

- Капустин Ю.Л. Циркофиллит — циркониевый аналог астрофиллита // Зап. ВМО. — 1972. — Ч. 101, вып. 4. — С. 459–463.
- Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2008. — 556 с.
- Павленко А.С., Орлова Л.П., Ахманова М.В., Тобелко К.И. О фторкарбонате тория — торбастрезите // Зап. ВМО. — 1965. — Ч. 94, вып. 1. — С. 105–114.
- Пиленчикин А.Я. Минералы, названные в честь геологов-политехников или открытые ими // Изв. ТПУ. — Томск, 2005. — Т. 308. — № 1. — С. 235–242.
- Всё о геологии: Сайт Геовикипедия [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://wiki.web.ru/wiki/>, www.mindat.org, свободный (дата обращения: 09.10.2019).
- Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья: Сайт Webmineral.ru: [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <https://webmineral.ru/>, свободный (дата обращения: 09.10.2019).
- Хомяков А.П., Степанов В.И., Молева В.А., Пудовкина З.В. Новый минерал тихоненковит $\text{SrAlF}_4(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$ // ДАН СССР. — 1964. — Т. 156. — С. 345–347.
- Яхонтова Л.К. Смольяниновит — новый минерал // Докл. АН. — 1956. — Т. 109. — № 4. — С. 849–850.
- Яхонтова Л.К., Плюснина И.И. Новый минерал — лазаренкоит // Минералогический журн. — 1981. — Т. 3. — С. 92–96.
- Pekov I.V. Minerals First Discovered on the Territory of the Former Soviet Union. — М., 1998. — 369 p.
- Petersen O.V., Khomyakov A.P., Leonardsen E.S., Micheelsen H.I., Johnsen O. Karasugite, $\text{SrCaAl}[\text{F},(\text{OH})]_7$, a new mineral species from the Karasug Fe-REE-barite-fluorite deposit, Tannu-Ola Range, South Siberia, Russia // Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte. — 1994. — № 5. — P. 209–216.

УДК 553.3; 544.3; 550.426.6

В.И. ЛЕБЕДЕВ, Ю.А. КАЛИНИН

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск, Россия)

ИНДИКАТОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ И БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ КОБАЛЬТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены результаты изучения минералов-индикаторов продуктивных парагенезисов и состава металлоносных флюидов Ni-Co-As ($\pm\text{U-Ag}$), Co-S-As ($\pm\text{Au-W}$), Cu-Co-As ($\pm\text{Sb-Ag}$) месторождений рудного пояса Bou-Offro–El-Graaga (Магос). Определение физико-химических параметров рудоотложения по флюидным включениям в минералах осуществлялось с использованием как традиционных, так и новых инструментальных методов термобаргеохимии: термо- и криометрия, КР-спектроскопия, концентрация рудных и петрогенных элементов в индивидуальных флюидных включениях оценивались методом LA-ICP-MS. Полученные результаты послужили основой исследования, главной задачей которого являлось термодинамическое моделирование условий совместного переноса и отложения Co, Ni, Cu, Fe, Mg, Ca, Ag, Au, Bi, U, Pt и Pd с расчётом ряда равновесных состояний гидротермальной системы, по составу близкой к природным рудообразующим флюидам. Выявлены физико-химические факторы

отложения самородных — золота, серебра, платины и палладия в рудах таких месторождений.

Ключевые слова: минеральный парагенезис, арсениды, сульфиды, термобарогеохимия, флюиды, газовой-жидкие включения, термодинамическое моделирование.

Рис. 6. Табл. 2. Библ. 10 назв. С. 13–22.

V.I. LEBEDEV, Yu.A. KALININ

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS (Novosibirsk, Russia)

INDICATOR MINERALS AND PRECIOUS METALS IN THE HYDROTHERMAL FORMATION PROCESS OF COBALT DEPOSITS

The study results of indicator-minerals of productive paragenesis and composition of metal-bearing fluids Ni-Co-As (\pm U-Ag), Co-S-As (\pm Au-W), Cu-Co-As (\pm Sb-Ag) deposits of the Bou-Offro – El-Graara (Maroc) ore belt. Determination of physico-chemical parameters of ore deposition from fluid inclusions in minerals was carried out using both traditional and new instrumental methods of thermobarogeochimistry: thermo- and cryometry, RAMAN spectroscopy, concentration of ore and petrogenic elements in individual fluid inclusion characterized by LA-ICP-MS. The obtained results served as the basis for the study, the main task of which was the thermodynamic modeling of the conditions of joint transport and deposition of Co, Ni, Cu, Fe, Mg, Ca, Ag, Au, Bi, U, Pt and Pd with the calculation of a number of equilibrium states of the hydrothermal system, compositionally-close to natural ore-forming fluids. Physico-chemical factors of native deposits – gold, silver, platinum and palladium in ores of such deposits are revealed.

