СУЛЬФИДНО-СЕЛЕНИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ ШАТАКСКОГО КОМПЛЕКСА (БАШКИРСКИЙ МЕГАНТИКЛИНОРИЙ)

С. Г. Ковалев¹, С. И. Высоцкий¹, С. С. Ковалев¹, В. А. Котляров²

¹Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа
kovalev@ufaras.ru

²Институт минералогии Уральского отделения РАН, Миасс
100126@mineralogy.ru

Целью работы явилось детальное изучение сульфидно-селенидной минерализации, обнаруженной в вулканогенно-осадочных отложениях шатакского комплекса (Башкирский мегантиклинорий). Изучение минералов проводилось на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М с EDA в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс) и сканирующем электронном микроскопе CamScan-4 с анализирующей приставкой LINK OXFORD (ВНИИХТ, Москва). Определение Se, Cu, Fe, Pb, As в породах выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в ЦИИ ВСЕГЕИ. На основании содержаний Se, Cu, Fe, Pb, As в породах комплекса делается вывод о метаморфогенно-гидротермальном образовании данного типа минерализации. В то же время констатируется, что вопрос о механизмах кристаллизации в локальных объемах селенидов и сульфидов (CuFeS_2 – CuFeSe_2 (?), PbS – PbSe) остается открытым.

Ключевые слова: Шатакский комплекс, вулканогенно-осадочные отложения, конгломераты, базальты, сульфиды, селениды.

SULPHIDE-SELENIDE MINERALIZATION IN VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY ROCKS OF THE SHATAK COMPLEX (BASHKIRIAN MEGANTICLINORIUM)

S. G. Kovalev¹, S. I. Vysotsky¹, S. S. Kovalev¹, V. A. Kotlyarov²

¹Institute of Geology Ufa Science Centre RAS, Ufa

²Institute of Mineralogy UB RAS, Miass,

The aim of the work was a detailed study of sulfide-selenide mineralization found in volcanic-sedimentary deposits of the Shatak complex (Bashkir meganticlinorium). A study of minerals was carried out on the REMM-202M with EDA at the Institute of Mineralogy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Miass) and the scanning electron microscope CamScan-4 with the analyzing attachment LINK OXFORD (VNIIXHT, Moscow). Determination of Se, Cu, Fe, Pb, As is carried out by mass spectrometry with inductively coupled plasma in the VSEGEI Institute. Based on the content of Se, Cu, Fe, Pb, As in the rocks of the complex, a conclusion is made about metamorphogenic-hydrothermal formation of this type of mineralization. At the same time, it is stated that the question of the mechanisms of crystallization in local volumes of the extreme members of isomorphous series of selenides and sulfides (CuFeS_2 – CuFe_3Se_4 (?), PbS – PbSe) remains open.

Keywords: Shatak complex, volcanic-sedimentary deposits, conglomerates, basalts, sulphides, selenides.

Введение

Сульфидная минерализация широко распространена на территории всего Урала. Она встречается в различных формационно-генетических типах пород и структурно-вещественных комплексах. Сульфиды являются рудами многих металлов, и их минералогия хорошо изучена не только в пределах региона. Селенидная минерализация распространена в несопоставимых с сульфидами масштабах и в пределах Урала встречается относительно редко [7], большинство находок собственно минералов селена сделано в зонах окисления колчеданных [3, 15], стратиформных цинковых [2], золотокварцевых жильных [10] месторождений. При детальном исследовании пород шатакского вулканогенно-осадочного комплекса нами была обнаружена сульфидно-селенидная минерализация, в составе которой встречены как редкие сульфиды — гринокит, бетехтинит, так и селениды — клаусталит, селенид железа и меди, не описанные ранее в аналогичных породах.

Методы исследований

Изучение минералогии пород проводилось на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М с EDA в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс) и сканиру-

ющем электронном микроскопе CamScan-4 с анализирующей приставкой LINK OXFORD (ВНИИХТ, Москва).

Определение в породах элементов (Se, Cu, Fe, Pb, As), используемых в работе, выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) в ЦИИ ВСЕГЕИ (пределы обнаружения — 0.002 г/т).

