

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии

Выпускная квалификационная работа

Тема: Минералого-технологические особенности первичных золотосодержащих руд участка Шор-Шалбан Южный (Кемеровская область, каштаусская рудоносная площадь)

Автор: студент гр. МГП-17

/Смолякова С.Е./

(Ф.И.О.)

Руководитель работы: доцент каф. МКП

/Петров Д.А./

(должность)

(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2022 год

Введение

Для рассмотрения лабораторией технологической минералогии «ЦНТ Инструментс» была предоставлена проба первичной руды из разрабатываемого участка Шор-Шалбан Южный, Кемеровская область. Исследования планировались и проводились совместно с сотрудниками «ЦНТ Инструментс».

В рамках работы проба исследовалась методами рентгенофлуоресцентного, рентгенофазового, пробирного анализа и методом электронной микроскопии.

Актуальность

В связи с многообразием состава золотосодержащих руд, форм нахождения золота, используются всевозможные способы обогащения, требующие индивидуального подхода.

Чтобы установить оптимальную схему обогащения для конкретного золоторудного месторождения, необходимо иметь представление к какому геолого-промышленному и геолого-технологическому типу данное месторождение относится.

Также следует учитывать основные факторы, влияющие на показатели обогащения: форма нахождения, морфология выделений золота, доля свободного золота, размеры и форма золотин.

Цель

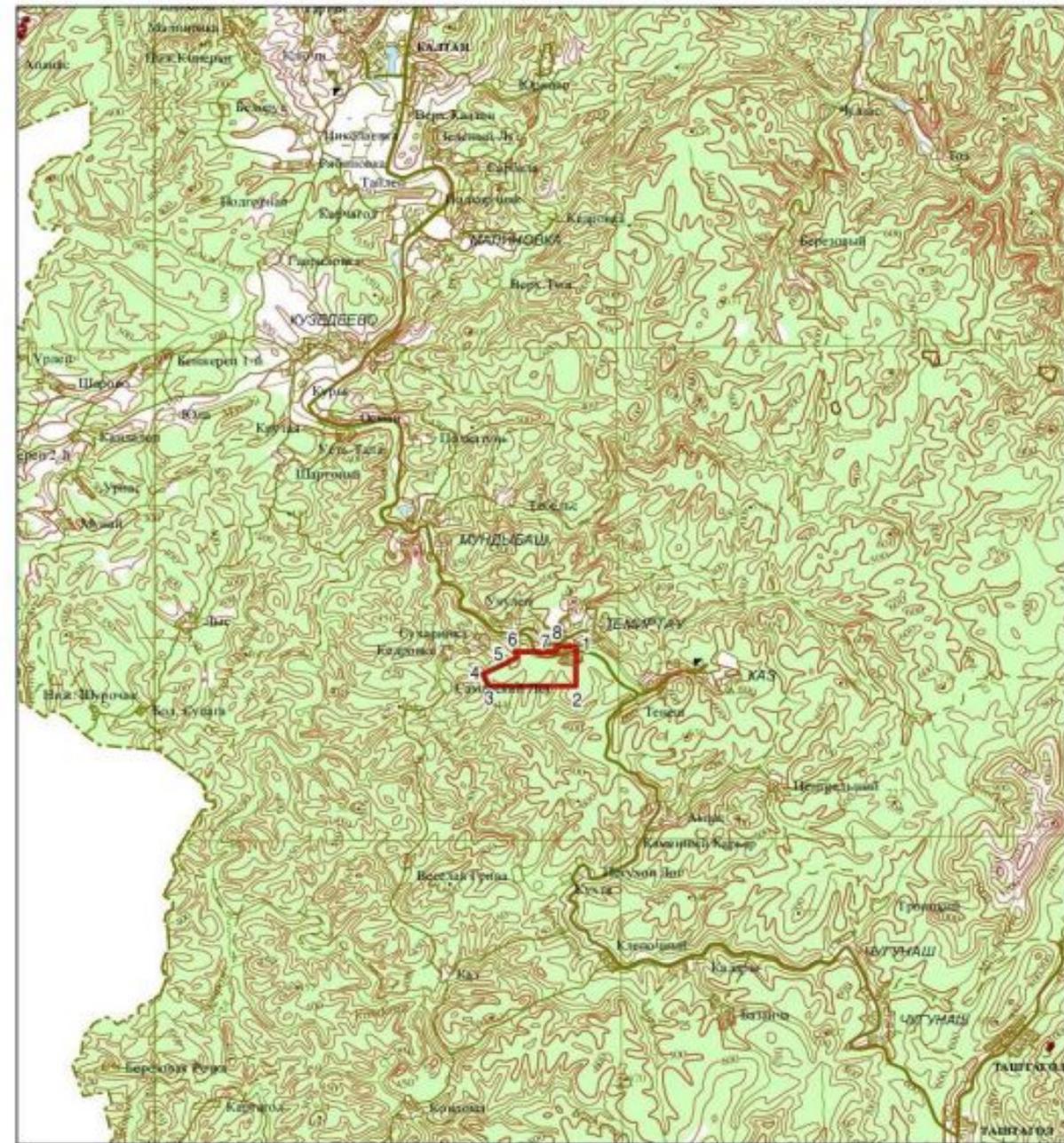
Установить оптимальную схему обогащения, способствующую сокращению потерь полезного компонента при его извлечении, и, как следствие, повышению его содержания в концентрате.

Задачи

- изучить гранулометрический, химический и минеральный состав первичных руд;
- выявить формы нахождения золота и серебра;
- определить размерность частиц золота и их геометрическую форму

Геологическая характеристика района

Каштауская рудоносная площадь, в пределах которой и выделяется исследуемый участок Шор-Шалбан Южный, расположена в юго-западной части Горной Шории Кемеровской области, в 100 км от города Новокузнецк.



Обзорная карта района работ масштаба 1:500 000

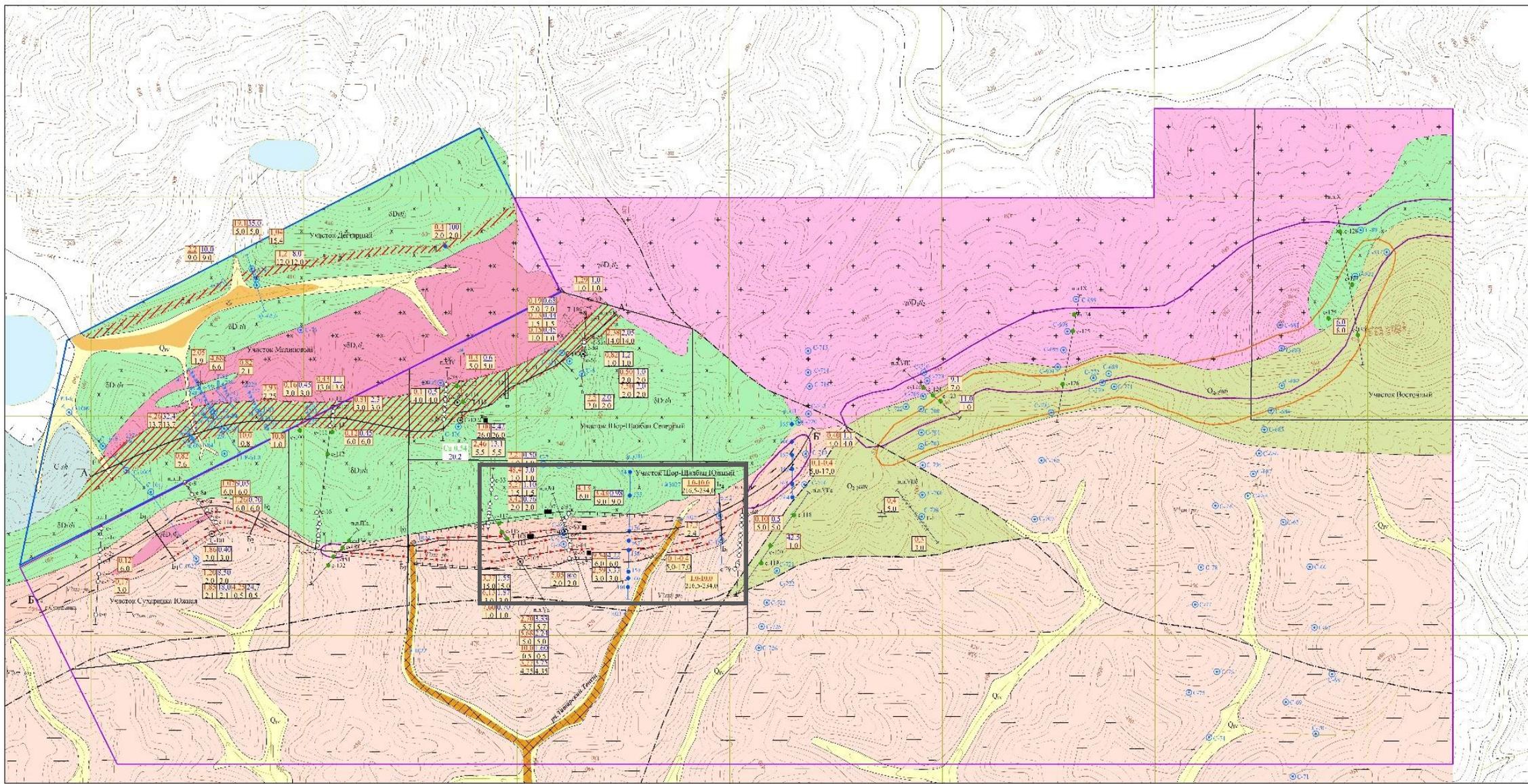


Схема размещения перспективных на золото участков на Каштауской рудоносной площади.

Черным выделен участок Шор-Шалбан Южный (Отчет о результатах геологоразведочных работ..., 2015)

Методика исследования

Таблица 1

Исходные данные для исследования

Наименование характеристики	Значение характеристики
Масса исходной пробы	450,00 кг
Материал первичных золотосодержащих руд	<ul style="list-style-type: none">• цельные образцы;• половинки (дубликаты) кернов разведочного бурения, их обломки*.
Масса навески	17,33 кг

*Из цельных образцов были изготовлены шлифы (10 шт.) и аншлифы (19 шт.)

