

VI. СОВРЕМЕННЫЕ РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Гидротермальное месторождение Узон представляет собой исключительный пример разнообразия одновременно образующихся рудных минералов. Наибольшие количества их сосредоточены в Осевой части термоаномалии, фиксирующей аксимальную мощность теплового потока и минимальное изменение хлоридно-натриевых вод.

Здесь образуется горизонт (на уровне грунтовых вод) ртутно-сурьмяно-мышьяковистых сульфидных руд. Близкая ассоциация рудных минералов, преобладание среди них реальгара наблюдается по всей термоаномалии, включая древние поля гидротермально-измененных пород. Рудопроявление на Центральном термальном поле прослежено до забоя (7,5 м). В изученном интервале глубин термоаномалии и вблизи грифонов с выходами натриево-хлоридных вод (Четвертое озеро Фумарольного озера) отмывались шлихи. Аншлифы готовились следующим методом: материал шлихов запрессовывался в полистироловые шашки, которые затем полировались. Некоторые образцы готовились холодным способом - материал запрессовывался в зубной цемент с последующим полированием.

Таблица 48

Состав нефти кальдеры Узон (в %)

Место взятия образца	Условия нахождения нефтей	Элементарный состав				Групповой состав				Парафины, % на нефть	Длина парафинового цепи (количество атомов С в молекуле)
		С	Н	S	N+O	Масла	Смолы бензольные	Смолы спирто-бензольные	Асфальтены		
Хлоридное озеро	Иризирующая пленка на поверхности воды при расквашивании ила вокруг грифонов (40—60° С)	82,33	12,09	2,07	3,51	60,49	7,41	27,16	4,94	—	—
Участок Безмяный	Эмульсия зеленой нефти в воде закопшек вокруг грязевого котла. Навеска 0,9986 г	83,93	10,65	1,69	3,73	67,19	6,75	23,13	1,53	9,92	—
То же	Эмульсия зеленой нефти в воде закопшек вокруг грязевого котла. Навеска 0,7119 г	—	—	—	—	← 98,06 →	—	—	1,80	10,52	28
Участок Ната-1 и Ната-2	Смешанная проба. Эмульсия зеленой и бесцветной нефти из закопшек. Навеска 0,7162 г	86,41	12,05	1,42	1,12	80,35	8,45	8,35	0,34	8,89	25
То же	Смешанная проба. Эмульсия зеленой нефти из закопшек. Навеска 0,4834 г	—	—	—	—	—	99,50	—	0,50	8,42	25,21
» »	Смешанная проба. Эмульсия зеленой и бесцветной нефти из горячей воды в закопшках. Навеска 0,6066 г	85,83	11,95	1,53	0,69	80,78	7,09	11,34	0,58	10,006	25
Участок Ната-2	Эмульсия зеленой с примесью бесцветной нефти в воде из закопшек	85,48	12,35	1,19	1,18 0,70	78,90	6,58	12,01	0,51	7,47	24—2

Таблица 49

Групповой углеводородный состав нефти Ната-2

Температурные пределы °C	Выход фракции, %		Удельный вес, g/cm ³		Показатель преломления		Молекулярный вес		Содержание серы, %	Анилинная точка (максимальная)		Групповой углеводородный состав, вычисленный по анилиновой точке, %				Оптическое вращение после удаления ароматки		
	до удаления ароматки	после удаления ароматки	до удаления ароматки	после удаления ароматки	до удаления ароматки	после удаления ароматки	до удаления ароматки	после удаления ароматки		на фракцию	на нефть	на фракцию	на нефть	на фракцию	на нефть	+αD I	+αD II	
95 (начало кипения)																		
96—200	2,3	0,8287	0,7888	1,4618	1,4443	—	—	—	73,8	94,1	—	—	—	—	—	—		
200—250	3,3	0,8329	0,3006	1,4635	1,4454	205	212	1,8	71,8	93,0	41,5	0,38	25,7	0,59	15,6	0,36		
250—300	13,1	0,8420	0,8014	1,4700	1,4470	231	243	1,7	75,3	95,3	12,3	1,61	21,6	0,71	0	0		
300—350	36,1	0,8907	0,8314	1,4935	1,4618	262	283	2,1	72,6	93,0	17,2	8,21	19,3	6,97	21,0	7,58		
350—400	20,8	0,9486*	0,8908*	1,5355*	1,4940*	308	374	2,0	56,5	93,9	19,3	4,01	29,5	0,14	31,0	6,46		
400—415	16,8	0,9767	0,9430	1,5525	1,5190	378	404	1,3	65,6	87,5	15,4	2,59	27,5	4,62	37,4	9,59		
415 (остаток)	7,6																	
				На нефть														
				На дистиллятную часть														
													14,80	21,82	23,98	31,80		
													16,00	23,6	26,00	34,40		