Геология Шатакского комплекса

Шатакский комплекс представляет собой стратифицированную вулканогенно-осадочную ассоциацию, залегающую в основании среднерифейского разреза Башкирского мегантиклинория (рис. 1). Осадочные породы комплекса слагают около 75 % его объема и представлены преимущественно грубозернистыми разностями: конгломератами и песчаниками. Алевролиты, алевросланцы и сланцы встречаются относительно редко. Конгломераты развиты на нескольких стратиграфических уровнях. Они на 70–80 % сложены хорошо окатанными обломками кварцито-песчаников и кварцитов. В «базальных» горизонтах повсеместно отмечаются галька и глыбы подстилающих пород юшинской свиты нижнего рифея. Цемент представлен кварцевым песчаным материалом и мелкозернистой серицит-хлоритовой массой. Песчаники представлены кварцевыми разностями, на 80–90 % состоящими из обломков кварца с хлорит-

Рис. 1. Геологическая схема шатакского комплекса и сводные разрезы кузельгинской (а) и каранской (б) подсвит:

1 — юшинская свита, 2 — машакская свита, 3 — зигальгинская свита, 4 — авзянская свита, 5 — зильмердакская свита, 6 — риолиты, 7 — базальты, 8 — метасоматиты, 9 — конгломераты, 10 — песчаники, 11 — сланцы и алевросланцы, 12 — изученные интервалы

Fig. 1. The geological scheme of the Shatak complex and the composite sections of the Kuzhelginskaya (a) and Karanskaya (b) subunits. 1 — Yusha Formation, 2 — Mashak Formation, 3 — ygalga Formation, 4 — Avzyan Formation, 5 — Zilmerdak Formation, 6 — rhyolites, 7 — basalts, 8 — metasomatites, 9 — conglomerates, 10 — sandstones, 11 — shales & siltstones, 12 — studied intervals

серицитовым цементом. Алевролиты, алевросланцы и сланцы встречаются в тонком переслаивании друг с другом, реже слагают самостоятельные маломощные горизонты и пачки.

Магматические породы шатакского комплекса представлены пикритами, базальтами и риолитами. Пикриты образуют пластовую интрузию видимой мощностью около 25–30 м, расположенную в основании машакской свиты непосредственно на границе с подстилающими отложениями юшинской свиты (RF₁). Тело подразделяется на три зоны: нижнюю эндоконтактовую, центральную и верхнюю эндоконтактовую. Породы верхней эндоконтактовой зоны представлены метадолеритами с микрофитовой и микродолеритовой структурой. Центральная часть интрузии сложена пикритами, первичными минералами которых являлись оливин, клинопироксен, ортопироксен(?) и роговая обманка. Породы практически

полностью превращены в тальк-амфибол-серпентиновый агрегат. Нижний эндоконтакт представлен интенсивно метаморфизованными пикродолеритами. Из первичных минералов по псевдоморфозам устанавливают клинопироксен и плагиоклаз. Вторичные минералы представлены амфиболом, лейкоксеном, хлоритом, серпентином, альбитом, карбонатом, тальком и серицитом.

Для базальтов шатакского комплекса, максимальное количество которых входит в состав кузельгинской и каранской подсвит, характерны микродолеритовая, микрофитовая, апоинтерсертальная и порфириовидная структуры. Минеральный состав пород включает в себя клинопироксен, плагиоклаз, роговую обманку, титаномагнетит и магнетит. Ассоциация вторичных минералов представлена амфиболом актинолит-тремолитового ряда, хлоритом (пеннин-клинохлор), эпидотом, серицитом, титанитом, лейкоксеном и гематитом.

Риолиты — светло-серые породы с порфирированной флюидалной и шпирово-такситовой структурой, основная масса которых сложена мелкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. В порфирированных выделениях присутствует кислый-средний плагиоклаз (андезин-олигоклаз). Темноцветные минералы представлены зеленовато-бурым биотитом и хлоритом. В качестве аксессуаров встречаются апатит, ортит, монацит, титанит, эпидот.

Кроме того, в пределах комплекса встречаются интрузивные габбро, габбродолериты, представленные силлами или штокообразными телами с рвущими стратифицированными толщами контактами. Практически все магматические породы претерпели интенсивный зеленокаменный метаморфизм. Они окварцованы и серицитизированы.

