

Э.М. Спиридонов (МГУ)

Минералогия золота

плутоногенных

Аu и Аu-содержащих месторождений

Крупнейшие исторические самородки золота

2500 кг - м-ние Зарубан, Афганистан (по Аль Бируни)

960 кг - м-ние Ейле, Чехия (найден в 742 г.)

286 кг - 140x66x10 см – Австралия

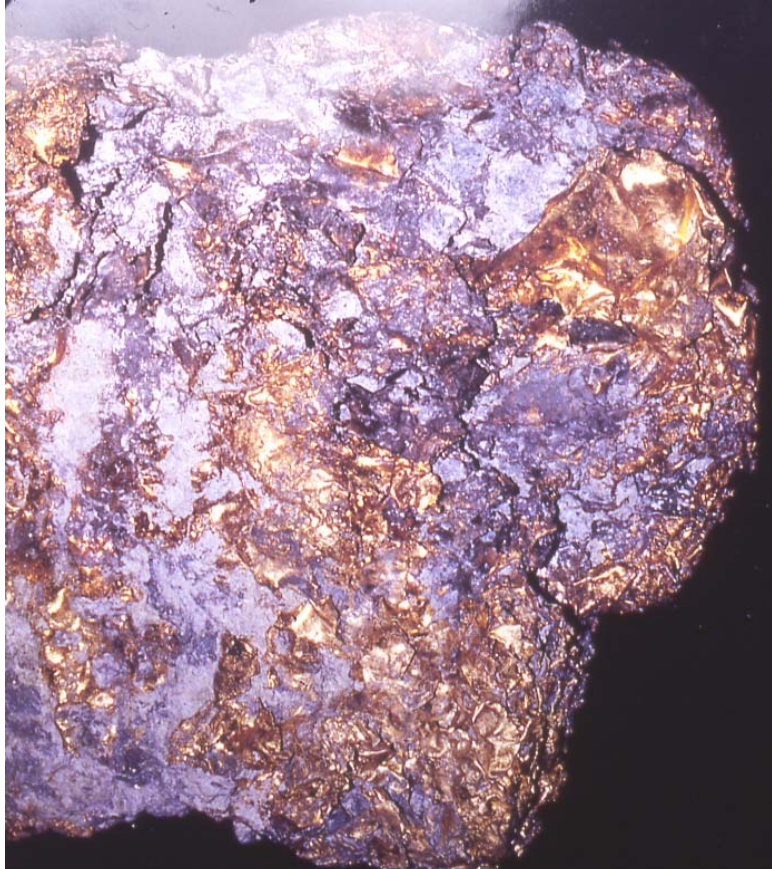
193 кг - Бразилия

153 кг - Чили

36 кг - Россия

Знаменитая золотая плита Холтермана





Часть крупного самородка –
«золотой плиты» длиной 62 см.
Jameston, Sonora, Калифорния



Самородок.
Высокопробное
золото
заместило
анкерит
в промежутках
между
кристаллами
кварца.
Клондайк



Крупнейший самородок России, добытый
за последние десятилетия. 19 x 12 x 9 см.
Вес 9.6 кг. Из них золота 7.7 кг. Якутия.

Типы золотой минерализации

Пневматолитовая :

- 1а. в отложениях вулканических эксгальций,
- 1б. в магматических сульфидных залежах.

Гидротермальная :

- 2а. плутоногенные формации – **золото - кварцевая березит - лиственитовая**, медно – порфировая, гумбеитовая;
- 2б. вулканогенные формации – золото – серебро - колчеданная, золото - серебряная эпитеpмальная, барит - полиметаллическая, карлинского типа;
- 2в. телетермальные формации – золото -сурьяная, золото - ртутная, золото-селеновая (обособленная или в составе пятиметальной U-Ag-Bi-Ni-Co формации).

Гипергенная

Метаморфогенная

Позиция золота

-
-
-

	Cu	
Pd	Ag	
Pt	Au	Hg

Генеральный тренд в ходе гидротермального рудообразования

- Au \longrightarrow Au, Ag (Hg) \longrightarrow Ag, Au (Hg) \longrightarrow Ag (Hg)

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО -

МИНЕРАЛЫ СИСТЕМ

Au – Ag, Au – Ag – Hg, Au – Cu (Pt-Pd), Au – Pd

Размерность

Самородки >1 г = $>4 \times 4 \times 4$; $>5 \times 5 \times 2$; $>10 \times 10 \times 0.5$ мм

Крупные золотины более 5 мм

Средние 1 - 5 мм

Мелкие 0.1 - 1 мм

Тонкие 0.01 – 0.1 мм (>10 микрон)

Ультратонкие менее 0.01 мм (< 10 микрон)

Коллоидное менее 0.0001 мм (< 0.1 микрон)

золото

Самородное золото – минералы системы Au - Ag непрерывная серия кубических твёрдых растворов

Главные характеристики :

пробность - $Au / Au+Ag$ (масс.,%) в ‰

зональность или однородность состава

форма и размер выделений

размер кристаллов золота в его агрегатах

Пробность: 1000 – 700 - золото

700 - 300 - электрум

300 - 100 - кюстелит

100 - 0 - (Au)-серебро

Плутоногенная
гидротермальная
медно-порфировая
с золотом
формація

Медно-порфировая формация включает до 80 % мировых запасов меди, ряд ей месторождений содержит существенные количества Au и Ag. Формация сопряжена с плутоническими и вулкано-плутоническими поясами складчатых областей. Генетически формация связана с малыми интрузивами гранитоид-порфиров гранодиоритовых, монцонитовых и реже гранитных комплексов. Её суть передаёт буквальный перевод названия формации с английского “porphyry copper” – “медь в порфирах”. Меденосные штокверки и обрамляющие их сверху рудные жилы размещены в телах гранитоид-порфиров (и в их экзоконтактах) и сопутствующих телах взрывных пневмато-гидротермальных брекчий в ореолах калиевых пропицитов, кварц-серицитовых и близкого типа метасоматитов.

К вопросу о длительности формирования рудоносных медно-порфириновых систем – известны гигантские медно-порфириновые месторождения с полным циклом развития, изотопный возраст которых менее 1.5 млн. лет.

Содержания золота в медных рудах обычно низкие – от сотых до первых десятых г/т, изредка до 1 г/т и более. Благодаря огромным запасам руд, ресурсы Au значительные. Наиболее золотоносны бедные Mo медно-порфириновые месторождения энсиматических островных дуг. Типичная величина Ag/Au от 10 до 500 и более, чаще 60-80-100. По этому признаку медно-порфириновая минерализация резко отлична от плутоногенной золото-кварцевой, жилы которой нередко секут медно-порфириновые штокверки.

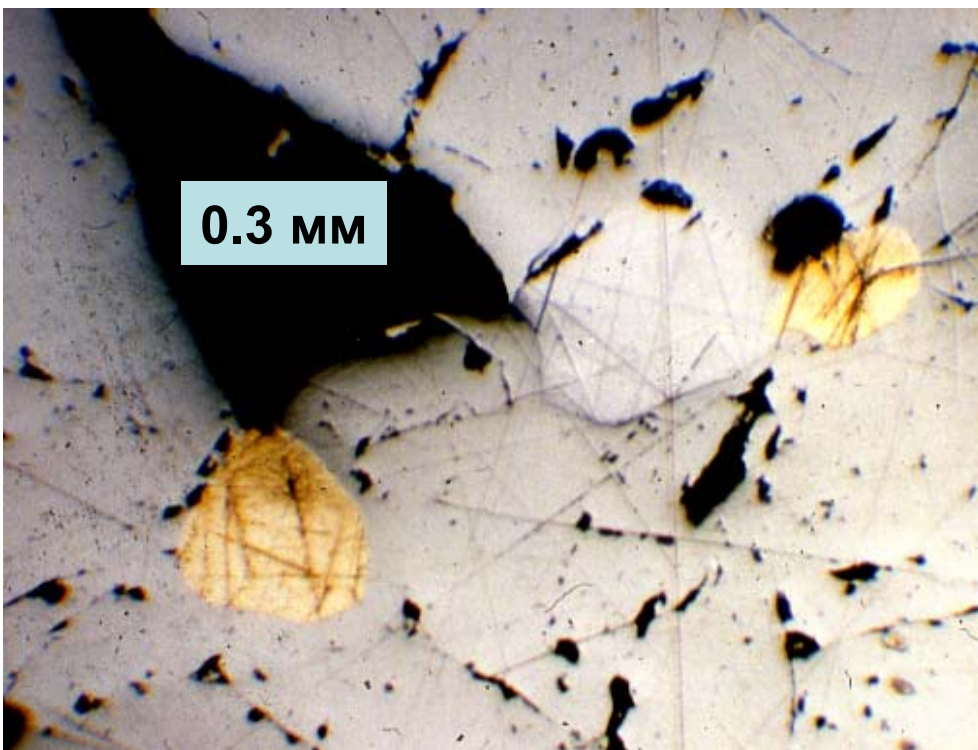
Существенно медные руды верхних горизонтов некоторых медно-порфировых месторождений содержат десятки г/т золота. Такие руды обычно содержат также палладий и платину с соотношениями **Ag: Au: Pd: Pt ~ 100-10:1:0,1:0,01**. В таких рудах в ассоциации с электрумом, алтаитом, креннеритом, петцитом, сильванитом развиты висмутотеллуриды палладия и платины: меренскиит $PdTe_2 - PdTeBi$, майчнерит $PdTeBi$, котульскит $Pd(Te, Bi)$, мончеит $PtTe_2 - PtTeBi$, а также сперрилит $PtAs_2$.

В последнее время по аналогии с медно-порфировыми выделяют так называемые золото-порфировые штокверковые месторождения. Аналогия в данном случае не корректна, поскольку эти объекты генетически, а часто и пространственно не связаны с телами гранитоид-порфиров, в отличие от медно-порфировых. Типичный пример “золото-порфировых” объектов, который как таковой описан в ряде работ, - месторождение Рябиновое на Алданском щите [Ли Гуан Мин, 1995...]. Основная золото-рудная залежь этого штокверкового месторождения размещена в сиенитах с размером кристаллов до 1 м. Очевидно, что пегматоидные сиениты не имеют отношения к порфирам.

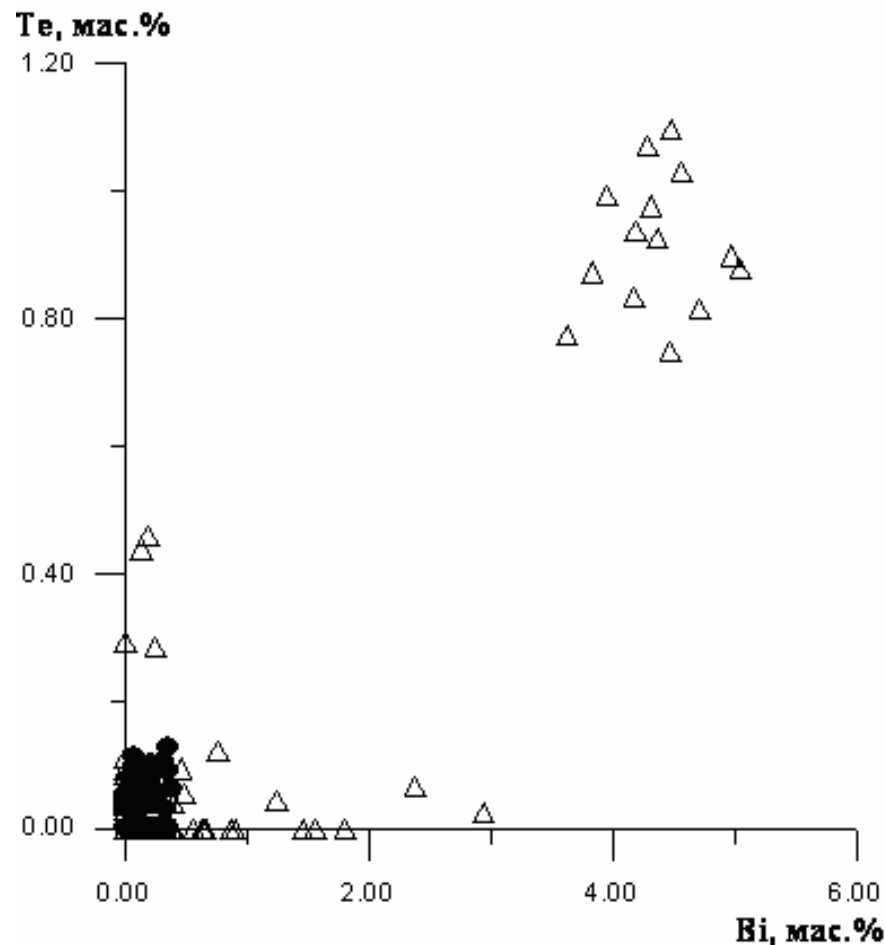
Представляется, что термин “золото-порфировые месторождения” излишен.

Плутоногенная
золотосодержащая
гумбеитовая
формація

Плутоногенная золотосодержащая гумбеитовая формация



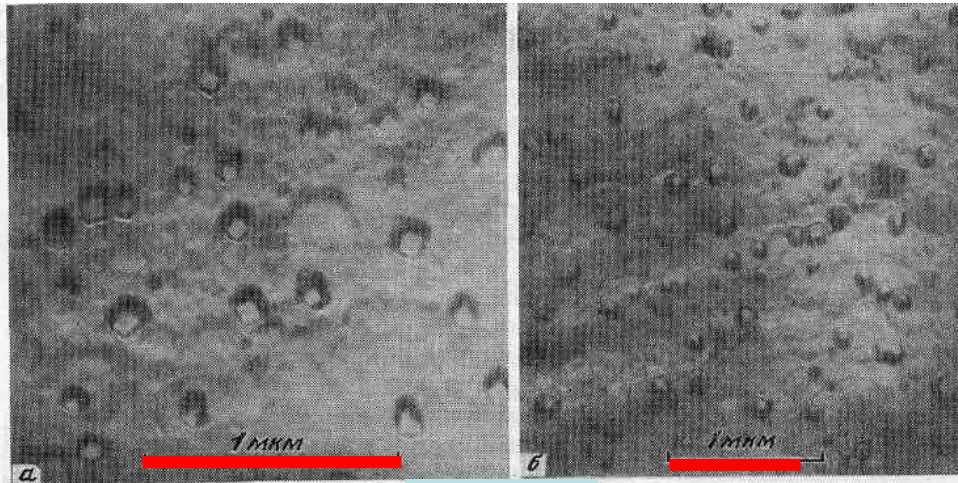
Те-Ви-тетраэдрит
+ золото +
тетрадимит.
Шарташ, Урал



Блёклые руды
гумбеитовой (треугольники)
и березитовой (залитые)
формаций

Фотография в отражённом свете

О магнитном «самородном золоте»



Рентгенограмма (дифрактограмма) магнитного самородного золота

I	$d, \text{Å}$	hkl золота	hkl магнетита	I/I_1 магнетита
4	4,85	—	111	27
9	2,967	—	220	60
15	2,530	—	311	100
100	2,357	111	—	—
8	2,098	—	400	53
63	2,041	200	—	—
5	1,713	—	422	33
11	1,615	—	333	73
13	1,484	—	440	87
58	1,441	220	—	—
85	1,230	311	—	—
28	1,1785	222	—	—
6	1,0926	—	731, 553	40
$a_0, \text{Å}$		$4,080 \pm 0,002$		$8,393 \pm 0,002$

Примечание. Условия съемки: образец – тонкорасплавленная пластинка; дифрактометр ДРОН-1,5; Со-антикатод, Fe-фильтр; 1 см на диаграмме равен $0,5^\circ 2\theta$; внутренний эталон – германий; аналитик Э.М. Спиридонов.

Рис. 1. Октаэдрические кристаллы магнетита в матрице самородного серебристого золота. Фото И.А. Пономаревой

1 МКМ

Химический состав магнитного самородного золота Якутии, мас.%

Компонент	Весовой анализ [3]	Электронно-зондовый анализ					
		рядовые участки			микроучастки, богатые железом		
Au	78,24	76,91	77,09	77,39	73,62	73,99	73,23
Ag	17,33	17,09	16,59	16,38	15,89	15,68	16,08
Fe	4,40	4,31	4,43	4,20	7,62	7,27	8,05
Cu	—	0,09	0,09	0,08	0,03	—	0,04
Mn	—	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
Сумма	99,97	98,41	98,20	98,06	97,18	96,96	97,43

Примечание. Микронзонд "Camebax", ускоряющее напряжение 25 кВ, сила тока 15 нА; эталоны: химически анализированные высокопробное золото (Au), гессит (Ag), магнетит (Fe); чистые металлы – медь (Cu), железо (Fe), марганец (Mn). Pt, Pd, Pb, Hg, Sb, Ni, Co не обнаружены. Аналитик Э.М. Спиридонов.

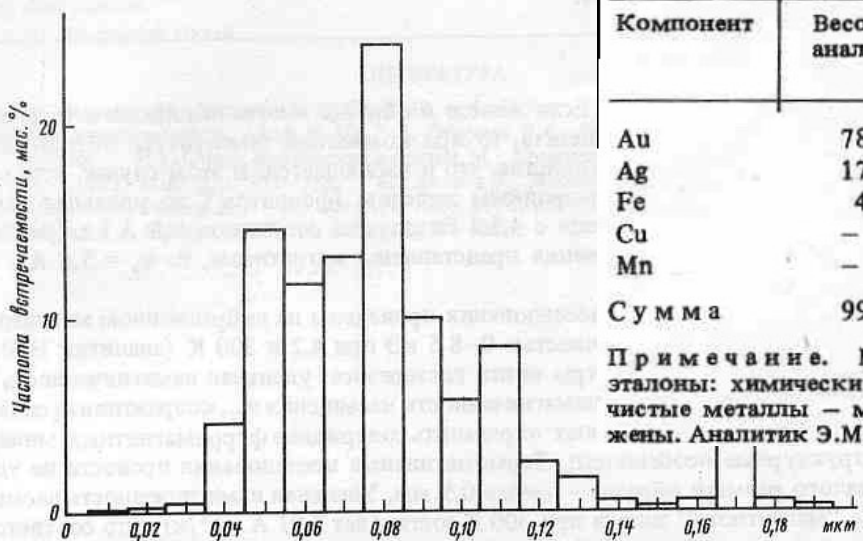


Рис. 2. Гистограмма размеров включений магнетита в «магнитном» самородном золоте (частота встречаемости по классам крупности). По данным измерений 887 зерен магнетита

Магнитное «самородное золото» - матрица серебристого золота с массой кристалликов магнетита

**Плутоногенная
золото-кварцевая
березит-лиственитовая
формація –
главная
золоторудная
и главная
россыпеобразующая**



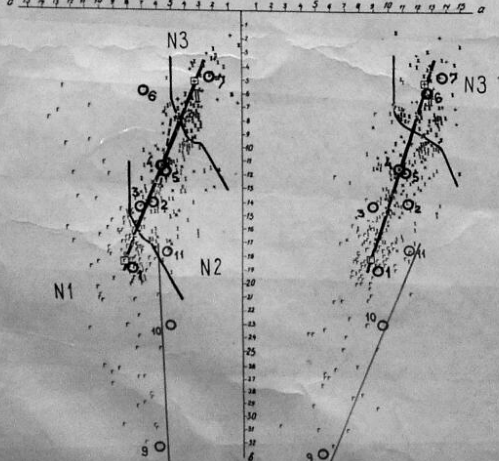
Плутоногенные месторождения золото-кварцевой формации сопряжены с тоналит-гранодиорит-адамеллитовыми и монцонит-граносиенит-гранитными комплексами складчатых областей. Эти месторождения формируются в условиях закрытой системы, т.е. при повышенном давлении (Р). Величина Р определялась положением верхней кромки гидротермальной системы, расположенной как правило близ верхней кромки интрузивов или несколько выше. Самые низкие оценки Р по ГЖВ в ранней генерации кварца и карбоната руд - 0,3-0,6 кб [Спиридонов, 1995; Trumbull et al., 1996...], что отвечает минимальным глубинам формирования ~1-1.5 км. Максимальные оценки до 3,5-4 кб (~12-15 км) [Спиридонов, 1995; Hagemann, Brown, 1996; Mishra, Panighari, 1999; Jia, Kerrich, 2000...]. Типична большая протяжённость золотого оруденения по вертикали: 3,5 км, с учётом эрозионного среза около 5 км (Колар, Индия); около 3 км – Морро-Велью (Бразилия); около 2,5 км – Ашанти (Гана), около 2 км – десятки м-ний Канады, Африки, Австралии...

ИНТРУЗИВНЫЕ И ДАЙКОВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ / ПЛОЩАДИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ /	К/Аз / ВОЗРАСТ / МАКС. ВЕЛ. /	ОТНОСИТЕЛЬНАЯ РАСТРОИМЫЕ СТРАШНОСТЬ	ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, РУДНЫЕ И МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ			
			НАТРИЕВЫЙ / ПЛАГИОГРАФИТЫ /	СУЩЕСТВЕННО НАТРИЕВЫЙ	КАЛИЕВО-НАТРИЕВЫЙ / АДАМЕЛЛИТЫ /	
ДАЙКИ ГЛУБИННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ / ~ 1% / И МЕТАСОМАТИТЫ	435-440	+	кварцевые диабазы, диабазовые порфириты, габбро-диабазы, кварцевые габбро-порфириты			
	440-455	++	кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфириты, порфиридные спессартиты / интрузивные /			Аи
	450-465	+++	кварцевые жилы с пиритом, шехелитом, пирротином, арсенопиритом			
	440-468	++	кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфириты, кузельиты, диорит-порфириты			
	450-455	+++	афировые спессартиты, брекчиевидные спессартиты, механоспессартиты, микродиориты			СПЕССАРТИТЫ
	455	+	плагиигранит-порфиры	плагиигранит-и гранит-порфиры	адамеллит-и гранит-порфиры	
	445	+	известковые скамьи, гидросиликатные скамьи с магнезитом, калксопиритом, кобальтином, шехелитом, макидденитом			Мт
	460	++	порофировые плагииграниты, плагиигранит-порфиры	граниты	граниты, аллит-порфиры	
	445-465	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-465	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
III ГЛАВНАЯ ИНТРУЗИВНАЯ ФАЗА / ~ 30% /	445-465	+++	порофировые плагииграниты, плагиигранит-порфиры	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-465	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-465	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-465	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
II ГЛАВНАЯ ИНТРУЗИВНАЯ ФАЗА / ~ 70% /	445-460	+++	порофировые плагииграниты, плагиигранит-порфиры	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-460	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-460	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-460	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
I РАННЯЯ ИНТРУЗИВНАЯ ФАЗА / ~ 1% /	445-455	+++	порофировые плагииграниты, плагиигранит-порфиры	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-455	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-455	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	
	445-455	+++	порофировые плагииграниты	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	граниты, аллит, пегматиты, кварцевые жилы	

Золотоносный степнякит- тоналит- гранодиоритовый комплекс каледонид Северного Казахстана

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА (по А.Н.Заваричкому)
интрузивных пород позднеордовикского (крыккудукского) комплекса

НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ГРАНИТОВ ДОО КРЫККУДУКСКОГО КОМПЛЕКСА



ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ ГРАНИТОВ	НАТРИЕВЫЙ / ПЛАГИОГРАФИТЫ /		СУЩЕСТВЕННО НАТРИЕВЫЙ / ГРАНИТОВИТЫЙ /		КАЛИЕВО-НАТРИЕВЫЙ / АДАМЕЛЛИТОВЫЙ /	
	Na/K	K/Rb	Na/K	K/Rb	Na/K	K/Rb
РАННЯЯ ФАЗА	2,4	425	1,0	375	1,4	315
I ФАЗА	2,4	410	1,6	365	1,0	320
II ФАЗА	2,1	440	1,4	380	1,0	310
Отношения, содержание	1000 U/K	V ₁ г/т	1000 U/K	V ₁ г/т	1000 U/K	V ₁ г/т
РАННЯЯ ФАЗА	0,37	0,25	0,58	0,65	0,68	0,75
I ФАЗА	0,67	0,65	0,75	1,30	0,75	1,6
II ФАЗА	0,90	0,75	1,00	1,95	0,98	2,7
СОДЕРЖАНИЯ	Cu, г/т					
РАННЯЯ ФАЗА	95					
I ФАЗА	35					
II ФАЗА	26					
СОДЕРЖАНИЯ	Au, мг/т					
РАННЯЯ ФАЗА	0 (3-23)					
I ФАЗА	2,7					
II ФАЗА	1,6					




Составлен З.М. Савицкой

ТОНАЛИТ-ГРАНОДИОРИТОВЫЙ O₃ КОМПЛЕКС ЗОЛОТО-КВАРЦЕВАЯ O₃ ФОРМАЦИЯ

1:500000

250x200 км










Каледонская
Северо-
Казахстанская
золоторудная
провинция




- Типы гранитоидов
-  Na
 -  K-Na
 -  K-Na



Интрузивы степняцкого типа

Месторождения

- | | | | |
|-----------------------|---|---|---|
| | однофазные | двухфазные | трехфазные |
| Гипабиссальной фации |  |  |  |
| Мезоабиссальной фации |  |  |  |
| Абиссальной фации |  |  |  |

-  золото-антимонит-серебросульфосольные
-  золото-галенит-сульфоантимонидовые
-  золото-галенит-теллуридные

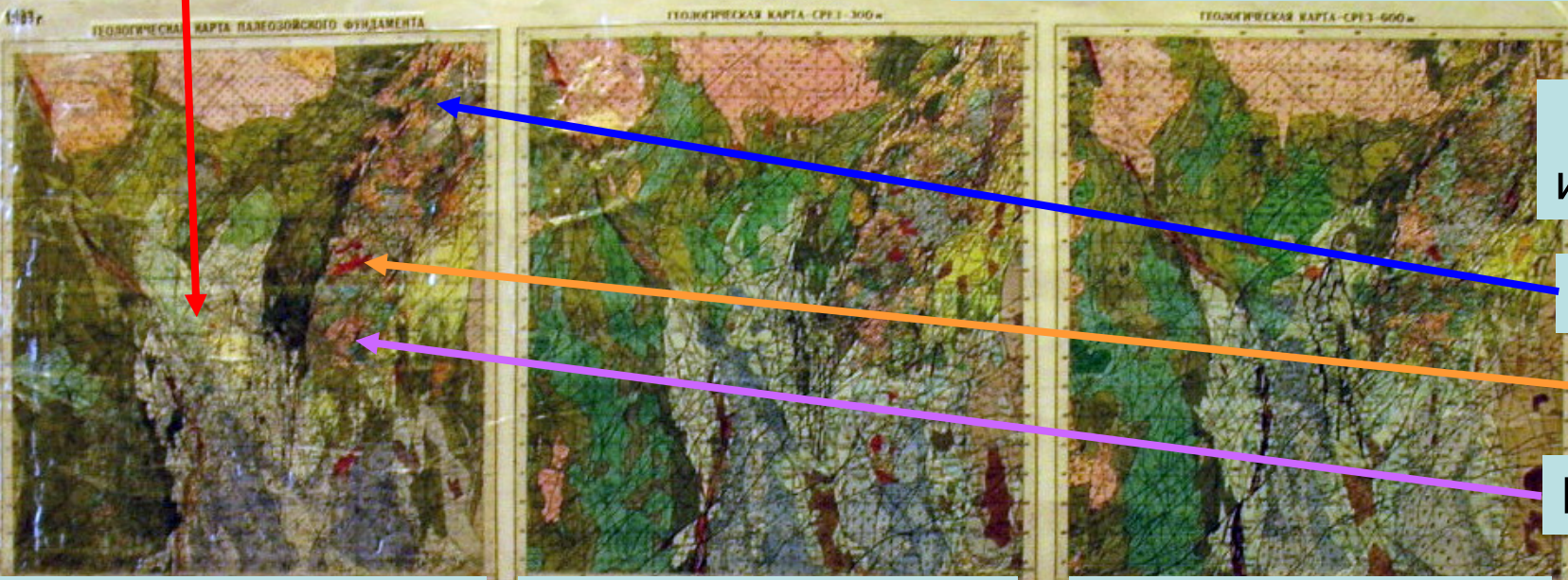
РУДНОЕ ПОЛЕ

1:25000

N-42-132-Г-5

Карты-срезы рудного поля Аксу Северный Казахстан

Кварцит. Горки



Золотон.
интрузивы

Сев. Аксу

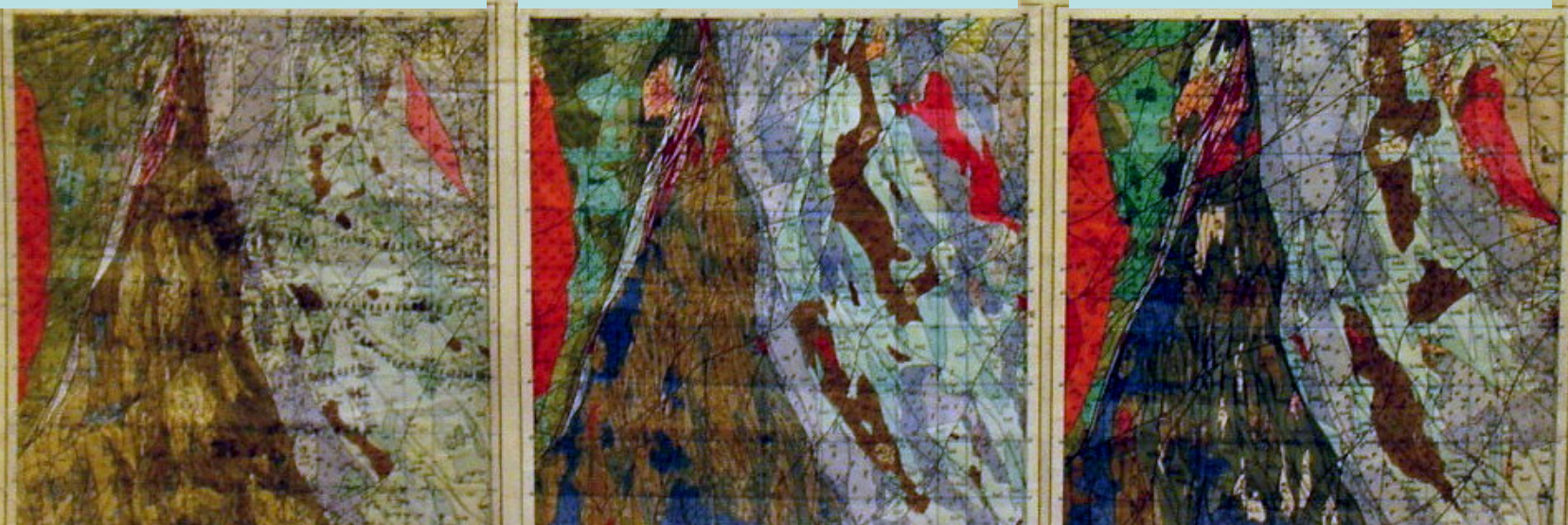
Ю. Аксу

Будённов.