Figures 6. Tables 2. References 10. P. 13–22.

Проблема источников рудообразующих растворов остаётся остро дискуссионной. Одни исследователи считали, что формирование Co месторождений связано, в основном, с участием захороненных рассолов экзогенного происхождения (Kerrich et al., 2000), другие предполагали также участие и магматических источников рудного вещества и флюидов с участием захороненных рассолов (Борисенко, Лебедев, Тюлькин, 1984). Полученные новые данные по изотопному составу He, C, O и H рудообразующих флюидов, формировавших Co-As, Ni-Co-As и Cu-Co-As месторождения, позволяют с новых позиций охарактеризовать процессы рудообразования на гидротермальных собственно кобальтовых месторождениях, оценить масштабы участия в формировании руд магматогенных (мантийных) флюидов и их смешения с экзогенными водами как важного фактора рудоотложения (Lebedev, Maacha, 2017; Лебедев, Маача, 2018; Лебедев, 2018). Применённый комплексный подход в решении данной проблемы, а именно — исследование макро- и микрокомпонентного состава растворов и газовой фазы флюида как классическими (термо- и криометрия), так и современными точными количественными методами (LA-ICP-MS и KR-спектроскопия) с привлечением определений изотопного состава растворов флюидных включений, позволил на качественно новом уровне обосновывать полигенность источников вещества и растворов в формировании собственно кобальтовых месторождений. Методика исследования собственно кобальтовых гидротермальных месторождений включала: минералогическое изучение состава руд различных формационных типов; геохимические исследования продуктивной кобальтовой минерализации для выяснения особенностей распределения Au, Ag и ЭПГ в рудах разных минеральных типов; сравнительный анализ состава растворов и газовой фазы флюидных включений. Обобщены результаты определения свойств и состава рудообразующих флюидов разных типов кобальтовых месторождений с целью оценки роли физико-химических факторов в накоплении повышенных концентраций в них благородных металлов. На основе термодинамического компьютерного моделирования установлены главные факторы рудоотложения на кобальтовых месторождениях, выявлены физико-химические факторы отложения самородных золота, серебра, Hg-серебра, платины и палладия в рудах этих месторождений.

В пределах рудного пояса Bou Offroh–El Graara в секторе Bou Azzer–Aghbar были проведены геолого-структурные исследования масштаба 1 : 10 000–1 : 25 000, в результате которых в 1–2 км к востоку от жильной зоны Couloire закартированы мощные кварц-карбонатные жильные системы № 1, 2, 3, 4 и Aghbar–1 (рис. 1) брекчиево-крустификационного выполнения без видимой арсенидной кобальтовой минерализации (Лебедев, Маача, 2018; Лебедев, 2018).

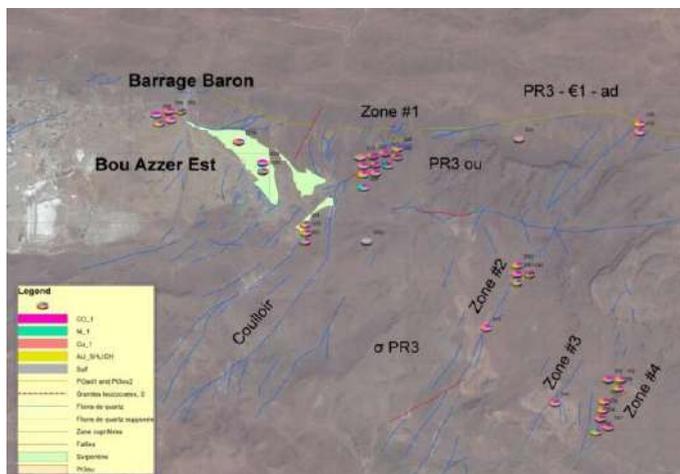
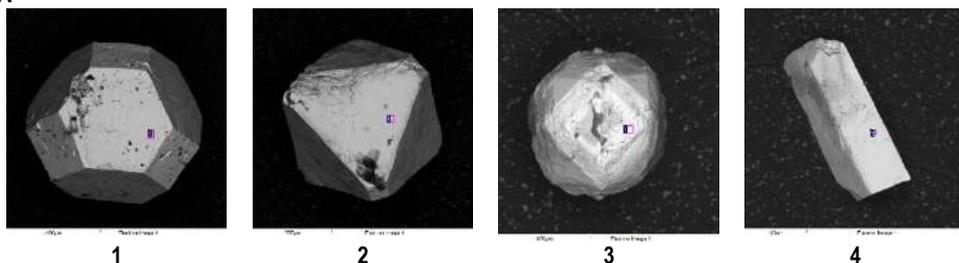


Рисунок 1. Геолого-структурная позиция жильных систем Barrage Baron, Couloire, № 1, 2, 3, 4 и результаты минералогического изучения концентратов проб жильного материала