Методика исследования

Детальные минералого-геохимические исследования включают в себя следующие операции:

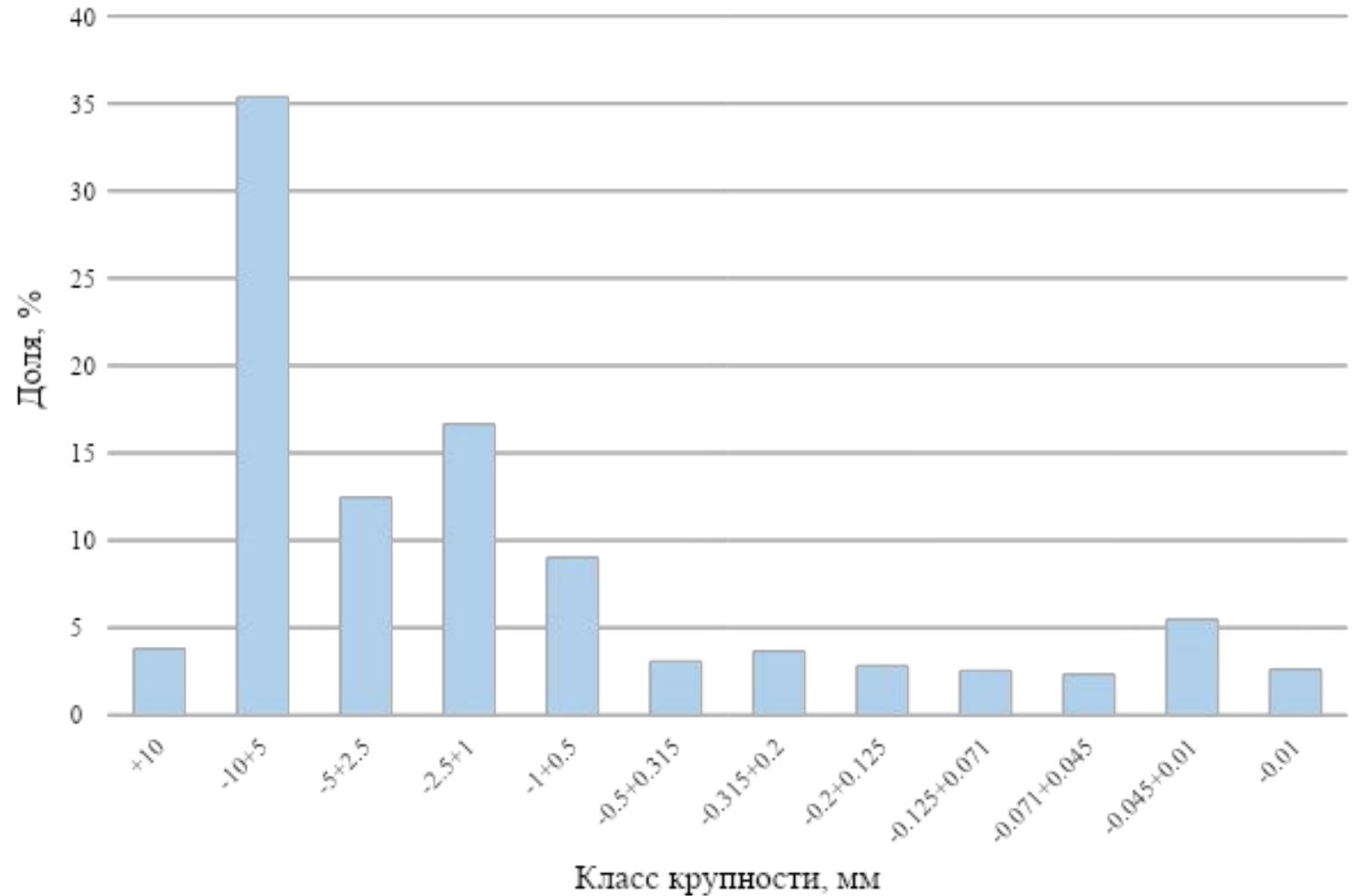
- 1) отбор аликвоты среднего состава пробы;
- 2) разделение материала на размерные фракции;
- 3) получение «тяжелых» концентратов каждой размерной фракции при помощи гидросепарации;
- 4) изготовление однослойных полированных шлифов для всех размерных фракций «тяжелых» концентратов;
- 6) исследования первичного материала, «тяжелых» концентратов, отдельных зерен интересующих минералов методами оптической микроскопии в отраженном свете, и микрозондового анализа.
- 7) обобщение полученной информации и дальнейшая ее интерпретация.

Гранулометрический состав проб

Таблица 2

Гранулометрический состав всех изученных продуктов

Класс крупности, мм	Первичная руда	
	Дроблёная	
	%	г
+10	3.82	144.1(вторая цифра после запятой)
-10+5	35.39	1336.7
-5+2.5	12.48	471.4
-2.5+1	16.68	630.0
-1+0.5	9.02	340.6
-0.5+0.315	3.08	116.4
-0.315+0.2	3.67	138.7
-0.2+0.125	2.83	106.9
-0.125+0.071	2.55	96.4
0.071+0.045	2.34	88.6
-0.045+0.010	5.50	207.7
-0.010	2.63	99.5
Сумма:	100.0	3777.0



Гистограмма распределения материала в пробе первичной руды по классам крупности

Химический состав проб

Определены валовый химический состав материала исходной пробы, валовый химический состав по классам крупности.

Методом пробирного анализа установлено содержание золота– 2,0 г/т, серебра – 1,2 г/т и палладия – 0,4 г/т .

Таблица 3

Содержания макрокомпонентов в исходных пробе первичной золотосодержащей руды по результатам РФА, мас. %

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Сумма
1.32	2.65	10.21	41.34	0.17	5.42	2.60	13.47	0.75	0.60	20.45	100.61

Содержания микрокомпонентов в исходных пробах золотосодержащих руд по результатам РФА, ppm

Элементы / Фракция (мм)	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Pb	Th	U	Te	Bi	Sn	Ba	Rb	Sr
Исходная	187.2	63.1	573.4	608.6	2608.2	20.9	35.3	8.5	6.4	0.8	16.0	4.5	352.5	48.1	259.1
-1+0.5	61.7	51.6	440.3	583.2	1707.2	14.2	26.3	6.1	5.0	0.8	14.3	3.7	335.8	42.9	241
-0.5+0.315	81.9	56.5	457.5	685.9	2168.3	18.5	32.7	7.9	4.0	0.7	15.9	7.5	313.1	43.6	245.1
-0.315+0.2	98.1	67.7	458	723.3	2523.2	17.3	31.8	8.8	5.2	0.8	15.7	5.4	320.8	41.4	236.7
-0.2+0.125	128.8	79.0	488.5	908.0	3199.5	17.9	34.9	10.1	4.7	0.9	17.5	7.2	283.0	38.1	230.0
-0.125+0.071	148.8	99.9	516	1059.9	3701.6	16.3	40.0	9.7	3.6	0.8	15.9	2.3	256.3	37.5	219.6
-0.071+0.045	156.1	93.4	591.3	1120.3	3781.7	17.1	44.7	8.8	4.0	0.9	14.9	8.3	253.8	34.2	204.6
-0.045+0.010	151.8	104.5	869.2	1239.8	4400.9	15.3	46.9	11.4	5.5	0.9	16.5	5.2	226.8	32.8	206.1
-0.010	72.3	60.8	742.1	893.7	2174.4	20.3	72.4	12.4	4.5	0.8	17.4	16.1	321.3	41.0	237.1

Содержания макрокомпонентов материала исходных золотосодержащих руд и по классам крупности, мас. %

Элемент / Фракция (мм)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Na ₂ O	MgO	Выход классов в исходной пробе, %
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Исходная	41.34	0.75	10.21	20.45	0.60	13.47	2.60	0.17	5.42	1.32	2.65	100
-1+0.5	39.6	0.76	10.13	16.3	0.44	13.42	2.33	0.26	5.96	1.20	2.23	28.5
-0.5+0.315	39.29	0.73	9.9	17.18	0.43	13.02	2.23	0.24	7.57	1.16	2.17	9.7
-0.315+0.2	42.2	0.74	11.08	18.32	0.44	13.05	2.30	0.21	9.11	1.42	2.68	11.6
-0.2+0.125	41.46	0.667	10.6	19.91	0.44	12.89	2.08	0.18	11.56	1.35	2.67	9.0
-0.125+0.071	41.45	0.62	10.19	21.45	0.45	12.85	1.93	0.15	13.59	1.35	2.65	8.1
-0.071+0.045	41.21	0.58	9.88	21.88	0.47	13.27	1.86	0.16	13.43	1.28	2.75	7.4
-0.045+0.010	40.11	0.68	9.37	22.45	0.49	14.05	1.69	0.27	12.87	1.19	3.06	17.4
-0.010	42.97	0.84	11.61	18.02	0.48	14.11	2.36	0.27	5.73	1.44	3.33	8.3

Содержания благородных металлов в исходных пробах золотосодержащих руд по результатам пробирного анализа, ppm

Элементы / Фракция (мм)	Au	Ag	Pd
Исходная	2.0	1.2	0.4
-1+0.5	1.9	2.4	0.5
-0.5+0.315	1.8	1.0	0.3
-0.315+0.2	1.9	0.9	0.5
-0.2+0.125	1.9	0.9	0.4
-0.125+0.071	2.2	1.0	0.3
-0.071+0.045	2.1	1.1	0.4
-0.045+0.010	2.5	1.4	0.3
-0.010	1.2	1.2	0.6

Минеральный состав проб

- Из рудных минералов макроскопически удалось определить пирит, пирротин, магнетит, халькопирит, арсенопирит.
- Сульфиды имеют неравномерное распределение в общем матриксе породы, слагая, жильную и прожилково-вкрапленную текстуры руд, приуроченные, как правило, к трещинам.
- В большинстве случаев трещины заполнены кварцем и кальцитом, часто сульфидами. Также в трещинах наблюдаются полевой шпат и эпидот.