Поверхность

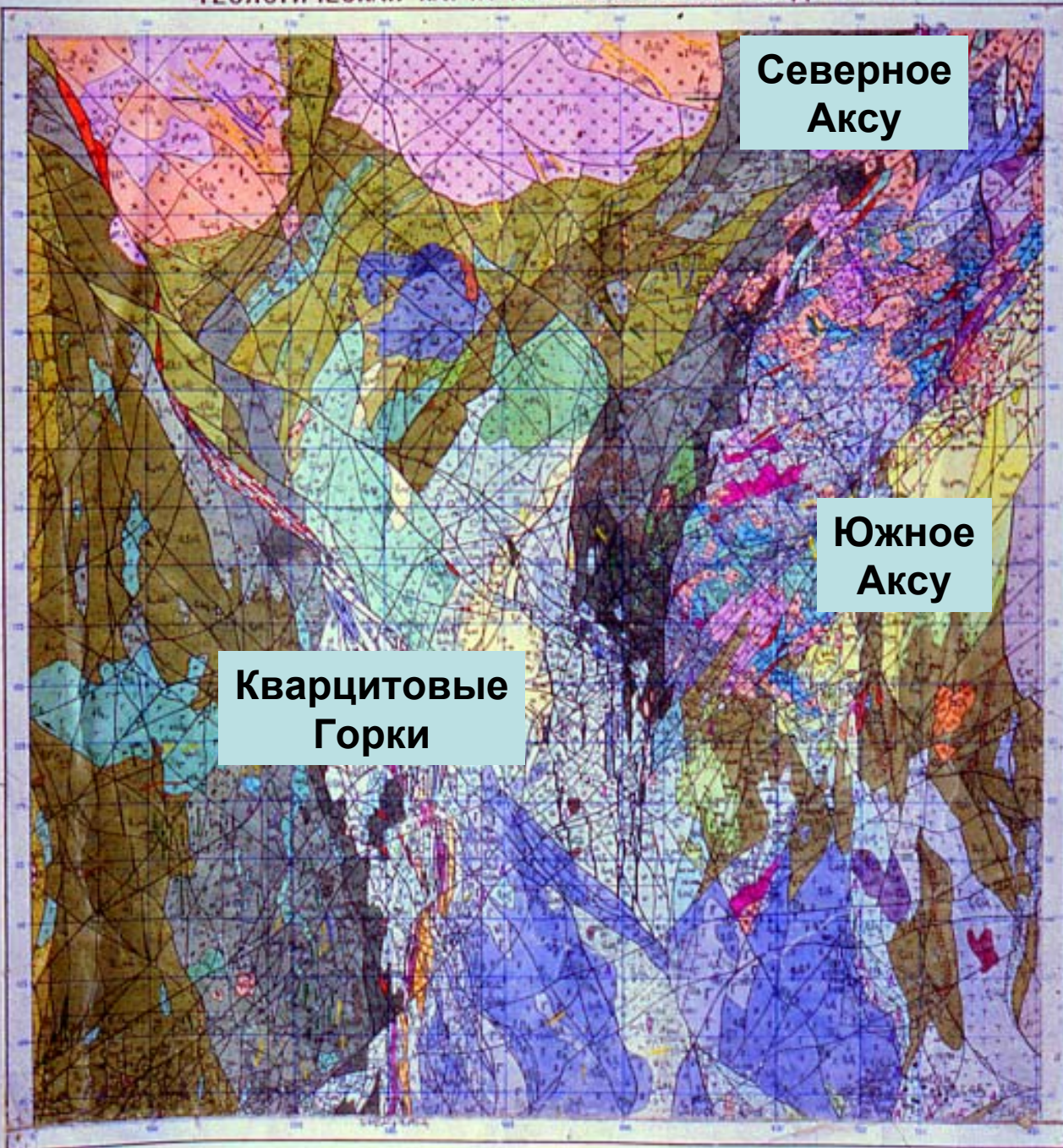
Срез – 300 м

Срез – 600 м



1983 г.

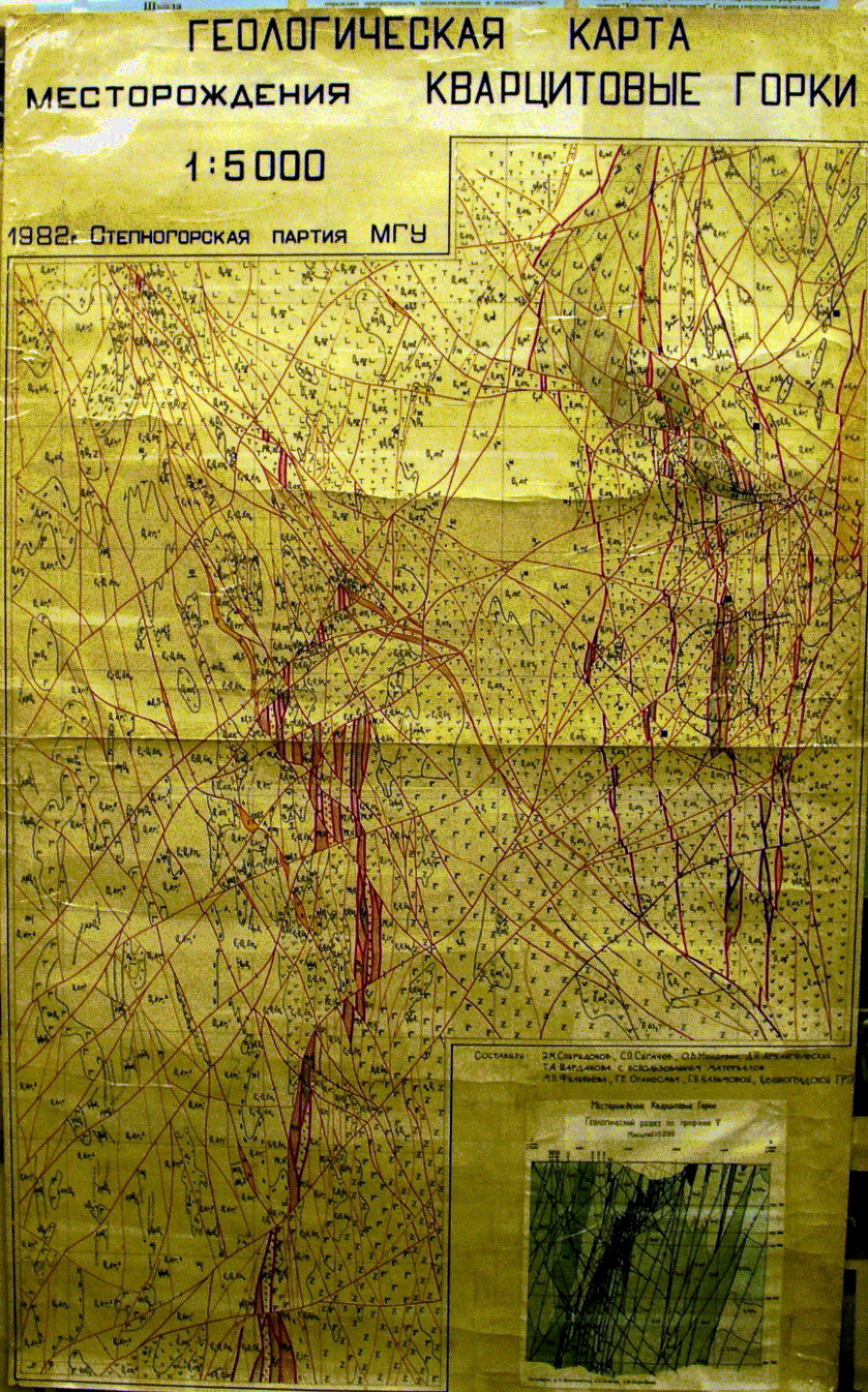
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ПАЛЕОЗОЙСКОГО ФУНДАМЕНТА



Геологическая карта рудного поля Аксу, Северный Казахстан.

1:25.000

Авторы:
Э.М. Спиридонов,
О.В. Минервин,
С.П. Сигачёв,
В.И. Борисёнок,
Д.Н. Архангельский,
Т.Н. Демент



Геологическая карта
 месторождения
 Кварцитовые Горки.
 Северный Казахстан

1982 г.

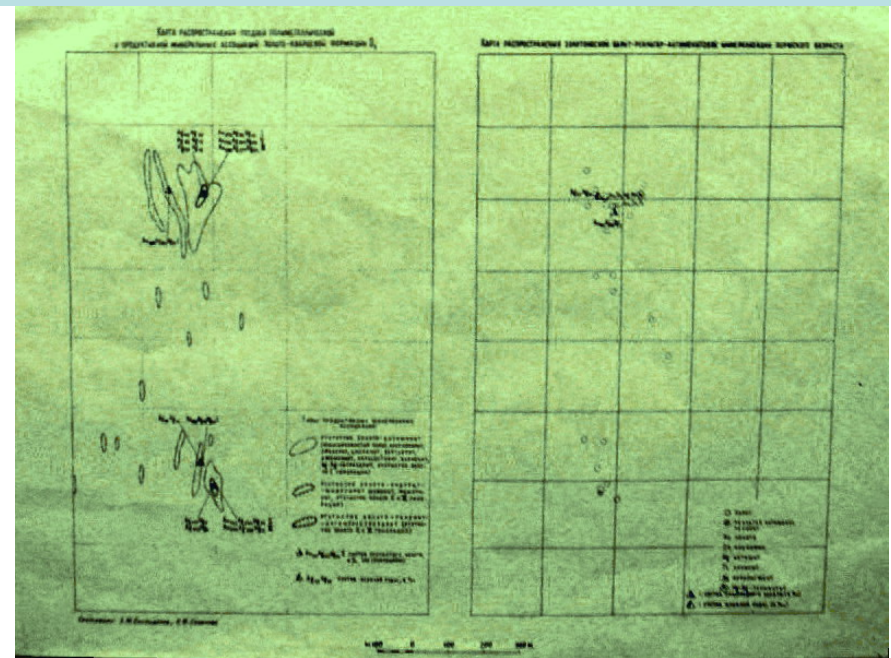
Составили:

Э.М. Спиридонов

О.В. Минервин

С.П. Сигачёв

Н.Ф. Соколова



Рудное поле Джеламбет. Северный Казахстан

Краевая
часть
Крык-
Кудукского
интрузива



Золотоносные интрузивы

Джеламбет-север

Джеламбет-Центр

Джеламбет-Юг

1:300.000

1991 г. Э.М. Спиридонов

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЗАПАДНО-БЕСТЮБИНСКОГО ИНТРУЗИВА

Масштаб 1:1000

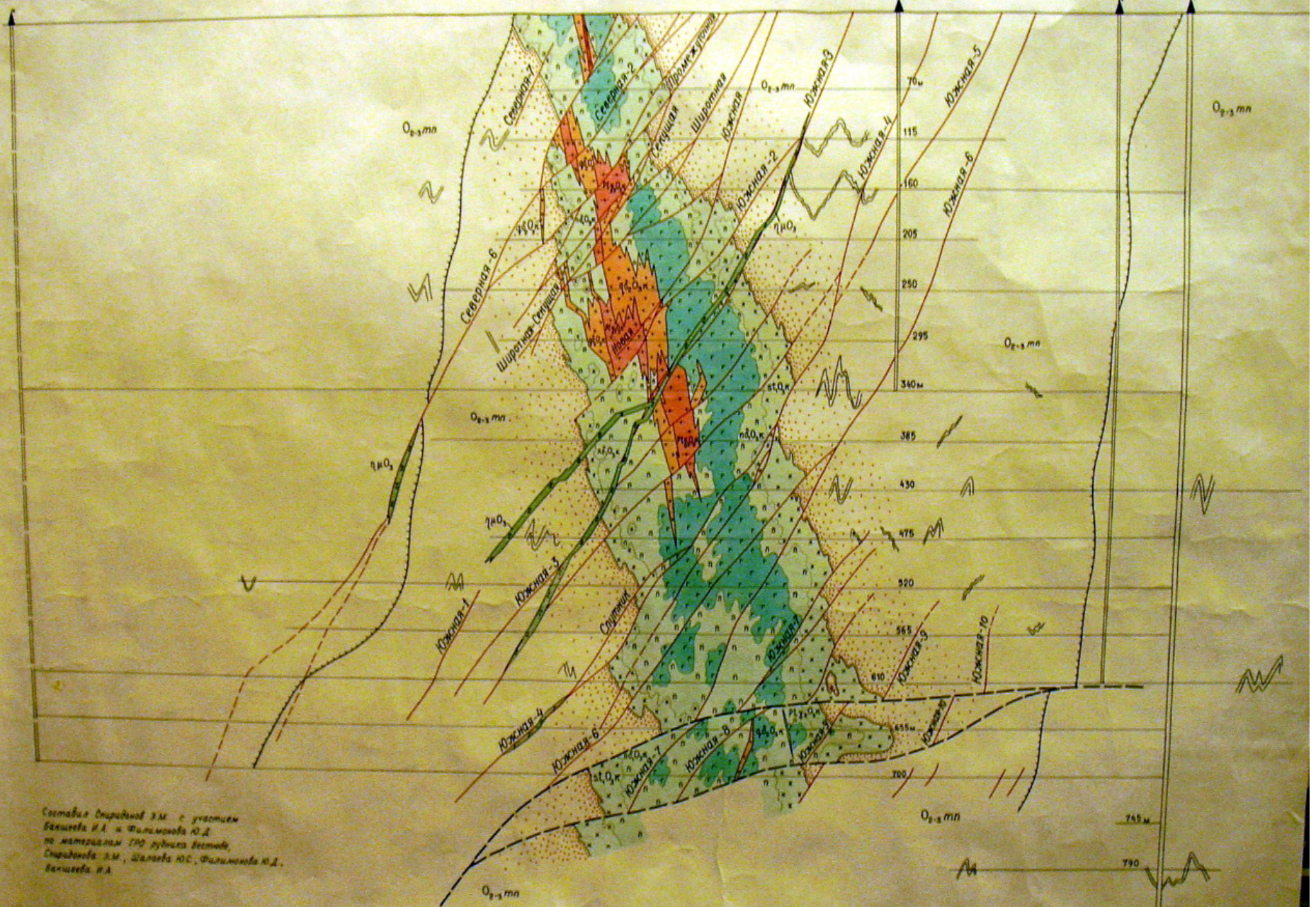


ШХ. ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ

Западная

Капитальная

Новая-Глубокая



Составил Спиридонов Э.М. с участием
 Башкирева И.А. и Филимонова Ю.Д.
 по материалам ТПО рудника Восток.
 Спиридонов Э.М., Шалаев Ю.С., Филимонов Ю.Д.,
 Башкирева И.А.

Важнейшая в Центральном Казахстане раннекаледонская провинция включает месторождения Васильковское (700 т Au), Бестюбе (450 т), Джеламбет (250 т), Кварцитовые Горки (150 т), Аксу (150 т), Степняк (50 т). Уральская герцинская провинция включает Берёзовское (450 т) и Кочкарское (400 т). Те и другие парагенетически связаны с инверсионной степнякит-тоналит-гранодиоритовой формацией (ТГФ), которая завершает островодужный этап развития складчатой области. Это ОЗ (445 ± 5 Ma) крыккудукский комплекс Степнякского мегасинклинория (прогиба) и зерендинский комплекс Кокчетавского антиклинория (срединного массива, микроконтинента) и С1 шарташский и пластовский комплексы Урала. Au оруденение порождено процессами среднетемпературного (370-310 град.) углекислого метасоматоза - березитизации-лиственитизации, которые геологически одновозрастны наиболее поздним дайкам глубинного происхождения - гранитоид-порфирам и/или спессартитам. Золотоносность руд определяется развитием продуктивной минеральной ассоциации, T её образования 210-150, обычно 190-170 град. Это объясняет то, что месторождения Au тяготеют к одновозрастным малым интрузивам и дайкам и только к краевым частям более крупных интрузивов, так как те и другие успевают остыть до нужной T, иначе золото рассеивается !

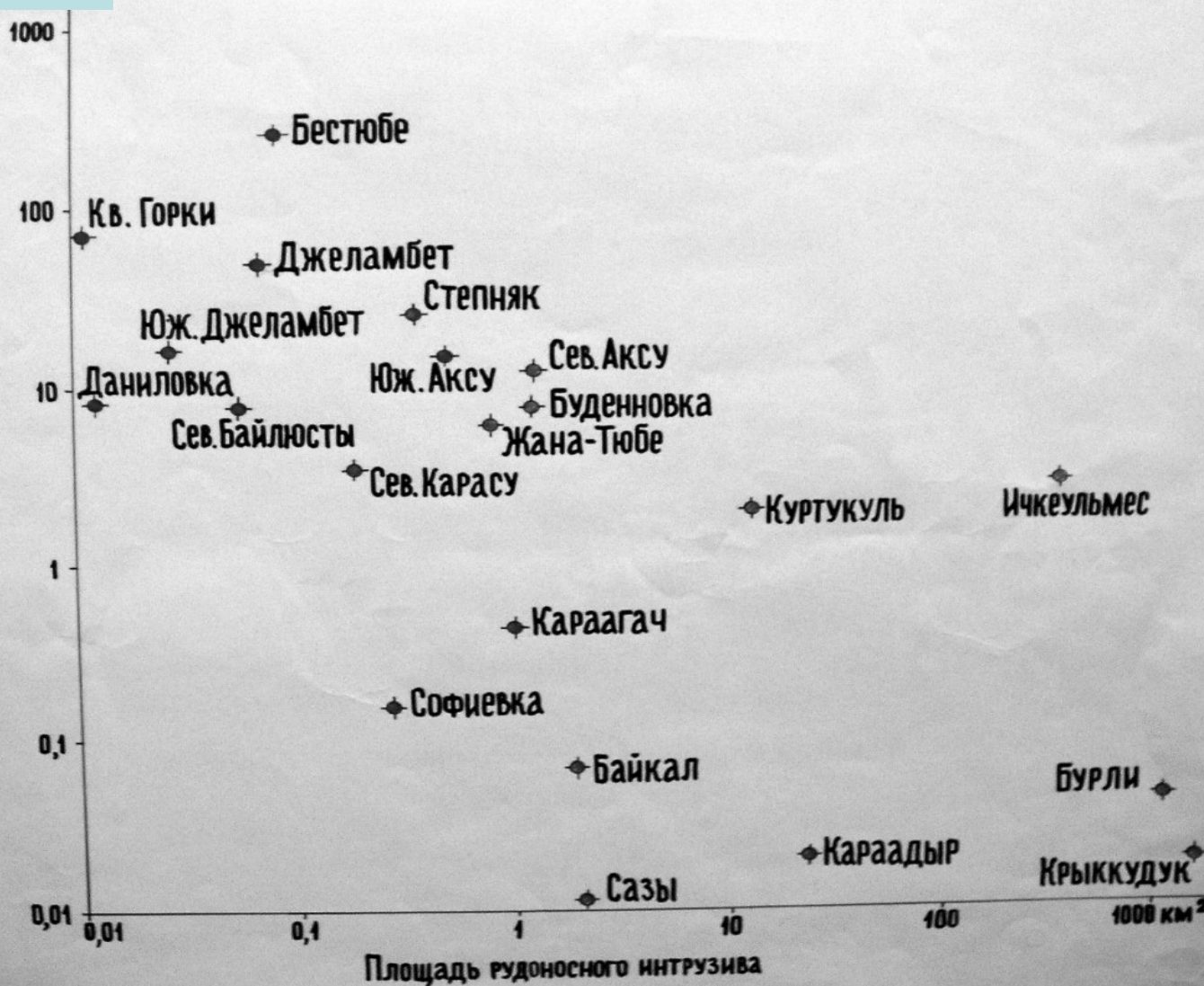
Главные месторождения золота Северного Казахстана приурочены к мелким интрузивам типа Степнякского, которые Ю.А.Билибин (1945, 1959) выделил в степнякский комплекс - послебатолитовую формацию золотоносных малых диоритовых интрузивов, более молодых, чем тоналит-гранодиоритовая формация – ОЗ крыккудукский интрузивный комплекс. Сейчас доказано, что золотоносны в той или степени все типы интрузивов тоналит-гранодиоритовой формации, что к её производным принадлежат и интрузивы степнякского типа и главные месторождения Au (Спиридонов, 1991, 1995). Для малых золотоносных плутонов типоморфны тела ранней предбатолитовой (предтоналитовой) интрузивной фазы, сложенные кварцевыми биотит-роговообманковыми лейкогаббро-норитами - степнякитами. Эти тела фиксируют глубоко проникающие разломы, в дальнейшем обычно рудоподводящие.

В целом – обратная корреляция размер интрузива – запасы Au месторождения, которое к нему приурочено.

ЗОЛОТОНОСНЫЙ СТЕПНЯКИТ-ТОЧАЛИТ-ГРАНОДИОРИТОВЫЙ КРЫККУДУКСКИЙ КОМПЛЕКС

Ранние
каледониды
Северного
Казахстана

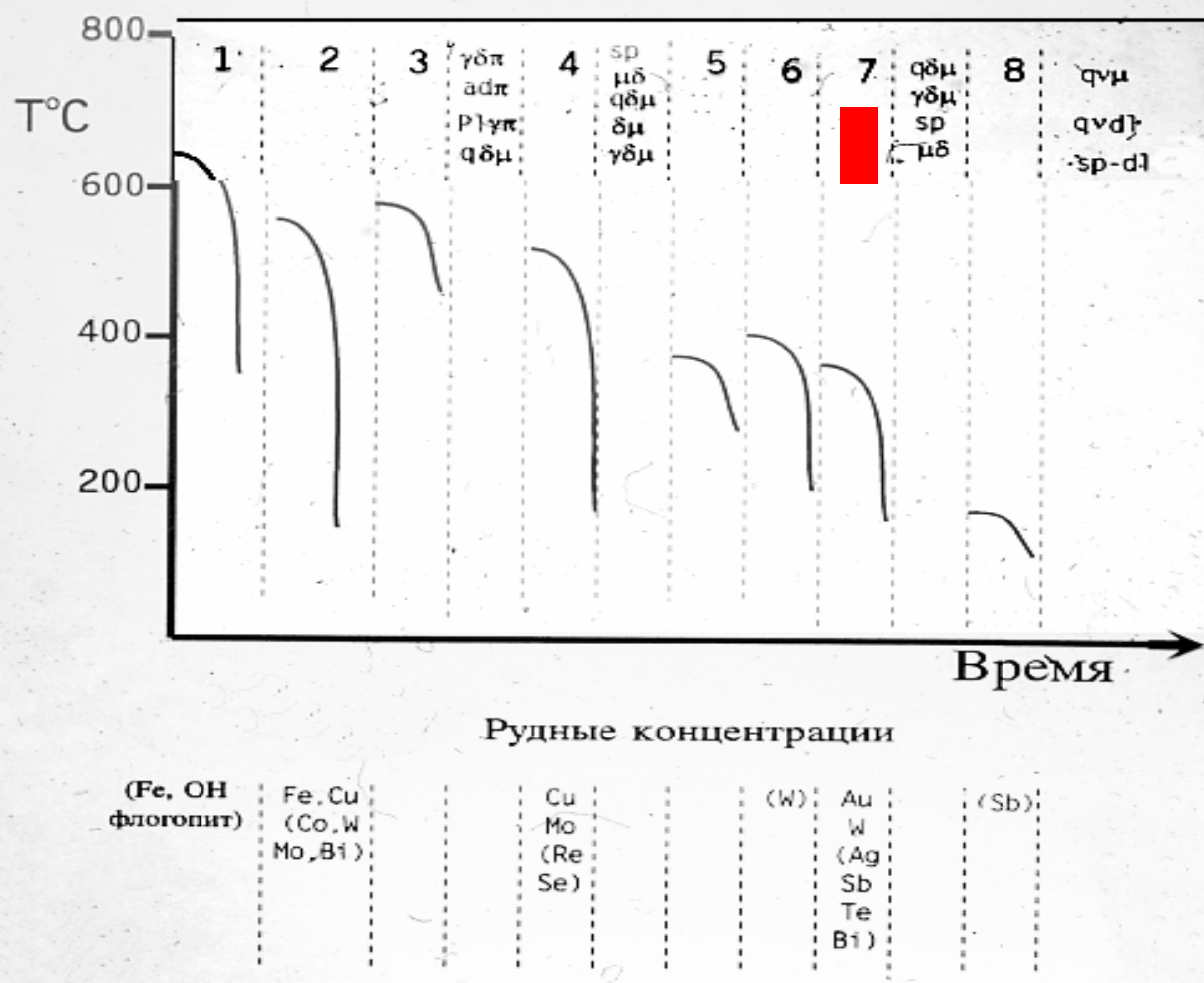
Au, т



Площадь
рудоносных
интрузивов,
км²

- **Дозолоторудные и внутрирудные послегранитоидные дайки глубинного происхождения - родственные.**
Разнообразные гранодиорит-, плагиогранит-, адамеллит-порфиры, тоналит- и диорит-порфириты, микродиориты, кварцевые габбро-диорит-порфириты, слагающие дайки многих поколений в интрузивах тоналит-гранодиоритовой формации и в породах их рамы, по изотопному возрасту и составу отвечают интрузивным породам трёх фаз тоналит-гранодиоритовой формации. Очевидно это выжимки остаточных магматических очагов.
- **Дозолоторудные и внутрирудные послегранитоидные дайки глубинного происхождения - петрологически чужеродные.** Среди поздних поколений даек глубинного происхождения довольно многочисленны спессартиты афировые и чаще порфировидные, нередко меланоспессартиты. По геологическим соотношениям и изотопному возрасту они принадлежат ТГФ. Однако, петро- и геохимически спессартиты резко отличны от производных ТГФ. В центре кристаллов роговой обманки в спессартитах содержатся хромшпинелиды и оливин. Судя по составу хромшпинелидов, эти спессартиты - производные островодужных базальтоидных магм.