Из наиболее протяжённых и мощных зон с поверхности отобраны представительные пробы жильного материала для последующего минералогического анализа. Одновременно отбирались кристаллы кварца и карбонатов для последующего изучения флюидных включений с целью определения РТВ-параметров рудоотложения. Главная идея заключается в том, что, если на глубине имеется продуктивное на кобальтовую арсенидную минерализацию рудное тело, то на поверхности в каком-то минералогическом выражении должно проявляться «рудное дыхание» в виде первичных или вторичных кобальтовых минералов. Подобным методом в 1970 г. Б.В. Образцовым (Образцов, 1981) было выявлено главное рудное тело Bou Azzer Est. В качестве проверочного критерия данного метода использовано опробование жильных зон над известными богатыми рудными телами месторождений Bou Azzer Center, Bou Azzer Est, Michoui и структуры Couloir. Всего отобрано более 100 проб (весом 5–7 кг каждая) коренных пород из жильных кварц-карбонатных зон различной мощности. На участке механической пробоподготовки рудника Bou Azzer каждая проба была обработана по единой схеме: многократное дробление и расситовка до фракции -2 мм, промывка для получения концентрата (тяжёлая фракция) и предварительный просмотр под бинокулярным микроскопом. Были выделены индикаторные минералы арсенидного кобальтового оруденения, а их точная диагностика проведена в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (рис. 2; табл. 1, 2).

А



Б

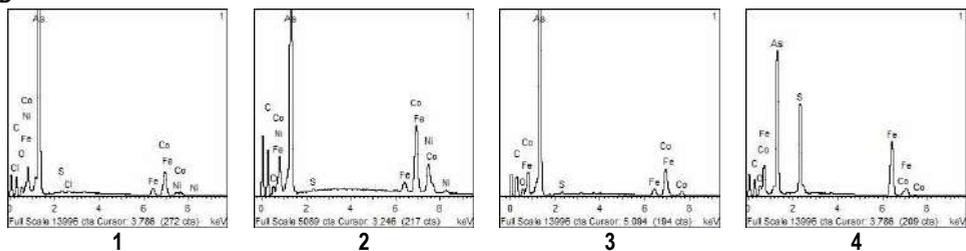


Рисунок 2. Формы выделения (А) и состав (Б) индикаторных рудных минералов (1–4) в кварцево-карбонатных жилах структуры Couloir месторождения Bou Azzer Est

1 — скуттерудит (Sct), 2 — смальтин (Sml), 3 — сафлорит (Saf), 4 — арсенипирит (Ars)–лёллингит (Löl).

Таблица 1. Состав арсенидов кобальта, никеля и железа месторождений рудного узла Бу Аззер

Проба	Минерал, парагенезис	Месторождение, жила, глубина	Содержание элементов, %									
			Co	Ni	Fe	Cu	Ag	Bi	As	S	Σ	
3020-1	Sct-I (Qv ₁ +Ca ₁ +Ars)	C. Bou Azzer (F-7/5, -215 м)	20,0	0,49	0,59	–	–	–	80,6	0,87	102,01	
			20,2	0,45	0,55	–	–	–	80,2	0,89	102,20	
3020-3	Sct-II (Qv ₂ +Ca+Ars)	C. Bou Azzer (F-7/5, -215 м)	17,7	0,53	0,59	–	–	–	75,5	4,2	98,52	
3025	Sct-I (Qv ₁ +Ca ₁ +Ars)	C. Bou Azzer (F-5, -145 м)	17,60	0,05	4,05	–	–	–	80,3	0,47	102,47	
			17,37	–	4,2	–	–	–	80,0	0,85	102,42	
3050	Sct-I (Qv ₁ +Ca ₁ +Ars)	C. Bou Azzer (F-2, -50 м)	12,68	5,39	2,82	–	–	–	80,05	0,89	101,83	
			14,86	3,21	2,65	–	–	–	80,04	0,86	101,62	
3050-1	Sct-II (Qv ₂ +Ca+Ars)	C. Bou Azzer (F-2, -50 м)	11,6	5,48	4,74	–	–	–	76,67	2,92	100,88	
			13,42	3,69	4,29	–	–	–	75,55	3,21	100,16	
3025-1	Löl-I (Qv ₂ +Ca+Ars)	C. Bou Azzer (F-7, -145 м)	0,89	–	27,8	–	–	–	72,1	1,01	101,80	
3013-2	Löl-III (Qv ₃ +Ca ₂ +Sfd)	C. Bou Azzer (F-7, -215 м)	1,37	–	26,21	–	–	–	73,27	0,50	101,35	
			2,99	–	23,66	–	–	–	72,61	0,29	99,54	
3046	Löl-III (Qv ₃ +Ca ₂ +Sfd)	C. Bou Azzer (F-5, -50 м)	1,92	–	26,67	–	–	–	72,47	0,31	101,37	
			7,02	0,01	21,44	–	–	–	72,07	0,30	100,84	
M-8	SafI	Me-shoui	22,34	0,02	6,40	0,03	–	0,003	71,7	0,01	100,59	
M-9	SafI	Me-shoui	23,15	0,02	5,68	0,01	–	0,003	71,43	0,15	100,44	
M-7	Ars	Me-shoui	1,11	0,04	32,22	–	–	0,002	0,074	47,56	17,64	98,65
M-13	Ars	Me-shoui	0,46	0,03	32,30	–	–	–	49,05	17,18	99,02	
M-16	Ars	Me-shoui	1,00	0,01	32,24	–	–	0,008	–	47,63	18,24	99,13
T-2	Sct	Tam-drost	17,58	0,93	2,89	0,004	–	–	0,020	78,16	0,59	100,17
T-270	Ars	Tam-drost	4,08	0,20	28,83	0,003	0,003	–	–	47,62	17,61	98,36