Сульфидно-селенидная минерализация

Вкрапленная сульфидная минерализация в шатакском комплексе установлена в различных типах пород на разных горизонтах разреза. Нами были детально изучены три интервала (рис. 1), где она более обильна и представлена нетипичными (с нашей точки зрения) ассоциациями минералов.

Первый интервал приурочен к контакту базальтов и подстилающих конгломератов. В конгломератах присутствуют обломки черных алевросланцев размером до 5 см по удлинению, имеющие слабоокатанную, частично остроугольную форму, а также обломки кварца и кварцитов различной степени окатанности. Цемент представлен тонкозернистым серицит-хлорит-кварцевым агрегатом с редкими выделениями эпидота. Ассоциация халькопирит + борнит + халькозин развита в зоне мощностью около 0.4 м как в конгломератах, так и в эндоконтакте базальтов.

Решетчатые и простые сростки *халькопирита* и *борнита* образуют ксеноморфную вкрапленность размером до 1 мм (рис. 2, а, b, d). Химические составы минералов (см. таблицу) близки к стехиометрическим.

Халькозин встречается в виде выделений неправильной формы размером до 80–100 мкм голубого цвета. В его химическом составе присутствует значительное количество железа (см. таблицу).

Галенит встречается в виде изометричных и слабоограниченных выделений размером до 20 мкм, располагающихся по периферии сульфидов меди (см. рис. 2, с, d) либо находящихся в них в виде включений. В его химическом составе присутствует селен.

Молибденит встречен в единичном выделении. Минерал представлен сростком листоватых кристаллов (рис. 2, i). Его состав (см. таблицу) близок к теоретическому, а в качестве примеси присутствует незначительное количество железа.

Бетехтинит описан на довольно многих месторождениях различного генезиса, в пределах России — в колчеданных рудах [6], Гайском месторождении [4] и медистых песчаниках [13]. На западном склоне Южного Урала обнаружен впервые [8]. Минерал встречен в виде включения в халькопирите (рис. 2, h). В его составе установлен недостаток меди и избыток свинца против теоретического (см. таблицу).

Гринокит в пределах России описан в фумаролах вулкана Кудрявый [16] и колчеданных месторождениях Урала [11, 12], также находки минерала известны в Центральном Казахстане, Таджикистане, Шотландии, Боливии, Австрии

и США. В шатакском комплексе минерал был обнаружен в терригенных породах интервала 1 (рис. 1). Гринокит приурочен к кварцевым зернам, образуя «россыпь» мелких кристаллов слабоограниченной (дипирамидальной) и изометричной формы (рис. 2, e). В качестве примесей в его составе присутствуют Zn и Se.

В верхнем экзоконтакте этого же магматического тела, в мелкогалечных конгломератах (рис. 1, интервал 2) сульфидная минерализация представлена ассоциацией пирит + халькопирит + борнит. Парагенезис халькопирит + борнит практически полностью аналогичен описанному выше как по морфологии, так и по химическому составу минералов (см. таблицу). *Пирит* встречается в виде зернистых агрегатов и отдельных кристаллов кубического или пентагондodeкаэдрического (рис. 2, f) габитуса. В его составе установлен мышьяк (рис. 2, f; таблица).

В породах каранской подсвиты горизонты, обогащенные сульфидными минералами, встречаются довольно часто. Как правило, сульфиды представлены *пиритом*, образующим в терригенных породах ксеноморфные выделения, группирующиеся в обособления изометричной формы. В химическом составе пирита установлены значимые содержания кобальта и селена (см. таблицу).

Сульфидно-селенидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, борнитом, клаусталитом и селенидом железа и меди, установлена в кварцевых песчаниках на границе с конгломератами (рис. 1, интервал 3). Песчаники сложены остроугольными, слабоокатанными обломками кварца, микрокварцитов и глинистых сланцев, нацело замещенных тонкочешуйчатым агрегатом серицита. Цемент порового типа представлен тонкочешуйчатым хлорит-серицитовым агрегатом. Наряду с селеносодержащим пиритом здесь установлен парагенезис халькопирит + борнит, образующий вкрапленную минерализацию, аналогичную описанной выше.

Клаусталит встречен в одном случае в кварцевом обломке в виде слабоограниченного кристалла кубического габитуса (рис. 2, g). К характерной особенности его химического состава относится присутствие примеси серы (см. таблицу).