* Определено при 70°C, пересчитано к 20°C

Таблица 50
Состав углеводородного вещества гидротермально-измененных пемзовых гравелитов в кальдере Узон.
Центральное термальное поле, участок Ната-2 (в %)

Глубина отбора образцов, м	Содержание Сорг. % на породу	Выход хлороформенного экстракта, % на породу	Элементарный состав хлороформенных битумоидов				Групповой состав хлороформенных битумоидов			
			С	Н	S	N+O	Масла	Бензолные смолы	Спирито-бензолные смолы	Асфальтены
0,9; 1; 1,1	0,19	0,016	77,23	11,41	2,62	8,74	43,27	8,65	46,15	1,92
1,2; 1,5; 1,9	0,30	0,020	81,23	12,54	0,87	5,36	51,67	15,51	31,21	1,30
2,5; 2,6	0,25	0,022	80,15	11,75	1,12	6,98	64,64	10,71	37,50	7,14
2,7; 3,2	0,28	0,018	80,57	11,21	1,36	6,86	← 97,54 →			1,85
4,3; 5,1	0,33	0,021	79,93	11,06	1,45	7,56	← 97,41 →			2,59
4,4; 4,6	0,23	0,024	74,96	11,08	2,02	11,94	39,47	13,16	36,84	10,53
6,2; 6,3; 6,7	0,48	0,022	77,85	9,71	1,42	11,02	33,66	37,12	24,96	2,52
7,1	0,29	0,037	81,43	11,92	2,09	4,56		95,90		4,10

Таблица 51
Состав гидротермальных газов кальдере Узон

Компоненты	Скв. 1. Центральное термальное поле	Центральное термальное поле	Скв. 10. Участок Ната-2. Центральное термальное поле	Гравелитовое термальное поле	Северный участок Центрального поля	Серные бугры	Северный участок Центрального поля	Центральное термальное поле
H ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO ₂	92,8	85,6	94,04	73,3	98,5	80,6	98,8	97,1
O ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH ₄	0,7	0,8	0,51	1,7	1,7	Следы	0,54	0,025
C ₂ H ₆	0,01	0,01	0,0	0,01	Следы	»	Следы	Следы
C ₃ H ₈	0,0	Следы	0,0	0,0	—	0,0	—	—
C ₄ H ₁₀	—	0,0	—	—	—	—	»	—
N ₂	6,5	13,5	5,45	25,0	1,49	18,9	0,1	2,9
Ar	0,062	—	0,044	—	0,044	0,226	0,015	He опр.
He	0,005	—	0,004	—	0,001	0,002	0,001	» *
Agвозд	98,0	—	100	—	1,5	—	100	—
Agрадиогр	2,0	—	0,0	—	98,5	—	0,0	—
δ ¹³ C PDBCO ₂	—	—	—	—	+0,03	+0,09	-0,12	+0,16
T °C	90	80	98	98	—	28	68	95

Таблица 52

**Ориентировочный подсчёт выноса углеводородов парогазовыми струями
Гидротермальных систем**

Гидротермальная система	Годовой дебит пара, кг	Содержание CH_4 в парогазовой смеси, кг	Годовой дебит метана		Количество CH_4 , выносимого паровыми струями за 10 000 лет, м ³	Литературный источник
			кг	м ³		
Узон-Гейзеры, Камчатка	$4 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^9$	
Лардерелло, Италия	$26 \cdot 10^9$	$15 \cdot 10^{-5}$	$39 \cdot 10^{-5}$	$54,4 \cdot 10^5$	$54,4 \cdot 10^9$	Ритман, 1964
Эбеко, о-в Парамушпр	$4,38 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^9$	Мархинин, 1967

Параллельно из рудного горизонта отбирались мономинеральные фракции (антимонита, скородита, реальгара, пирита, марказита, гематита и др.) под бинокуляром для спектрального, химического, рентгенометрического анализа. Частично рентгенометрические определения проводились на микрочертах методом резиновых шариков из микроколичеств вещества.