Примечание. Sct — скуттерудит; Löl — лёллингит; SafI — сафлорит; Ars — арсенипирит.

Анализы выполнены Л.Н. Поспеловой на рентгеноспектральном микроанализаторе «Camebax-micro» в ИГМ СО РАН.

Как известно, сканирующая электронная микроскопия является базовым методом, позволяющим диагностировать фазовый, минеральный и полуколичественный химический состав включений в минералах, а также оценивать состав минералохозяина. Изучение подготовленного полированного препарата (шашки) с диагностируемыми зёрнами минералов из жильных зон рудного поля Bou Azzer проводилось на сканирующих электронных микроскопах LEO1430VP с энергетическим спектрометром OXFORD, а также на JSM 6510 LV. Для анализа на электронном сканирующем микроскопе были приготовлены специальные препараты с клеевой основой, на которую аккуратно укладываются минералы и агрегаты их зёрен, которые и были подвергнуты изучению. На первом этапе проанализировано 184 минеральных зерна из 9-ти наиболее представительных проб: 2001 — 13 минералов; 2002 — 12; 2003 —

14; 021 — 20; 048 — 19; 053 — 12; 054 — 34; 055 — 39; 2021 — 11. В текущем режиме диагностировались все зёрна, а микрофотографии, индивидуальные спектры и химические составы снимались выборочно, лишь для наиболее характерных минеральных форм и агрегатов.

Наиболее распространёнными индикаторными минералами продуктивных жил являются арсениды: скуттерудит, сафлорит и арсенипирит – лёллинит (см. рис. 2). Менее распространены арсениды никеля (никелин, хлоантит, раммельсбергит, маухерит, крутовит, орселит и парараммельсбергит), сульфоарсениды кобальта, никеля и железа (кобальтин, герсдорфит и аллоклазит), сульфиды (халькопирит, пирит и молибденит).

Таблица 2. Состав сульфидов и минералов благородных металлов рудного узла Bou Azzer

Минерал	Месторождение, жила, глубина	Содержание элементов,										
		Cu	Pb-Zn	Hg	Co (Fe)	As	S	Sb	Se	Ag	Bi	
proustite	C. Bou Azzer, St-2	-	-	0,70	-	15,15	19,4	-	-	64,74	-	
proustite	Tamdrost	-	-	1,50	-	12,13	14,76	-	-	71,17	-	
		-	-	3,30	-	7,87	14,32	-	-	73,48	-	
		-	-	2,10	-	10,37	15,52	-	-	71,50	-	
native Ag	Bouismass	-	-	5,10	-	8,95	0,06	-	-	86,82	-	
chalcopyrite	C. Bou Azzer	33,19	0,02	-	-(28,86)	-	36,55	0,03	-	0,024	-	
chalcopyrite	C. Bou Azzer	-145	33,28	0,16	-	-(30,60)	-	34,72	-	0,007	-	0,19
		-145	32,95	0,13	-	-(29,93)	-	34,86	-	-	0,016	0,154
		-215	32,73	0,17	-	-(29,97)	-	34,46	-	-	-	0,063
		-215	32,89	0,08	-	-(29,91)	-	34,68	-	-	0,011	0,185
bornite	C. Bou Azzer	-215	56,74	0,17	-	-(12,00)	-	26,74	-	0,012	0,031	0,107
enargite-IV	C. Bou Azzer	-145	46,78	0,18	-	-(0,50)	21,03	33,13	-	-	-	0,155
tennantite	C. Bou Azzer	-145	43,91	0,41	-	-(4,87)	22,18	29,12	-	-	-	0,139
		-145	44,18	0,51	-	-(4,42)	23,17	27,58	-	0,018	-	0,152
sphalerite	C. Bou Azzer	-145	1,46	62,77	-	-(3,15)	4,38	30,16	-	0,028	-	0,192
		-145	1,62	63,28	-	-(2,09)	-	32,98	-	-	-	0,221
chalcopyrite	Tamdrost	33,11	0,01	-	0,3 (28,46)	1,52	35,17	0,006	-	0,063	0,153	
chalcopyrite	Tamdrost	33,18	0,06	-	0,6 (27,20)	3,32	34,72	0,015	-	0,124	-	
		33,90	0,03	-	0,4 (27,90)	2,59	34,87	0,002	-	0,041	-	
		32,24	0,11	-	0,5 (27,91)	2,71	35,01	0,010	-	0,107	-	
chalcopyrite	Tamdrost	33,19	0,02	-	-(28,86)	-	34,55	0,003	-	0,024	-	
sphalerite	Tamdrost	0,17	64,63	-	-(0,86)	1,67	32,88	0,012	-	0,038	-	
galena	Tamdrost	0,27	87,29	-	-(0,13)	-	13,06	-	-	-	0,13	