Селенид железа и меди встречен в единичном случае в виде включения размером около 10 мкм изометричной формы в зерне кварца (рис. 2, j). В его химическом составе установлена значительная (10.2 мас. %) примесь мышьяка (см. таблицу).

Обсуждение результатов

Приведенные выше данные свидетельствуют, что в изученных интервалах присутствует сульфидно-селенидная минерализация, представленная собственными фазами сульфидов и селенидов. Кроме того, в сульфидах часто отмечается примесь Se (пирит, гринокит, галенит, см. таблицу), а в селенидах — S (клаусталит, см. таблицу). Для объяснения описанной ситуации необходимо рассмотреть геохимическую специализацию вулканогенно-осадочных образований шатакского комплекса.

Среднее содержание селена в осадочных породах составляет 0.27 г/т по [5], в то время как рассчитанное среднее содержание Se для осадочных пород шатакского комплекса равно 6.7 г/т ($n = 26$), т.е. количество селена в шатакских терригенных породах превышает среднее содержание этого элемента в осадочных породах ~ в 25 раз. Для базальтоидов шатакского комплекса $Se_{\text{сред.}} = 1.1$ г/т ($n = 14$), что также в значительной степени (в 10 раз) пре-

Рис. 2. Микрофотографии минералов из пород шатакского комплекса:

chPy — халькопирит, Brn — борнит, Gln — галенит, Grn — гринокит, Th — торит, Kls — клаусталит, Btch — бетехтинит, Mlb — молибденит, (Cu, Fe)Se — селенид железа и меди

Fig. 2. Microphotographs of minerals from the rocks of the Shatak complex. ChPy — chalcopyrite, Brn — bornite, Gln — galena, Grn — grinokite, Th — torite, Kls — clausthalite, Btch — betechtinite, Mlb — molybdenite, (Cu, Fe) Se — iron and copper selenide

Химические составы сульфидов и селенидов из пород шатакского комплекса (мас.%)
Chemical compositions of sulfides and selenides from the rocks of the Shatak complex (wt. %)

№ п/п	№ обр.	Fe	Cu	Pb	S	Se	As	Cd	Summ
1	C1/158.8	45.08	—	—	50.23	—	4.49	—	99.81
2		45.02	—	—	51.18	—	3.65	—	99.85
3	C41/230	46.78	—	—	53.00	—	—	—	99.78
4		46.77	—	—	53.10	—	—	—	99.87
5	C41/230	47.27	—	—	51.76	0.5	—	—	99.53
6	C41/230	30.01	34.40	—	34.94	—	—	—	99.34
7		30.85	34.04	—	34.63	—	—	—	99.52
8		30.28	34.11	—	35.10	—	—	—	99.49
9	C1/158.8	30.39	34.06	—	35.33	—	—	—	99.78
10		29.74	35.02	—	34.85	—	—	—	99.61
11	C1/158.8	30.24	34.82	—	34.63	—	—	—	99.69
12		29.96	35.45	—	34.12	—	—	—	99.53
13	C1/205	30.33	34.26	—	34.99	—	—	—	99.58
14		29.77	34.90	—	35.00	—	—	—	99.67
15		29.42	35.02	—	35.28	—	—	—	99.72
16		29.71	34.42	—	35.44	—	—	—	99.58
17		5.41	71.31	—	23.28	—	—	—	100.0
18		6.23	75.37	—	18.40	—	—	—	100.0
19	C41/230	11.33	62.14	—	26.12	—	—	—	99.58
20	C1/205	10.78	62.01	—	26.64	—	—	—	99.43
21		10.59	62.04	—	26.88	—	—	—	99.51
22		10.53	63.40	—	25.81	—	—	—	99.74
23		11.02	63.41	—	25.49	—	—	—	99.91
24		10.74	63.03	—	25.67	—	—	—	99.44
25		—	—	—	21.84	—	—	75.31	99.12
26		—	—	—	21.96	0.27	—	77.32	99.55
27		—	—	—	22.18	—	—	77.77	99.95
28		—	—	—	21.82	—	—	77.30	99.12
29		—	—	84.81	12.16	2.99	—	—	99.96
30	C41/230	—	—	76.80	3.74	19.46	—	—	100.00
31	C1/205	3.93	47.22	26.12	22.5	—	—	—	99.77
32	C41/230	39.5	10.08	—	—	40.22	10.2	—	100.0