Результаты количественного фазового рентгеновского анализа исходной пробы
золотосодержащих руд, мас. %

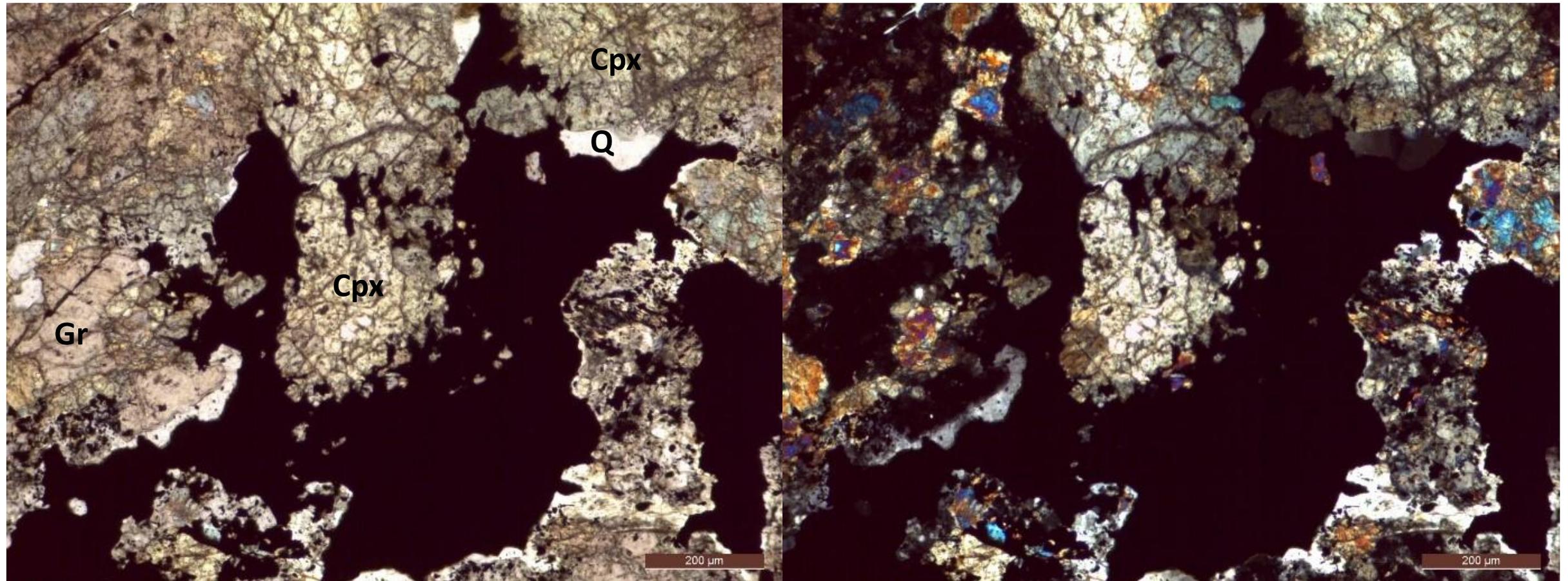
Название минералов	Формула	Первичная золотосодержащая руда
КПШ	$KAlSi_3O_8$	17.3
Плагиоклазы	$NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$	16.1
Диопсид	$CaMgSi_2O_6$	17.7
Хлорит	$(Mg,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	12.7
Актинолит	$Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_4O_{11})(OH)_2$	4.7
Эпидот	$Ca_2(Al_2Fe)(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$	4.6
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(Cl/F/OH)$	1.7
Кварц	SiO_2	4.0
Пирит	FeS_2	4.7
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	3.7
Кальцит	$CaCO_3$	7.6
Халькопирит	$CuFeS_2$	1.7
Магнетит	$FeFe_2O_4$	2.4
Гётит	$FeO(OH)$	1.1
Сумма:		100.0

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд

В составе породы присутствуют пироксен, гранат, карбонат, серицит, хлорит, альбит, кварц, актинолит, апатит, циркон и сфен.

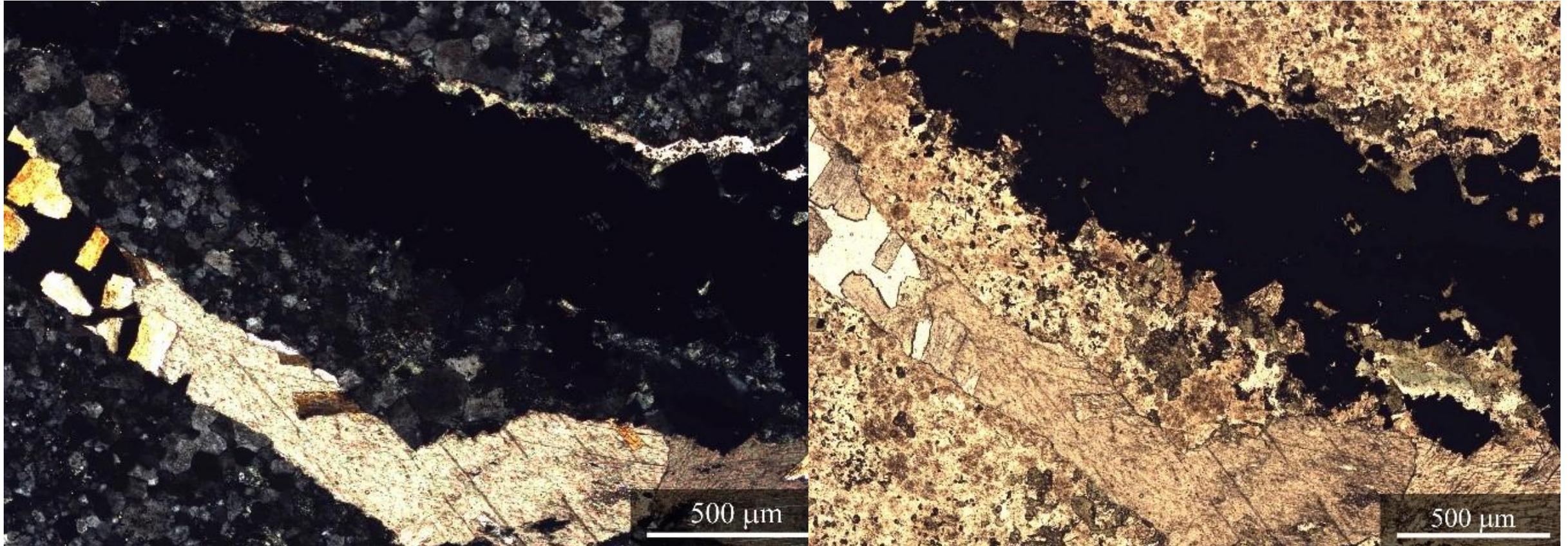
Обособляются линзы пироксен-гранатового, амфибол-пироксенового составов, а также развита неравномерная сульфидная минерализация в виде вкрапленности, гнезд и прожилков.

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд



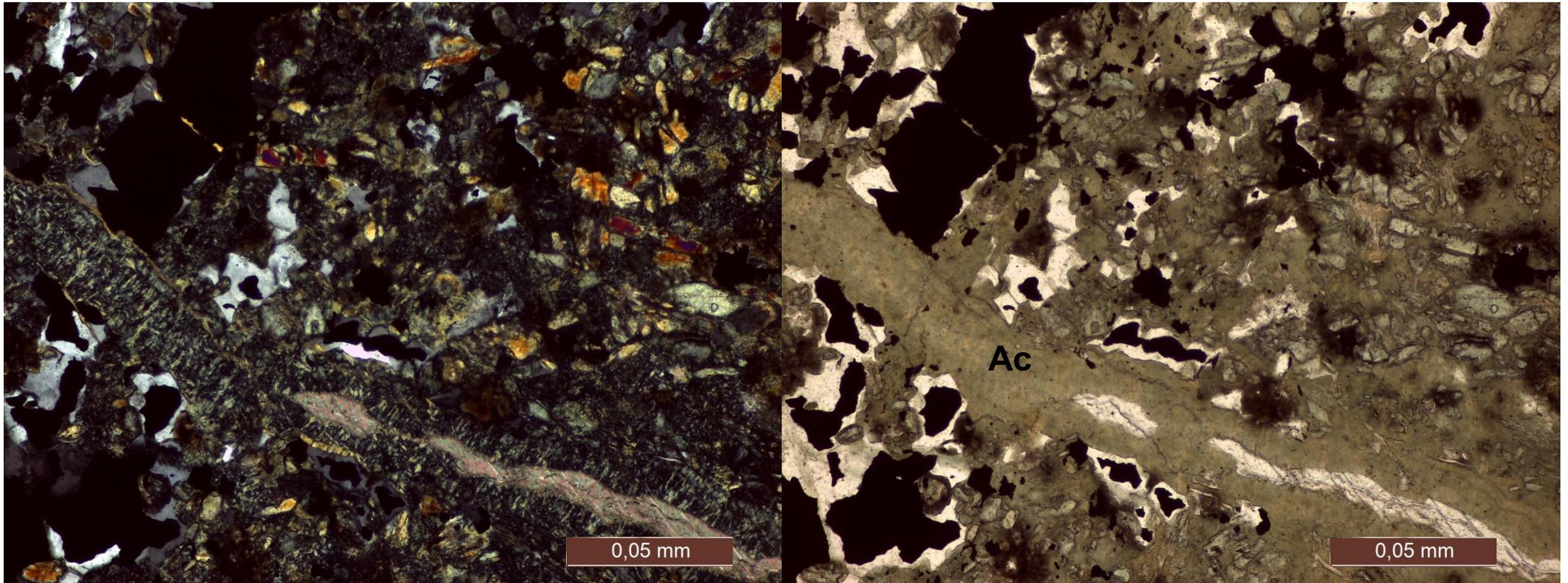
Ороговикованный сланец гранат-пироксенового состава, Gr-гранат, Cpx – клинопироксен (диопсид), Q - кварц. Фото в проходящем свете (слева – без анализатора, справа - с анализатором)

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд



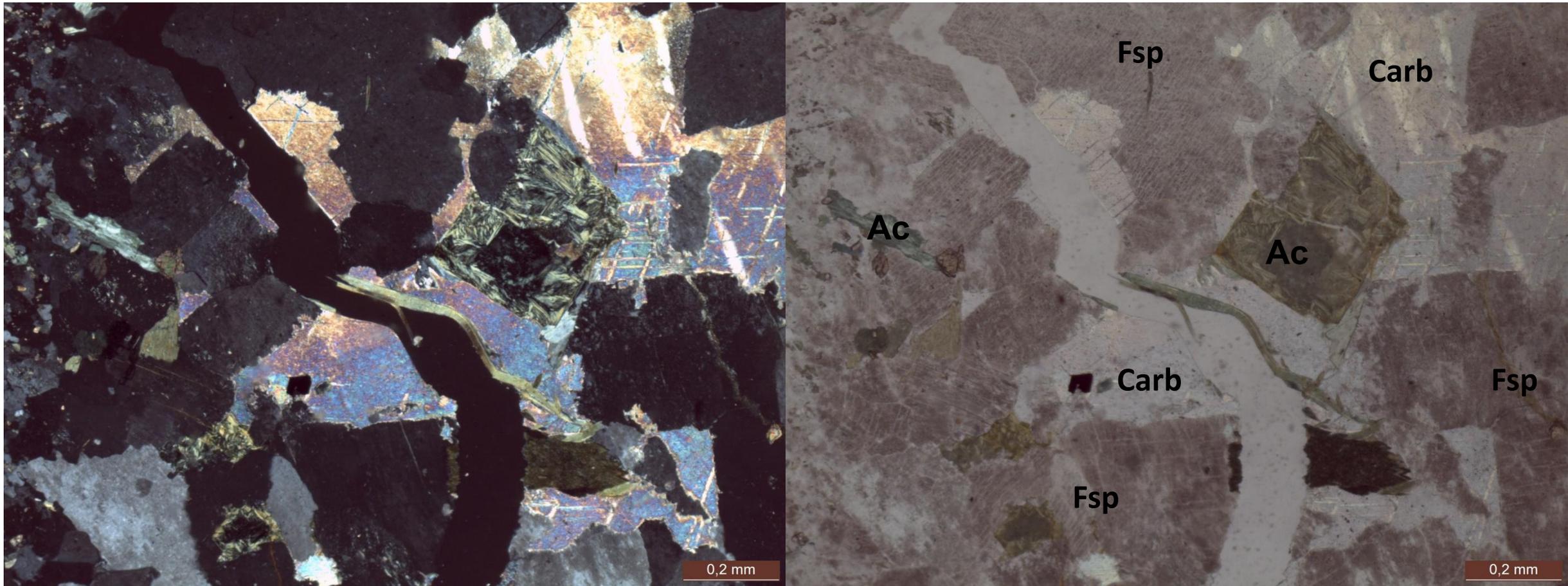
Участок прожилка с рудным минералом и кальцитом. Фото в проходящем свете (слева – с анализатором, справа - без анализатора)