Золото-кварцевая березит-лиственитовая формация среди послеинтрузивных образований тоналит – гранодиоритовых комплексов



Листвениты.
Mother Lode,
Калифорния

1 – Mg скарны. 2 – Ca скарны. 3 – кварц-турм. метасоматиты. 4 – K пропициты. 5 – Na пропициты. 6 – гумбеиты. 7 – березиты и листвениты. 8 – аргиллизиты.

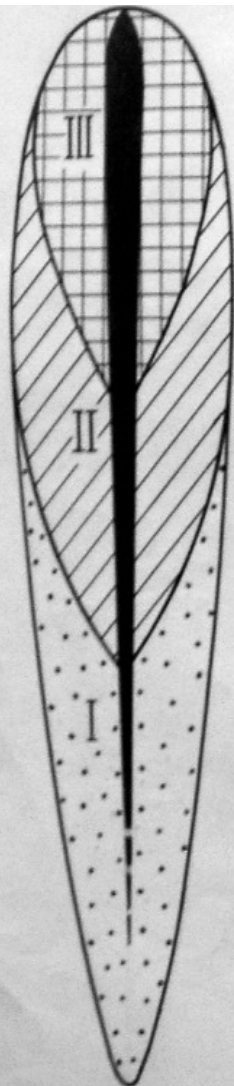
Послегранитоидные метасоматиты. Образования 1 этапа: магнезиальные скарны (Fe, флогопит) → известковые скарны → гидросиликатные скарны (Fe, Cu, Co, W) → кварц-мусковитовые метасоматиты (псевдогрейзены) → кварц-турмалиновые метасоматиты. Образования 2 этапа : пропилиты K → кварц-серицитовые метасоматиты (Mo-Cu-порфировые концентрации) → пропилиты Na → гумбеиты (W) → березиты-листвениты (Au, Ag, Te). Особый интерес представляют метасоматиты березит-лиственитовой формации, заместившие породы специфического состава, - с пирофиллитом (по низкокалиевым аргиллитам и кварц-каолинитовым сланцам), с парагонитом (по низкокалиевым магматитам), березиты - микрокварциты (по фтанитам и яшмам), с бариево-калиевыми слюдами (по барит-содержащим глинистым яшмоидам), трёхкарбонатные (по магнезиально-скарновым кальцифирам). Около промышленных рудных тел на ранние березиты и листвениты наложены разнообразные рудосопровождающие метасоматиты, богатые карбонатами ± пирит ± арсенопирит ± альбит, или хлорит, или каолинит, или пирофиллит.

Золоторудные концентрации. Золото-кварцевая березит-лиственитовая формация представлена кварцевыми и карбонат-кварцевыми жилами, штокверками прожилков того же состава, оруденелыми березитизированными и лиственитизированными породами, в их числе известковые и магнезиальные скарны. Пучки рудных тел обычно и по латерали и в вертикальном распространении тесно связаны с интрузивными телами. Обратная зависимость между размерами рудоносных интрузивов и сопряжённых рудных концентраций свидетельствует о глубинном источнике рудного золота. Область рудогенеза находилась в интервале глубин ~ 1 - 12 км. Строение месторождений от простого (единичные жилы или линзовидные тела штокверков) до весьма сложного (многочисленные системы жил в сочетании с зонами штокверков и оруденелых метасоматитов). Более половины запасов сосредоточены в крупных (> 100 т) месторождениях. Запасы месторождений не коррелируются со сложностью их строения. Большинство месторождений не велики по латерали <2x2 км и протяжённые по вертикали до >2 км. Эмпирически установлена их приуроченность к участкам с мелкоблоковым рисунком строения интрузивов и складчатых структур рамы. Характерна слабо контрастная вертикальная минеральная и геохимическая зональность месторождений. Типоморфные минералы - высокопробное золото, сернистый арсенопирит, блёклые руды (без Te, Bi, Se), Pb-Sb сульфосоли, теллуриды Pb, Bi, Ni. Особую роль в переносе и отложении Au сыграла углекислота. Основная причина рудоотложения - гетерогенизация H₂O-CO₂ раствора и связывание CO₂ в карбонатах березитов-лиственитов. Углеводороды и битумоиды, которые мигрировали в кварцевые жилы и метасоматиты, - геохимические барьеры для золота, в местах их скоплений возникли рудные столбы.

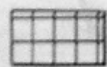
Обобщённая схема строения зон

березитизированных – лиственитизированных пород

Вертикальный разрез



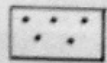
Жильный кварц



Область преимущественного привноса кремнезема (количество SiO_2 в приальбандовых породах выше, чем в исходных).

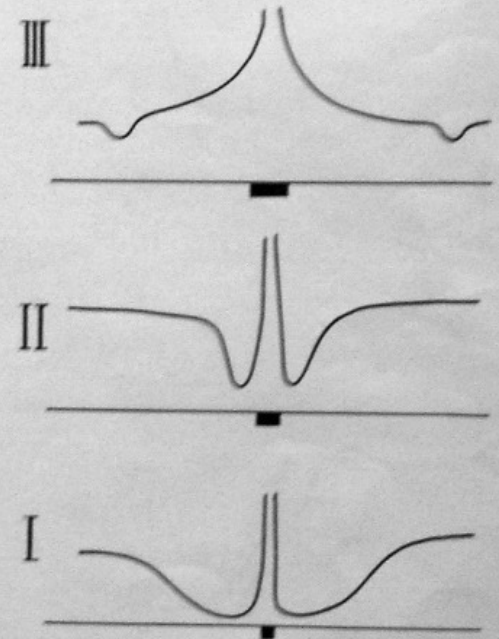


Промежуточная область (количество SiO_2 , вынесенного из околожильного ореола, примерно равно количеству SiO_2 , отложенному в кварцевой жиле).



Область преимущественного выноса кремнезема (количество SiO_2 , вынесенного из околожильного ореола, превышает количество SiO_2 , отложенного в кварцевой жиле).

ТИПИЧНЫЕ КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ SiO_2 В ОКОЛОЖИЛЬНЫХ ОРЕОЛАХ



Плутоногенные месторождения березит – лиственитовой золото – кварцевой формации

Минеральный состав руд обусловлен:

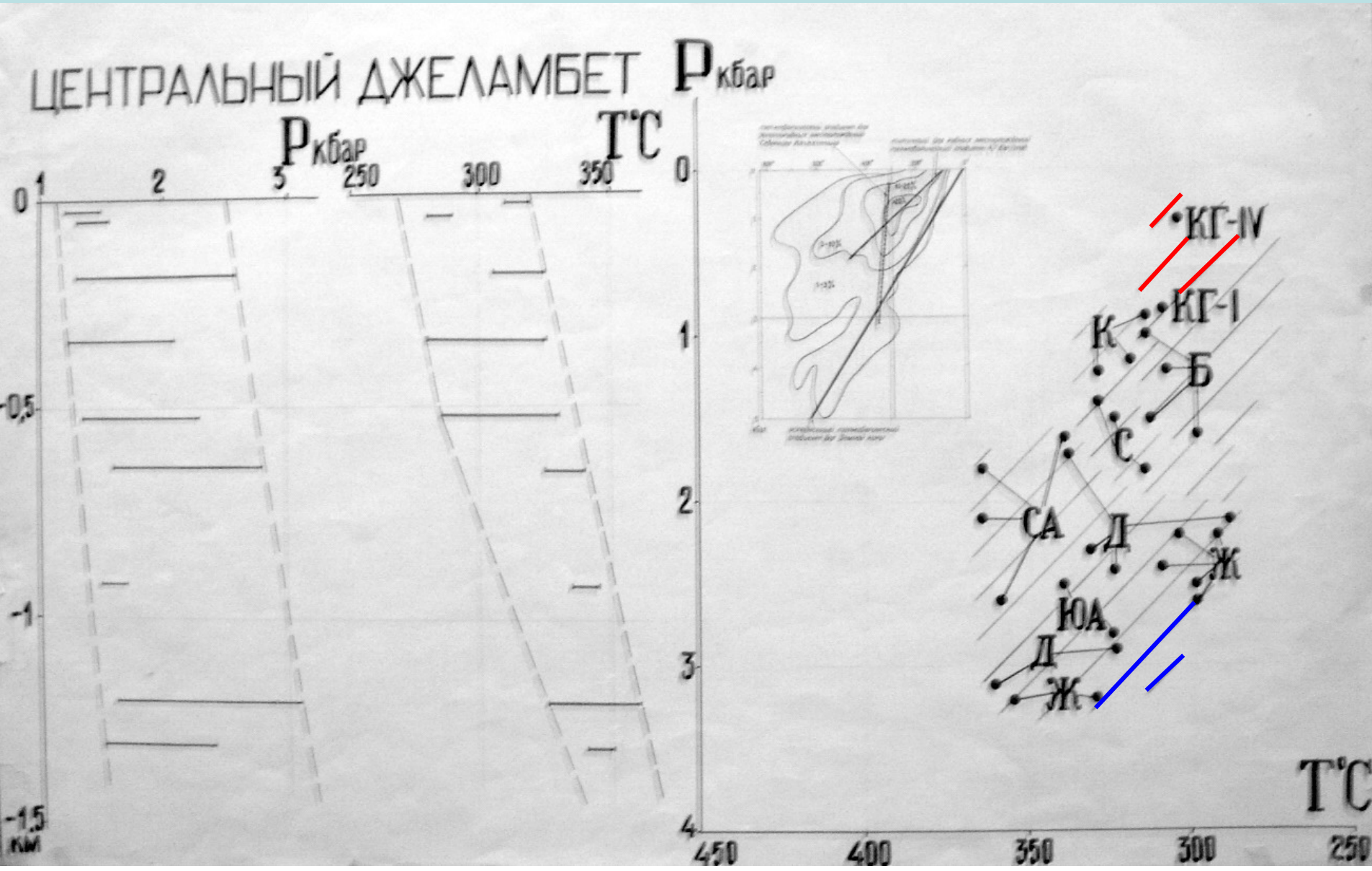
1. Фациями состава рудовмещающей среды (галенит в кремнекислой среде; пирротин и халькопирит в среде базитового состава; герсдорфит и полидимит среди ультрабазитов; обилие сульфидов и особо арсенопирита среди черносланцевых пород; дефицит сульфидов или их отсутствие в рудах среди крупных тел магматических пород..).
2. Фациями глубинности формирования месторождений (обилие минералов Sb только в гипабиссальных, минералов Te только в абиссальных...).
3. Типом рудоносных гранитоидов (Sb специализация тоналит-гранодиоритовых, Bi – специализация монцонитовых интрузивных комплексов).

Месторождения возникли в относительно упорядоченных условиях закрытой системы, чем обусловлены устойчивый состав руд и рудных минералов по вертикали конкретных месторождений и дифференциация рудного вещества по уровням глубинности формирования месторождений : с ростом глубинности в рудах уменьшается количество Sb, Hg, Tl, увеличивается Te, W, Au/Ag, Te/Se (от 1-2 до 100-3000), Au/Hg (от 1 до 200-8500).

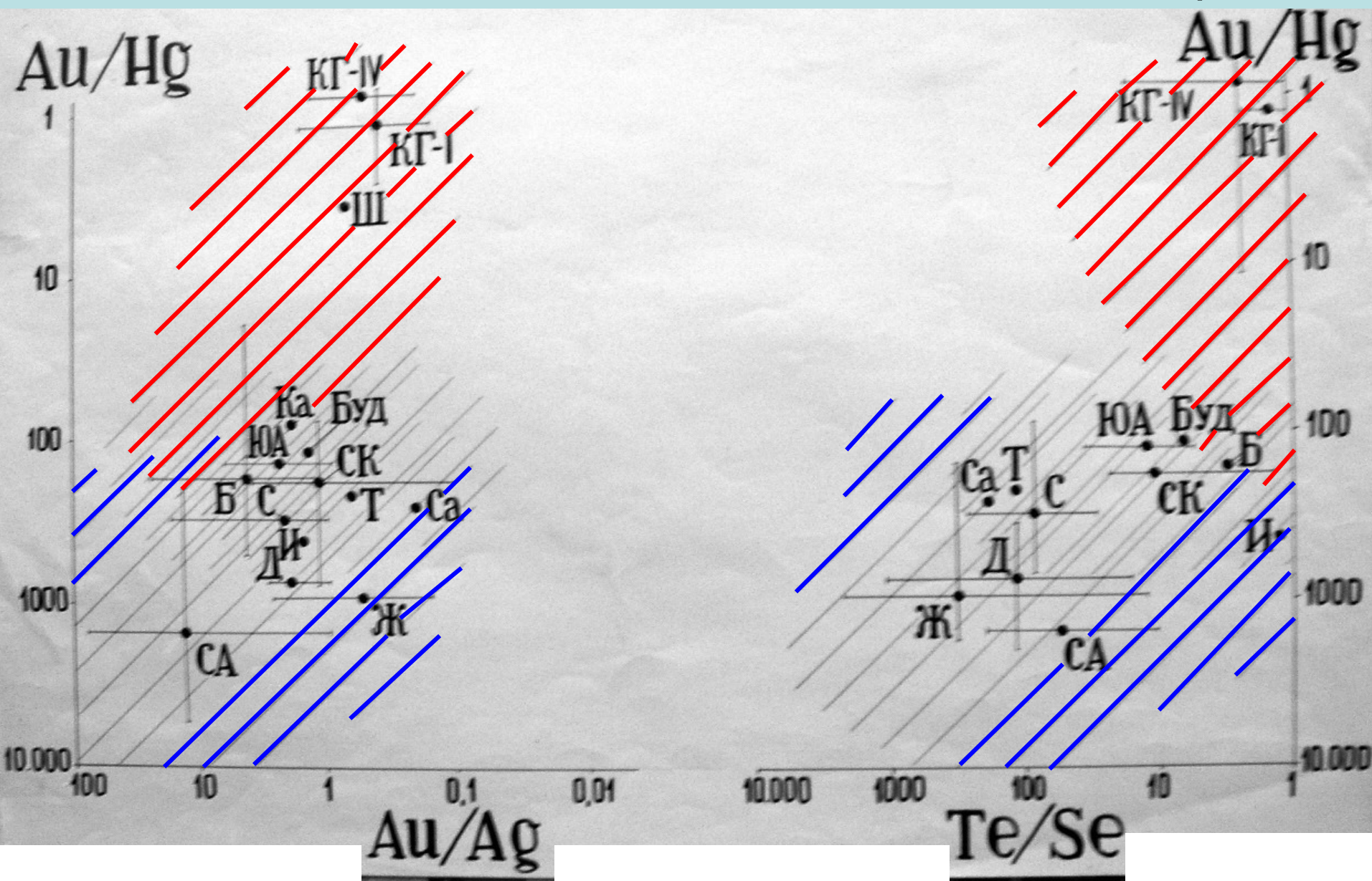
Фациям глубинности интрузивов соответствуют фации глубинности и минеральные типы Au месторождений по составу продуктивной ассоциации : гипабиссальной (P 0.3-1 кбар) - золото-серебросульфосольно-антимонитовый и золото-галенит-сульфоантимонидовый с ртутистым золотом и рощинитом; мезоабиссальной (P 1-1.8 кбар) - золото-галенит-сульфоантимонидовый и золото-галенитовый с теллуридами, абиссальной (P 2-3.6 кбар) - золото-галенит-теллуридный и золото-теллуридный.

Руды месторождений, сопряжённых с интрузивами Na серии, бедны Bi (n г/т); сопряжённых с интрузивами K-Na серии, богаты Bi (до n1000 г/т).

ПАРАМЕТРЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ КАЛЕДОНСКОЙ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ АУ ПРОВИНЦИИ

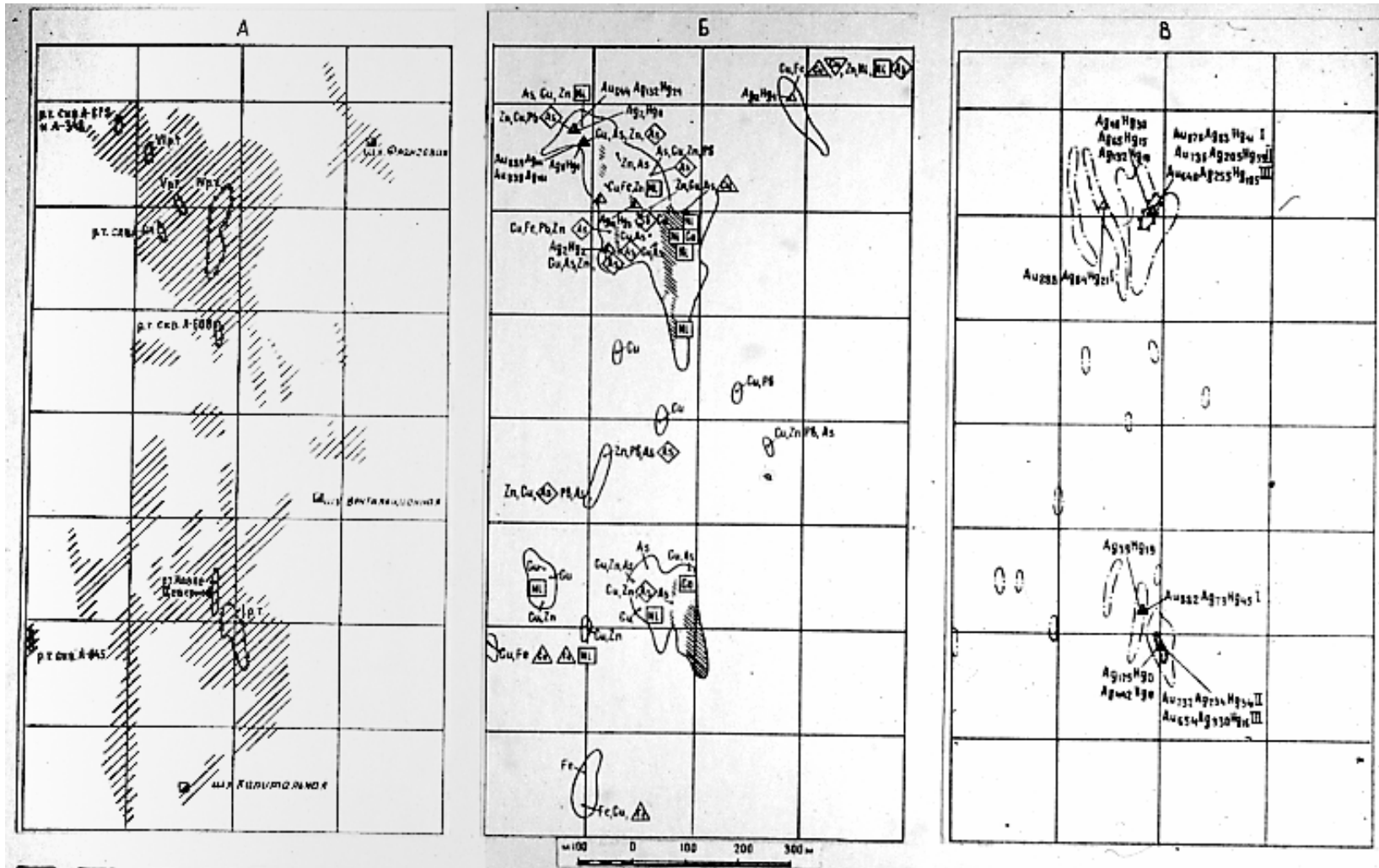


ЗОЛОТЫЕ РУДЫ КАЛЕДОНСКОЙ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ AU ПРОВИНЦИИ



Штокверковое плутоногенное золото-антимонитовое месторождение Кварцитовые Горки, Северный Казахстан

Карты минеральных ассоциаций

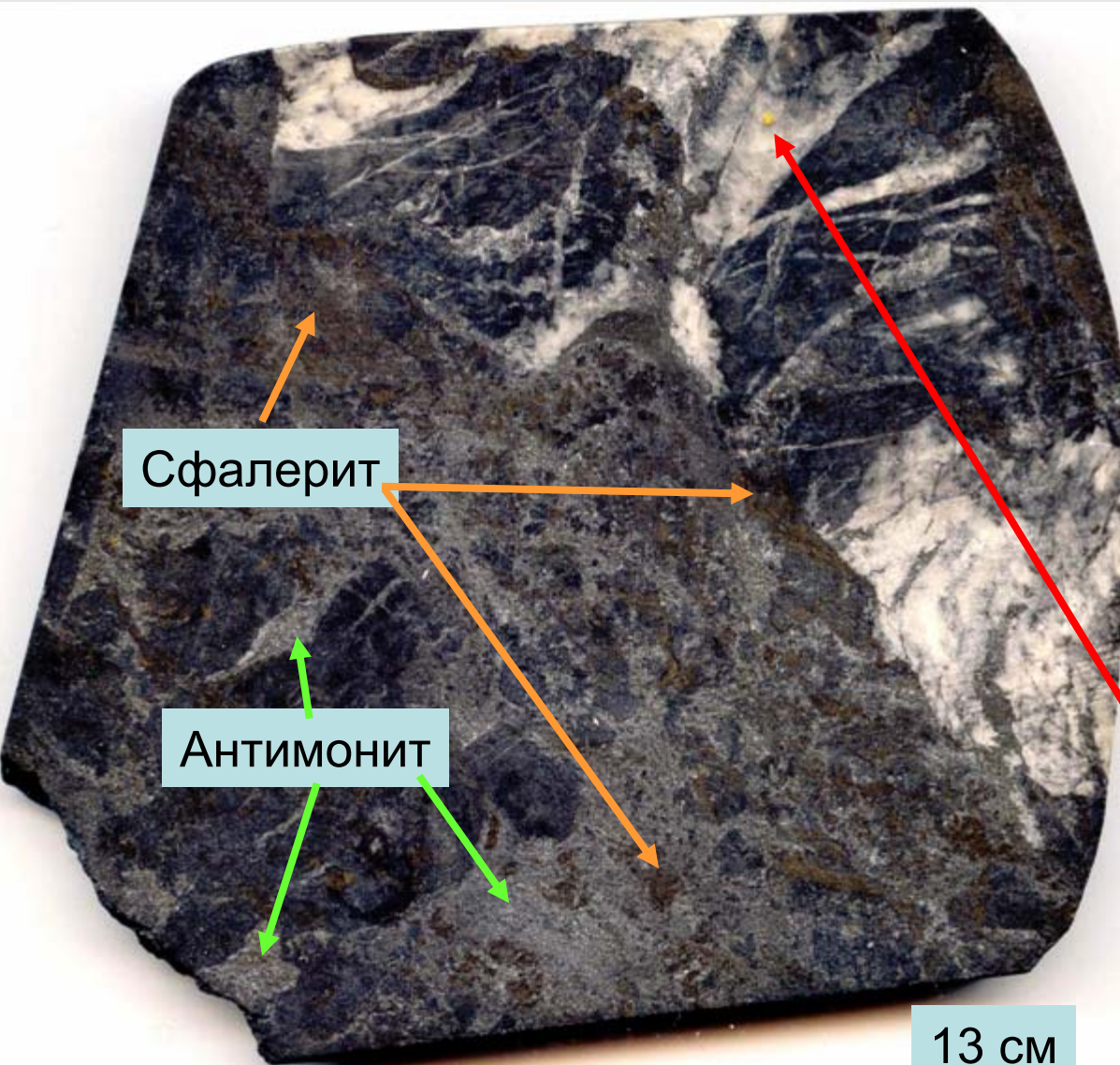


А- минеральные ассоциации березитов-лиственитов.

Б- карбонат-полисульфидные минеральные ассоциации.

В- продуктивная минеральная ассоциация.

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации



Основные осадители = восстановители золота из гидротерм - углеводороды и графитоид. Т отложения золота обычно 170-190⁰ С.

Золото-антимонитовое месторождение Кварцитовые Горки.

Антимонит в кальците чёрного цвета (с обилием органики) и в кальците белого цвета. Самородное золото в кальците белого цвета (органика «выгорела» при осаждении золота).