Формулы:

1. $\text{Fe}_1(\text{S}_{1.93}\text{As}_{0.07})_2$; 2. $\text{Fe}_{0.99}(\text{S}_{1.95}\text{As}_{0.06})_{2.01}$; 3. $\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.99}$; 4. $\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.99}$; 5. $\text{S}_{1.96}\text{Fe}_{1.03}\text{Se}_{0.01}$;
 6. $\text{Cu}_{1.00}\text{Fe}_{0.99}\text{S}_{2.01}$; 7. $\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{1.02}\text{S}_{1.99}$; 8. $\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{2.01}$; 9. $\text{Cu}_{0.98}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{2.02}$; 10. $\text{Cu}_{1.02}\text{Fe}_{0.98}\text{S}_{2.00}$; 11. $\text{Cu}_{1.01}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{1.99}$; 12. $\text{Cu}_{1.03}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{1.97}$; 13. $\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{2.01}$; 14. $\text{Cu}_{1.01}\text{Fe}_{0.98}\text{S}_{2.01}$; 15. $\text{Cu}_{1.01}\text{Fe}_{0.97}\text{S}_{2.02}$; 16. $\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{0.98}\text{S}_{2.03}$; 17. $\text{Cu}_{1.73}\text{S}_{1.12}\text{Fe}_{0.15}$; 18. $\text{Cu}_{1.90}\text{S}_{0.92}\text{Fe}_{0.18}$;
 19. $\text{Cu}_{4.90}\text{Fe}_{1.02}\text{S}_{4.08}$; 20. $\text{Cu}_{4.88}\text{Fe}_{0.97}\text{S}_{4.15}$; 21. $\text{Cu}_{4.87}\text{Fe}_{0.95}\text{S}_{4.18}$; 22. $\text{Cu}_{5.01}\text{Fe}_{0.95}\text{S}_{4.04}$;
 23. Cu_3FeS_4 ; 24. $\text{Cu}_{5.00}\text{Fe}_{0.97}\text{S}_{4.03}$; 25. $(\text{Cd}_{0.97}\text{Zn}_{0.04})_{1.01}\text{S}_{0.99}$; 26. $\text{Cd}_{1.0}(\text{S}_{0.995}\text{Se}_{0.005})_{1.0}$;
 27. CdS ; 28. CdS ; 29. $\text{Pb}_{0.99}(\text{S}_{0.92}\text{Se}_{0.09})_{1.01}$; 30. $\text{Pb}_{1.01}(\text{Se}_{0.67}\text{S}_{0.32})_{0.99}$;
 31. $\text{Cu}_{1.81}\text{S}_{1.71}\text{Pb}_{0.31}\text{Fe}_{0.17}$; 32. $(\text{Fe}_{1.40}\text{Cu}_{0.31}\text{As}_{0.27})_{1.98}\text{Se}_{1.01}$.

Примечание. 1–5 — пирит; 6–16 — халькопирит; 17, 18 — халькозин; 19–24 — борнит; 25–28 — гринокит; 29 — галенит; 30 — клаусталит; 31 — бетехтинит; 32 — селенид железа и меди. В № 5 установлено 0.43 мас. % Co; в № 25 установлено 1.97 мас. % Zn. № 13–18, 20–29, 31 — интервал 1; № 1, 2, 9–12 — интервал 2; № 3–8, 19, 30, 32 — интервал 3.

Note. 1–5 pyrite; 6–16 — chalcopyrite; 17, 18 — chalcosine; 19–24 — bornite; 25–28 — greenite; 29 — galena; 30 — claushtalite; 31 — betechtinite; 32 — eskebornite. In №. 5 — 0.43 wt. % Co; In №. 25 — 1.97 wt. % Zn. № 13–18, 20–29, 31 — interval 1; № 1, 2, 9–12 — interval 2; № 3–8, 19, 30, 32 — interval 3.

вышает среднее содержание селена в основных вулканитах — 0.11 г/т по [5].