Примечание. Анализы выполнены Л.Н. Поспеловой на рентгеноспектральном микроанализаторе «Camebax-micro» в ИГМ СО РАН (Lebedev, 2003).

Руды большинства арсенидных кобальтовых месторождений пояса Bou Offroh – El Graага характеризуются (см. табл. 1, 2) резким преобладанием кобальта над никелем (Co: Ni = 10: 1), высокими содержаниями золота (до 100 г/т) и молибдена (до 0,1%), относительно низкими серебра (10–150 г/т), висмута (до 0,01%) и урана. Скуттерудит-1 и Fe-скуттерудит выделяются в виде сплошных масс и образуют сростания с Ni-кобальтином. Самородное золото (золото-1) встречается в скуттерудите-1 в виде мелких вкраплений размером от 30 до 1 мкм и меньше, присутствуют и единичные округлые зёрна золота-1 с поперечными сечениями в 50 мкм и более (рис. 3).

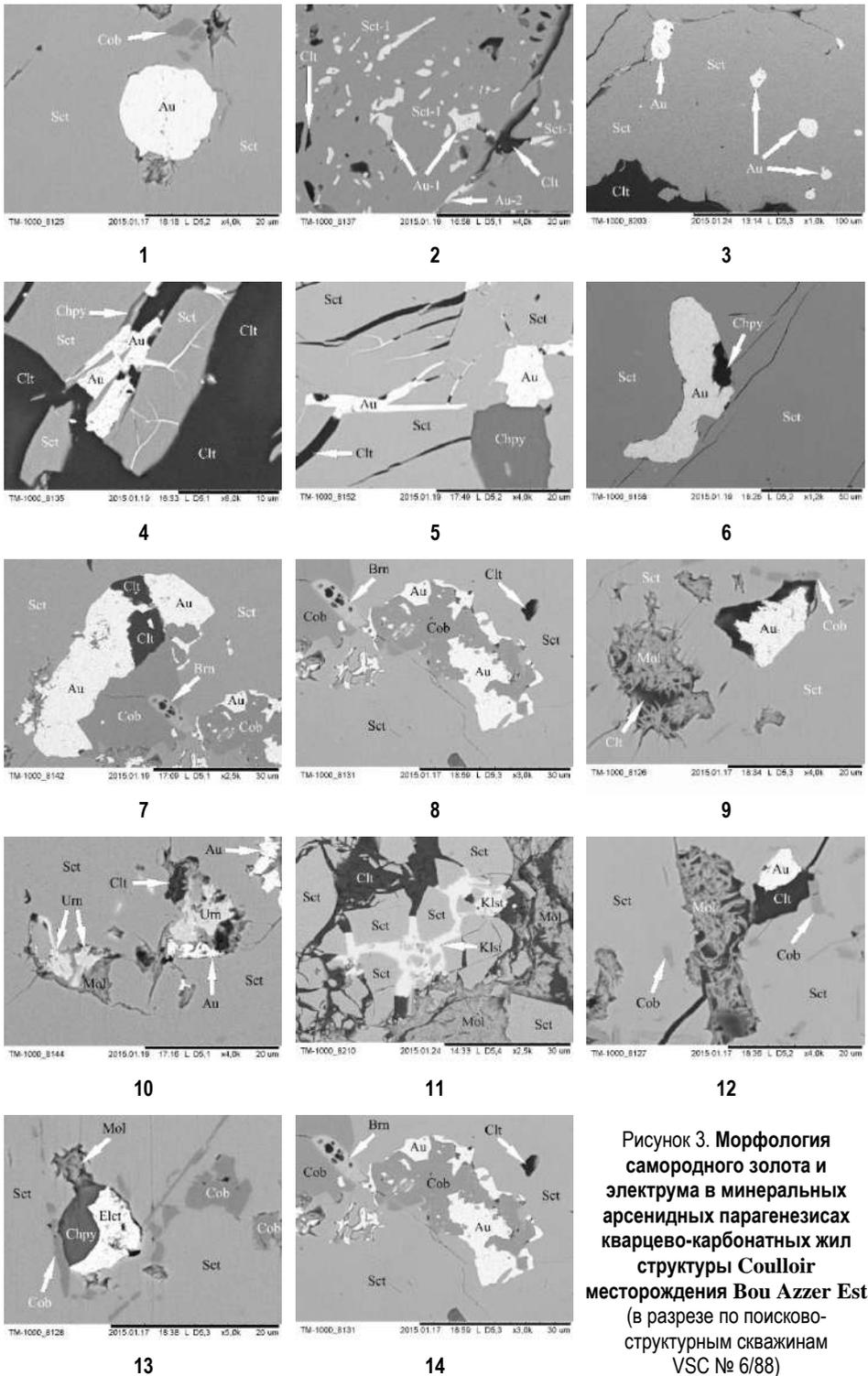


Рисунок 3. Морфология самородного золота и электрума в минеральных арсенидных парагенезисах кварцево-карбонатных жил структуры Couloir месторождения Bou Azzer Est (в разрезе по поисково-структурным скважинам VSC № 6/88)