Выполнено точечное определение и профилирование по зерну. В результате установлены Zn, Pb, Hg. Полированные шашки просматривались при сличениях около 400. Размеры рассеянных зерен сульфидов (галенита, пирротина, арсенопирита и др.) даже при таком увеличении достигали от сотых долей микрон до сотых долей миллиметра. В интервале 0-7,5 м верхней части разреза преобладает марказит, затем количество пирита и марказита находятся примерно в равных отношениях; ниже содержание марказита уменьшается, а пирита увеличивается.

Современные рудные минералы образуют отдельные самостоятельные выделения и только там, где идет развитие по старым минералам и видна последовательность кристаллизации. Так, в разрезе отложений Центрального термального поля участками наблюдается повышенное содержание древнего магнетита, титаномагнетита и ильменита.

Прослеживаются все стадии замещения «древних» рудных минералов пирит-марказитовыми агрегатами. Замещение имеет обычно прожилковый или трещинный характер.

Скородит встречается в виде колломорфных образований и землистых масс травяно-зеленого цвета совместно с аурипигментом (рис. 71). Скородит наблюдается также в виде прерывистого сантиметрового прослоя под глинисто-илистыми отложениями на Центральном термальном поле и особенно в донных осадках Хлоридного озера. Скородит развит в ассоциации с аурипигментом. Содержание его в некоторых участках слоя превышает содержание аурипигмента и серы. Рентгенограмма порошокотой желтой массы содержит линии аурипигмента, скородита и серы (4,540; 3,976; 3,580; 3,169; 2,990; 2,832).

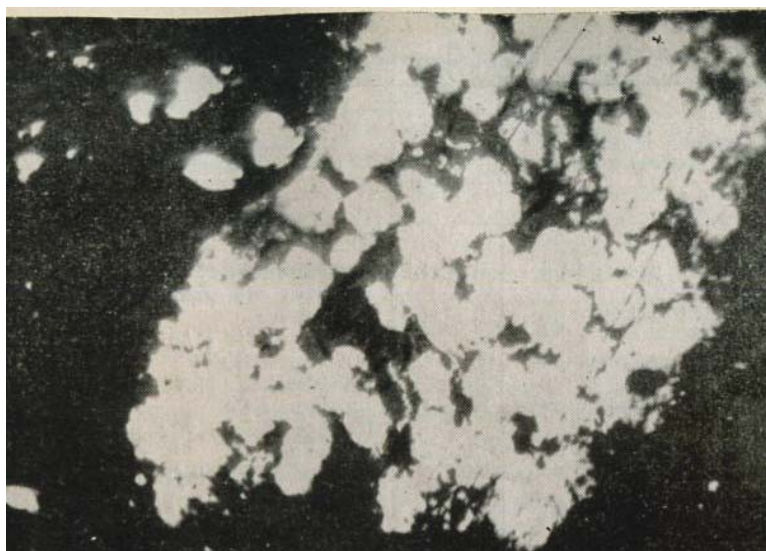


Рис. 71. Колломорфные образования скородита. Ув. 320

Аурипигмент в виде лимонно-желтой порошокотой массы цементирует обломки пролювия, налетом покрывает поверхность и заполняет в них поры. При нарушении слоя, обогащенного аурипигментом, вода окрашивается в лимонно-желтый и зеленоватый цвет.

Реальгар сплошными кристаллическими агрегатами нарастает на обломки пород и выполняет промежутки между ними. При нарушении реальгарового слоя вода окрашивается в интенсивно оранжевый цвет крипстокристаллическим и призматическим реальгаром. Глубже реальгар распределяется неравномерно,

концентрируясь в основном в трещинах и гнездах; отмечается тенденция уменьшения его с глубиной. Наиболее типичны призматические кристаллы размером до 2-5 мм, реже до 1 см. Цвет их оранжевый, блеск на гранях кристаллов алмазный, спайность по (010) ясная. В кристаллах реальгара проявляются формы пинакоида (010), (001) и ромбической призмы (011), (110), (120) и (111). Рентгенограмма реальгара аналогична эталонному реальгару Лахмутского месторождения Закавказья (Михеев, 1967). С реальгаром ассоциирует аурипигмент, скородит, пирит-марказитовые агрегаты и другие сульфиды.

Антимонит образует игольчатые радиально-лучистые скопления и порошокватую массу. Он сопровождает реальгар в рудном прослое, но в основном тяготеет к основанию прослоя и проявляется в подстилающем пирит-марказитовом слое. Пучки антимонита заполняют поры в обломках пемзы или покрывают их поверхность тонким игольчатым войлоком. Содержание сурьмы в слое развития антимонита превышает 1%. Рентгенограмма изученного кристаллического антимонита стандартна (табл. 53).