13 см

Позиция гнёзд крупного самородного золота на глубоких горизонтах Берёзовского месторождения

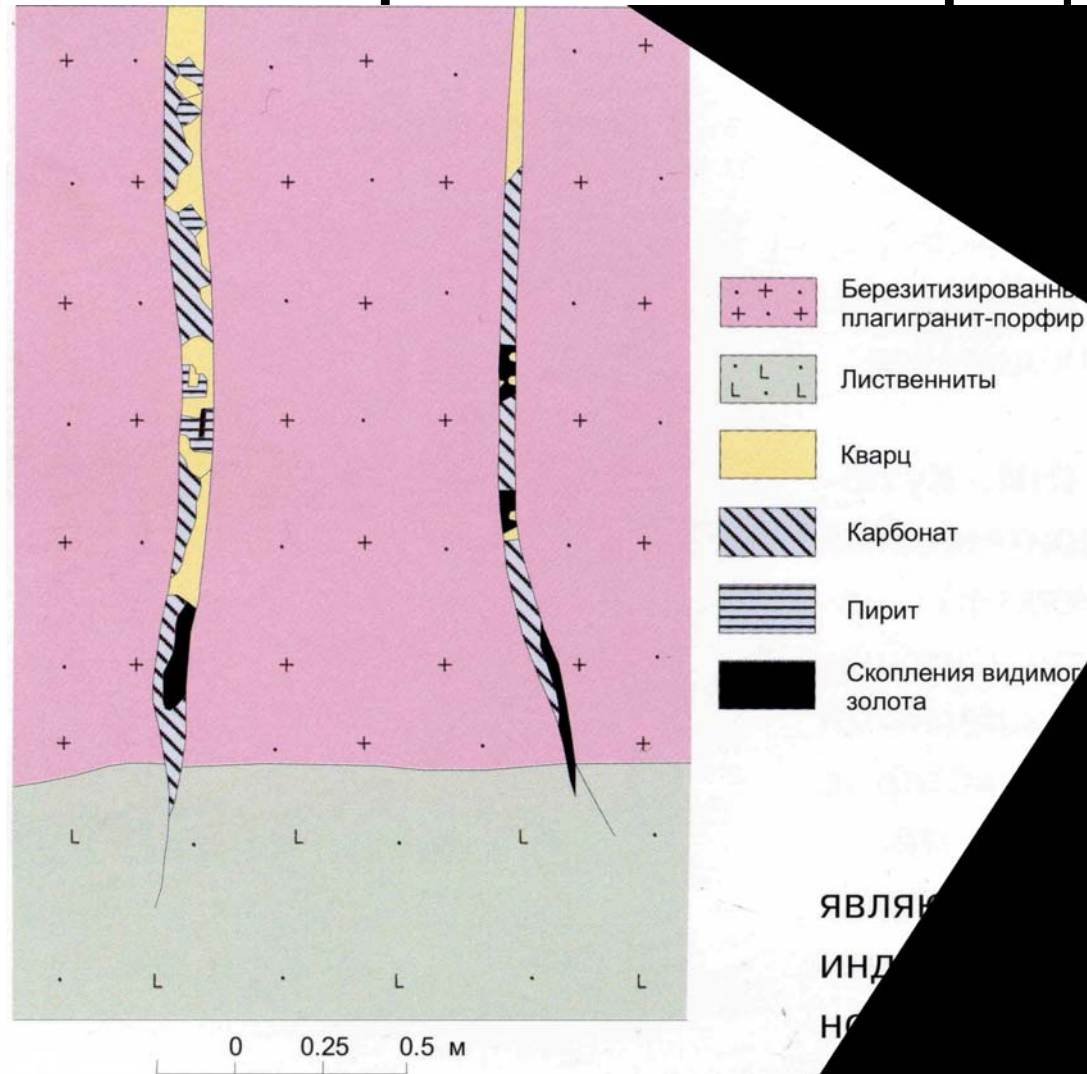


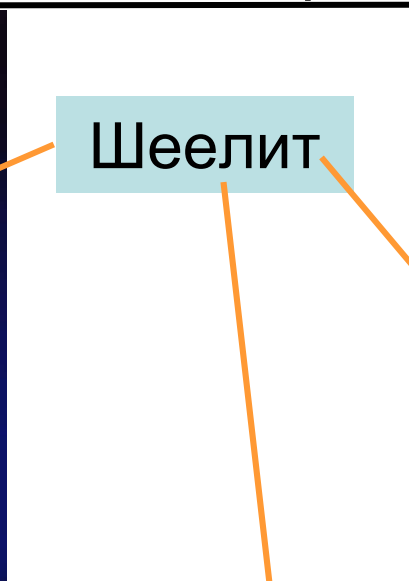
Схема расположения кварц-сульфидных жил с большим скоплением самородного золота, вскрытым в 1982 г. шахтой «Северная»

Шеелит ранней шеелит-кварцевой минеральной ассоциации плутоногенной березит-лиственитовой формации окрашен в красно-оранжевый цвет примесью ~ 0.5 % средних битумов



Берёзовское,
Средний Урал

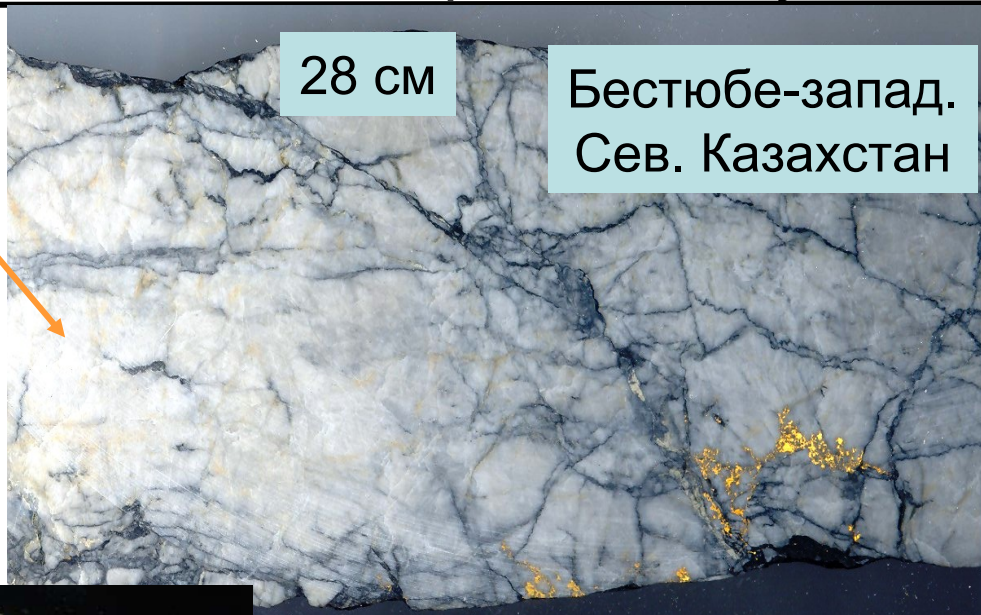
7 см



Шеелит

28 см

Бестюбе-запад,
Сев. Казахстан



13 см



Материнская
жила,
Калифорния

Окраска шеелита – индикатор золотоносности. Она выгорает при отложении золота

Состав шеелита – признак принадлежности Б-Л формации (<500 г/т Мо; обилие Eu); индикатор глубинности месторождений:

гипабис.	Sr/Mo	> 1000
мезоабисс.	Sr/Mo	20 - 40
абиссальные	Sr/Mo	< 10

CO₂ – один из главных компонентов золотоносных гидротерм

Карбонаты метасоматитов и рудных жил

Плутоногенная
березит - листовенитовая
золото-кварцевая формация

Гипабиссальная фация –
сидерит, ферродоломит, доломит

Мезоабиссальная фация –
доломит, кальцит

Абиссальная фация - кальцит

Общие особенности –
низко марганцовистые: менее 10%
минала CaMn(CO₃)₂ в доломите и
ферродоломите, менее 10% минала
Mn(CO₃) в сидерите и кальците

Вулканогенные и телетермальные
золоторудные формации от
колчеданных до убогосульфидных

Кальцит, сидерит, родохрозит Mn(CO₃)
с широкими вариациями состава, иногда
со значительной примесью
минала Zn(CO₃)

Доломит, ферродоломит,
кутнагорит CaMn(CO₃)₂
с широкими вариациями состава,
иногда с заметной примесью
минала CaZn(CO₃)₂

Карбонаты плутоногенных месторождений березит – лиственитовой – золото-кварцевой формации

Месторождения гипабиссальной фации

Березиты-листвениты

Сидерит, ферродоломит, доломит

Карбонат-кварцевые жилы

Ферродоломит, доломит

Прямая вертикальная зональность –
рост железистости
по восстанию рудных тел.

Причина - низкая a_{H_2S}

Обратная вертикальная
зональность –
снижение железистости
по восстанию рудных тел.
Причина - высокая a_{H_2S}

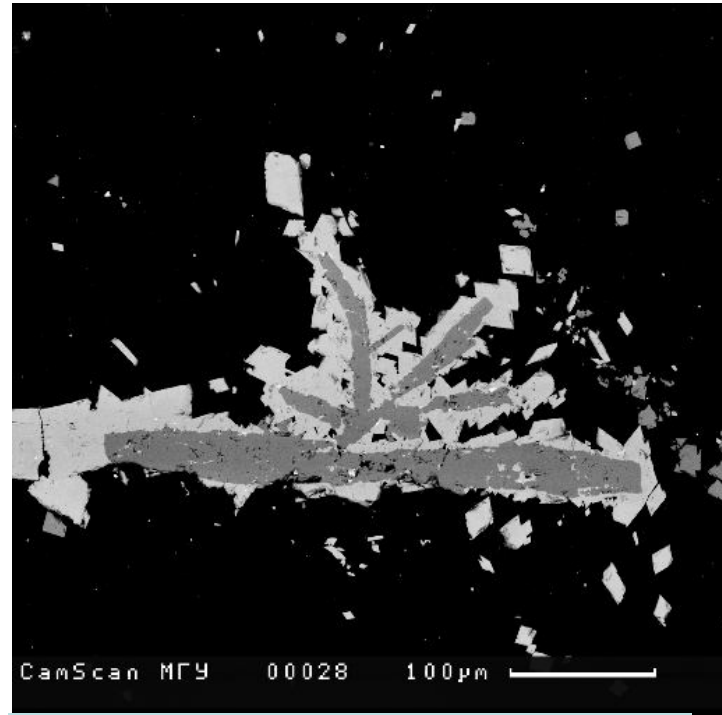
Марганцовистость и тех, и других возрастает по восстанию рудных тел,
оставаясь в целом невысокой

Гипабиссальная фация.

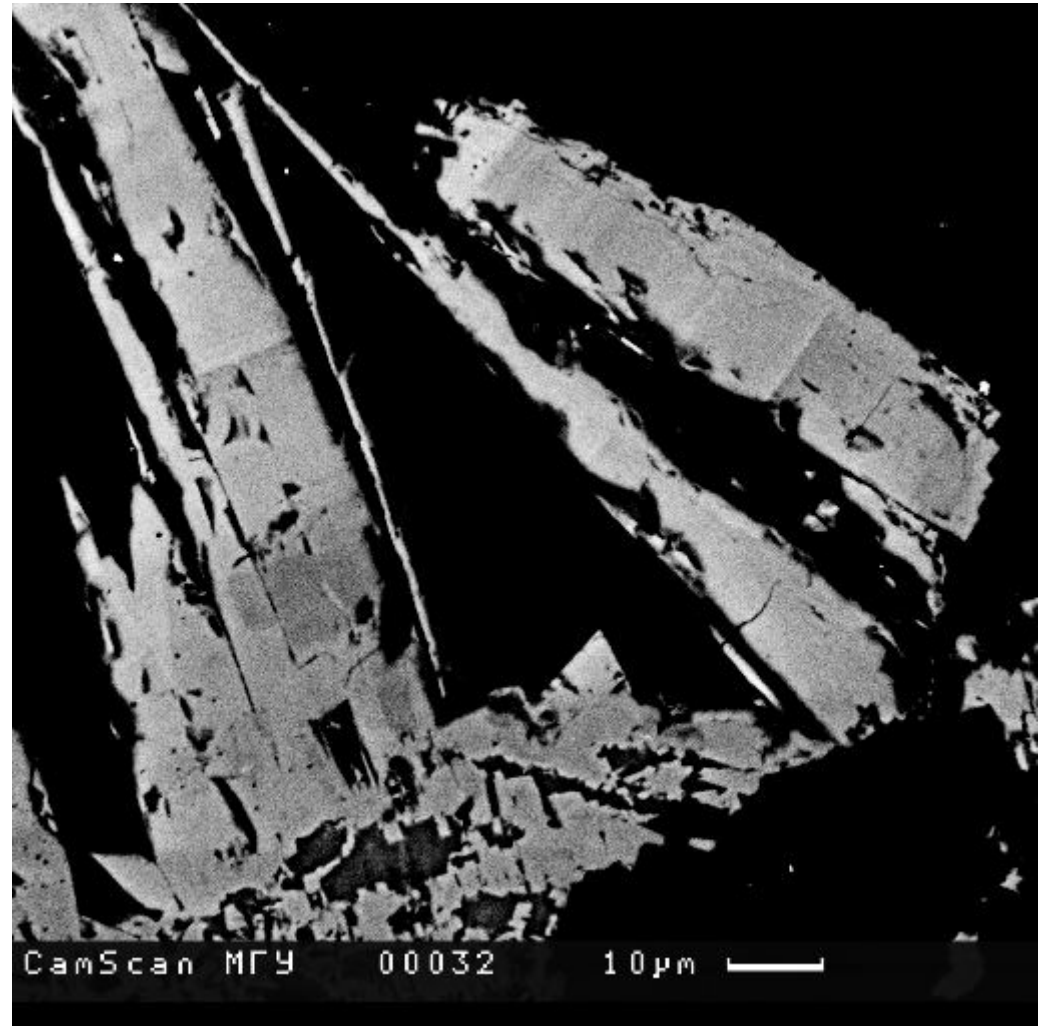
Кварцитовые Горки-IV

BSE
image

Ассоциация ранних сульфидов – пирит + арсенопирит



Листвениты с
пластинами
Sb-As-пирита
(псевдом. по пирротину)
с оторочками
S-арсенопирита



Арсенопирит с обратной зональностью

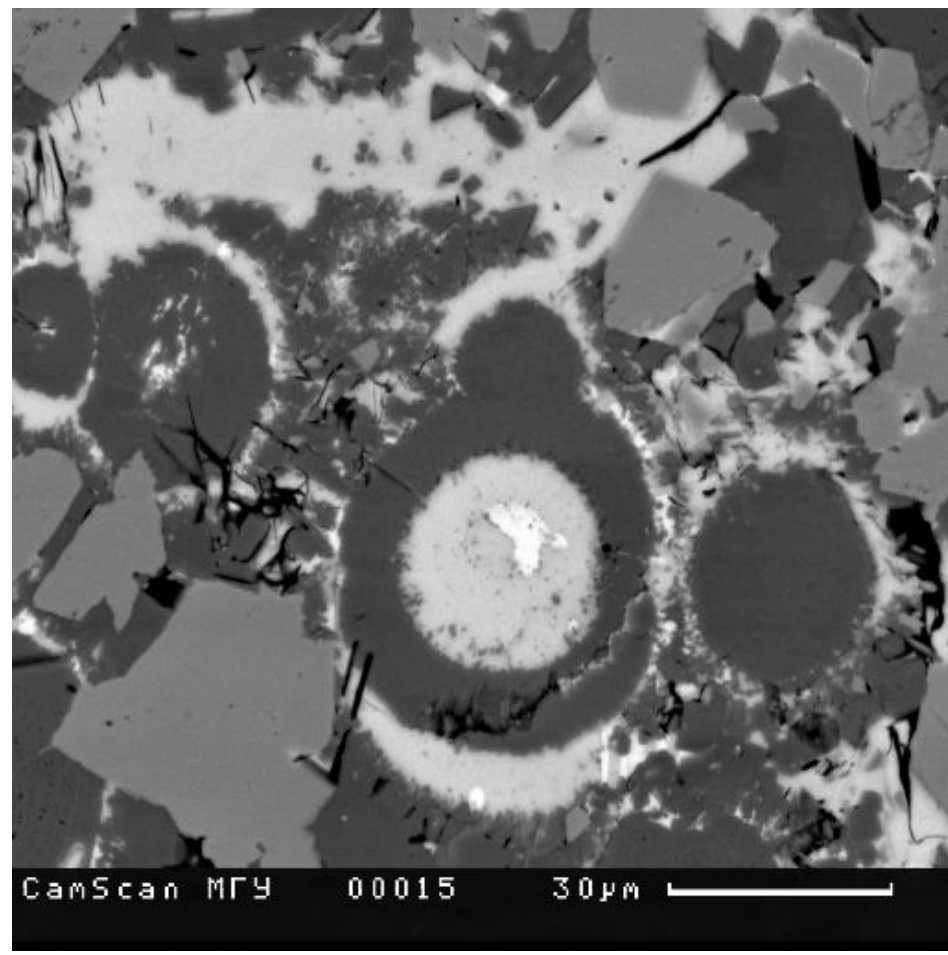
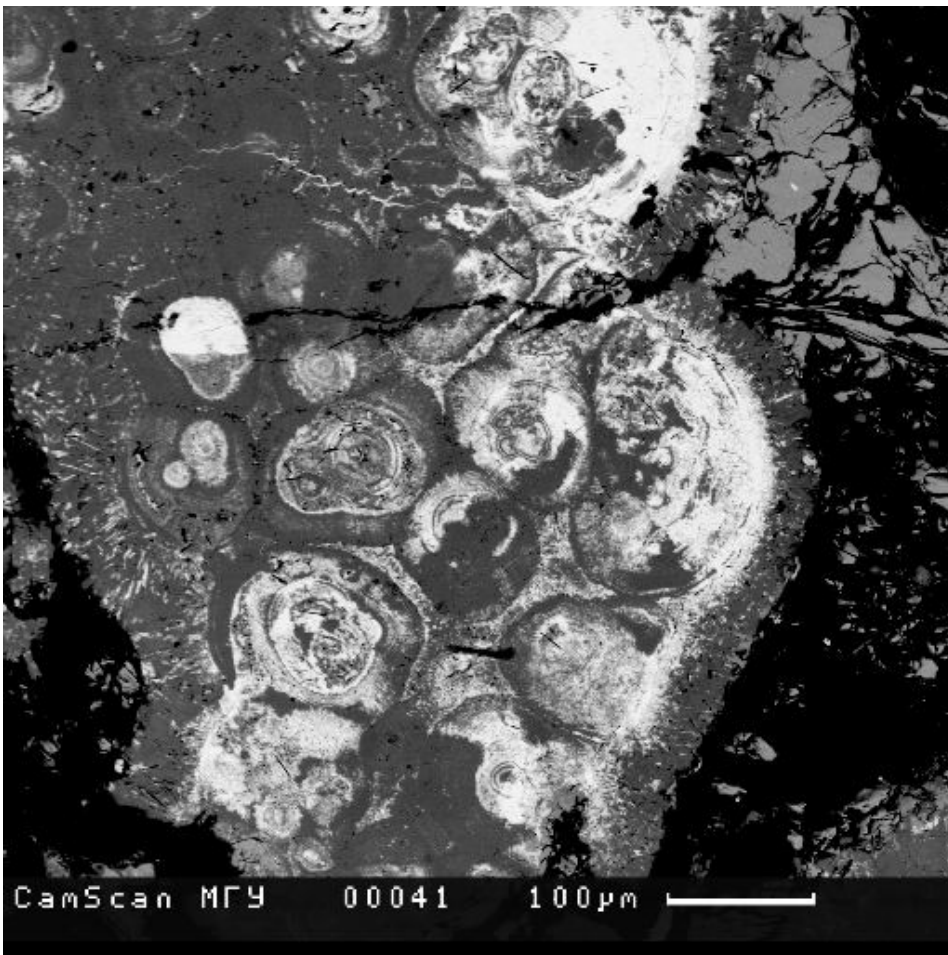
С. Каз.	ФАЦИИ ГЛУБИННОСТИ	МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ ПРОДУКТИВНОЙ АССОЦИАЦИИ	МЕСТОРОЖДЕНИЯ
<p>ГИПАБИССАЛЬНАЯ</p> <p>< 2 км</p> <p>< 3 км</p> <p>~2-3 км</p>		<i>золото-антимонит-серебросульфосольная</i>	Кварцитовые Горки КГ-IV
		<i>золото-галенит-серебросульфосольная</i>	КГ-1
		<i>золото-галенит-сульфоантимонидовая</i>	Бестюбе Б
<p>МЕЗОАБИССАЛЬНАЯ</p> <p>~3-7 км</p>		<i>золото-галенит-сульфоантимонидовая с теллуридами</i>	Буденновское Караул-Тюбе Степняк Восточ. Джеламбет Ичкеульмес Буд К С ВД И
<p>АБИССАЛЬНАЯ</p> <p>~7->10 км</p>		<p><i>золото-галенит-теллуридная</i></p> <p>(золото-теллуридная)</p>	Тускуль Жана-Тюбе Северное Джеламбет Сазы Северное Южное Аксу Т Ж СК ДЮД Са СА ЮА

Гипабиссальная фация.

Кварцитовые Горки-IV

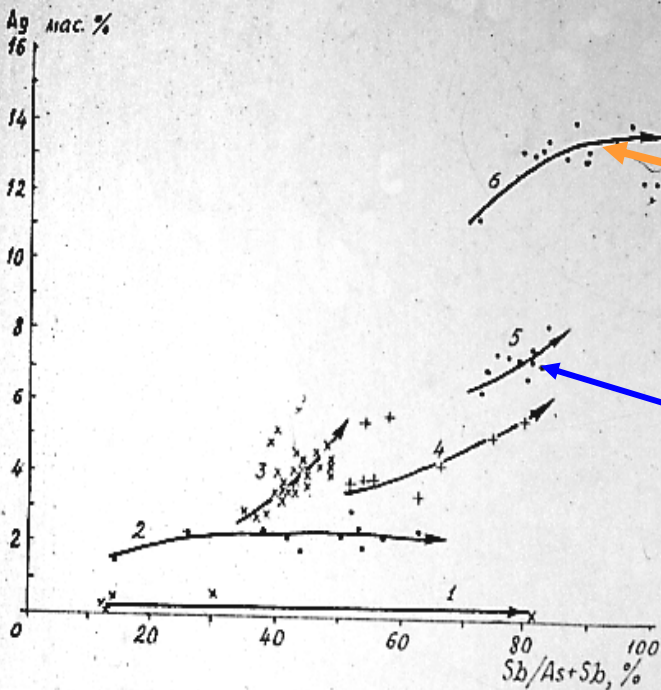
BSE
image

Ассоциация поздних сульфидов – Sb-As-пирит + арсенопирит



Сферолиты Sb-As-пирита и кристаллы S-арсенопирита, более поздние сфалерит и антимонит, менее джемсонит+цинкенил+халькостибит...

Блѣклые руды гипабиссального плутоногенного месторождения Кварцитовые Горки-IV



Эволюция состава блѣклых
руд от первого до шестого
зарождения в координатах:
сурьмянистость –
содержание серебра

Ag-тетраэдрит
+ роцинит
 $Ag_{19}Pb_{10}Sb_{51}S_{96}$

Hg-тетраэдрит + Hg-золото
+ антимонит + джемсонит

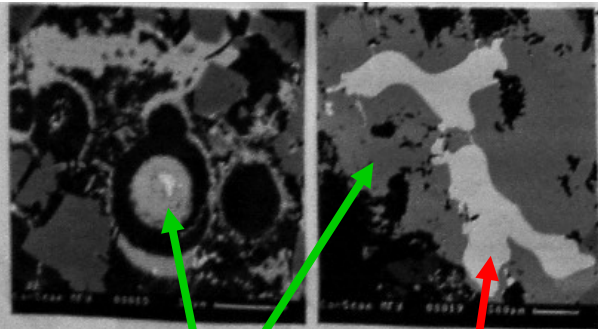
ЛИСТВЕ-
НИТЫ

березиты

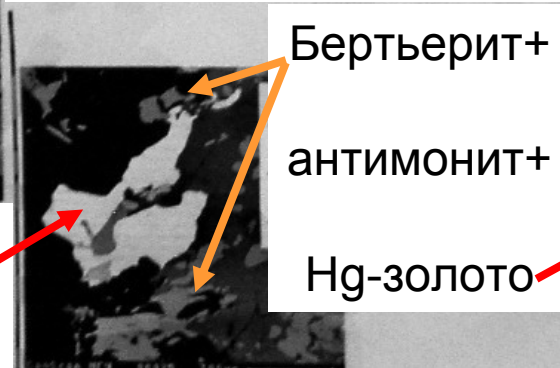
**Продуктивная минеральная ассоциация
гипабиссальных плутоногенных месторождений
березит-лиственитовой формации – результат воздействия Au-Sb
растворов на более ранние минеральные образования.
Кварцитовые Горки. Северный Казахстан**

Реакционно-способные ранние минералы	-	Пирротин FeS	Борнит Cu₅FeS₄	Халькопирит CuFeS₂ + арсено- пирит FeAsS	Галенит PbS
Минералы – продукты реакций	Антимонит Sb₂S₃	Бертьерит FeSb₂S₄	Халькостибит CuSbS₂	Блёклые руды – As-тетраэдрит Cu₁₀(Fe,Zn,Hg)₂ (Sb,As)₄S₁₃	Цинкениит Pb₉ Sb₂₂ S₄₂

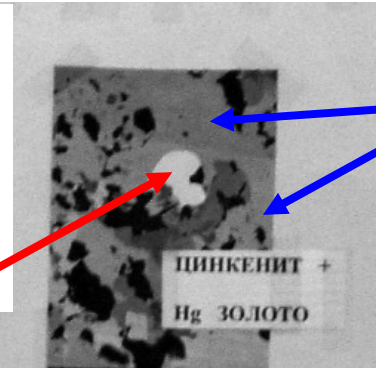
+ самородное ртутистое золото +
сульфосоли Ag-Pb-Sb



**Антимонит +
ртутистое золото**



**Бертьерит+
антимонит+
Hg-золото**



**Цинкениит
+
ртутистое
золото**

Фотографии в отражённом свете

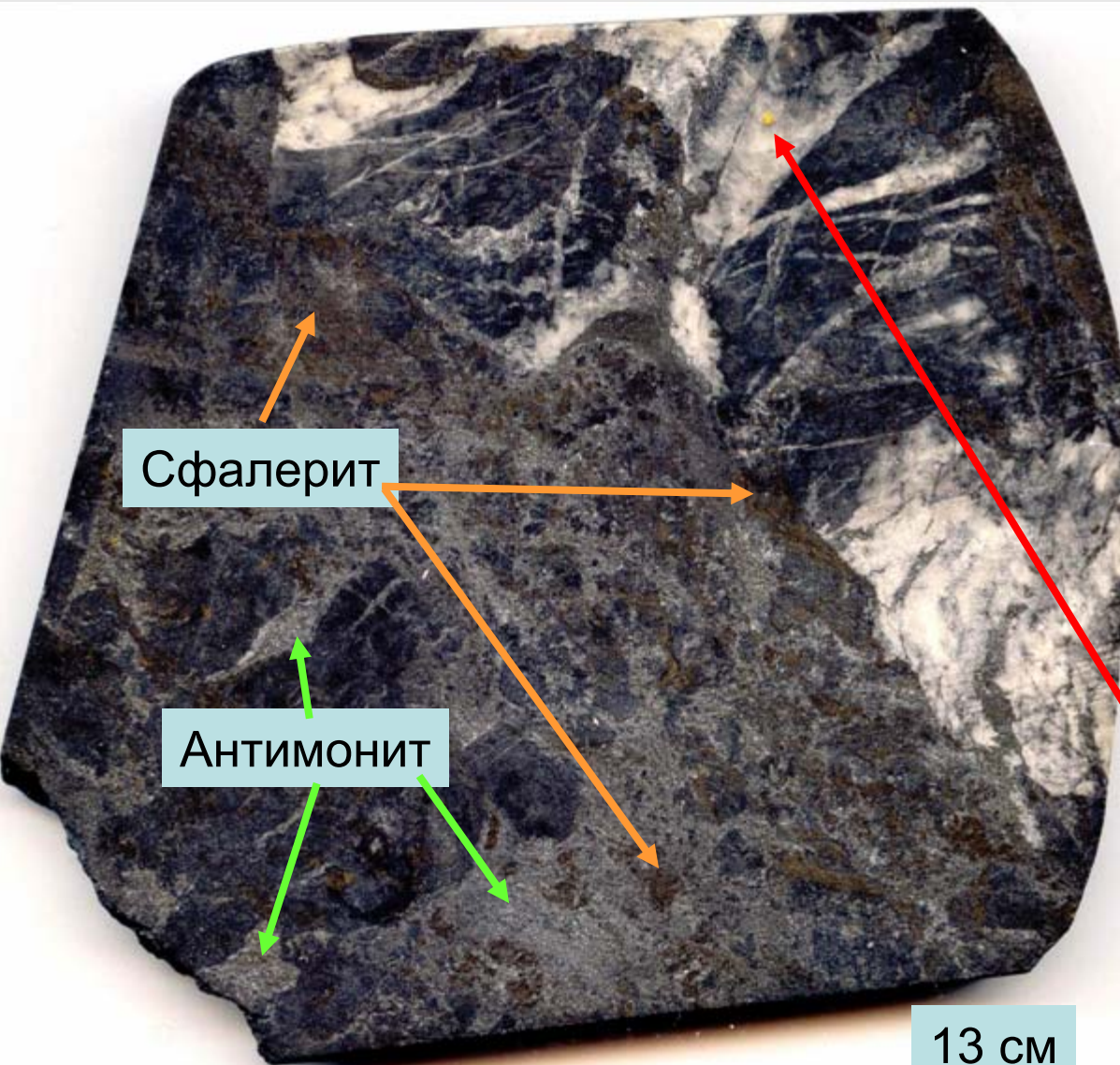
Эволюция сульфидов и самородного золота карбонат-полисульфидной и продуктивной минеральных ассоциаций месторождения Бестюбе, Северный Казахстан в различных рудовмещающих средах

Основные: Граувакки, степнякиты...	Кремнекислые: аркозы, плагнограниты...	Средние: полимикты, кварцевые диориты...
<u>Халькопирит</u>	<u>Галенит</u>	<u>Халькопирит + Галенит - I</u>
Теннантит-тетраэдрит-I	<u>Буланжерит + Галенит</u>	<u>Бурнонит + Теннантит-тетраэдрит-I</u>
<u>Тетраэдрит - II</u>	Буланжерит + Семсейит + Джемсонит	<u>Тетраэдрит-II + Галенит-II</u> ± Буланжерит ± Джемсонит
Тетраэдрит - III	Джемсонит + Цинкениит	Тетраэдрит-III + Джемсонит

Высокопробное золото - I

Ag - тетраэдрит (Фрейбергит) - IV + низкопробное золото - II

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации



Основные осадители = восстановители золота из гидротерм - углеводороды и графитоид. Т отложения золота обычно 170-190⁰ С.