Приуроченность жил к сопряжённой кулисной системе разломов в всячем боку рудоподводящих надвиговых зон позволяет прогнозировать распределение оруденения на глубину и фланги. Возможность дальнейшего наращивания ресурсов кобальта в рудном поле месторождения Bou Azzer Est на глубоких горизонтах доказана при отработке жил подземными выработками до глубины 580 м, а в 2014–2015 гг. — до-

полнительно подтверждена при проходке поисково-структурных скважин (рис. 4). Вблизи контакта с диоритами в серпентинитах вскрыты богатые арсенидные кобальтовые руды с молибденитом, уранинитом и золотом в интервале глубин 410–885 м на юго-восточном и восточном флангах в субмеридональном «коридоре» серпентинитов.

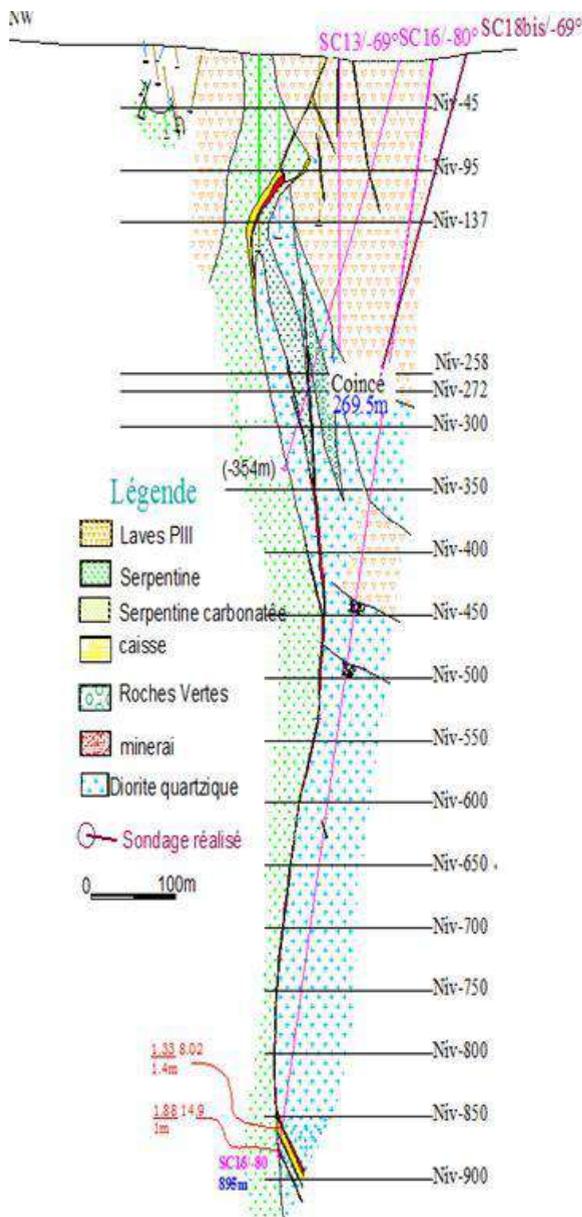


Рисунок 4. Геологический разрез по скважинам SC 13/69° и SC 16/80°, вскрывшими золото-молибденит-настуран-скуттерудитовую минерализацию в жильной структуре Couloir месторождения Bou Azzer Est на глубине 410–885 м в 2015 г.

После образования ранней минеральной ассоциации, происходили тектонические нарушения, которые восстанавливаются по крупным обломкам скуттерудита–1 и Fe-скуттерудита. Трещинки в минералах первой минеральной ассоциации залечены, а их обломки сцементированы халькопиритом, кальцитом–2, кобальтином–2, скуттерудитом–2 и вкрапленниками золота второй минеральной ассоциации.