Метастибнит образует кирпично-красный аморфный осадок на глыбах, расположенных над пульсирующими хлоридно-натриевыми источниками. Нередко покрывает горловины их коркообразной массой, и в виде сантиметровой полосы обрамляет уровень воды в отдельных грифонах. Черта красная, довольно мягкий.

Таблица 53

Рентгенограмма современных рудных минералов Узона

Реальгар		Аурипигмент + сера		Киноварь + реальгар		Антимонит		Метациннабарит		Марказит + пирит		Гематит	
J	d	J	d	J	d	J	d	J	d	J	d	J	d
3	5,96	3	5,931	1	5,470	1	5,63	—	—	—	—	5	3,73
8	5,42	3	5,523	1	5,170	2	5,05	—	—	—	—	5	2,99
2	4,06	10	4,696	5	4,696	1	3,95	—	—	—	—	10	2,703
2	3,48	2	4,540	3	3,976	9	3,58	—	—	—	—	9	2,521
10	3,168	3	4,004	2	3,694	1	3,371	1	4,423	—	—	1	2,400
7	2,930	4	3,976	1	3,381	1	3,135	1	3,976	—	—	5	2,210
7	2,73	2	3,694	2	3,294	10	3,04	4	3,718	—	—	1	2,037
3	2,597	2	2,560	1	3,169	8	2,766	2	3,625	—	—	5	1,849
3	2,479	10	3,169	10	3,135	1	2,684	2	3,371	3	3,390	9	1,706
2	2,400	10	3,143	3	3,021	4	2,531	10	3,169	5	2,685	1	1,602
2	2,258	1	2,990	4	2,888	1	2,226	2	3,135	5	2,667	4	1,491
2	2,193	3	2,888	4	2,319	2	2,105	2	3,006	7	2,336	5	1,458
6	2,119	2	2,832	1	2,753	5	1,943	2	2,931	2	2,354	3	1,316
2	1,985	3	2,703	7	2,679	2	1,914	2	2,860	6	2,327	1	1,257
6	1,859	4	2,500	4	2,419	1	1,732	4	2,805	7	2,301	1	1,191
3	1,797	2	2,439	3	2,119	4	1,309	5	2,703	3	2,267	1	1,166
2	1,710	1	2,301	2	2,105			4	2,650	8	1,899	1	1,140
4	1,670	1	2,202	1	2,070			2	2,439	10	1,748	2	1,103
2	1,628	2	2,123	1	2,030			1	2,326	2	1,706	2	1,055
2	1,559	1	2,091	1	1,914			1	2,283	3	1,680		
3	1,513	3	1,764	1	1,813			2	2,126	3	1,664		
2	1,472	4	1,741	1	1,764			2	2,057	2	1,642		
		4	1,676	5	1,741			1	2,013	5	1,628		
		2	1,586	2	1,697			1	1,943	2	1,604		
		1	1,567	5	1,676			2	1,897	7	1,588		
		1	1,450	3	1,621			2	1,870	2	1,566		
		1	1,389	2	1,580			2	1,838	3	1,526		
		1	1,320	1	1,563			1	1,818	2	1,507		
		1	1,308	1	1,501			3	1,764	5	1,498		
				2	1,474			2	1,702	2	1,445		
				2	1,446			1	1,680				
				1	1,437			1	1,658				
				1	1,344			1	1,570				
				1	1,333			1	1,529				
				1	1,306			1	1,510				
				1	1,259			2	1,450				
								1	1,347				
								1	1,297				
								1	1,264				
								2	1,194				
								1	1,124				
								1	1,030				
								1	0,986				

Киноварь встречается в рудном прослое и в разрезе до глубины 7,5 м. Проявляется в основном в буровато-красных налетах и тончайших корочках на обломках. Значительно реже встречается в виде кристаллов, ассоциируя с реальгаром. Наиболее распространены натечные формы. Максимальные количества киновари встречены в осадках Хлоридного озера, вблизи донных грифонов. При больших увеличениях обнаруживается структура мельчайших шариков, сливающихся в пленку (рис. 72). Кристаллизация реальгара и киновари происходит в основном одновременно: шарики киновари сидят на кристаллах реальгара. На натечные образования киновари нарастают тонкопризматические кристаллы реальгара. Рентгенограмма узонской киновари отличается от эталонов и наиболее близка современной киновари вулкана Менделеева (Озерова, 1971).