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд



Участок прожилка с рудным минералом и волокнистым агрегатом актинолита (Ac).
Фото в проходящем свете (слева – с анализатором, справа - без анализатора)

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд

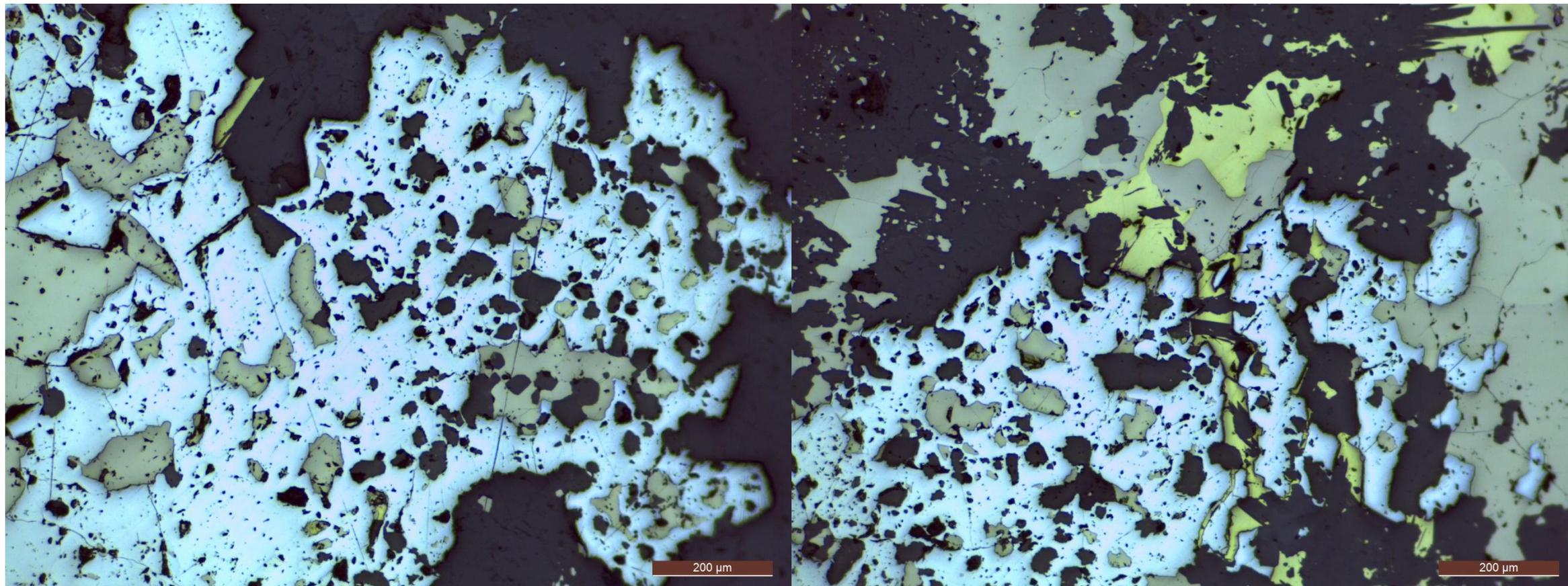


Пелитизация полевого шпата, Fsp – полевой шпат , Carb - карбонат , Ac - актинолит.
Фото в проходящем свете (слева – с анализатором, справа - без анализатора)

Петрографическое описание первичных золотосодержащих руд

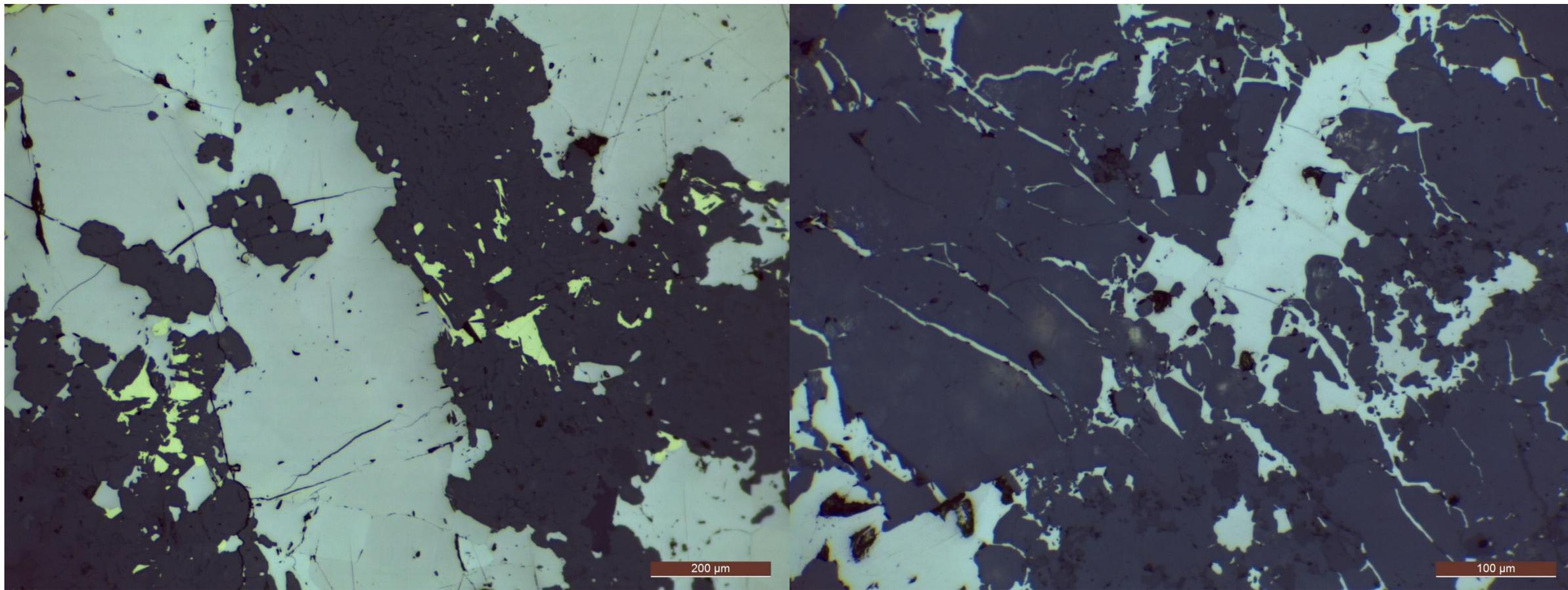
- Сопоставление результатов макроскопического и микроскопического изучения демонстрирует наложенный характер процессов рудообразования.
- Текстуры руд имеют жильный, прожилковый, неравномерно-вкрапленный и прожилково-вкрапленный характер.
- Рудные минералы, в общем случае, приурочены к кварц-кальцитовым прожилкам и ассоциируют с зонами вторичного изменения пород в виде пелитизации полевых шпатов, амфиболитизации клинопироксенов, здесь же наблюдаются проявления хлорита и эпидота. Все это служит цементирующим веществом рудных минералов.

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



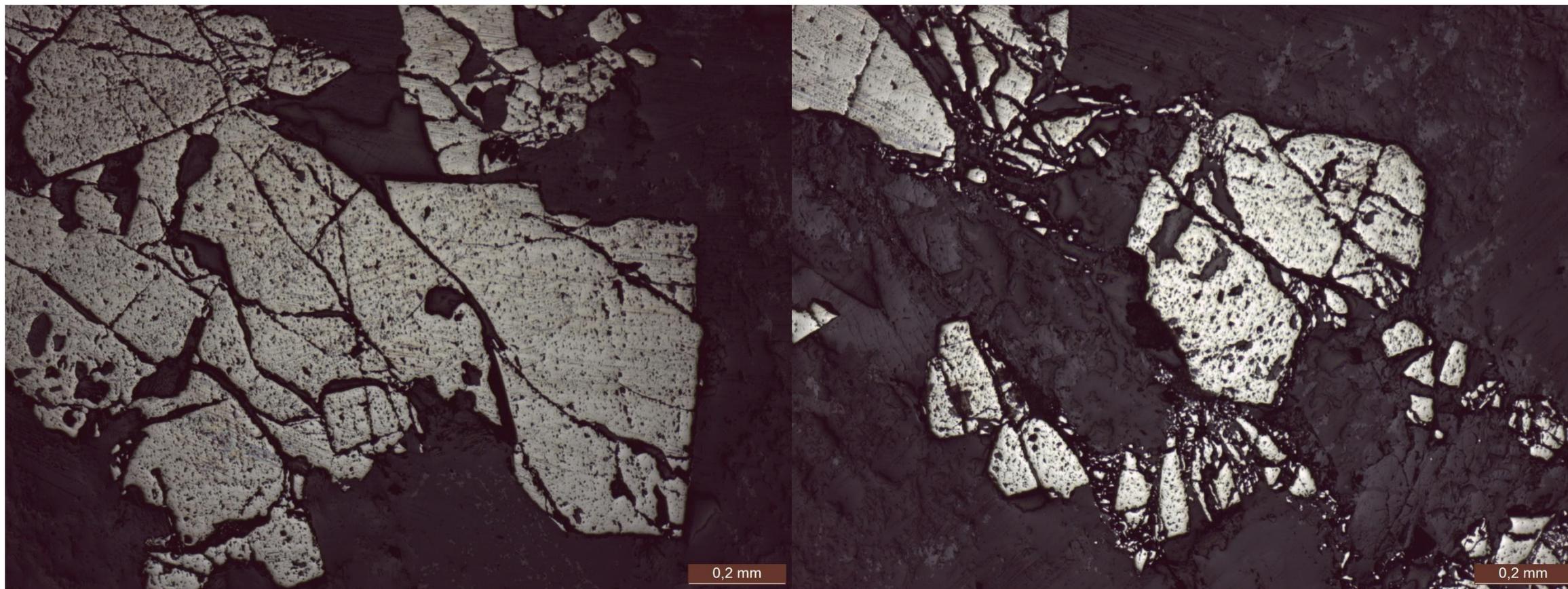
Совместное выделение арсенопирита и пирротина. Арсенопирит «ситовидный», с высоким рельефом. Включения халькопирита (желтый)