Жильная система №2 (рис. 5), выявленная в 1,6 км к востоку от структуры Couloir, падает на юго-восток под углом 70–75° и прослеживается по азимуту 25–30° на 1200 м при мощности, изменяющейся от 1 м (в пережимах) до 10 м (в раздувах). Она смещена правосторонними сдвигами к востоку на 40–45 м в 120 м южнее северного

выклинивания и затем на 200 м южнее — вдоль тальвега узда субширотного простирания. Жильная система выполнена друзовидным и сливным кварцем «мозаичного» облика, цементирующим обломки тёмно-серых карбонатно-кремнистых гидротермально изменённых пород (рис. 6).



Рисунок 5. Кварцево-доломитовая жильная система № 2. Западный фланг участка Bou Azzer–Aghbar



Рисунок 6. Жильный кварц «мозаичного» облика с жемчужной горной хрусталью

В лежачем боку жилы с друзовидным кварцем контактирует розовый среднекристаллический доломит, сопутствующий обычно арсенидной кобальтовой минерализации. Ни в доломите, ни в разновидностях кварца в этой жильной системе, как и в других прослеженных жильных структурах 3 и 4, видимой арсенидной кобальтовой минерализации не наблюдалось. Было сделано предположение, что, если на глубине имеется продуктивное на кобальтовую арсенидную минерализацию рудное тело, то на поверхности в каком-то минералогическом выражении должно проявляться «рудное дыхание» в виде первичных или вторичных кобальтовых минералов. В качестве проверочного критерия эффективности данного метода было применено опробование жильных зон над известными богатыми рудными телами структуры Couloir, жильных полей Bou Azzer Center, Bou Azzer Est и Michoui.

Следует подчеркнуть, что полученные результаты — это итог рекогносцировочного этапа изучения индикаторных минералов. Необходимо дальнейшее продолжение минералого-геохимических исследований. Тем не менее, выводы, сделанные на основе геолого-структурных исследований и минералогического изучения проб из жильных кварцево-карбонатных систем, являются весьма обнадеживающими. Как и предполагалось, в значительной части проб обнаружены и подтверждены Co-Ni-As минералы: скуттерудит (CoAs_3) и арсенопирит-лёллингит (Fe,As_2), а также Fe-скуттерудит, саффлорит (Fe,CoAs_2) и другие промежуточные разновидности (по соотношению Co и Fe). В ряде проб обнаружено также некоторое количество Ni-минералов (никелин — NiAs, маухерит — Ni_3As_2 и др.). После диагностики индикаторных минералов в эталонных пробах были заново пересмотрены практически все концентраты и минеральный состав проб-протолок, отобранных в секторе Bou Azzer – Aghbar.

В Ni-Co-As месторождениях благородные металлы отлагались либо совместно с арсенидами никеля и кобальта, образуя с ним тесные сростания, либо в составе минеральных парагенезисов, связанных с проявлением более поздних гидротермальных процессов, существенно оторванных во времени от этапа формирования арсенидных кобальтовых руд. Характерно, что на таких месторождениях Hg-серебро отлагалось в составе малосульфидных парагенезисов (арсениды никеля, кобальта и железа с самородными висмутом, мышьяком и сурьмой). В процессе изучения особенностей распределения благородных металлов (Au, Ag и ЭПГ) в рудах гидротермальных кобальтовых месторождений установлено, что низкотемпературные объекты отличаются высокими содержаниями Ag (от 100 г/т до п.10 кг/т) и, как правило, низкими кон-

центрациями золота и ЭПГ. При этом, наиболее высокие содержания серебра характерны для Ag-Ni-Co и Ni-Co-Bi-Ag-U месторождений.

Изучение температурных условий формирования руд кобальтовых месторождений, как и многих других физико-химических параметров гидротермального процесса, базируется в основном на всестороннем исследовании газовой-жидких включений в минералах. Материал для их изучения отобран на кобальтовых месторождениях, относящихся к различным рудным формациям. Исследования гидротермальных кобальтовых месторождений, руды которых характеризуются разным содержанием Au, Ag, Bi, Pt, Pd, U и Hg, включали: изучение минералогического состава руд; геохимические исследования кобальтовых руд для выяснения особенностей распределения золота, серебра, элементов платиновой группы и ряда других ценных компонентов; сравнительный анализ состава растворов и газовой фазы флюидных включений; геохронологические и изотопно-геохимические исследования для выяснения роли магматических и вмещающих пород в формировании разных минеральных типов кобальтового оруденения.

Co-S-As (Au-W) относительно высокотемпературные руды формировались в связи со становлением и развитием корово-мантийных габбро-гранитных либо субщелочных базит-гранитных рудно-магматических систем коллизионного этапа. Для них установлен контроль рудоотложения зонами предшествующих контактово-метасоматических изменений пород, возникавших при становлении гранитоидных массивов. Геохимическая специализация рудно-магматических систем и синхронность проявления базитового и гранитоидного магматизма, являются причиной присутствия золота и ЭПГ, а также шеелита и повышенных содержаний Sn в Co-сульфоарсенидных рудах месторождения Кара-Куль (Юго-Восточный Алтай).

