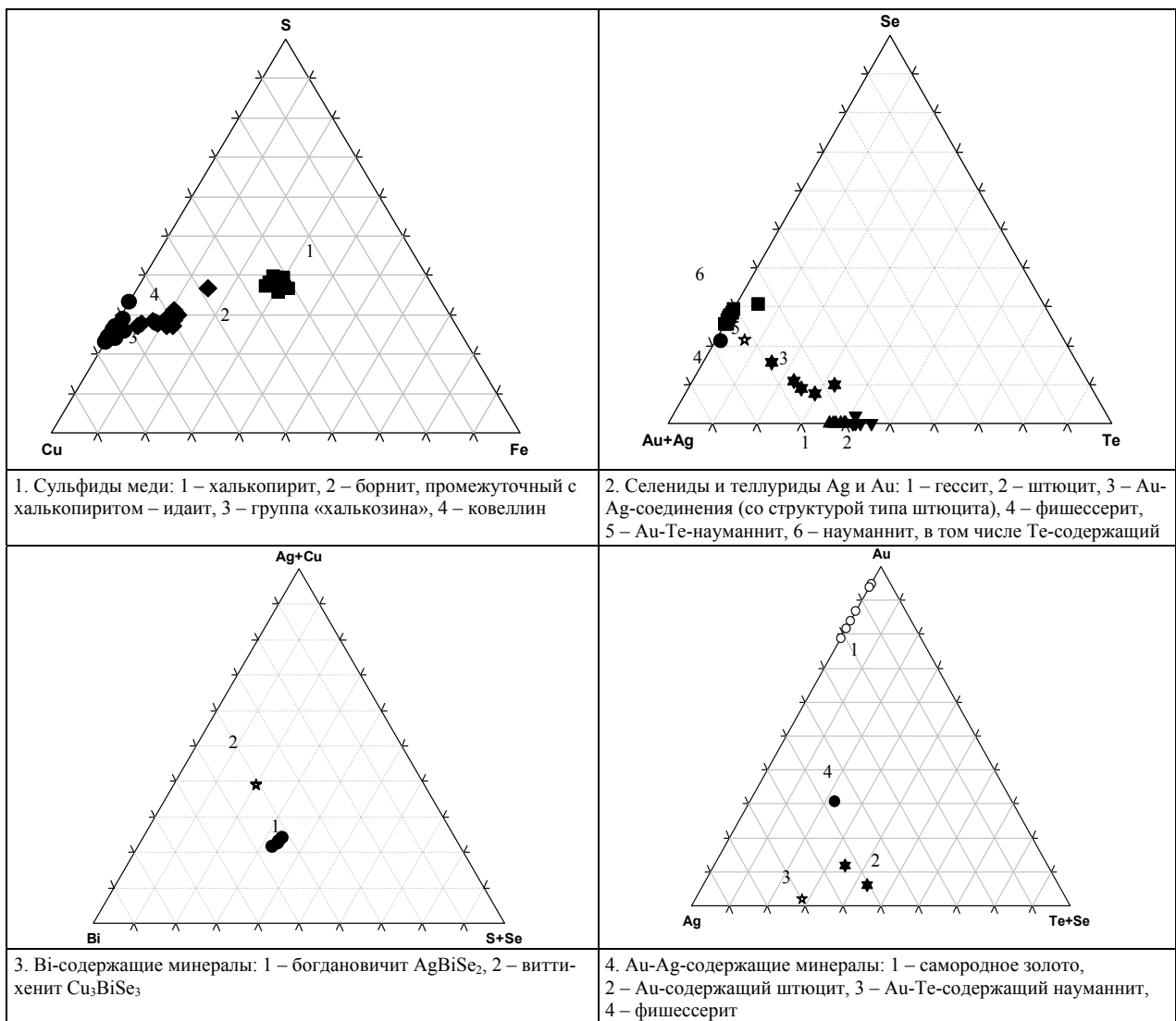


Рис. 10. Треугольные диаграммы ведущих сульфидов меди, редких селенидов и теллуридов, Au-содержащих минералов, а также Ag, Au, Bi и Bi-Cu-сульфидов (изоморфизм в минералах)

Изоморфизм в минералах и состав разных фаз (ведущих сульфидов, селенидов и теллуридов, Bi и Au-Ag-содержащих редких минералов, приводимых в таблицах), а также изменения в составе самородного золота можно проследить на треугольных диаграммах (рис. 10).

Самородное золото встречается в борните, халькозине, на контакте с кварцем, и даже в куприте, вероятно полностью заместившем сульфид меди (рис. 5). Золото в борнитовых рудах тонкодисперсное, а кварцево-жильной ассоциации – мелкое,

Таблица 10

Ві-содержащие минералы, %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
Se	33,71	33,11	34,13	33,57	31,59		
Ag	23,21	21,87	23,96	22,57	26,09		
Bi	43,07	46,02	41,91	43,95	40,96	40,94	41,07
Pb					1,36		
S						20,01	20,02
Cu						39,05	38,91
Сумма	99,99	100	100	100,09	100	100	100
Образец	PB-12	BO-3	BO-3	BO-3	BO-2	BO-3	BO-3
Участок	3_1	4_1	5_1	5_2	7_1	1_1	2_1
Размер, мкм	1–2	5×10	3	1	3–4	20×30	17

Примечание. 1–5 – богдановичит; 6–7 – виттихенит.