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



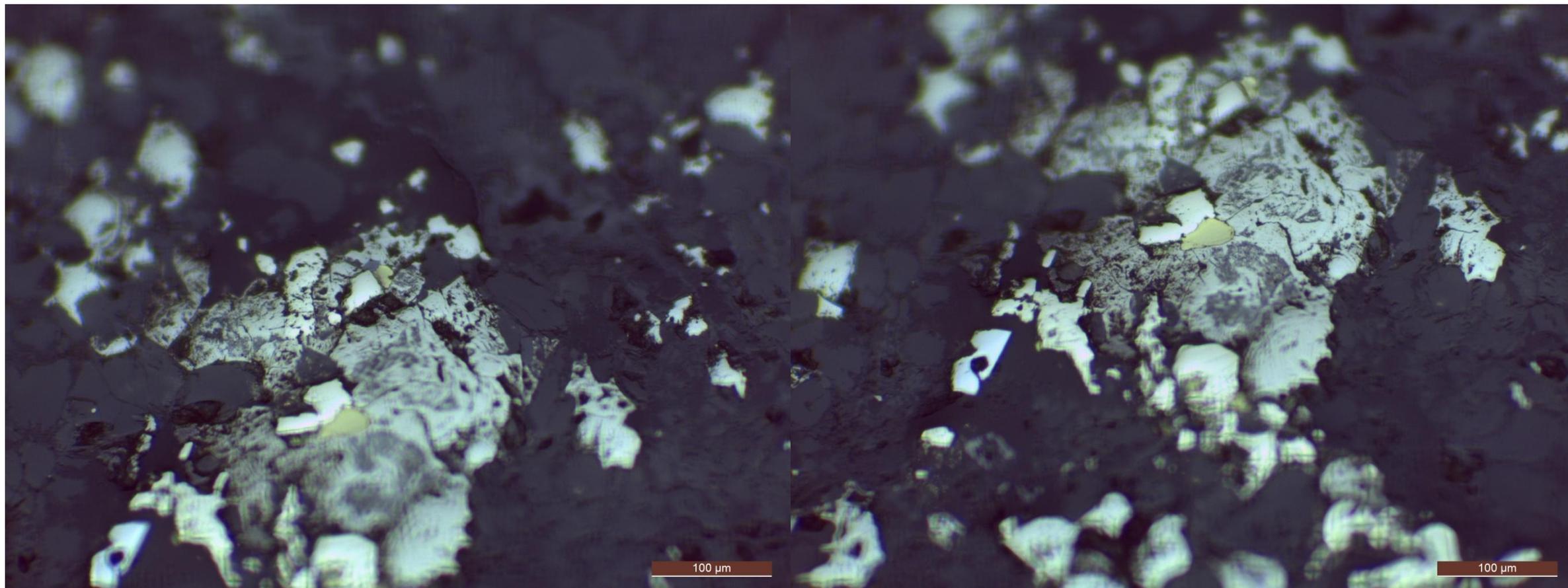
Сплошные выделения пирротина (слева), нитевидно-прожилковые агрегаты пирротина (справа).

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



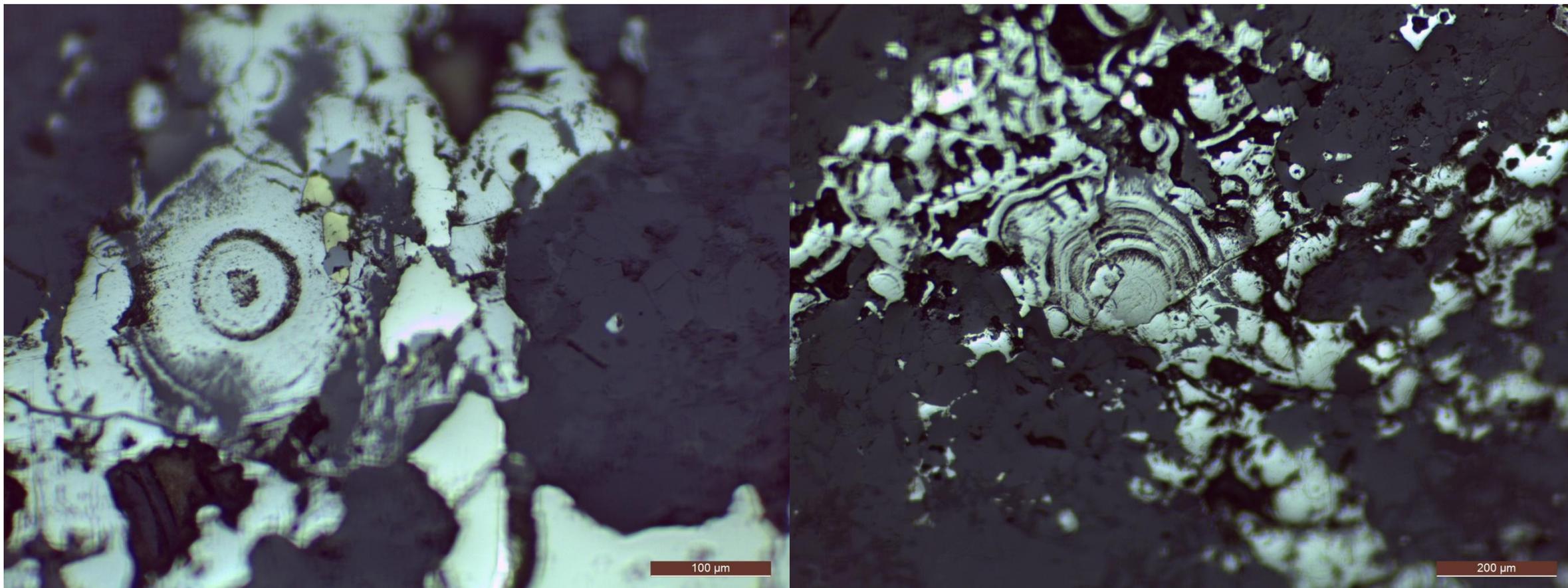
Трещиноватый, «дырчатый» агрегат пирита (слева), раздробленные агрегаты пирита в нерудной массе (справа)

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



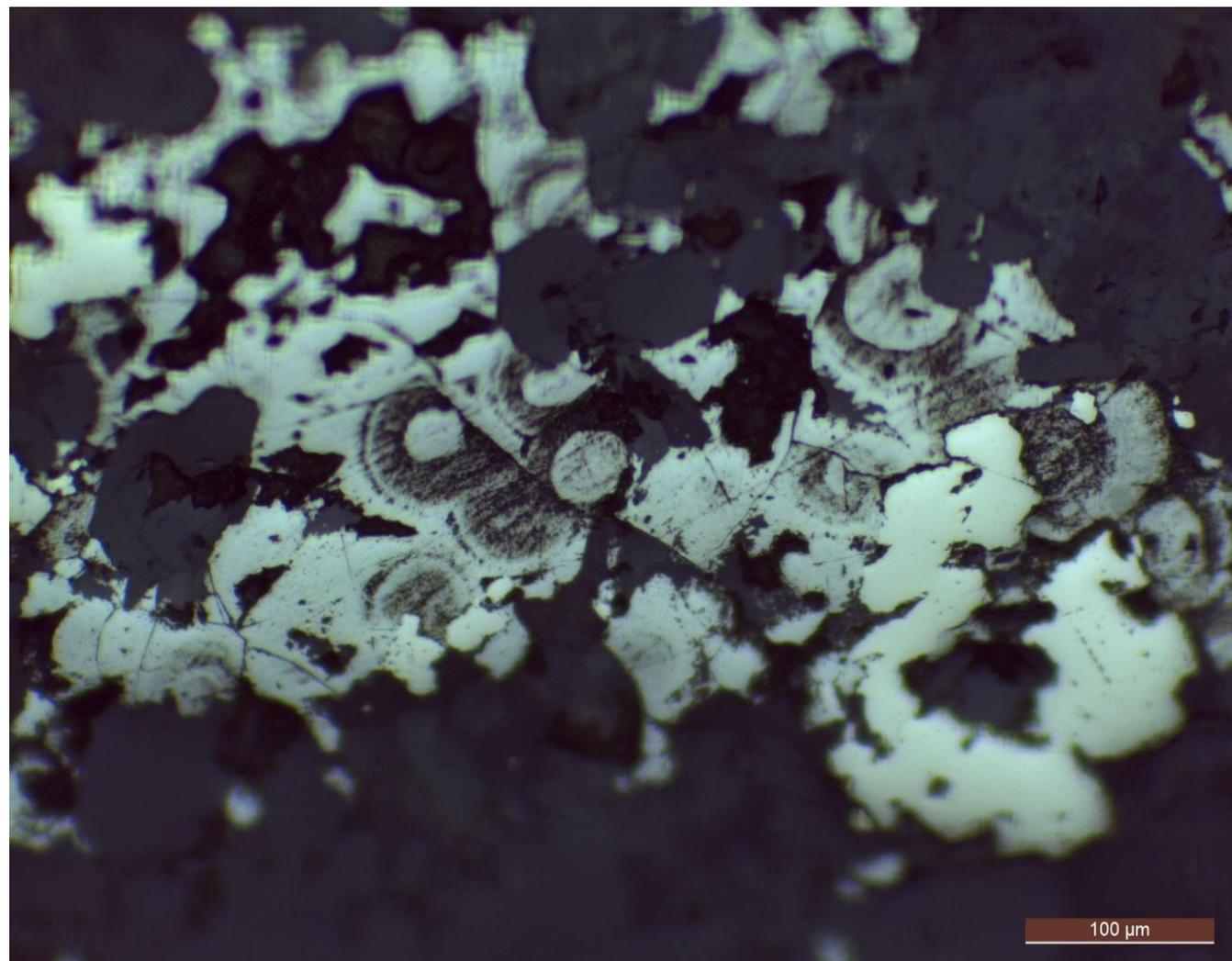
Агрегаты мельниковита и пирита с каркасной структурой за счет различной степени раскриталлизации минерала