Золото-антимонитовое месторождение Кварцитовые Горки.

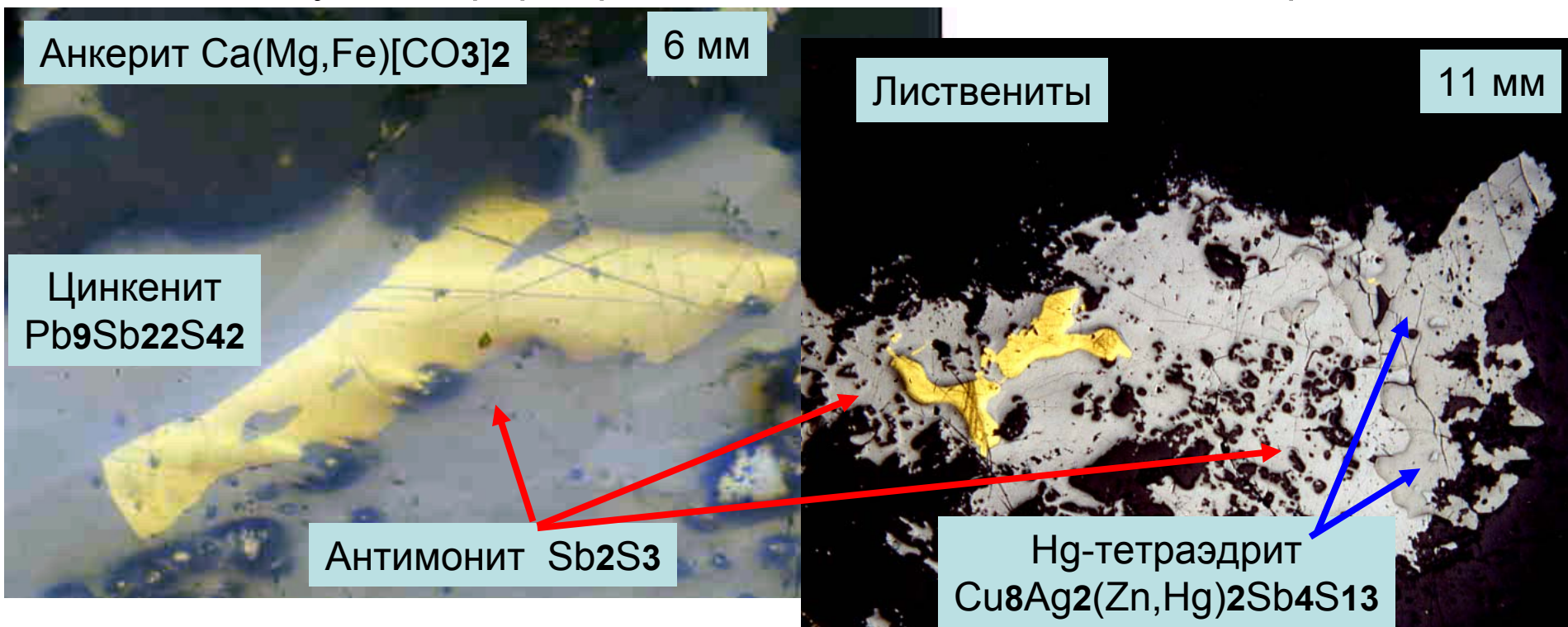
Антимонит в кальците чёрного цвета (с обилием органики) и в кальците белого цвета. Самородное золото в кальците белого цвета (органика «выгорела» при осаждении золота).

13 см

Минералы системы Au – Ag – Hg - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

α -амальгама золота = ртутистое золото (5-15 масс. % Hg)

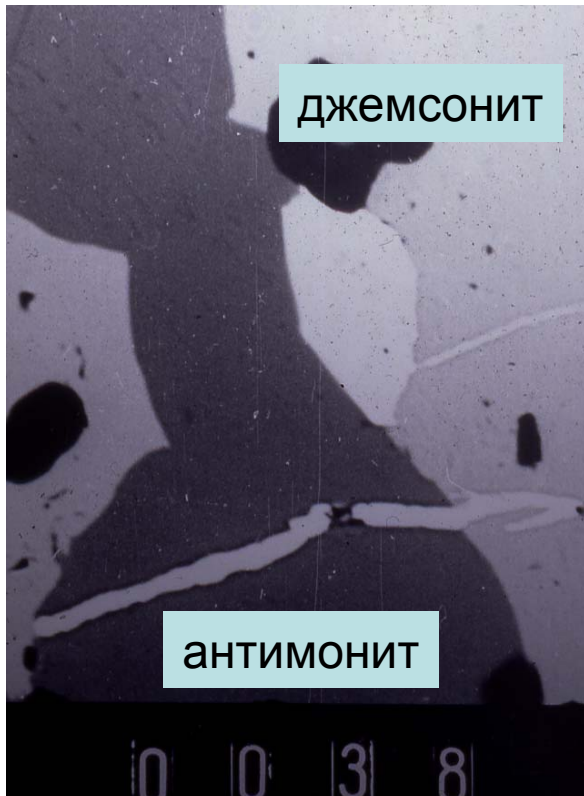
Ультрагипабиссальное месторождение Кварцитовые Горки, Казахстан
глубина формирования 1-1.5 км, $P = 0.3-0.5$ кбар



Ртутистое золото макро- и микроскопически не
отличимо от обычного самородного золота.
Фотографии в отражённом свете

α -амальгама золота в гидротермальных месторождениях золота любых типов возникает при обилии ртути и **низкой f S2**

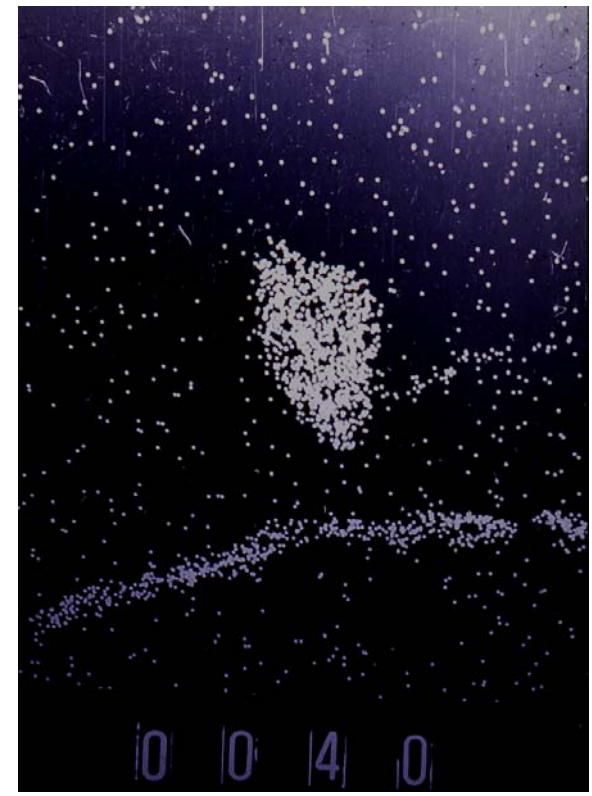
Плутоногенное гипабиссальное месторождение Кварцитовые Горки, Сев. Казахстан



Метакристалл и прожилки ртутистого золота. В отражённых электронах



В характеристическом рентгеновском излучении золота



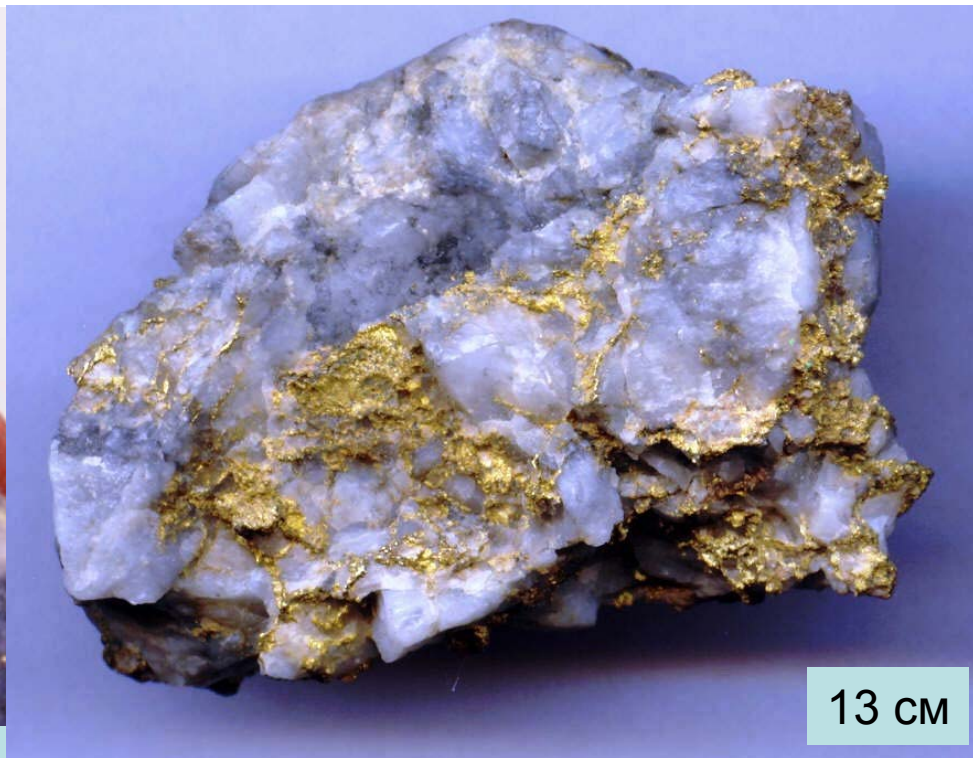
ртути

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

Ag-золото гипабиссальных месторождений
(глубина формирования 1-3 км, $P = 0.3-1$ кбар)



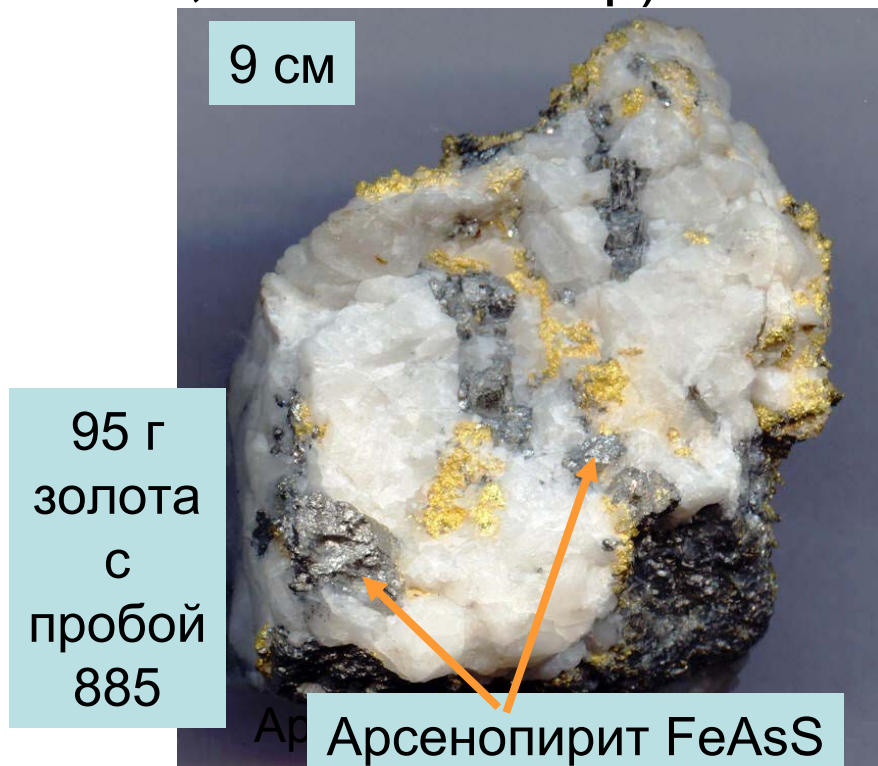
Золото пробы 830-845 в молочно-белом кварце со сфалеритом, тетраэдритом, цинкенимом, джемсонитом.
Акбакай. Центральный Казахстан



Золото пробностью 870-890
Бестюбе
Северный Казахстан

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

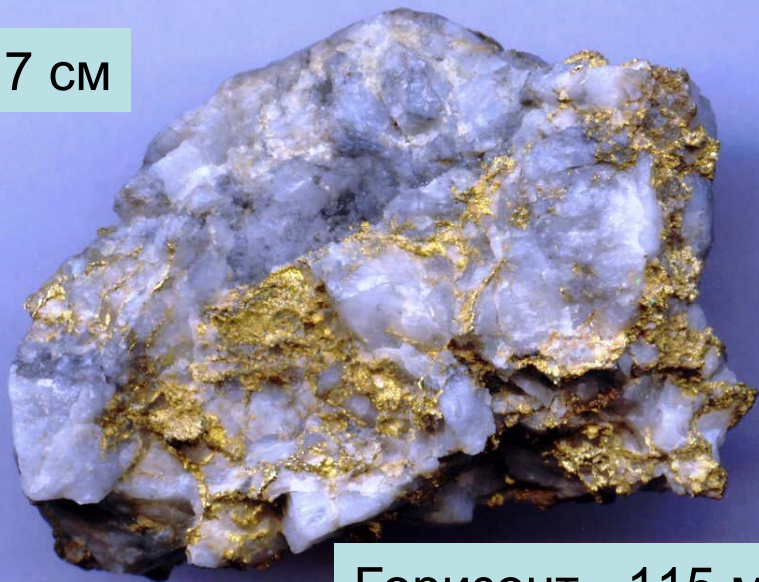
Золото гипабиссального месторождения Бестюбе (глубина формирования 2-3 км, P = 0.8-1 кбар)



На поверхности м-ния Бестюбе один из участков назывался «Мын-Шункур», то есть тысяча ям. По моим подсчётам из этих ям было добыто около 20 т золота – это один из возможных источников знаменитого

Золото гипабиссального месторождения Бестюбе (глубина формирования 2-3 км, $P = 0.8-1$ кбар)

7 см



Горизонт - 115 м

6 см



Горизонт - 385 м

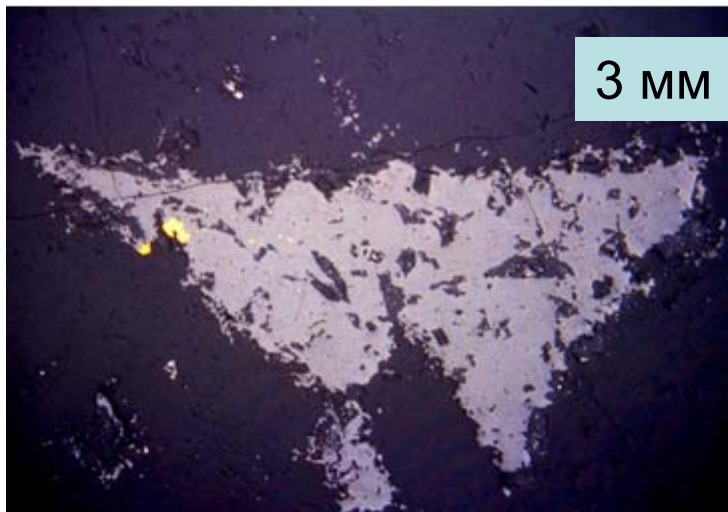
Горизонт - 610 м



Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации



110 мм



3 мм

Месторождение
Бестюбе

90 мм



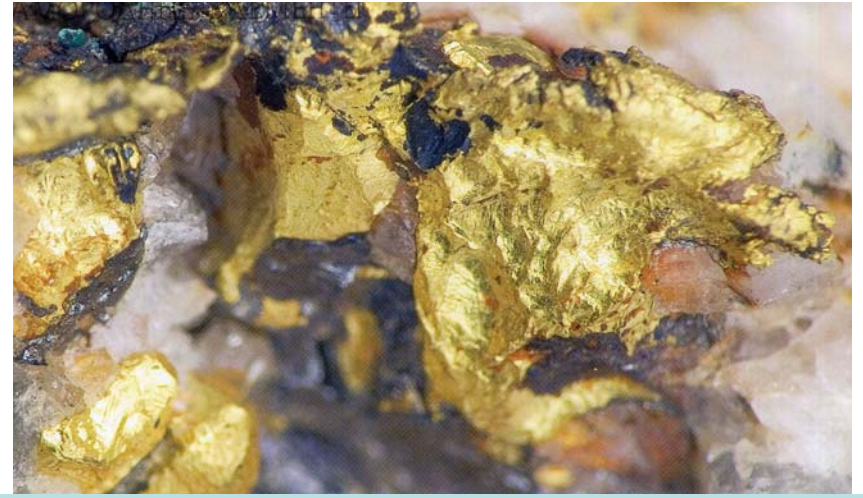
Слабо зональные тетраэдрит и золото с арсенопиритом и сфалеритом в анкерит-кварцевых жилах

Золото Берёзовского месторождения, Средний Урал



9 см

Прожилки в галените

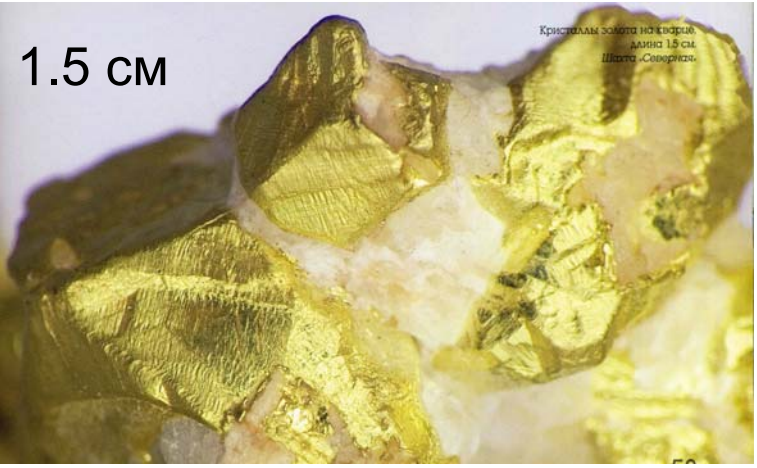


Пластины на теннантите и галените



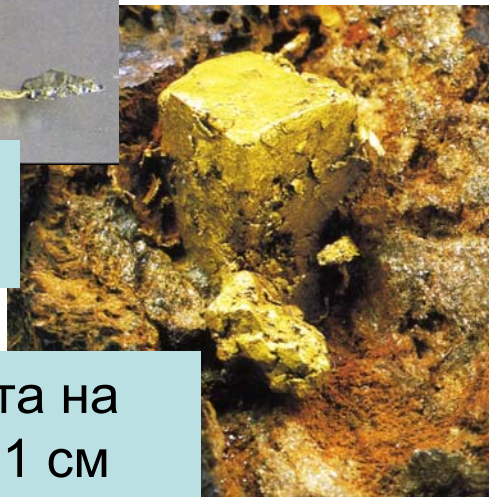
4.5 см

Специфичные формы с пиритом и теннантитом



1.5 см

Кристаллы золота из кварца
длиной 1.5 см
Шахта Северное



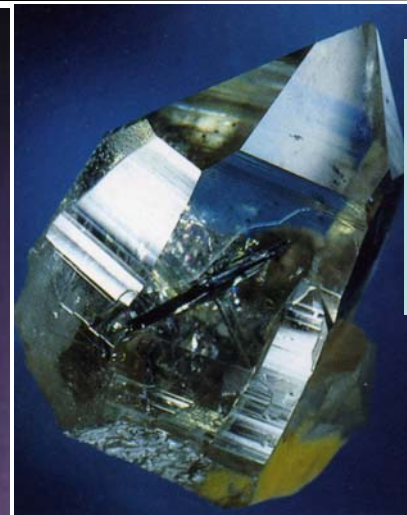
Плѐнка золота на кубе пирита 1 см

Ассоциации самородного золота гип-мезоабиссального Берёзовского золото-кварцевого месторождения, Средний Урал

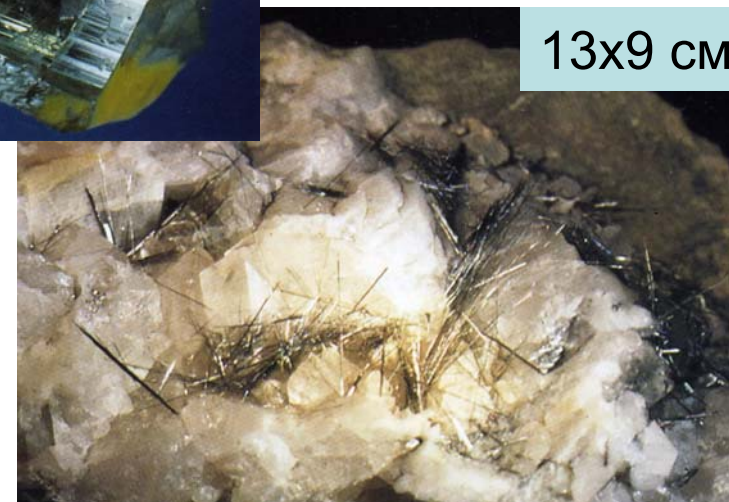


65 мм

Срастание золота с пробностью 890-915 и теннантита $\text{Cu}_{10}\text{Fe}_2\text{As}_4\text{S}_{13}$



Иглы айкинита CuPbBiS_3
до 15 мм в
горном хрустале



13x9 см

Игольчатый козалит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$
в кварце лестничных жил среди
березитов по дайковым
гранитоид-порфирам

**СВ России
Колыма**

Джемсонит $\text{FePb}_4\text{Sb}_6\text{S}_{14}$
и серебристое золото.