Ni-Co-As (U-Ag) низкотемпературные месторождения (в т. ч. Хову-Аксы и Бу Аззер) представлены многостадийными кварцево-карбонатными (иногда с баритом) жилами, выполненными преимущественно арсенидами Co, Ni и Fe при подчинённом количестве сульфоарсенидов сульфидов Cu, Fe, Pb и Zn, сульфосолей Ag, Cu и Te, самородных Ag и Bi, иногда минералов ЭПГ.

Выводы

1. Высока вероятность полигенности источников вещества и растворов в формировании собственно кобальтовых месторождений, а также важной роли процессов смешения и разбавления эндогенных растворов метеорными водами.
2. Методика исследования генезиса собственно кобальтовых гидротермальных месторождений должна включать: минералого-геохимическое изучение состава руд и, особенно, продуктивной кобальтовой минерализации для выяснения распределения Au, Ag и ЭПГ; сравнительный анализ состава растворов и газовой фазы флюидных включений в нерудных жильных минералах.
3. Параметрические характеристики состава рудообразующих флюидов разных типов кобальтовых месторождений свидетельствуют об относительно низких температурах отложения продуктивных минеральных парагенезисов и накопления в них повышенных концентраций благородных металлов.
4. Термодинамическое компьютерное моделирование (Акинфиев, 1992, 1993, 2010; Лебедев, 2018) позволяет уточнить последовательность отложения самородных золота и серебра, а также сопутствующих минералов урана и молибдена в рудах гидротермальных кобальтовых месторождений.

Полученные данные могут послужить базой для разработки корректных генетических моделей рудообразующих систем собственно кобальтовых месторождений и содействовать решению проблем их поиска.

Работа выполнена в рамках Государственного заказа ИГМ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Акинфиев Н.Н., Зотов А.В., Никаноров А.П. Термодинамический анализ равновесий в системе As(III)-S(II)-O-H // Геохимия. – 1992. – № 5. – С. 721–734.

- Акинфиев Н.Н., Зотов А.В., Шикина Н.Д.* Экспериментальные исследования и согласование термодинамических данных в системе Sb(III)-S(II)-O-H // *Геохимия*. – 1993. – № 12. – С. 1709–1720.
- Акинфиев Н.Н., Зотов А.В.* Термодинамическое описание водных компонентов системы Cu-Ag-AuS-O-H в диапазоне температур 0–600°C и 1–3000 бар // *Геохимия*. – 2010. – № 7. – С. 761–767.
- Борисенко А.С., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г.* Условия образования гидротермальных кобальтовых месторождений. – Новосибирск: Наука, 1984. – 172 с.
- Kerrick R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S.* The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distributions, and origins // *Reviews in 763: Economic Geology*. – 2000. – Vol. 13. – P. 501–551.
- Lebedev V.I.* Ore-magmatic systems of arsenide-cobalt deposits. – Kyzyl: TuvIENR SB RAS, 2003. – 132 p.
- Lebedev V.I., Maacha L.* Metallogeny of cobalt in the ore-belt of Bou Azzer–El Graara / Ed.: doctor of geology, acad. RAS V.V. Yarmoliuk. – Marakesh: Academic Publishing LAP LAMBERT, 2017. – 218 p.
- Лебедев В.И., Маача Л.* Кобальтовые арсенидные месторождения рудного пояса Bou Azzer–El Graara (Марок) / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук, академ. РАН В.В. Ярмольюк. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018. – 279 с.
- Лебедев В.И.* Кобальтовые месторождения Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук, проф. А.С. Борисенко. – Барнаул: Новый формат, 2018. – 203 с.
- Образцов Б.В.* Закономерности локализации арсенидных никель-кобальтовых руд, связанных с серпентинитами, и опыт проведения поисков месторождений буаззерского типа в Туве // *Материалы по геологии Тувы. АССР. Вып. V*. – Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1981. – С. 150–161.

УДК 550.34

С.-С.С. МОНГУШ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

По материалам каталога сейсмических событий Сибирского региона оценено влияние человеческой деятельности на естественную сейсмичность. Исследовано локальное вмешательство человека в природные процессы на примерах проведения промышленных взрывов при добыче полезных ископаемых карьерным способом в Каа-Хемском угольном разрезе.

Ключевые слова: угольный разрез, сейсмическая активность, полезные ископаемые, техногенные факторы.

Рис. 3. Табл. 1. Библ. 4 назв. С. 22–26.

S.-S.S. MONGUSH

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia) **THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACTORS ON SEISMICITY OF TYVA REPUBLIC**

The influence of human activity on natural seismicity is estimated according to the materials of the catalogue of seismic events of the Siberian region. Local human intervention in natural processes is investigated based on the industrial mining explosions by quarry method in the Kaa-Khem coal mine.