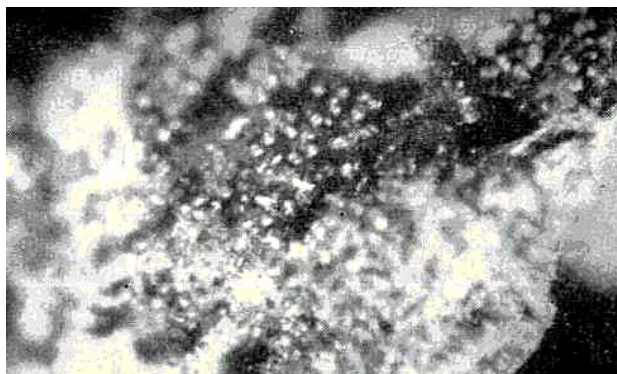


Рис. 72. Шарики киновари. Ув. 320

Метациннабарит, как и киноварь, встречается во всех рудных горизонтах. В виде черной землистой массы он обогащает отдельные участки, Рентгенограмма метациннабарита сходна с таковой для искусственного метациннабарита с сфалеритом (Михеев, 1957). В исследованном образце Узона около 1% Hg.

Гематит встречается во всех гидротермально-измененных породах, но приурочен главным образом к фациям сернокислотного выщелачивания (опал-каолининовая и опалитовая). Обычно образует тонкодисперсные массы, налеты и шарики с металлическим блеском. В прозрачных разностях опалитов они бледают буровато-красным цветом. В каолинитах шарики имеют темный стально-серый цвет. Рентгенограмма мельчайших металлических шариков гематита, отобранных из каолинизированных отложений в бортах Центрального термального поля, показала полную идентичность стандарту (см. табл. 53). В отложениях Центрального поля наблюдается гематизация некоторых обломков породы (гематит тонкодисперсный или точечный, расположенный рядом с сульфидами железа).

Пирит и марказит наиболее распространены из рудных минералов. Вблизи поверхности обычно встречаются сростки кубических кристаллов пирита и темная дисперсная или тонкокристаллическая масса сульфидов железа (рис. 73).

Последние покрывают корочкой с металлическим блеском обломки пород и наблюдаются в виде колломорфных выделений (рис. 74). На поверхности воды в грифонах и грязевых котлах наблюдается зеркальная пленка сульфидов железа. В отложениях Центрального термального поля встречаются зонально-концентрические оолиты пирита и марказита с радиально-лучистой структурой. Встречаются прожилки пирита с включениями газовых пузырьков и кристаллами реальгара в зальбандах (рис. 75). Пирит наиболее часто имеет кристаллический облик, марказит обычно дает раскристаллизованные каймы вокруг него или образует корочки и пленки на обломках. Пирит-марказитовые сростки замещают нередко зерна титаномагнетита, магнетита и реже ильменита. Они образуют тонкие, ажурные каймы или нацело замещают их с сохранением решетчатой реликтовой структуры титаномагнетита или ильменита (рис. 76-81). Характерны цементация обломков сульфидов железа и нарастание агрегатов пирита на зерна барита (рис. 82). Под микроскопом для марказита типичны агрегаты полисинтетически сдвойникованных зерен. Ромбические и шестигранные формы зерен его нередко просматриваются при увеличении 320. Рентгеноструктурным анализом доказывается одновременное присутствие пирита и марказита (см. табл. 53).

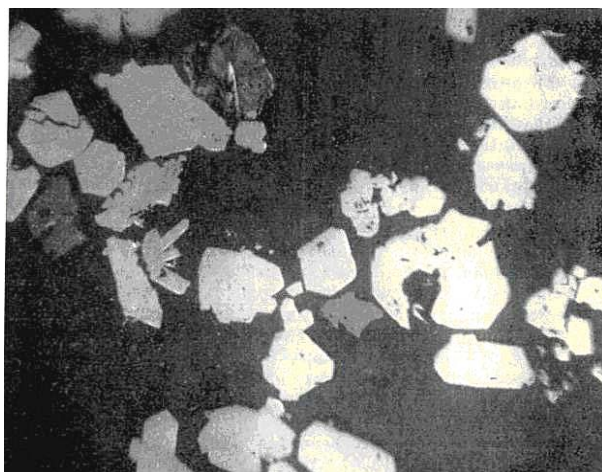


Рис. 73. Кристалл пирита и марказита. Спв. 10, глубина 2,7 м. У в. 320



Рис. 74. Зонально-концентрический оолит сульфида железа. Ув. 250



Рис. 75. Газовые пузырьки в лимонитизированном пирите, в залябандах прожилка кристаллы реальгара