3
мм

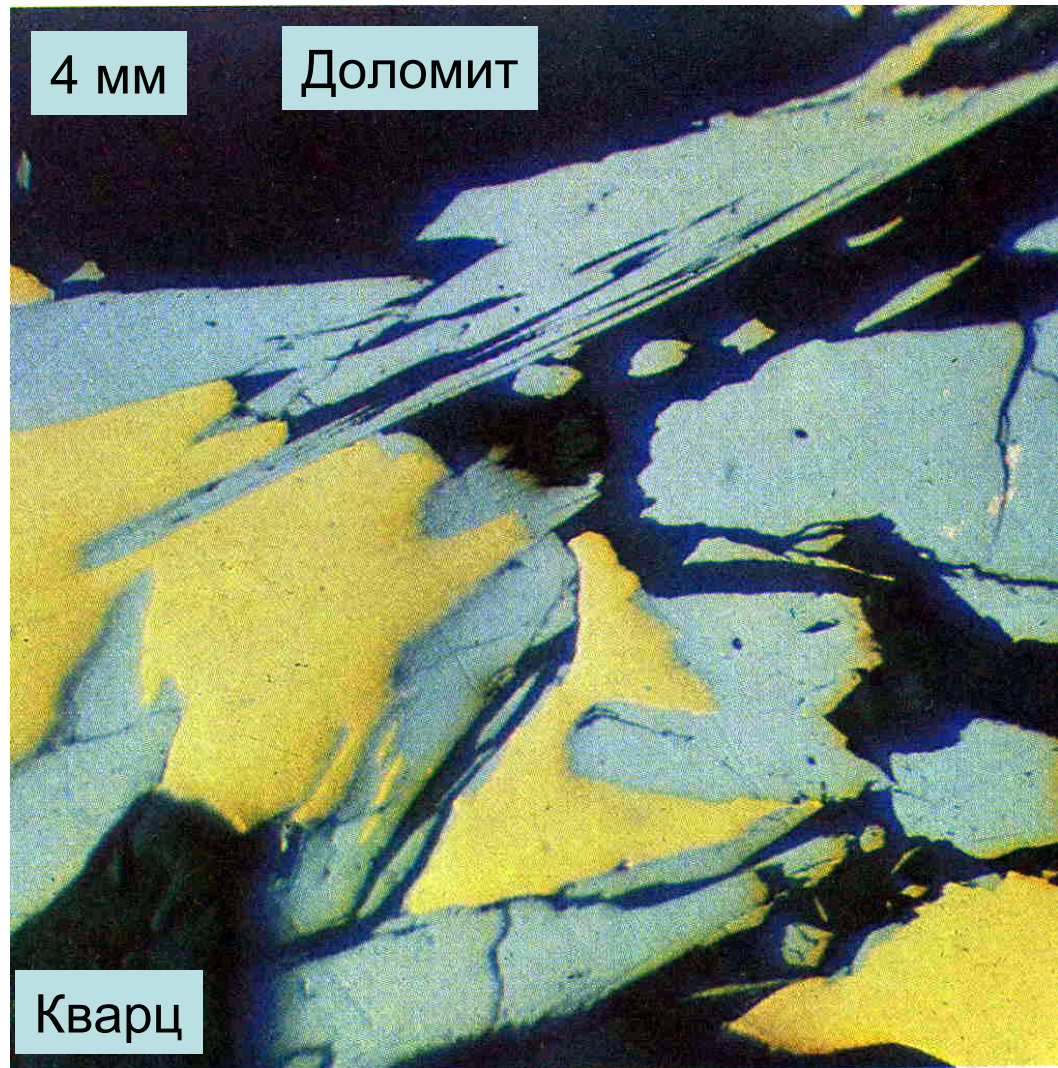
Кварц



Иглы джемсонита в кварце

4 мм

Доломит



Кварц

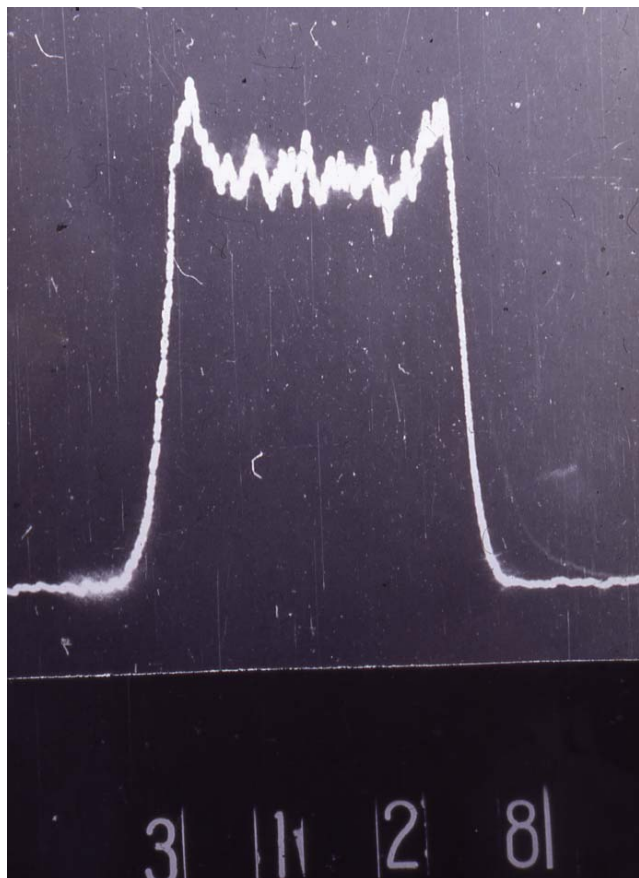
Срастание золота и буланжерита $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

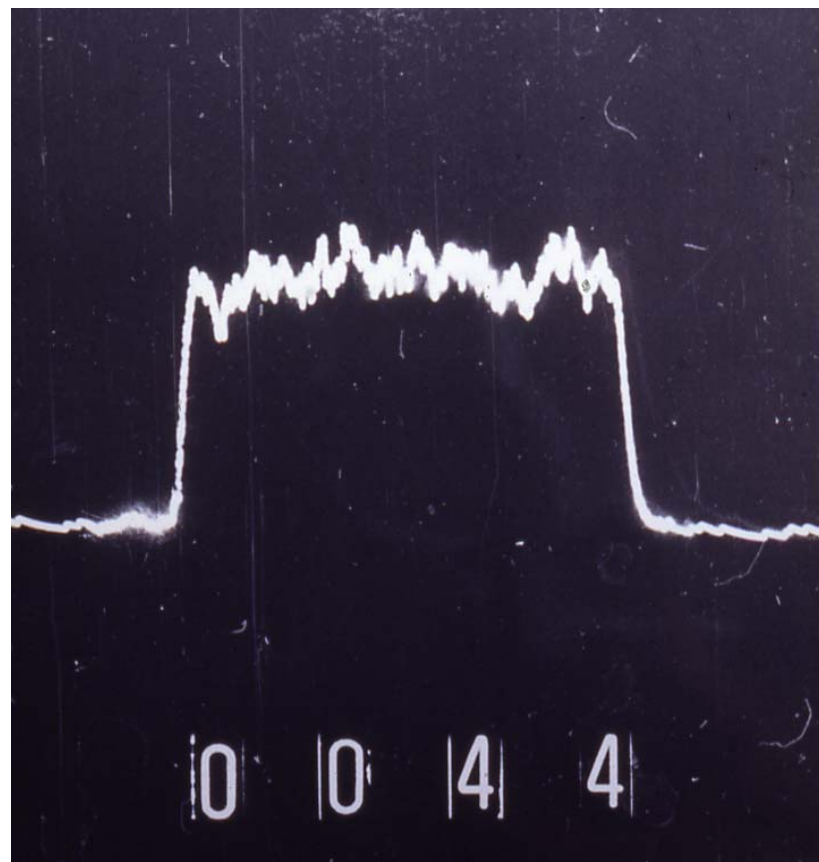
Концентрационные профили Ag через золотины

Гипабиссальные м-ния

Мезо- и абиссальные м-ния



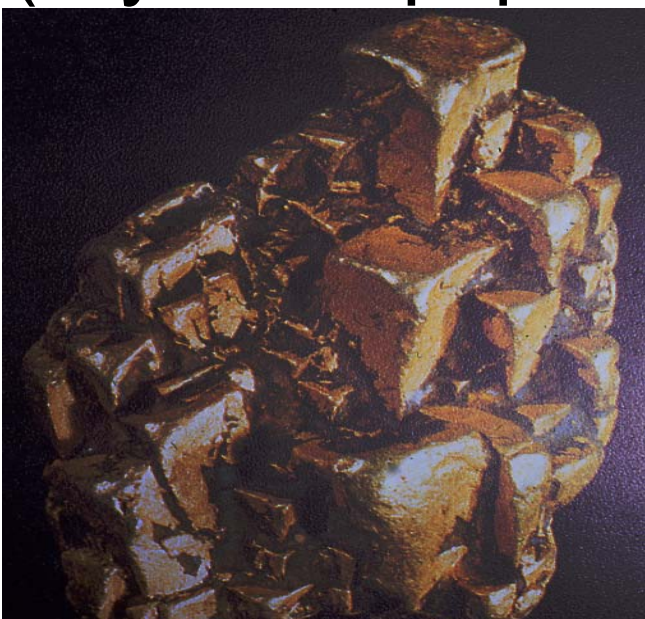
Края обогащены серебром



Золотины не зональны по составу

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

Золото мезоабиссальных месторождений (глубина формирования 3-5 км, P = 1-1.8 кбар)

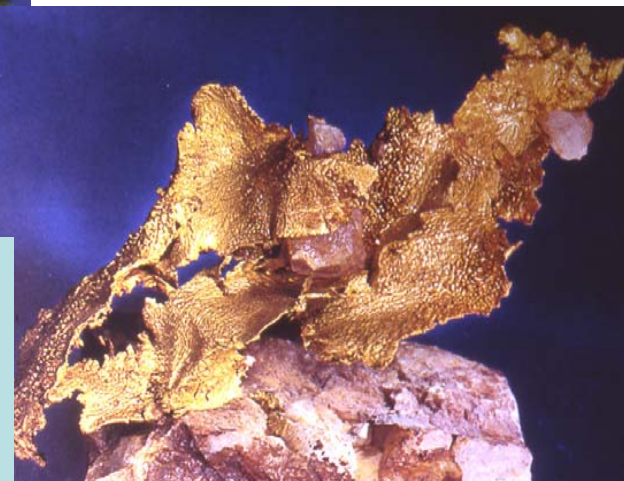


Срастание кубических крист. золота.
Высота 5 см.
Около 1 кг золота.
Клондайк. Аляска

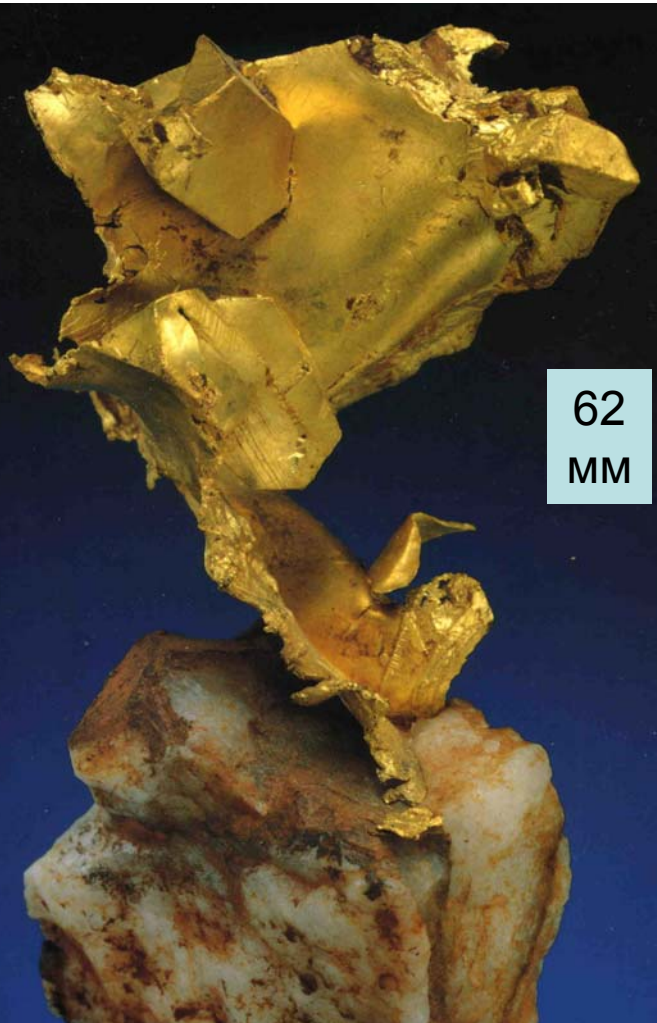


Пластинчатое золото по анкериту в молочно-белом кварце. 13 см. ЮАР

Берёзовское месторождение.
3 см
Средний Урал



Самородное золото жильной системы Mother Lode, Калифорния



62
MM

Золото на кварце
с анкеритом.
Tuolumne County

32
MM

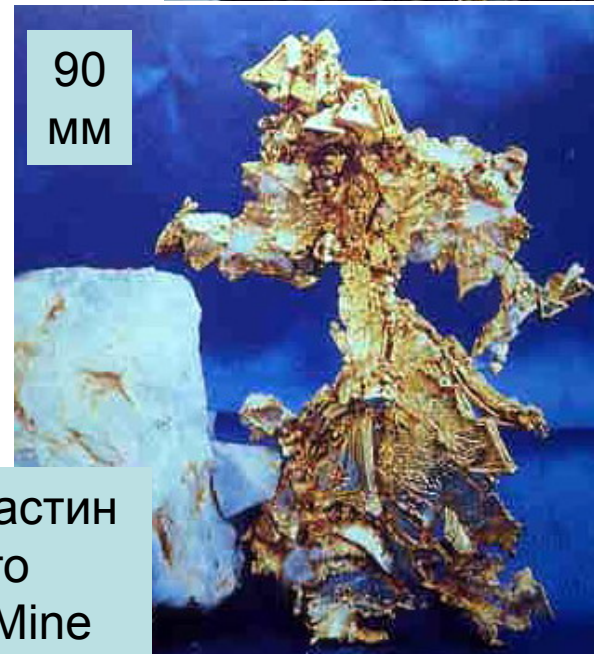


Кристаллы золота –
псевдоморфозы по
карбонату с отпечатками
от кристаллов кварца.
Mockingbird Mine

Агрегат кристаллов и пластин
золота, заместившего
карбонат. Eagles Nest Mine

Агрегат
кристаллов
золота по
карбонату.
Colorado
Quartz Mine

90
MM



24
MM



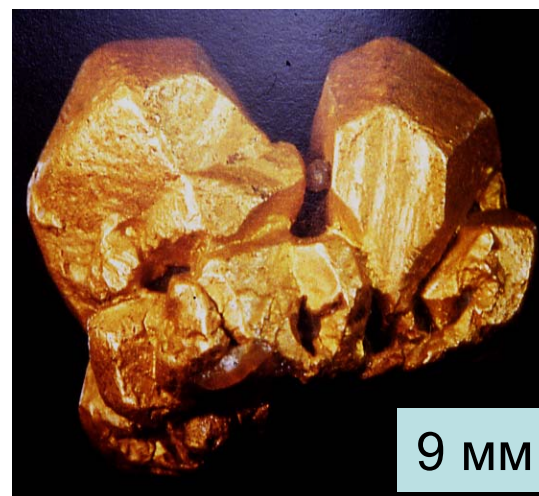
Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

Золото абиссальных месторождений

(глубина формирования 5-12 км, P=2-3.5 кбар)

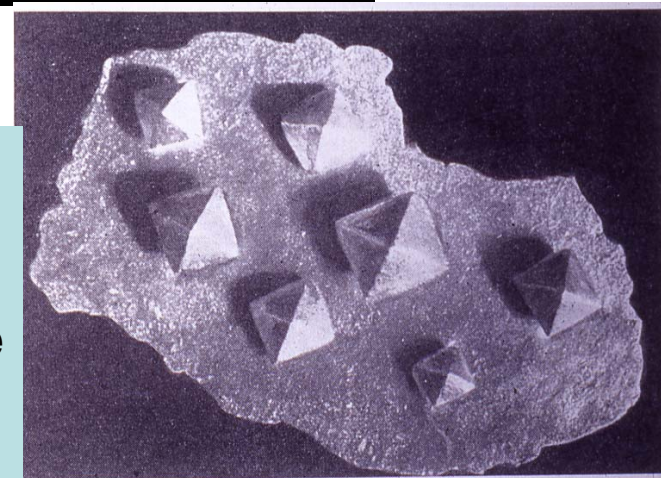


Золото с пробностью 945-955, галенит, тетраэдрит, алтаит PbTe в кварце.
Советское, Енисейский кряж

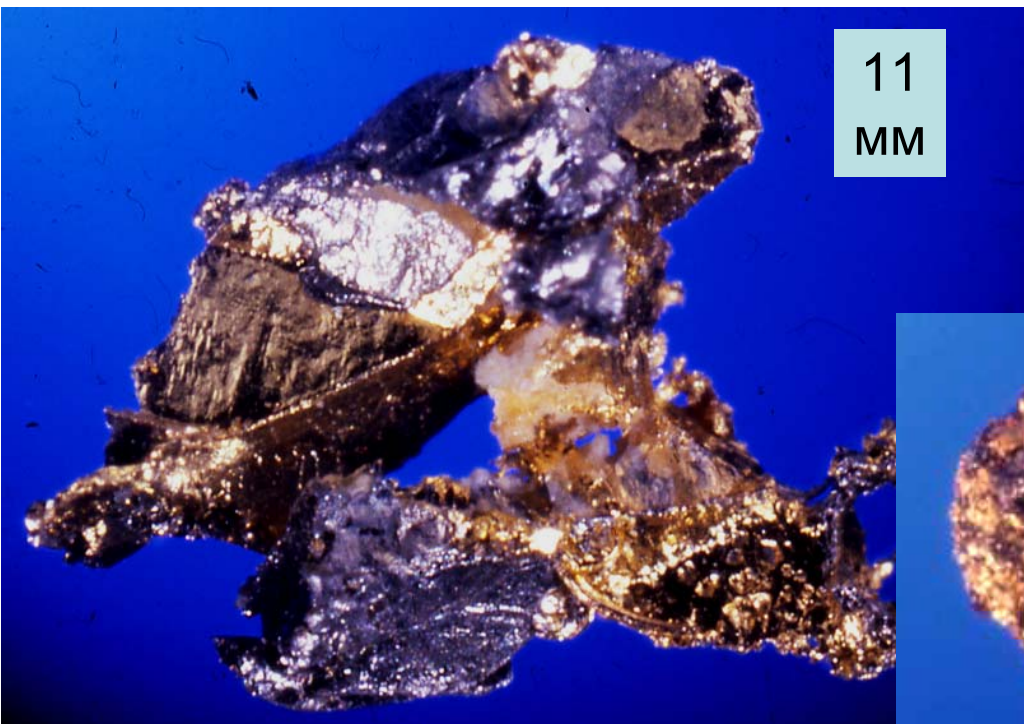


Кубо-октаэдры
высокопробного золота

Автоэпитаксия: октаэдры на пластинчатом кристалле золота.
Южный Урал



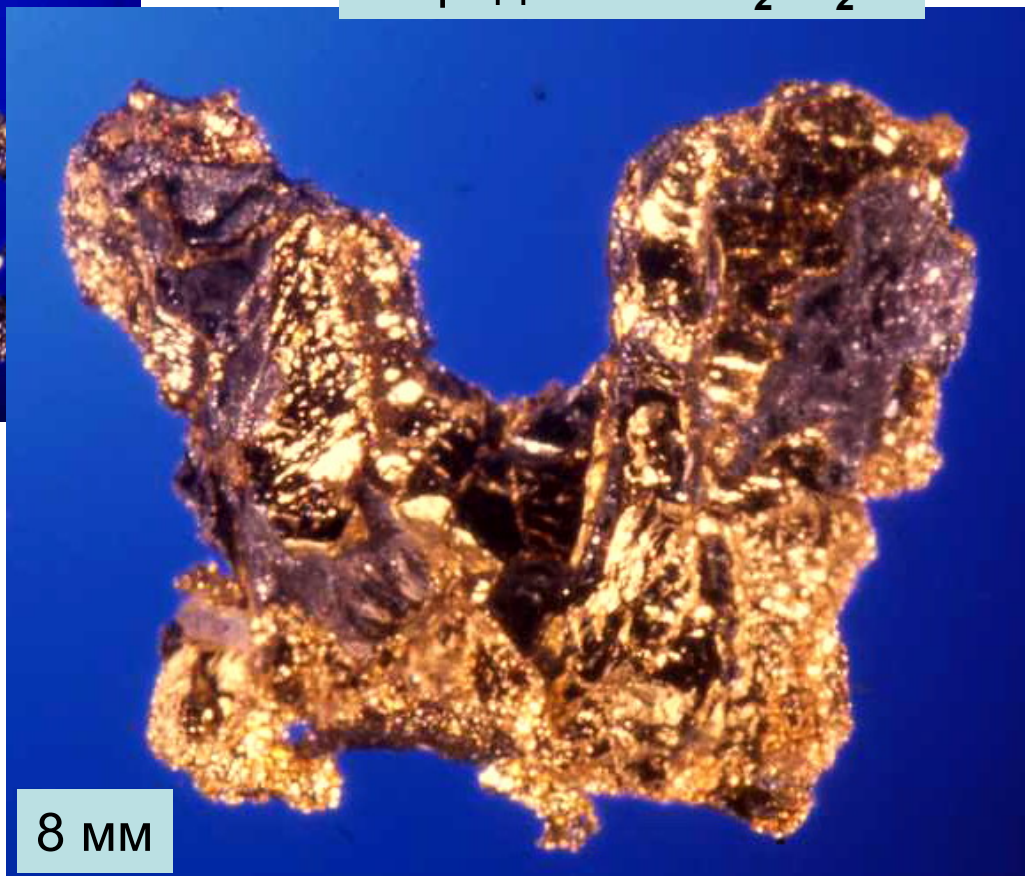
Золото абиссального месторождения Сев. Аксу, СК (глубина формирования 10-12 км, P = 3-3.5 кбар)



11
мм

Срастание золота с
пробностью 985 и
тетрадимита $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$

Срастание золота с
пробностью 995,
теллурувисмутита Bi_2Te_3
и калаверита $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$

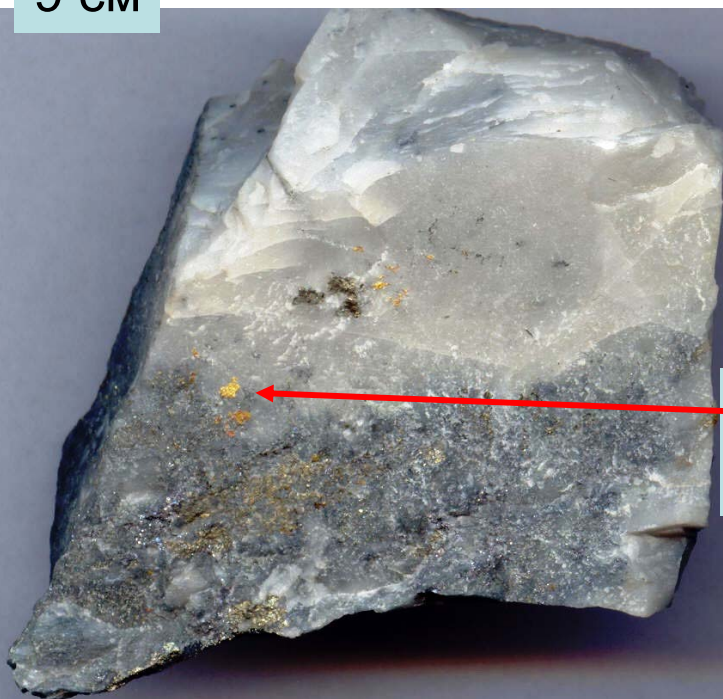


8 мм

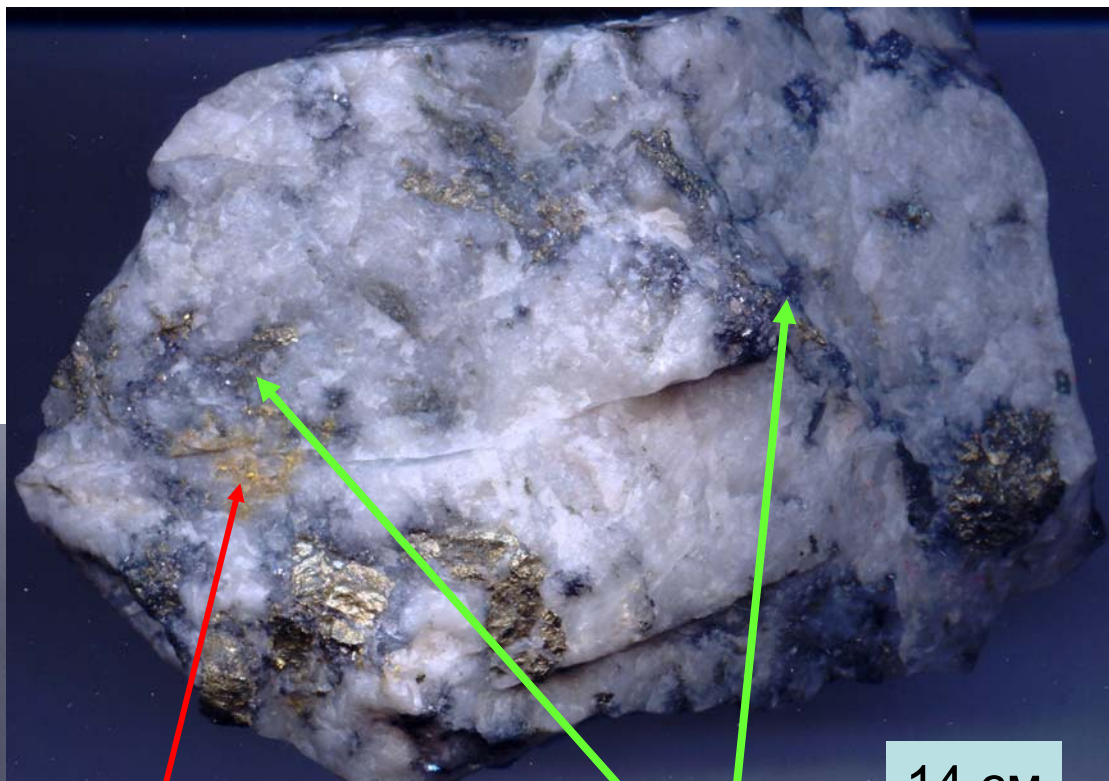
Кварц растворён в HF

Золото абиссальных месторождений Джеламбет. Сев. Казахстан

9 см



Высокопробное золото
(935-945)



14 см

Галенит с массой
микровростков алтаита
и мелонита

Микроминералогия золота

гидротермальных плутоногенных месторождений
березит-лиственитовой формации

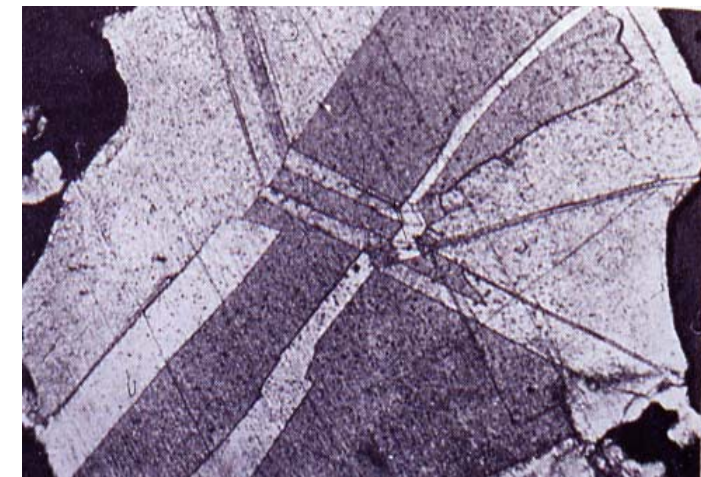
Двойники роста в кристаллах золота



Золотой самородок – агрегат кристаллов

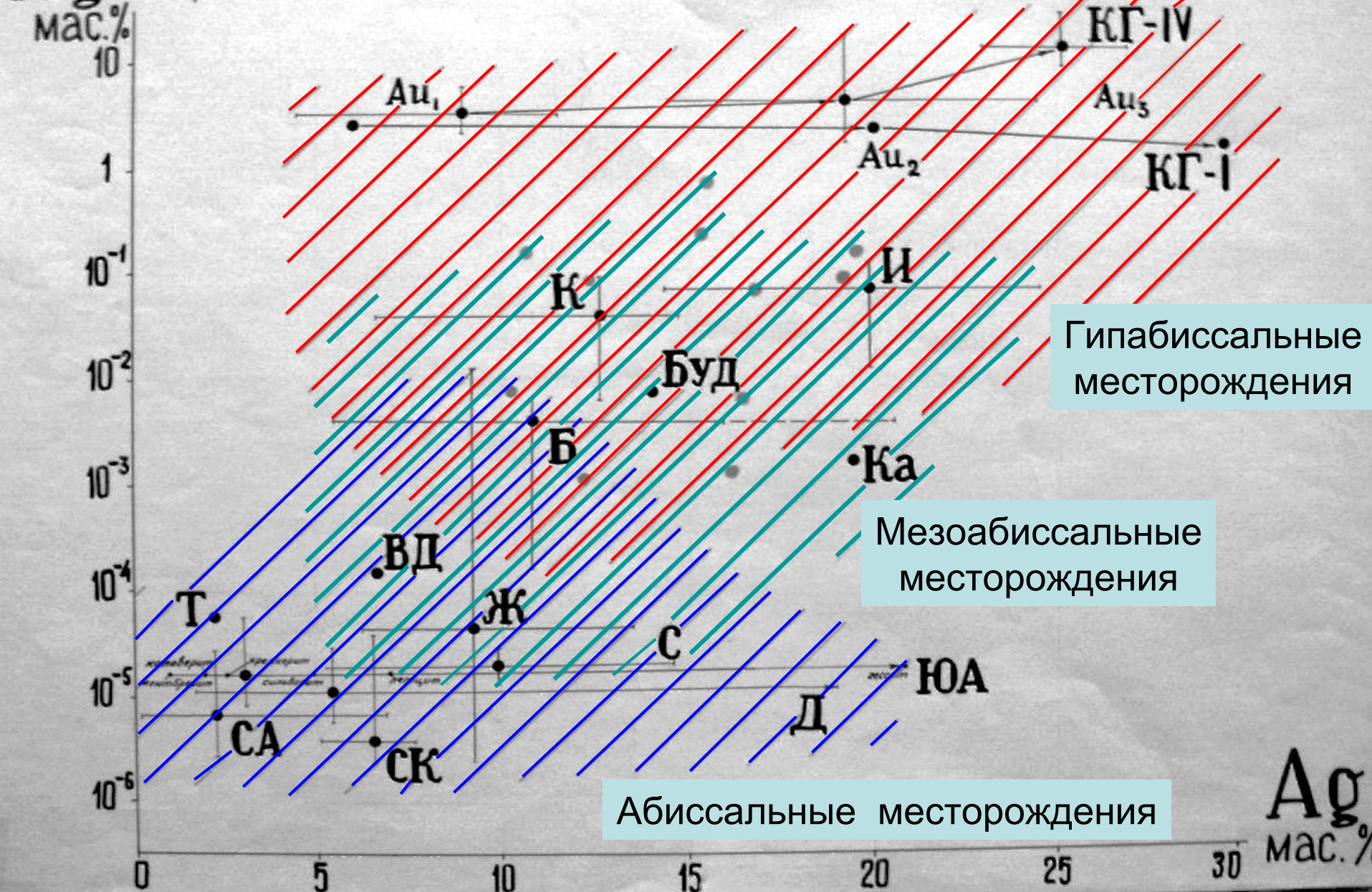
Аншлифы протравлены смесью
трёхокси хрома + HNO_3 + HCl
(«царская водка»)