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



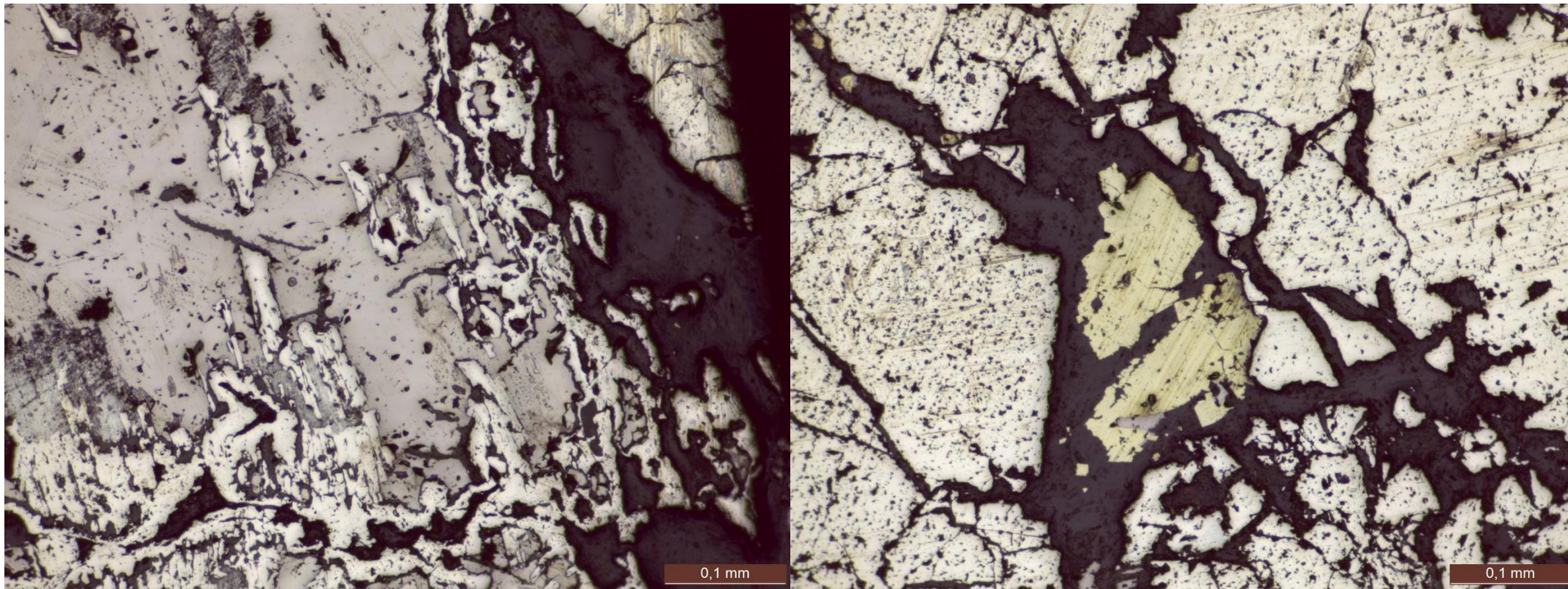
Зонально-конкреционные образования мельниковит-пирита

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



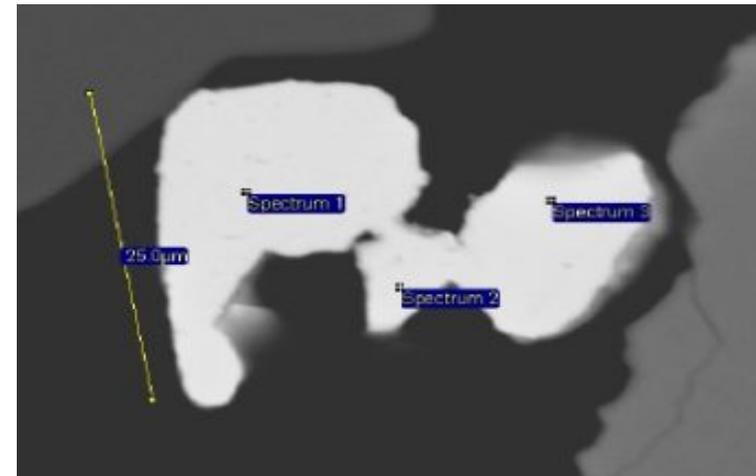
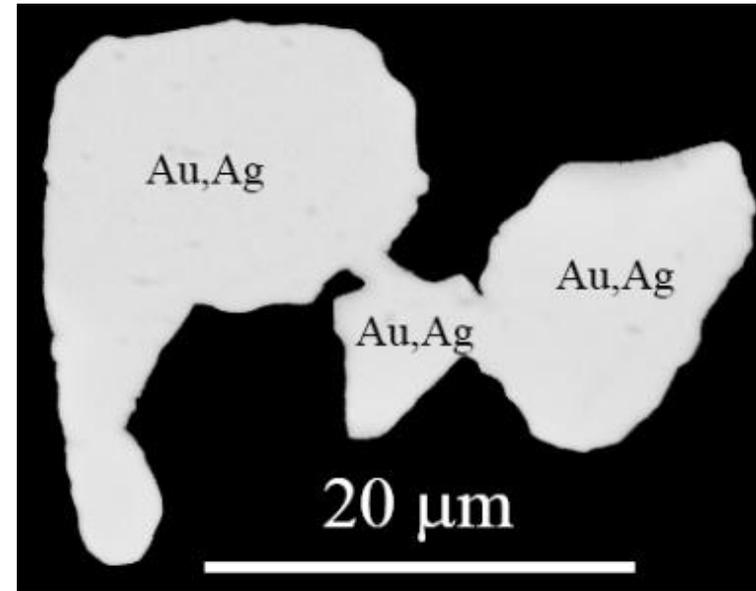
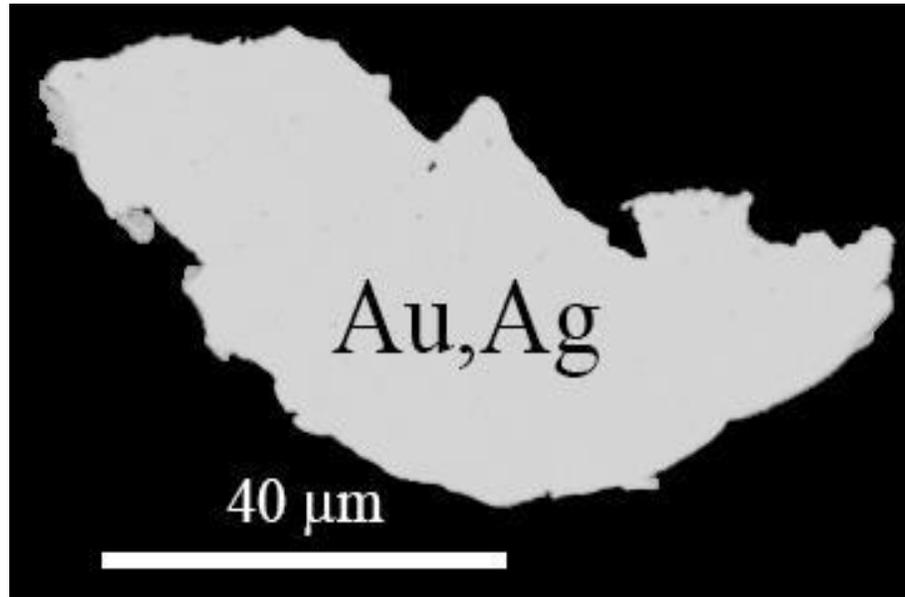
Зонально-конкреционные образования мельниковит-пирита