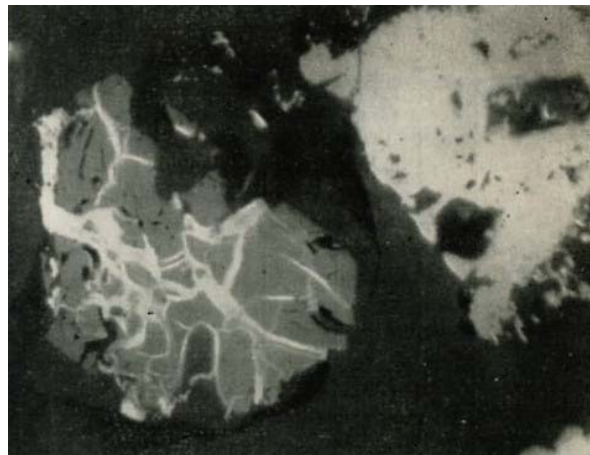
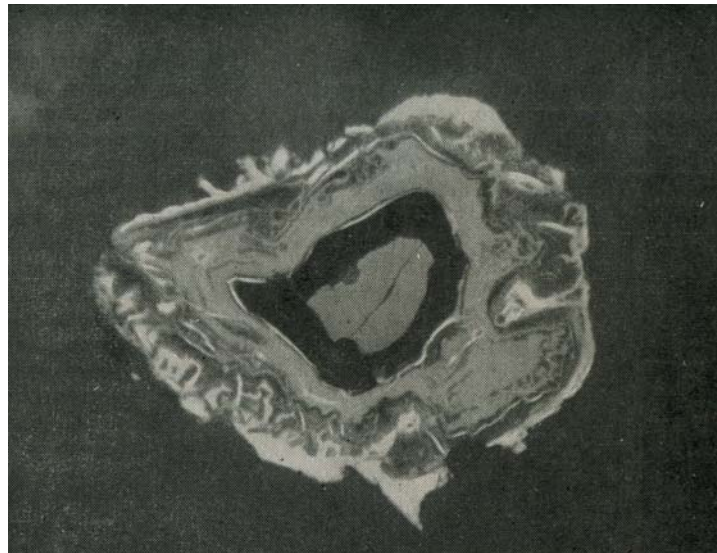


Рис. 76. Прожилковый характер замещения магнетита пиритом. Скв. 11, глубина 2,20 м. Ув. 250



77. Замещение пирит-марказитовыми агрегатами магнетита Скв. 10, глубина 2,7 м. Ув. 320



Рис. 78. Замещение пиритом магнетита. Скв. 11, глубина 1,40 м. Ув 320.