Фотографии в отражённом свете



САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО

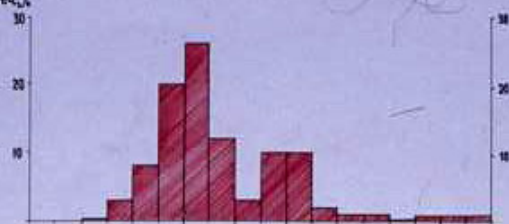
Н_г • ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН • БЕРЕЗОВСКОЕ, СРЕДНИЙ УРАЛ



САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕЛАМБЕТ

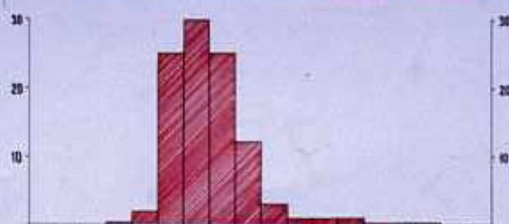
Частота
встреч, %

n=453



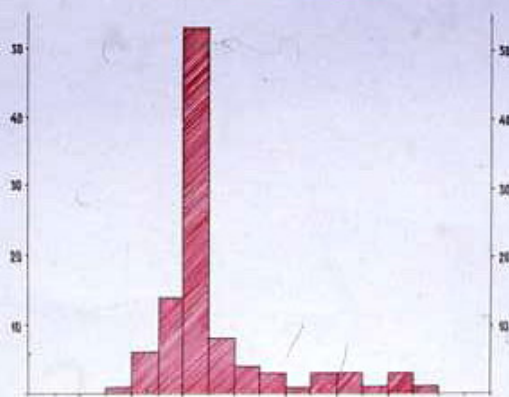
+500м... 0м
по вертикали

n=424



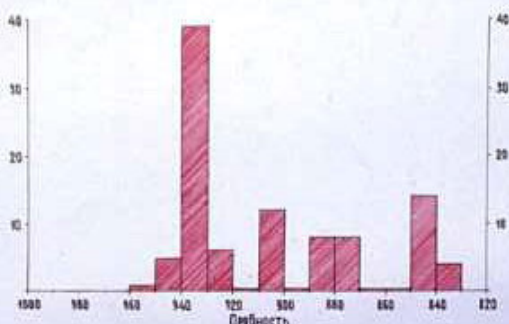
0м... -500м
по вертикали

n=79



-500м...-1000м
по вертикали

n=85

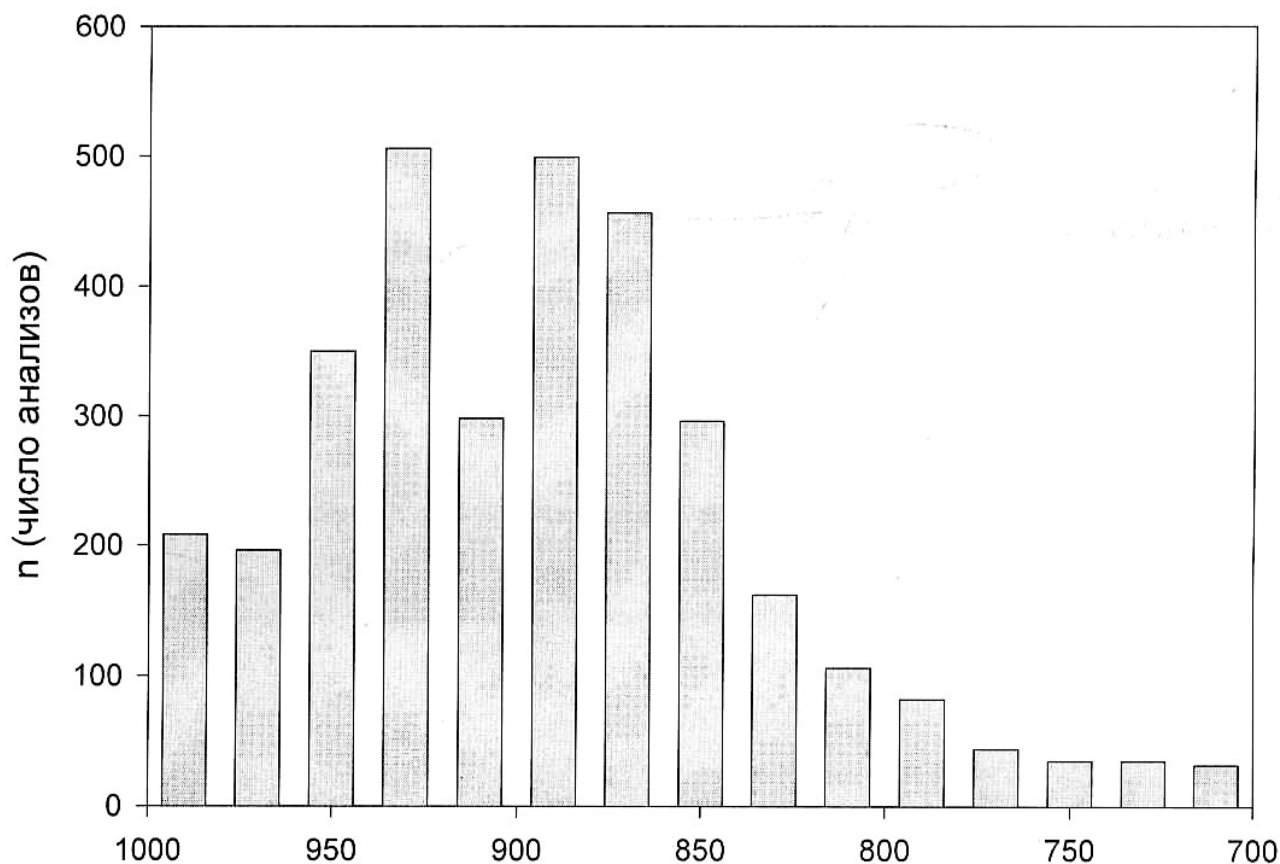


-1000м...-1500м
по вертикали

**Вариации состава
золота
по вертикали
глубоко
проникающего
месторождения**

Минералы системы Au – Ag - самородное золото гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

Состав минералов Au-Ag малосульфидных руд плутоногенной золото-кварцевой формации Северного Казахстана (n=3305)



пробность

Эволюция состава минералов группы блёклых руд продуктивной ассоциации плутоногенных гидротермальных месторождений золото-кварцевой формации

Гипабиссальная фация

теннантит → тетраэдрит →
 Ag-тетраэдрит →
 аргентотетраэдрит

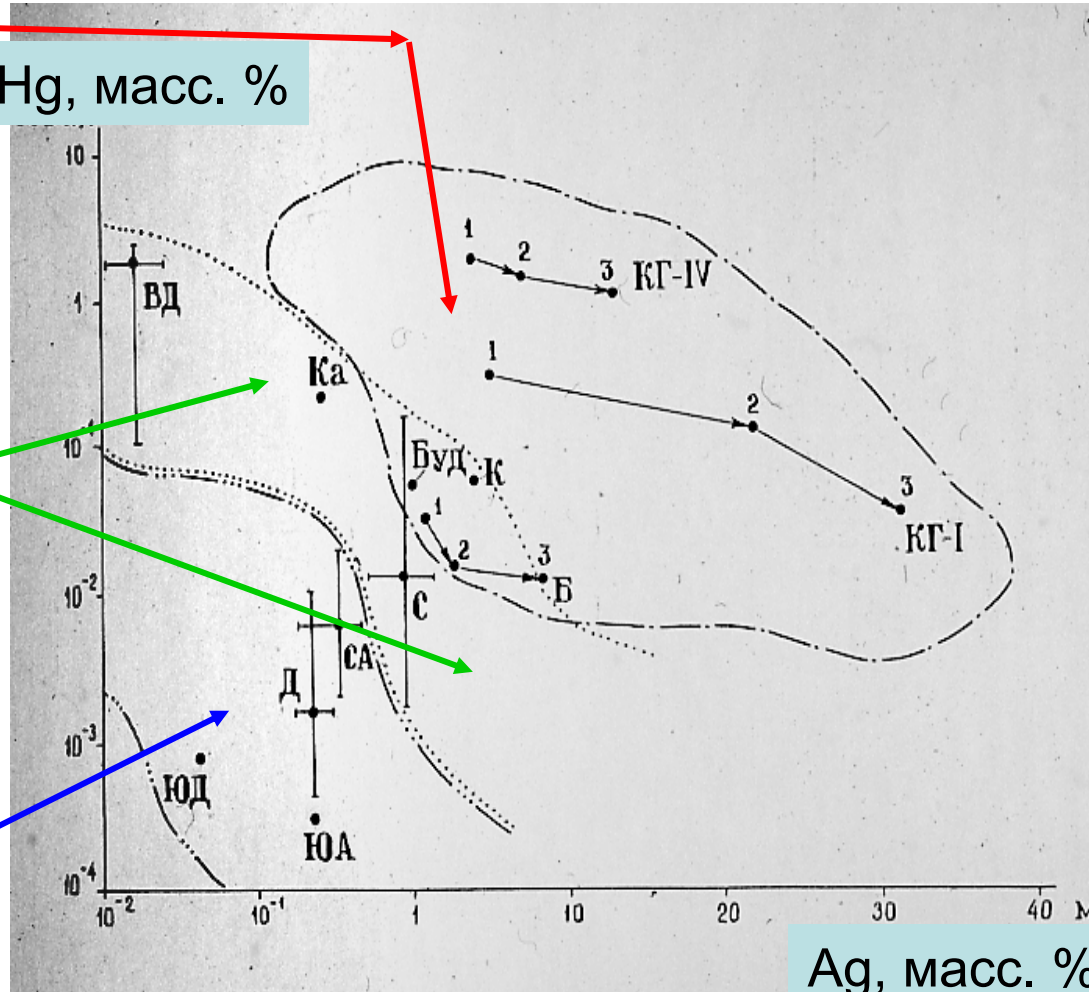
Мезоабиссальная фация

теннантит → тетраэдрит →
 Ag-тетраэдрит

Абиссальная фация

теннантит → тетраэдрит

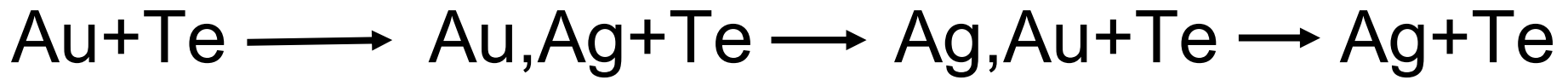
Hg, масс. %



Ag, масс. %

Минералы системы Au - Ag - Te

Генеральный тренд в ходе рудообразования



Монтбрейит



Калаверит



Креннерит



Сильванит



Костовит



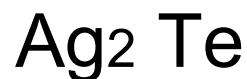
Петцит



Тв. раствор



Гессит



Минералы системы Au – Ag – Te и самородное золото

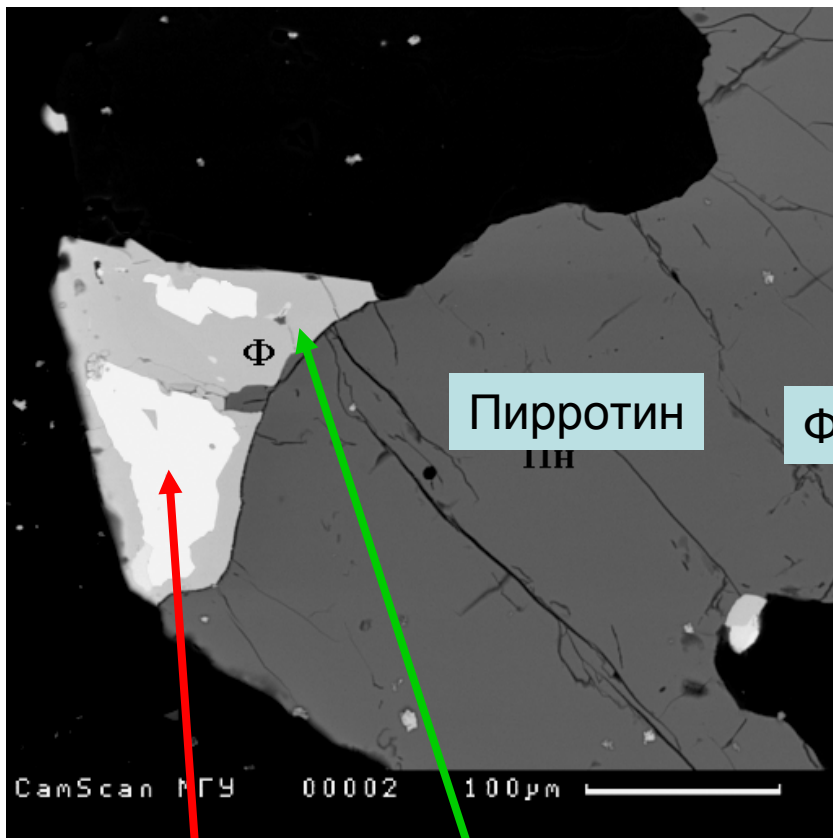
гидротермальных плутоногенных месторождений березит-лиственитовой формации

Абиссальные месторождения

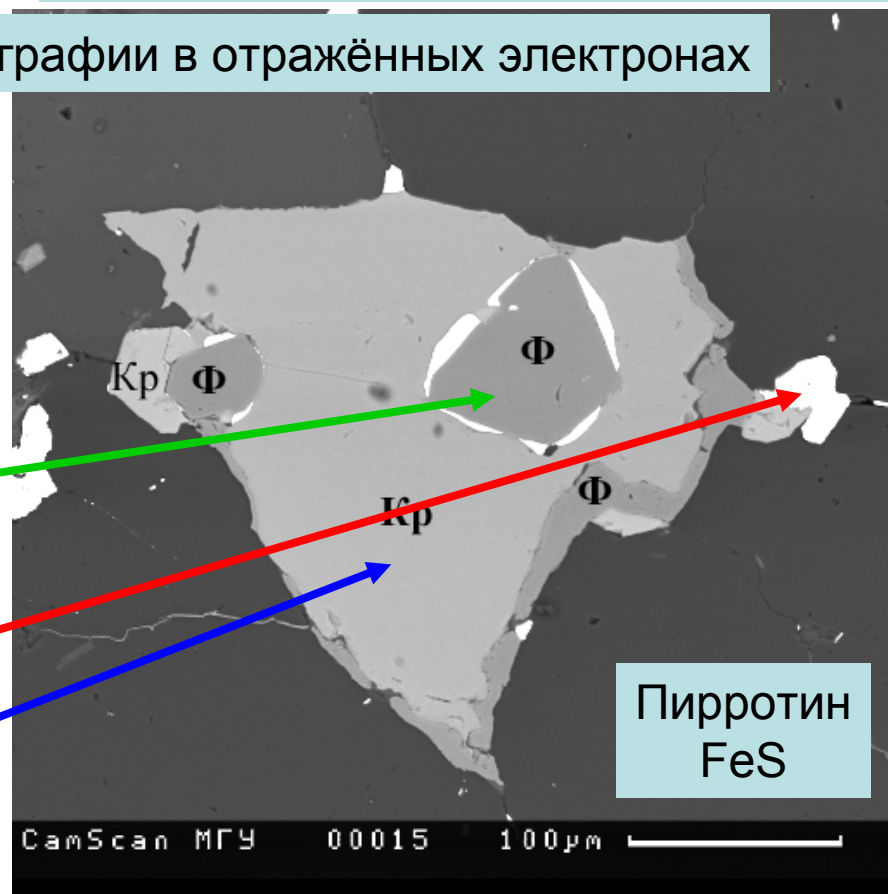
Жана-Тюбе. Сев. Казахстан

Халькопирит – пирротиновые руды
среди лиственитизированных
туфов оливин. базальтов

Фотографии в отражённых электронах



Реакционный фробергит FeTe_2 ,
золото с пробностью 945-965,
креннерит Au_3AgTe_8



Плутоногенное золото-кварцевое месторождение Жана-Тюбе, Сев.Казахстан

Последовательность образования теллуридов

ПИРИТОВЫЕ РУДЫ:

СИЛЬВАНИТ



ПЕТЦИТ



ТВЁРДЫЙ РАСТВОР (Ag,Au)₂Te



ГЕССИТ

+ АЛТАИТ,
Sb-ТЕЛЛУРОВИСМУТИТ

Пирротиновые руды:

ФРОБЕРГИТ, Со-ФРОБЕРГИТ, МАТТАГАМИТ

+ МЕЛОНИТ



ЗОЛОТО ± КАЛАВЕРИТ



ЗОЛОТО + КРЕННЕРИТ + ПЕТЦИТ



Au-СИЛЬВАНИТ



СИЛЬВАНИТ



ТВЁРДЫЙ РАСТВОР (Ag,Au)₂Te



ГЕССИТ

± АЛТАИТ,
Sb-ТЕЛЛУРОВИСМУТИТ

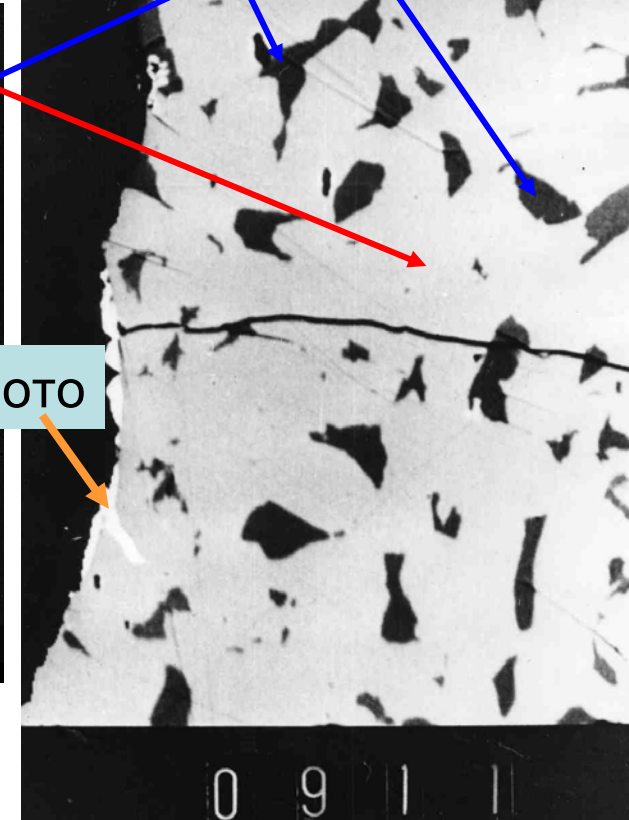
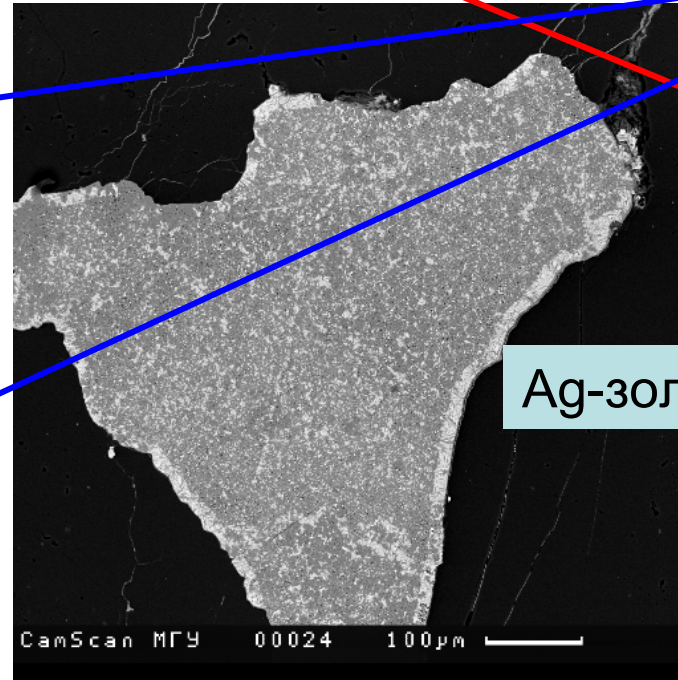
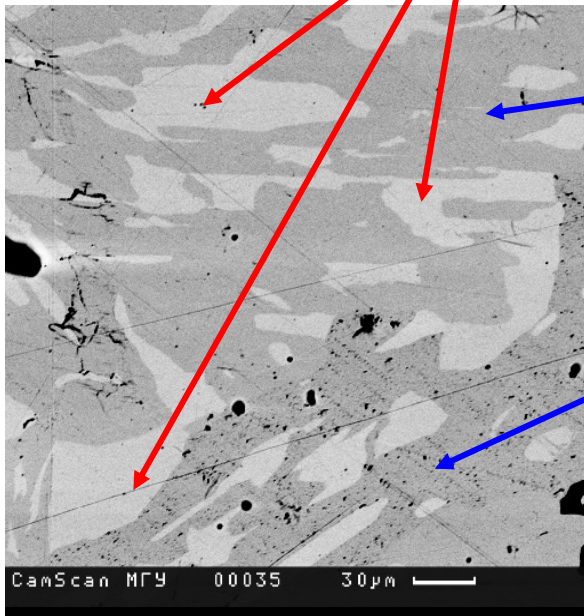
пирротин

Минералы системы Au – Ag – Te

Твёрдый раствор (Ag,Au)₂Te и продукты его распада

Петцит $AuAg_3Te_2$

Гессит Ag_2Te



Джеламбет.
Сев. Казахстан

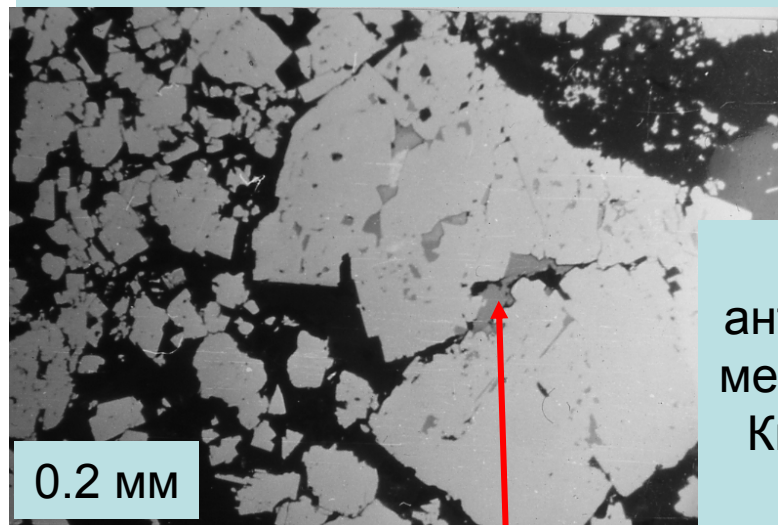
Жана-Тюбе.
Сев. Казахстан

Фотографии в отражённых электронах

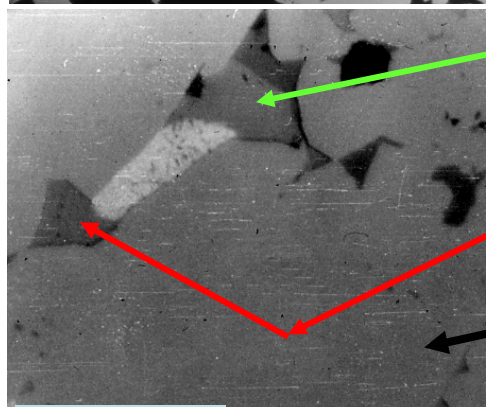
Особенности минеральных ассоциаций глубоко проникающих плутоногенных месторождений золото-кварцевой формации

Тренд эволюции состава блёклых руд обратный – к теннантиту

Вертикальная зональность обратная – с развитием теннантита на верхних горизонтах

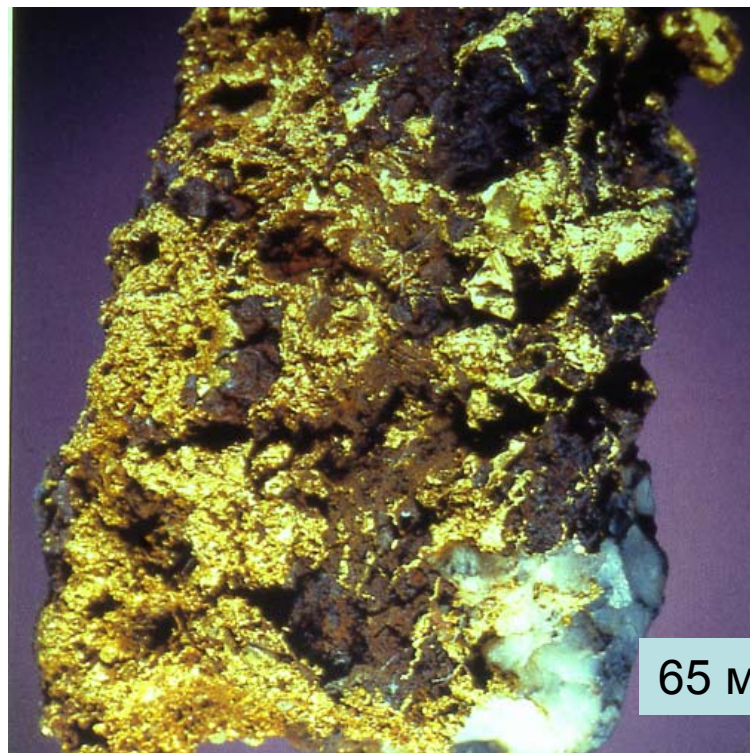


Золото-антимонитовое месторождение Кварцитовые Горки - I



Срастание галенита, аргентотеннантита и Hg-золота в As-пирите

Фотографии в отраж. свете



Срастание золота и теннантита. Берёзовское, Ср. Урал.