Исследования рудных минералов первичных золотосодержащих руд



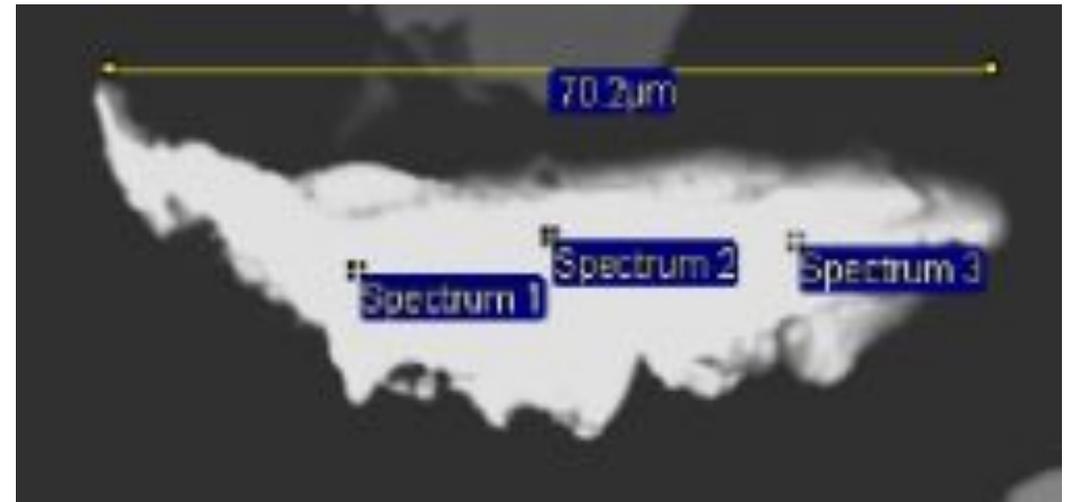
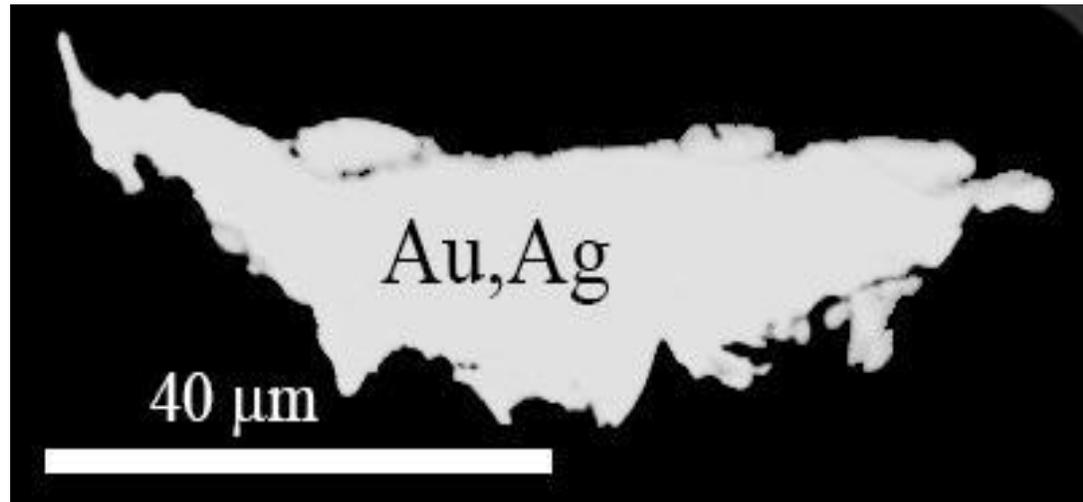
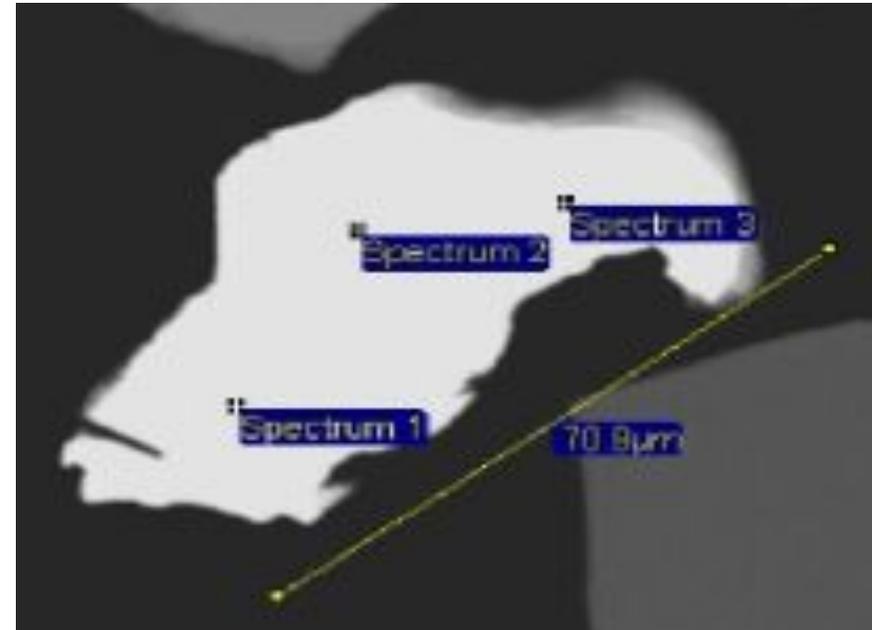
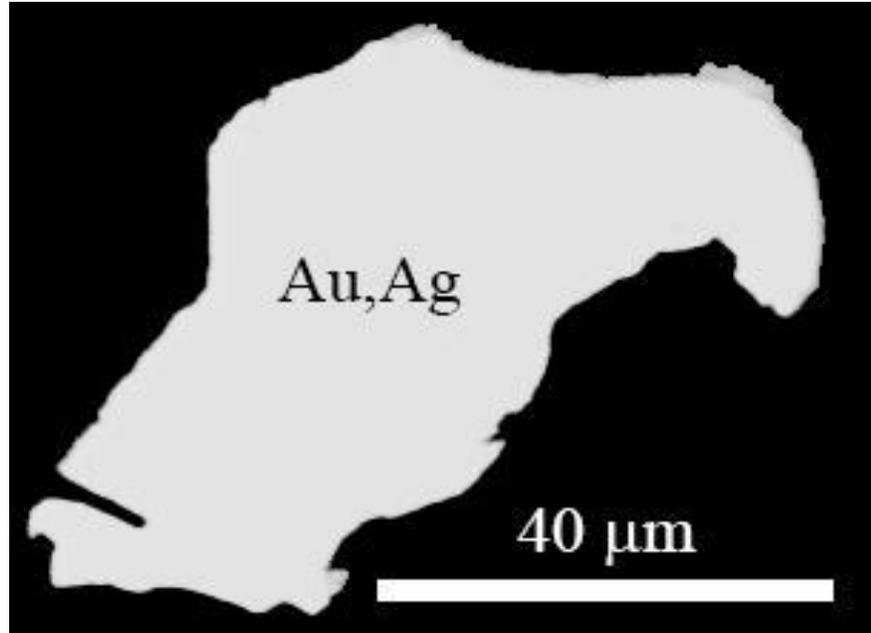
Совместное выделение магнетита (темно-серый), арсенопирита (белый), пирротина (бежевый), халькопирита (желтый)

Золото в первичных рудах



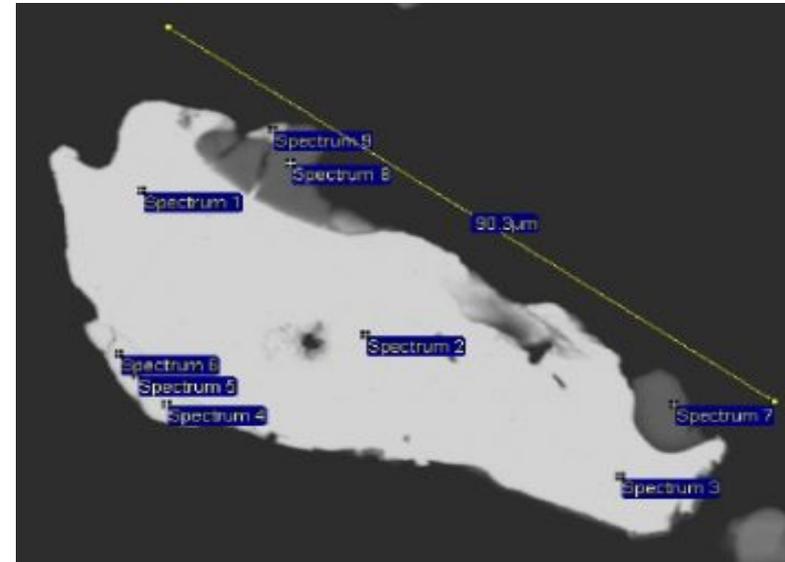
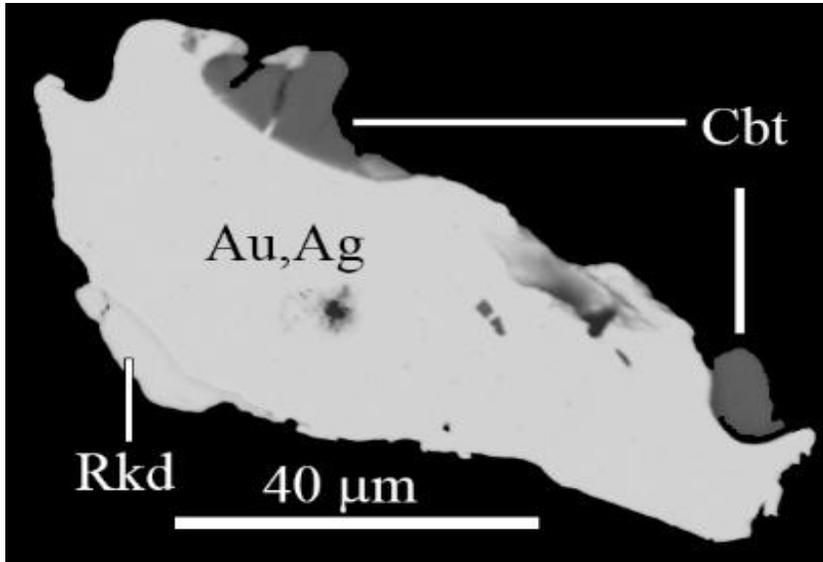
Зёрна самородного золота в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации (ППШ), BSE-фото; Au, Ag – самородное золото

Золото в первичных рудах

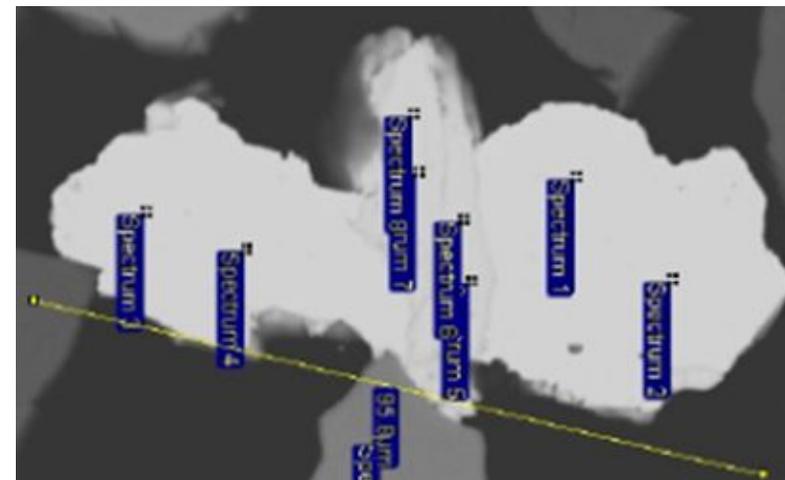
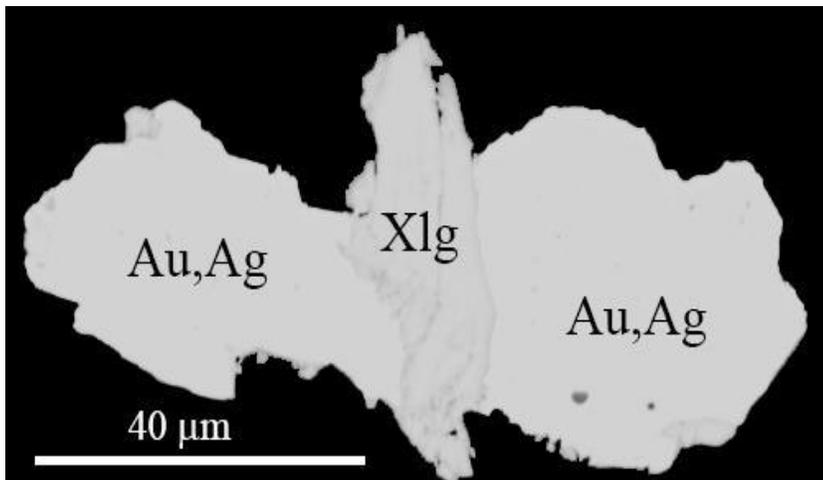


Зёрна самородного золота в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации (ППШ), BSE-фото; Au,Ag – самородное золото

Золото в первичных рудах



Зерно самородного золота в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации (ППШ), BSE-фото; Au, Ag – самородное золото, Cbt – кубанит: CuFe_2S_3 , Rkd – раклиджит: $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$



Зёрна самородного золота в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации (ППШ), BSE-фото; Au, Ag – самородное золото, Xlg – ксилнголит: $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$

Золото в первичных рудах

Химический состав самородного золота разнообразен. Содержание Au и Ag варьирует в диапазоне: Au: 81.11 мас. % и Ag: 18.89 мас. %.