Таблица 11

Золото в рудах Воицкого месторождения

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	21,71	18,39	17,36	16,51	13,29	16,17	17,96	18,39	15,63	17,57	16,3	11,85	19,83	17,3
Au	78,29	81,61	82,37	83,49	86,71	83,83	82,04	81,61	84,37	82,43	83,7	88,15	80,17	82,7
Сумма	100	100	99,73	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
№ обр.	PB-11/2													
Участок	5_1	6_1	7_1	9_1	15_1	15_2	15_3	15_4	18_1	20_1	21_1	24_1	24_2	24_3

Окончание табл. 11

Компонент	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27
Ag	6,53	5,86	6,09	5,17	5,06	21,25	18,43	14,98	17,52	13,85	14,44	14,49
Au	93,47	94,14	93,91	94,83	94,94	78,75	81,57	85,02	82,48	86,15	85,56	85,51
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
№ обр.	ККМ											
Участок	1	2	3	4	5	6_2	9_1	10_1	10_2	3_1	3_2	10_1

Примечание. 1–14, 21–27 – Ag-золото в борнитовых рудах; 15–19 – золото из кварцевых жил.

размером 2–50 мкм. Оно образует округлые неправильные изогнутые выделения, иногда цепочкой тянущиеся по одной линии с селенидами в микротрещинках в борните. Более крупное самородное золото изучалось по образцу Карельского краеведческого музея. Оно представлено комковатыми зернами размером 1–3 мм и их тонкими вытянутыми скоплениями до 0,3÷0,5 × 3 см. Золото борнитовых руд содержит 11,75–21,71% Ag, из кварцевых жил – 5,06–6,53% (рис. 5, 10; табл. 11). По историческим сведениям оно встречалось и в более крупных гнездах, дендритовидных и проволочных формах. В кварцевой жиле золото отложилось несколько позднее сульфидов. Более низкая концентрация Ag в нем обеспечивает, соответственно, его более высокую пробность – выше 950.

В зоне окисления руд установлены ковеллин, гематит, куприт, сложные минеральные смеси по сульфидам. Халькопирит при окислении замещается гематитом и гидроокислами железа, при этом по нему образуются зональные кружевные каймы – сложная минеральная смесь, содержащая S и O. На поверхности руд встречаются порошкообразные налеты карбонатов и сульфатов меди. Окисление сульфидов иногда сопровождается полным замещением купритом. В такой ассоциации было встречено зерно золота, хорошо сохранившееся в зоне окисления в куприте (рис. 5: 6).

Заключение

Таким образом, детальное изучение золото-медно-сульфидно-кварцевых руд Воицкого месторождения позволяет отнести жилы к низкотемпературным, содержащим Ag, Mo, Se, Te, Th, РЗЭ, образующие соответствующие минералы в рудах и околорудных измененных кварцито-песчаниках. Селениды, теллуриды и самородное золото встречаются в борнитовых рудах, содержащих распад «халькозина», и ассоциируют с ним. Состав «халькозина» позволяет говорить о температуре, не превышающей 150–70 °С. В системе селениды – теллуриды установлен широкий спектр замещений Se – Te, Ag – Au и некоторые новые фазы, требующие дополнительного изучения. Определен новый, выявленный впервые в Карелии минерал – фишессерит, обнаружены редкие Ві-содержащие минералы богдановичит и виттихенит. Золото в рудах встречается в двух генерациях – в борнитовых рудах и жильном кварце. Тонкодисперсное золото в борнитовых рудах тяготеет к участкам с распадом «халькозина» и отличается от золота кварцевых жил (5,0–6,5% Ag) более высоким содержанием Ag – 11,75–21,71%. На уровне, близком к поверхности, жилы выработаны. Околожилные изменения низкотемпературные: представлены фенгитом, альбитом, баритом, редкими аксессуарами, во внутрирудных брекчиях развит каолинит (аргиллизация).

ЛИТЕРАТУРА

Кузин А. А. История открытий рудных месторождений в России. М., 1961. 360 с.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Голубев А. И. Золотосодержащее медносульфидное месторождение Воронов Бор и перспективы медносульфидных проявлений Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 12. Петрозаводск, 2009. С. 26–47.

Майер Г. Воицкий рудник // Горный журнал. 1907. Т. 1, кн. 3. С. 277–281.

Минерально-сырьевая база Карелии / Михайлов В. П. и др. Петрозаводск, 2005. 280 с.

Озерецковский Н. Я. Путешествия по озерам Ладозскому и Онежскому. Петрозаводск, 1989. 208 с.

Соколов В. И. Справка о Воицком и Серебряногорском рудниках // Известия геологического комитета. 1923. Т. 38, № 2. С. 12–15.

Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М., 1988. 504 с.

Ушков В. В. и др. Отчет о результатах поисковых работ на золото в Янгозерской структуре, в зоне стыка Койкарской и Кумсинской структур, в зоне сочленения беломорид и карелид в районе оз. Выгозеро за 1975–78 гг. Инв. № 1370 // Фонды КГЭ. 1978.