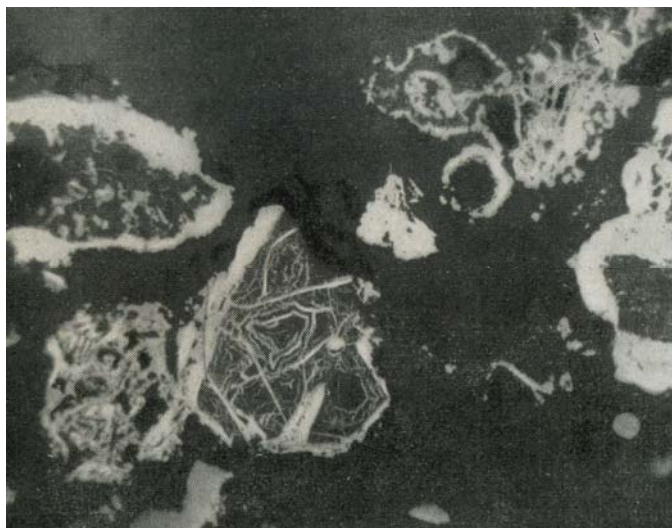


Рис. 79. Ажурное замещение пиритом магнетита. Скв. 11, глубина 2,20 м. Ув. 320

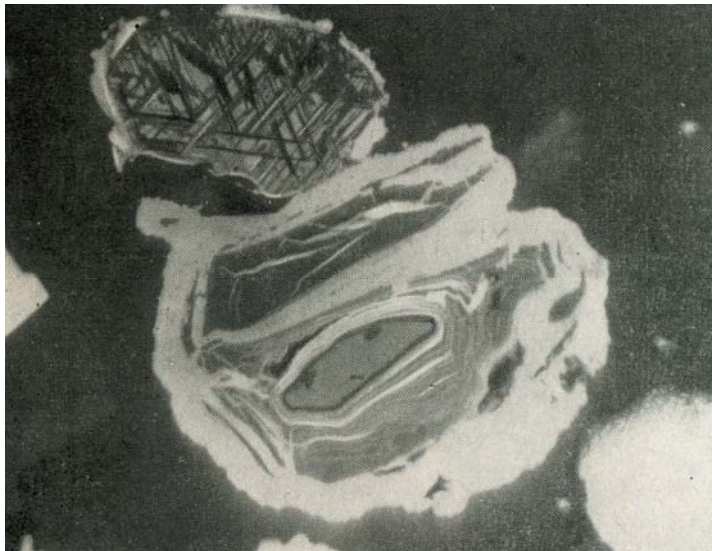


Рис. 80. Реликты решетки титаномагнетита и замещение пиритом магнетита. Скв. 10, глубина 2,7 м. Ув. 320



Рис. 81. Реликты сетчатой структуры магнетита, замещенного пиритом. Ув. 320.



Рис. 82 Цементация обломков пиритом. Скв. 11, глубина 2,20 м. Ув. 165

Пирротин встречается чаще в виде реликтов среди пирит-марказитовых агрегатов, реже в виде самостоятельных зерен (рис. 83). Прослеживаются, все постепенные переходы замещения пирротина

пиритом и марказитом, которое происходило в поверхностных условиях, что указывает на увеличение концентрации серы в ходе процесса сульфидообразования. Пирротин также присутствует в виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите (рис. 84). На глубине 3,2 м встречено срастание пирротина с пиритом и реальгаром (рис. 85). Кроме новообразованных зерен пирротина в аншлифах возможно присутствие обломочного пирротина.

Галенит проявляется в виде мелких разрозненных зернышек (до 0,2 мм), иногда расположенных среди кубиков пирита и игольчатых скоплений антимонита. Оптически изотропен. Наличие свинца подтверждено микрозондом.

Сфалерит наблюдается отдельными зернышками (до 0,8 мм), иногда обладающими типичными формами выкрашивания. Изредка они оконтурены кальцитом. Встречаются зерна сфалерита с каймой пирита и округлыми включениями пирита (рис. 86). Наличие цинка подтверждено микрозондом.

В осадках вблизи грифонов с хлоридно-натриевыми водами оптически установлены в виде разрозненных зернышек халькопирита, пентландита, бравоита, арсенопирита, галено-висмутин в парагенезисе с галенитом и свинцово-сурьмяные сульфосоли.

Кроме сульфидов, под микроскопом обнаружены самородные элементы (золото, серебро и медь). Для серебра характерны дендритовидные формы, для меди - неправильные мелкие зерна (рис. 87, 88).

Самородная ртуть наблюдалась в виде редких отдельных капельных шариков в пустотах гравелитовых отложений Центрального термального поля. Более крупный шарик жидкой ртути был встречен в опале, где он выполнял пору в пемзовом обломке.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. На Узоне одновременно образуются реальгар, аурипигмент, скородит, антимонит, метастибнит, киноварь, метацинобарит, пирит, марказит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, пентландит, ковелин, борнит, халькозин, бравоит, галено-висмутин, сфалерит, галенит, гематит, ярозит, сурьмяно-свинцовые сульфосоли и самородные (золото, серебро, медь и ртуть).

2. Современные рудные минералы наблюдаются обычно в виде разрозненных мелких выделений. Срастания типичны для пирита с марказитом, реальгара с аурипигментом, реальгара с антимонитом и пирита с пирротин и реальгаром.

3. Такое разнообразие рудных минералов на уровне 0-7,5 м и зональность отложения говорят о неустойчивом режиме сульфидообразования (рН, Eh и концентрации компонентов в рудообразующем растворе).

4. Проявляется вертикальная зональность в смене сверху вниз сульфидов мышьяка и сурьмы сульфидами железа. В распределении сульфидов железа подтверждена классическая зональность (смена сверху вниз): марказит - пирит - пирротин. Замещение пирротина пиритом говорит о неустойчивом режиме серы.

5. Замещение старых рудных минералов (титаномагнетита, магнетита, изредка ильменита) на пирит-марказитовые агрегаты свидетельствует о заимствовании железа сульфидов из вмещающих пород.