Таблица 7

Химический состав самородного золота (мас. %) в первичной золотосодержащей руде

№	Au	Ag	Сумма	№	Au	Ag	Сумма
1	82.27	17.73	100.0	15	61.75	38.25	100.0
2	77.22	22.78	100.0	16	62.35	37.65	100.0
3	61.41	38.59	100.0	17	62.04	37.96	100.0
4	86.4	13.6	100.0	18	86.23	13.77	100.0
5	89.11	10.89	100.0	19	86.56	13.44	100.0
6	89.13	10.87	100.0	20	87.09	12.91	100.0
7	88.88	11.12	100.0	21	86.26	13.74	100.0
8	88.01	11.99	100.0	22	86.95	13.05	100.0
9	81.34	18.66	100.0	23	86.82	13.18	100.0
10	81.63	18.37	100.0	24	86.46	13.54	100.0
11	80.92	19.08	100.0	25	84.34	15.66	100.0
12	79.32	20.68	100.0	26	84.59	15.41	100.0
13	79.79	20.21	100.0	27	83.94	16.06	100.0
14	79.08	20.92	100.0				

Золото в первичных рудах

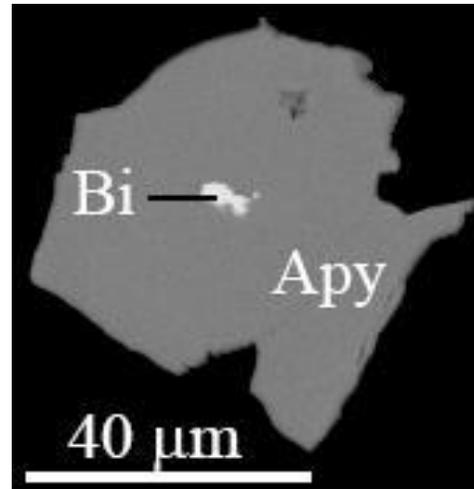
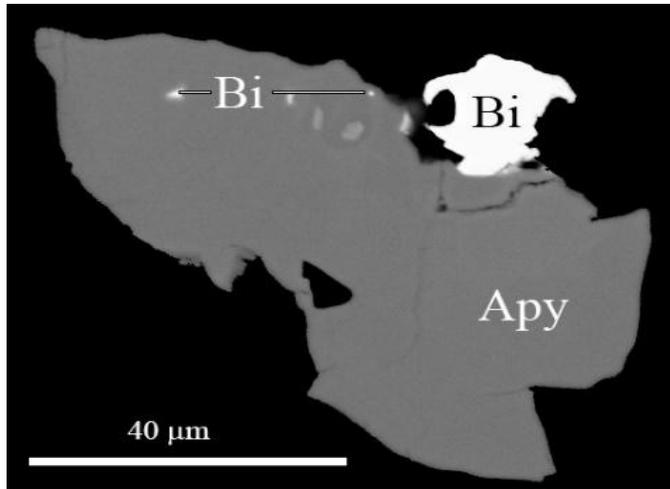
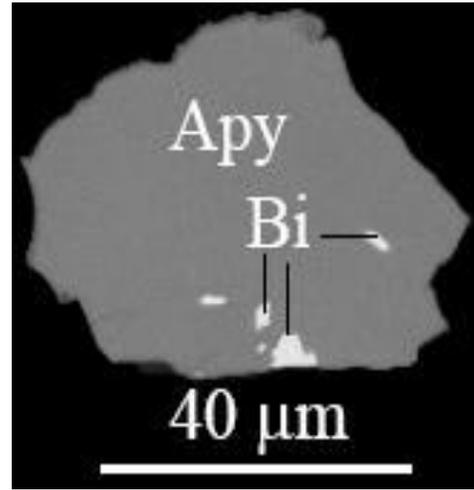
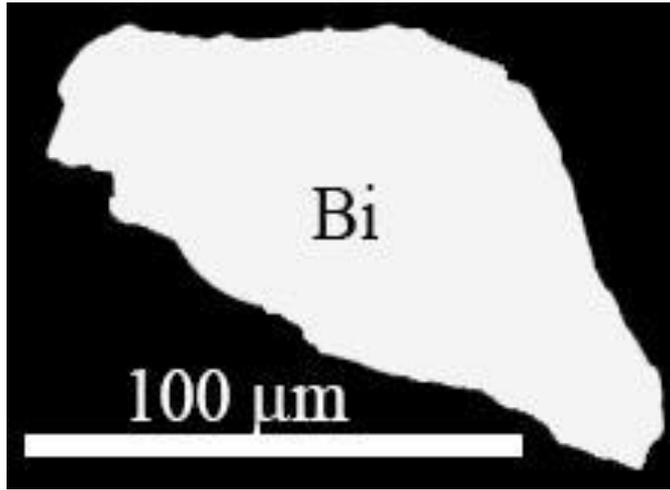
Размер зерен минералов (средний эквивалентный диаметр – ECD, мкм) измерялся с использованием программного пакета ImageJ.

Таблица 8

Значения ECD для самородного золота в первичной золотосодержащей руде

№ п/п	ECD, μm
1	23.03
2	52.71
3	55.02
4	50.73
5	34.99
6	38.25
7	33.34
8	49.76
ECD max	55.02
ECD min	23.03
ECD average	42.23

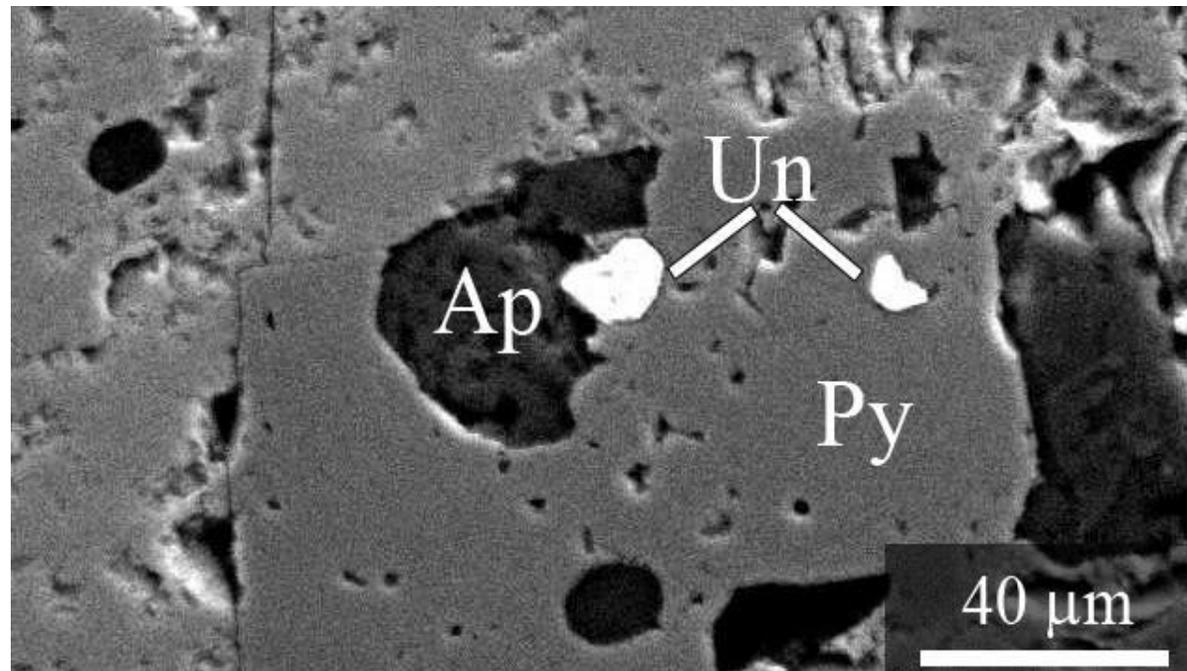
Висмут в первичных рудах



В самом тонком классе обнаружен самородный висмут. Он встречается как в виде отдельных зерен и сростков с арсенопиритом, так и в виде микровключений в арсенопирите.

Изображения самородного висмута в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации, BSE-фото. Ару – арсенопирит, Вi – самородный висмут

Обнаружены два зерна уранинита на контакте с апатитом. Микронзондовый анализ показал присутствие в этих зернах большое количество тория (9,09 и 14,08 мас. %), а также ряда характерных элементов-примесей: серебра (1,6 мас.%), олова (2,21 и 2,18 мас. %), свинца (4,23 и 3,10 мас.%).



Участок аншлифа СУ-IX, Т-1 (1 м). Кристаллы уранинита на контакте зерен апатита и пирита

Выводы

- **Золото** представлено в изученных рудах двумя формами:

- 1) самородное золото;

- 2) свободные сростки самородного золота с сульфидами и висмутотеллуридами.

Серебро встречается в виде изоморфной примеси в самородном золоте (содержание варьируется от 10,87 до 38,59 мас. %) и в виде примеси в уранините (1,60 мас. %).



Схема обогащения первичных золотосодержащих руд участка Шор-Шалбан Южный

Сводный расчет сметной стоимости

Таблица 8

Сводный расчет сметной стоимости

№	Статья расходов	Сметная стоимость, руб
1	Итоговая заработная плата, в том числе:	542 771,00
	Основная	500 250,00
	Дополнительная, 8,5%	42 521,00
2	Страховые взносы, 31%	168 259,00
3	Материалы	27 139,00
4	Амортизация	374 354,00
5	Услуги	81 416,00
6	ИТОГО ОСНОВНЫХ РАСХОДОВ	119 3939,00
7	Накладные расходы	238 788,00
8	ИТОГО ОСНОВНЫХ И НАКЛАДНЫХ РАСХОДОВ	1 432 727,00
9	Проектная прибыль	200 582,00
10	ИТОГО	1 633 309,00
11	Подрядные работы (ПГНИУ)	157 500,00
12	ИТОГО ПО РАСЧЕТУ	1 790 809,00
13	НДС	358 162,00
14	ОБЩАЯ СМЕТНАЯ СТОИМОСТЬ	2 148 971,00

Заключение

В результате проделанной работы был изучен гранулометрический, химический и минеральный состав первичных золотосодержащих руд:

- золото представлено двумя формами:
 - b) самородное золото;
 - c) свободные сростки самородного золота с сульфидами и висмутотеллуридами.
- серебро встречается в виде изоморфной примеси в самородном золоте и в виде примеси в уранините.
- размер золотинок составляет 0,03-0,05мм.
- по форме преобладают удлиненные и таблитчатые зерна.

Анализ распределения и форм нахождения и минеральных ассоциаций золота первичных участка Шор-Шалбан Южный указывает на целесообразность применения *гравитационно-цианидной схемы обогащения*.

Спасибо за внимание

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии

Выпускная квалификационная работа

Тема: Минералого-технологические особенности первичных золотосодержащих руд участка Шор-Шалбан Южный (Кемеровская область, каштаусская рудоносная площадь)

Автор: студент гр. МГП-17

/Смолякова С.Е./

(Ф.И.О.)

Руководитель работы: доцент каф. МКП

/Петров Д.А./

(должность)

(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2022 год