Платиноиды в
гидротермальных
плутоногенных
месторождениях
золота

**Содержания золота, платины, палладия
в богатых рудах плутоногенных золото-кварцевых
месторождений Северного Казахстана**

Рудовмещающие породы :

а - черносланцевые

б - иные

Месторождения	n	Au, г/т	Pt, г/т	Pd, г/т
Гипабиссальные а	2	25.4 - 153	< 0.1	< 0.02 - ≤ 0.02
Гипабиссальные б	2	32.8 - 642	< 0.1	< 0.02 - ≤ 0.02
Мезоабиссальные а	2	1570 - 2160	< 0.1	< 0.02 - ≤ 0.02
Мезоабиссальные б	2	249 - 2180	< 0.1	< 0.02
Абиссальные а	2	69.0 - 1210	< 0.1	< 0.02
Абиссальные б	4	111 - 604	< 0.1	< 0.02

Гидротермальное плутоногенное месторождение

Золотая Гора -

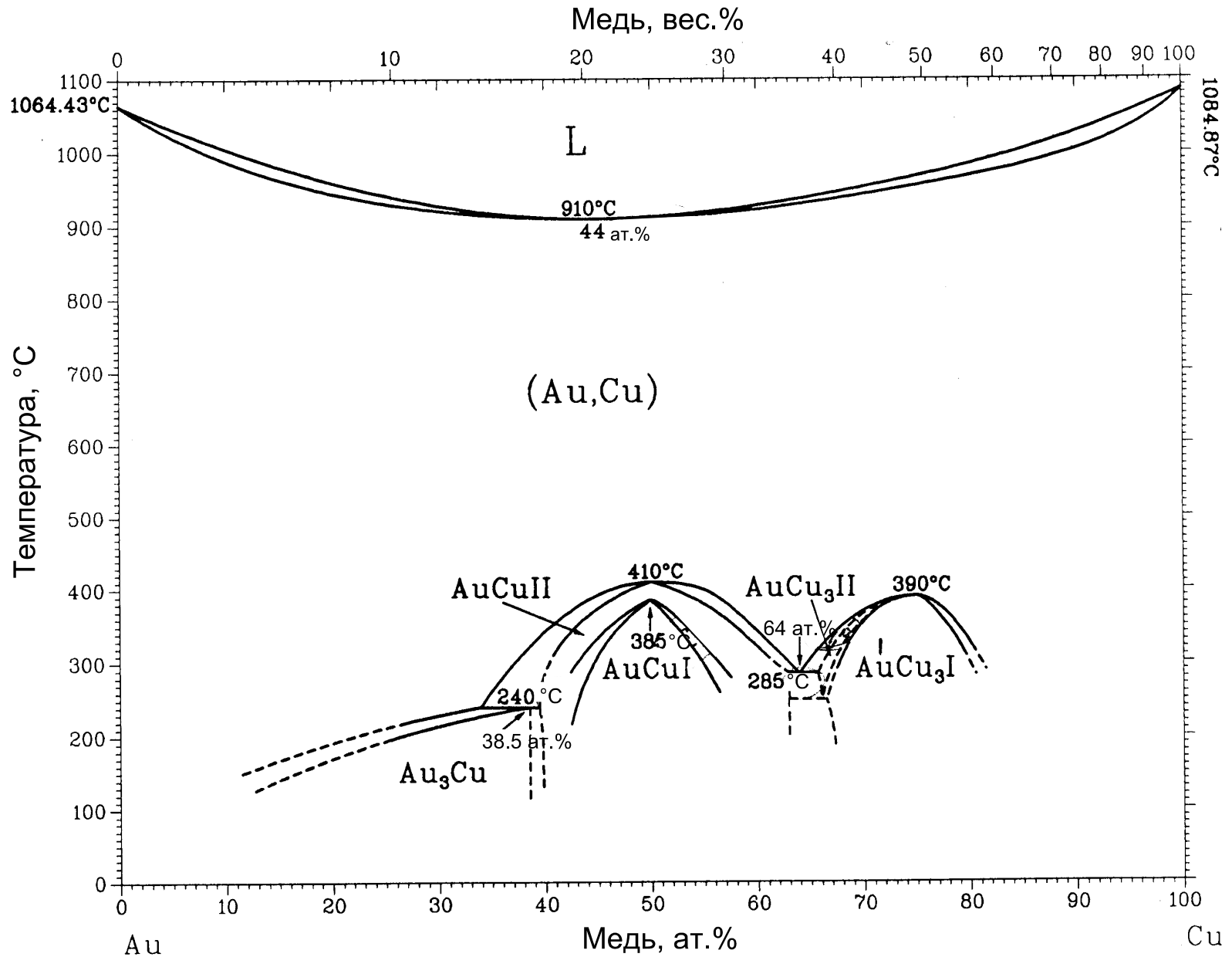
смятые и лиственитизированные родингиты
с минералами Au – Cu

(среди лиственитизированных серпентинитов)



6 см

Система Au – Cu



Минералы системы Au – Cu = «медистое золото»

- аурикуприд** - **Au Cu₃**, куб.
купроаурид - **Au Cu (Au₂Cu₃ – Au₂Cu)**, куб.
минерал Au₃Cu - **Au₃ Cu – Au₆ Cu**, куб.
-

Продукты твердофазных превращений купроаурида
при отжиге

- тетрааурикуприд** - **Au Cu**, тетр. (аналог синт. AuCu-I)
«рожковит» - **Au Cu**, ромб. (аналог синт. AuCu-II)
-

Продукты твердофазных превращений купроаурида с избытком золота
при отжиге

- тетрааурикуприд + золото (структуры распада)
тетрааурикуприд + минерал Au₃Cu (структуры распада)

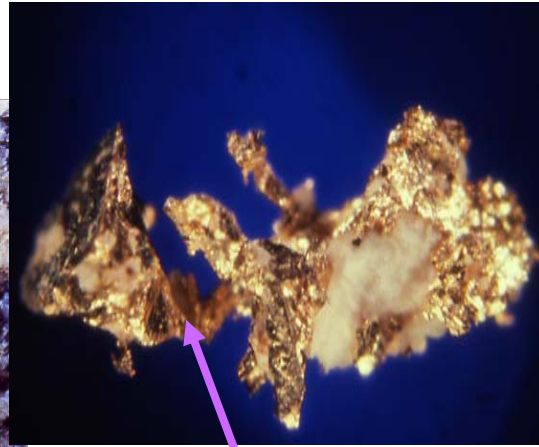
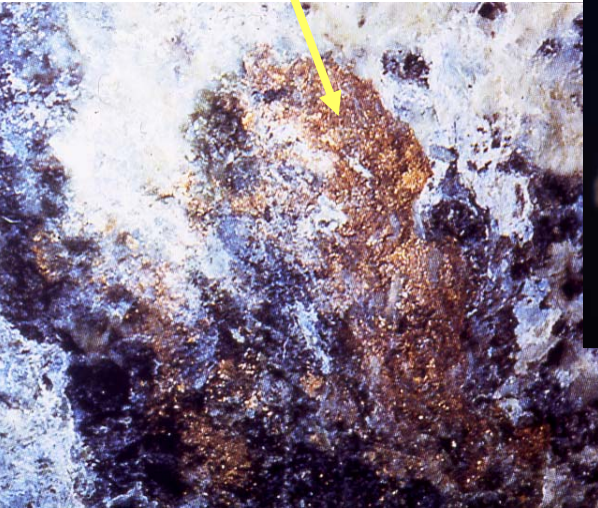
Минералы системы Au – Cu.

Продукты реакции золотоносных растворов с самородной медью при крайне низкой $f S_2$

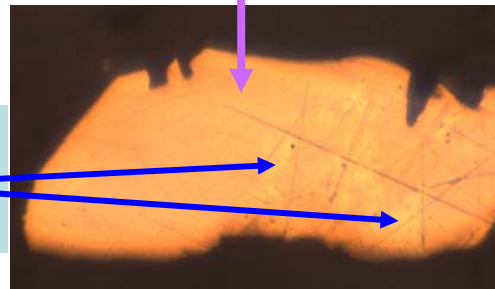
Гидротермальное плутоногенное месторождение

Золотая Гора (кальцитовые, кальцит-хлорит-кварцевые, кварц. прожилки в лиственитизированных родингитах с самородной медью)

Аурикуприд $AuCu_3$



Купроаурид $AuCu$



Ртутистый
электрум

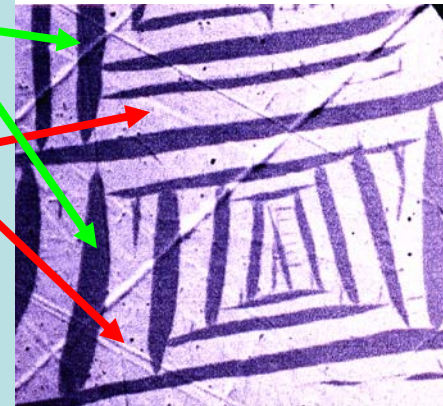
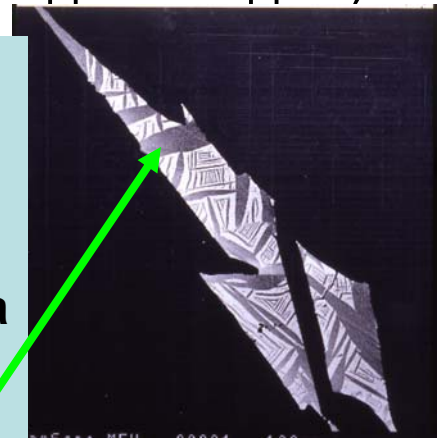


Структуры
распада
нестехио-
метричного
купроаурида

↓
тетрааури-
куприд
и
золото

$Au_2Cu \Rightarrow$

$AuCu + Au$

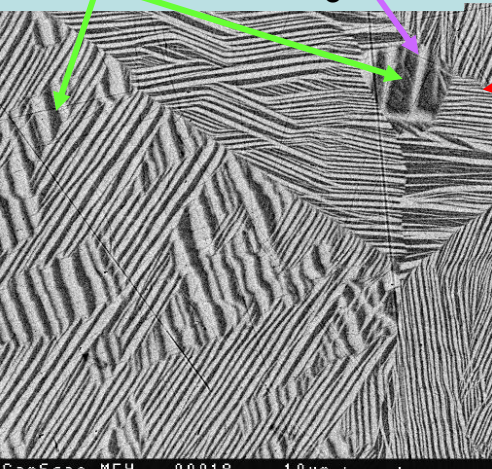
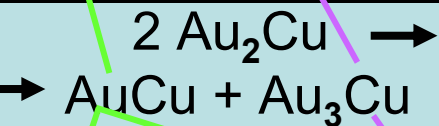
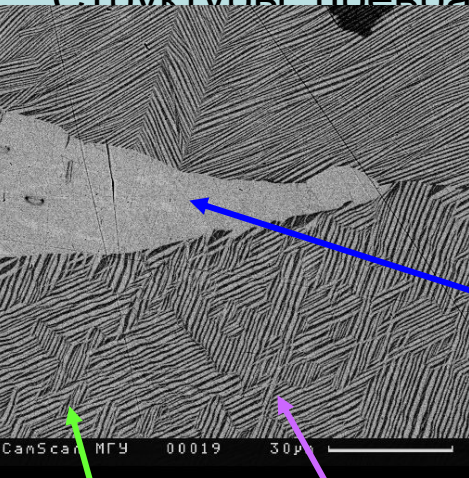


Минералы системы Au – Cu. Гипабиссальное

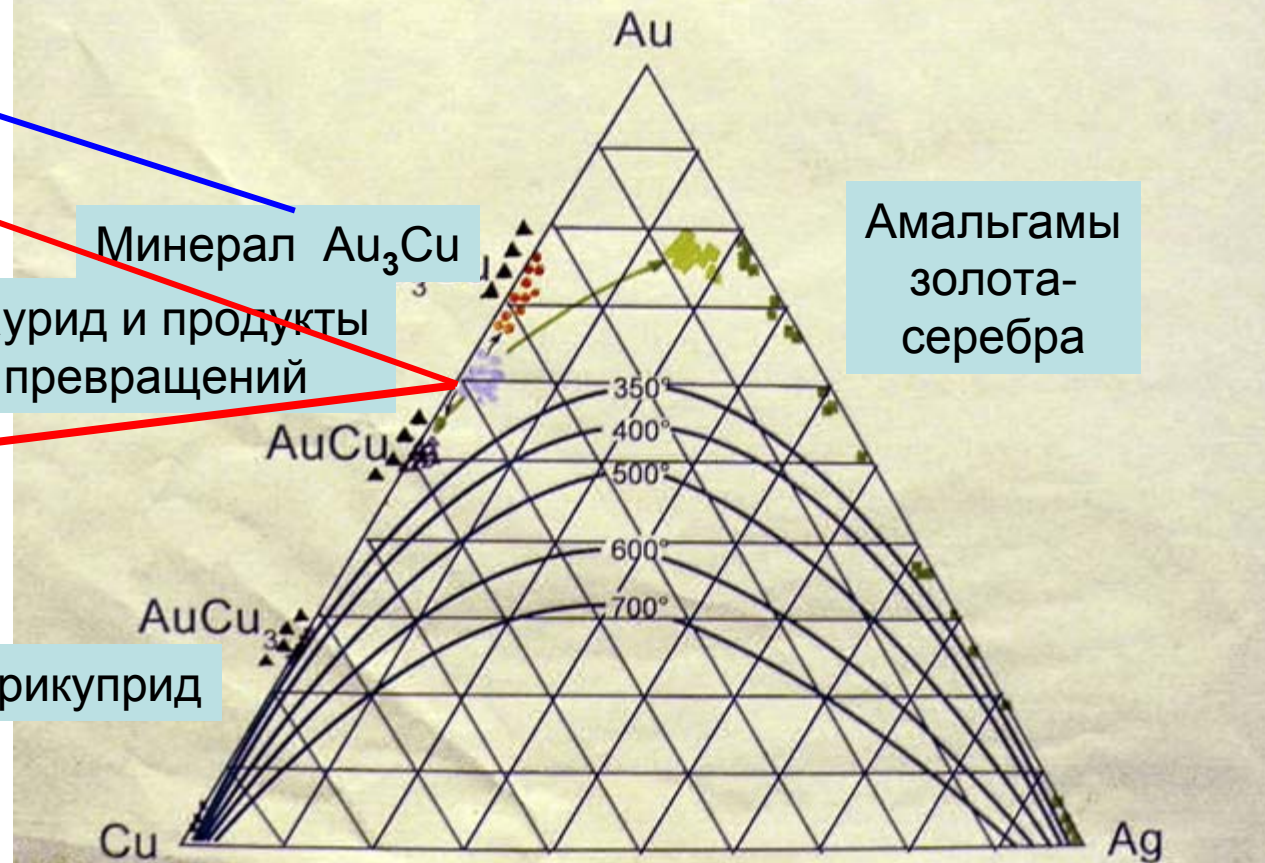
плутоногенное месторождение Золотая Гора (кальцитовые, хлорит-кварцевые, кварцевые прожилки в лиственитизированных родингитах с самородной медью)

Структуры превращения и распада купроаурида состава Au_2Cu

Состав минералов золота

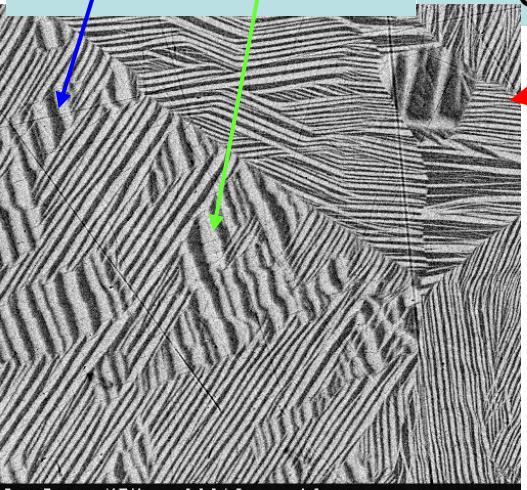
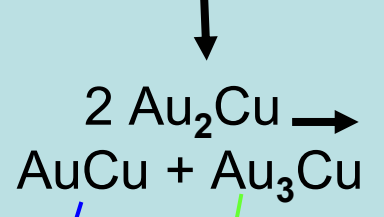


Изотермы ликвидуса системы Au-Ag-Cu (ат. %) по [Дриц и др., 1979]



Гидротермальное плутоногенное месторождение Золотая Гора (кальцитовые, кальцит-хлорит-кварцевые, кварцевые прожилки в лиственитизированных породах – родингитах с самородной медью)

Двойники
полиморфных
превращений
и структуры распада
купроаурида
состава Au_2Cu



Изотермы ликвидуса системы Au-Ag-Cu (ат. %) по [Дриц и др., 1979]

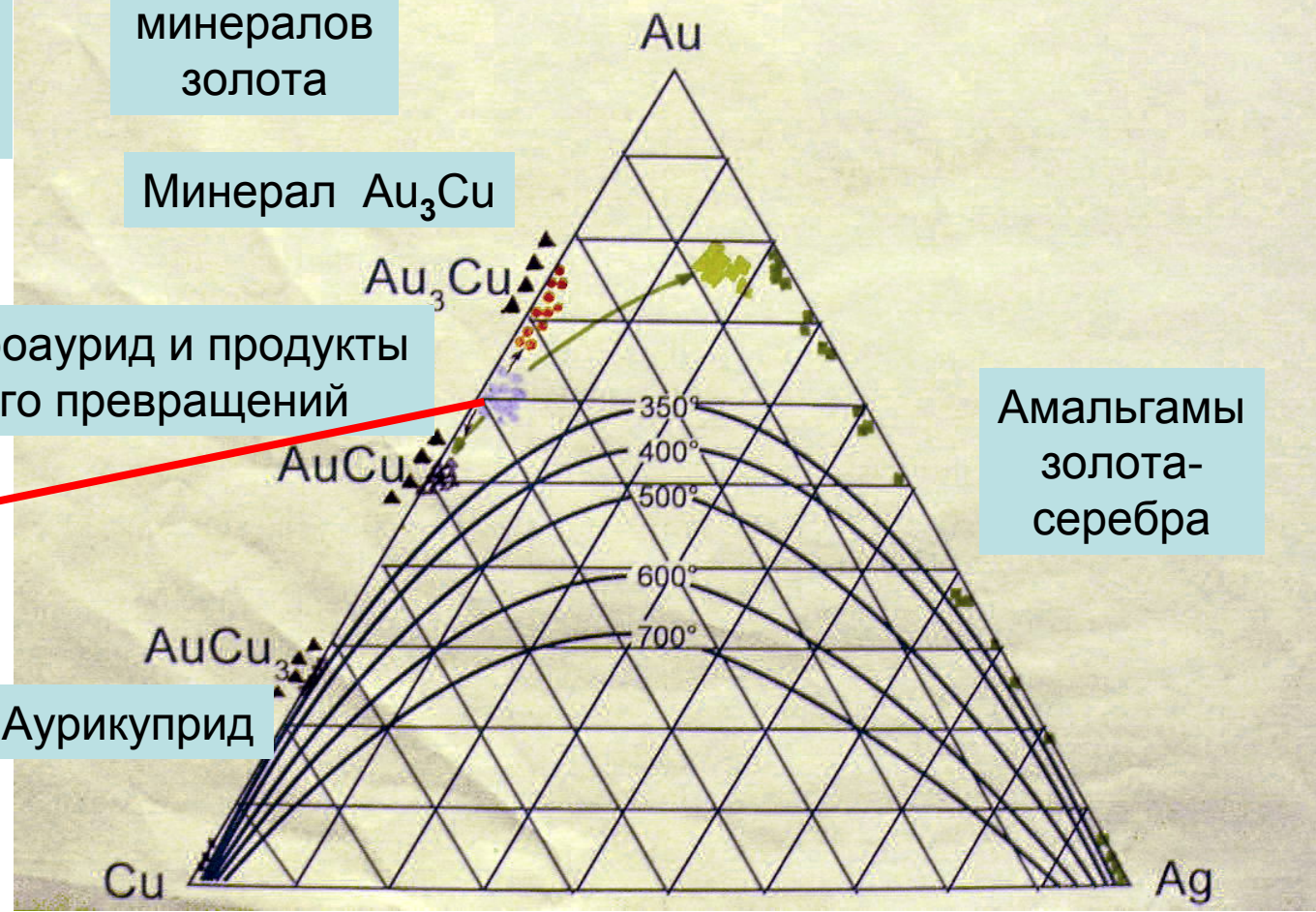
Состав
минералов
золота

Минерал Au_3Cu

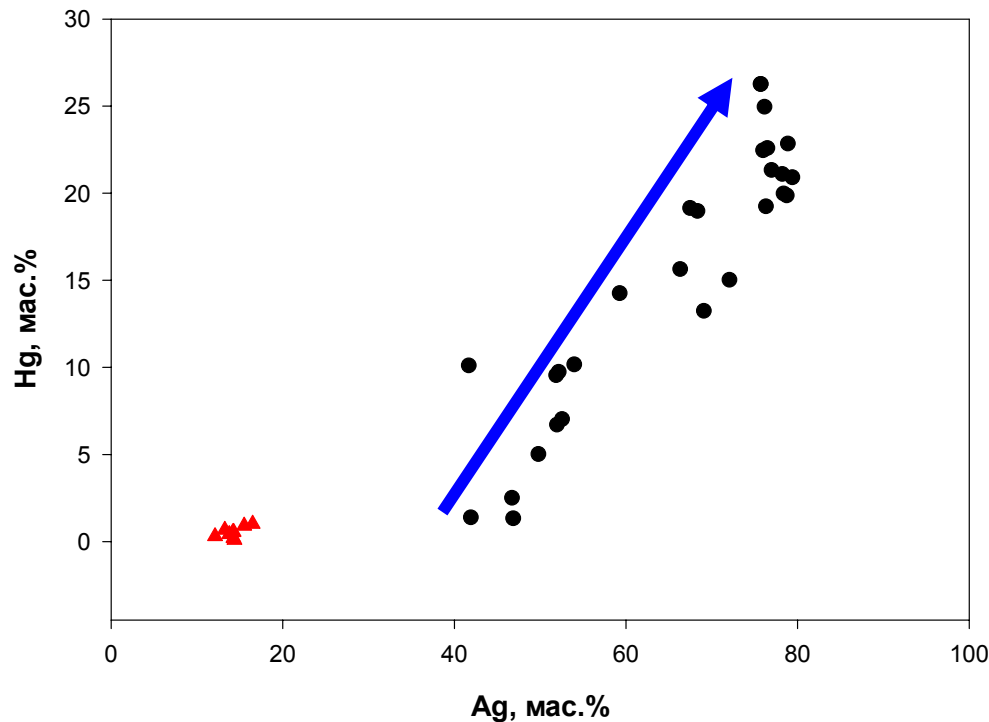
Купроаурид и продукты
его превращений

Амальгамы
золота-
серебра

Аурикуприд



Плутоногенное гипабиссальное месторождение березит-лиственитовой формации Золотая Гора, Урал



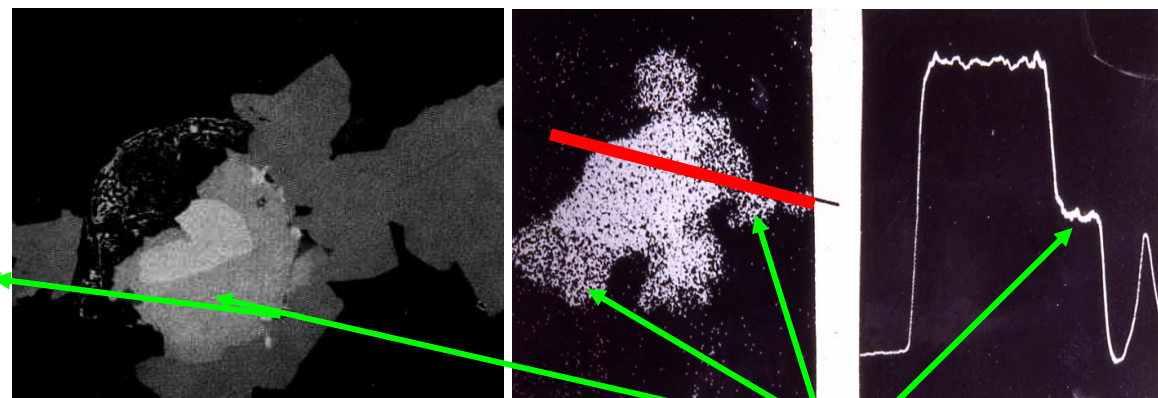
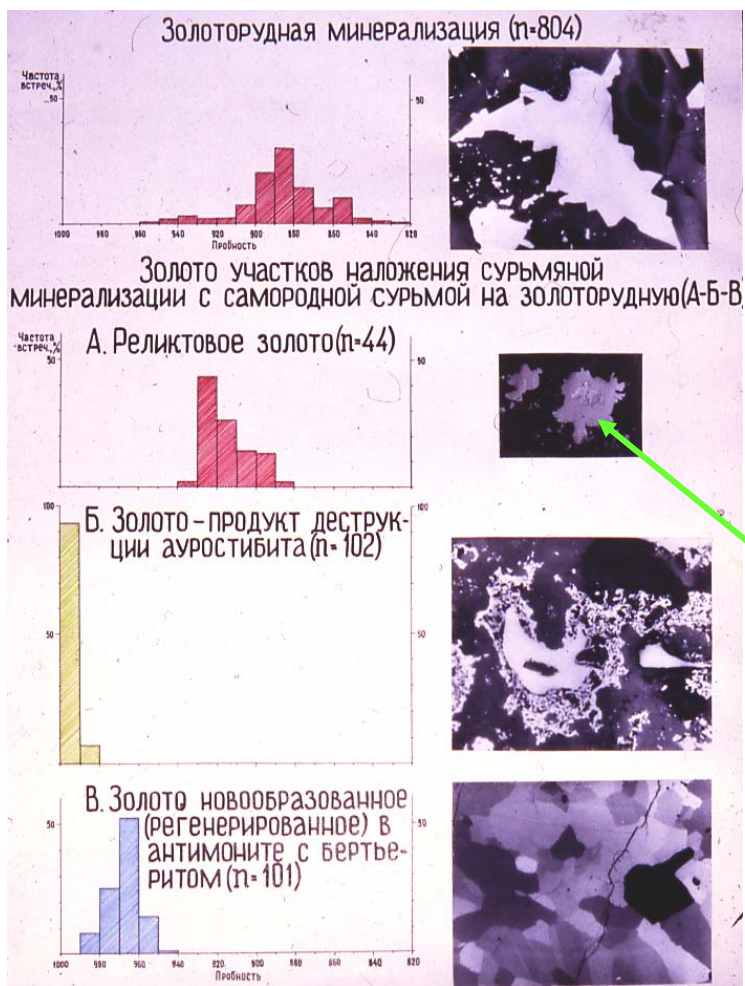
- ▲ минералы Au-Ag-Hg в лиственитизированных серпентинитах
- минералы Au-Ag-Hg в лиственитизированных родингитах в ассоциации с медистым золотом

Эволюция состава
амальгам Au – Ag :
от
ртутьсодержащего
золота, через
ртутистый электрум и
ртутистый кюстелит
до
ртутистого серебра

Ауростибит Au Sb_2 , куб.

В гипабиссальных месторождениях в участках брекчирования и наложения послезолоторудной Sb минерализации с самородной сурьмой возникает реакционный ауростибит

Плутоногенное гипабиссальное месторождение Бестюбе, Северный Казахстан



Золото с каймой замещения ауростибита.

В отражённом свете

В рентген. лучах Au

Концентр. профиль Au

О генезисе золото-кварцевой березит-лиственитовой формации

Изотопный состав кислорода шеелита, минерала который наиболее трудно перекристаллизовывается и потому устойчив к эпигенетическому изотопному обмену, практически постоянен в плутоногенных гидротермальных золото-кварцевых месторождениях березит-лиственитовой формации Казахстана, Урала, Средней Азии, Северной и Южной Америк:

$\delta^{18}\text{O} = +4 \div +6 \text{‰ SMOW}$.

Это свидетельство глубинного метаморфогенного источника рудоносных $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ флюидов, которые сопровождали становление золотоносных инверсионных тоналит-гранодиорит-адамеллитовых и раннеорогенных монцонит-граносиенит-гранитных формаций складчатых областей и их рамы [Спиридонов, 1995].