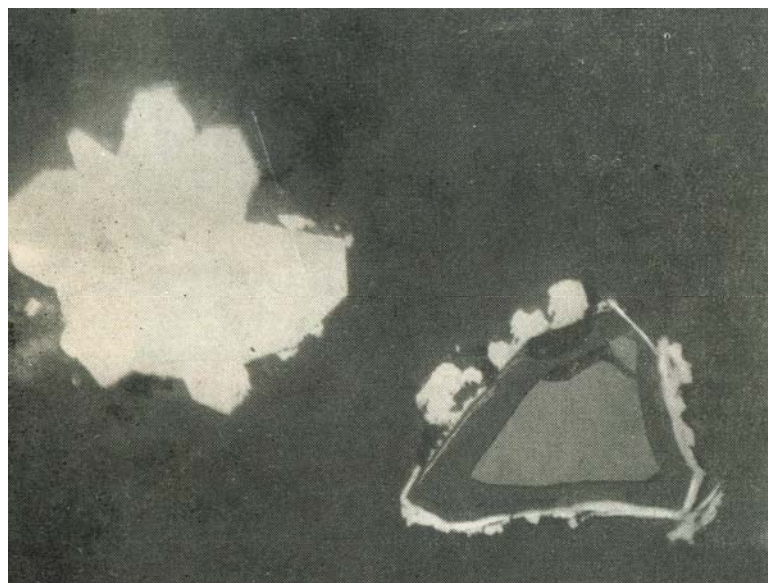


Рис. 83. Замещение пиритом пирротина. Скв. 10, глубина 2,7 м. Ув. 320

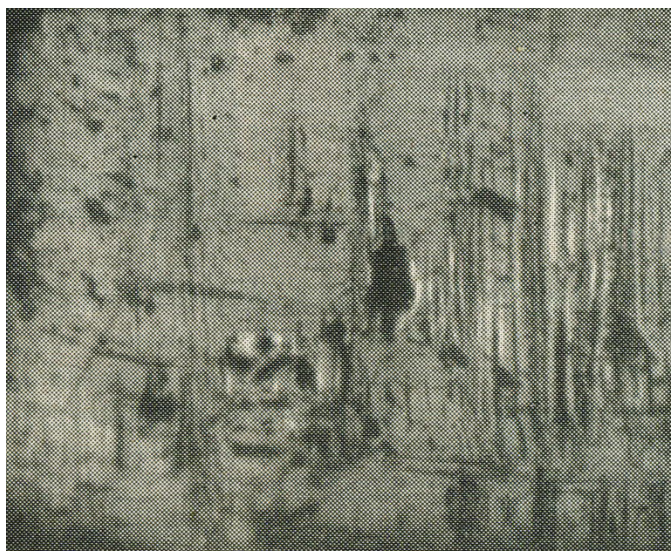


Рис. 84. Эмульсионная вкрапленность пирротина в сфалерите. У в. 360



Рис. 85. Срастания реальгара (темное) с пиритом (светлое) и пирротинном (серое). Скв. 10, глубина 2,7 м. Ув. 300

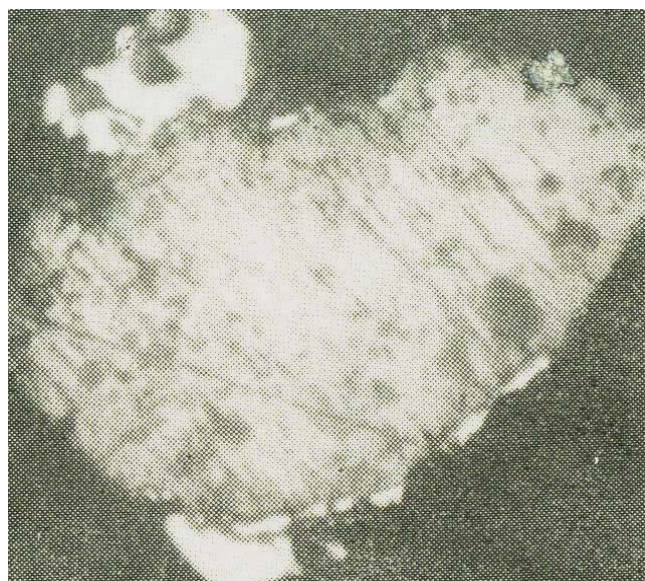


Рис. 86. Обрастание сфалерита пиритом. Ув. 360



Рис. 87. Самородное серебро. Ув. 320



Рис. 88. Самородная медь. Ув. 36L