На рис. 3 изображена серия бинарных диаграмм, характеризующих содержания в породах основных минералообразующих элементов. Анализ распределения точек содержаний позволяет сделать следующие выводы:

— концентрация точек базальтоидов кузельгинской и каранской подсистем в отчетливые локальные поля на диаграммах Se–Fe и Se–Cu может свидетельствовать о первичной их обогащенности этими элементами;

— значительный разброс содержаний всех рассматриваемых элементов в терригенных породах комплекса и отсутствие закономерностей в расположении точек на диаграммах наряду с геологическими факторами (приуроченность сульфидно-селенидной минерализации к контактам осадочных и магматических пород либо к границам литологических разновидностей) свидетельствуют, по нашему мнению, об их метаморфогенно-гидротермальном перераспределении.

Таким образом, упрощенная модель образования сульфидно-селенидной минерализации в вулканогенно-

Рис. 3. Бинарные диаграммы (г/т) для пород шатакского комплекса.

Содержания элементов: 1 — в осадочных породах (средние) по [5]; 2 — в магматических породах основного состава (средние) по [5]; 3 — в терригенных породах кузельгинской подсвиты; 4 — в базальтоидах кузельгинской подсвиты; 5 — в терригенных породах каранской подсвиты; 6 — в базальтоидах каранской подсвиты

Fig. 3. Binary diagrams (g/m) for rocks of the Shatak complex.

Content of elements: 1 — in sedimentary rocks (average) [5]; 2 — in magmatic rocks of basic composition (average) [5]; 3 — in terrigenous rocks of the Kuz'elga subsuite; 4 — in the basaltoids of the Kuz'elga subsuite; 5 — in terrigenous rocks of the Karan subsuite; 6 — in the basaltoids of the Karan subsuite

осадочных породах шатакского комплекса может быть представлена в следующем виде. Среднерифейский рифтогенез в пределах западного склона Южного Урала ознаменовался формированием серии грабенообразных структур (шатакский, машакский комплексы) с максимальным развитием интрузивного магматизма и вулканизма при большом разнообразии продуктов его деятельности — интрузии, эффузивные и пирокластические фации. Процессы дифференциации в промежуточных очагах [8] и, возможно, контаминация в их верхних частях, привели к образованию магм, различающихся как по основности (пикриты, базальты, риолиты), так и по геохимическим характеристикам (обогащенность Se, As, Cd, Cu и др. по сравнению с мантийным субстратом). При этом осадки и осадочные породы верхних горизонтов коры пронизывались потоками флюидов, содержащих «избыточные» количества ряда элементов, что привело к формированию геохимических аномалий в породах рамы. Последующий гидротермальный метаморфизм, который, вероятнее всего, реализовывался в два этапа (первый — при формировании вулканогенно-осадочной ассоциации (син-эпигенетический) и второй, связанный с «вендской коллизией» [14]), привел к формированию сульфидно-селенидной минерализации, которая концентрировалась в наиболее проницаемых зонах — на контактах различных типов пород либо литологических разновидностей. Оценка термобарических пара-

метров метаморфизма, выполненная по химическому составу светлых слюд, свидетельствует, что максимальные температура и давление соответствовали $T = \sim 460^\circ\text{C}$, $P = \sim 8$ кбар, а минимальные составляли $T = \sim 380^\circ\text{C}$, $P = \sim 3$ кбар.

В заключение необходимо подчеркнуть, что вопрос о механизмах кристаллизации в локальных объемах селенидов и сульфидов (CuFeS_2 — CuFeSe_2 ?), PbS — PbSe) остается открытым. Необходимо проведение более детальных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-45-020045.

Литература

1. Аюпова Н. Р., Масленников В. В., Котляров В. А. и др. Минералы селена и индия в зоне субмаринного гипергенеза колчеданной залежи Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения, Южный Урал // ДАН. 2017. Т. 473. №2. С. 190—194.
2. Блинов И. А. Самородные металлы, селениды, галогениды и ассоциирующие минералы из бурых железняков Амурского и Верхне-Аршинского месторождений (Южный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 65—74.
3. Блинов И. А., Белогуб Е. В., Новоселов К. А. Гипергенные самородные металлы, интерметаллиды, сульфиды и селениды в бурых железняках Юбилейного медноколчеданного месторождения, Южный Урал // Металлогения древних и сов-

ременных океанов – 2016. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 106–109.

4. Гайский ГОК: геология Гайского и Подольского медно-цинковых колчеданных месторождений на Урале / Ред. В. А. Прокин. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 148 с.

5. Григорьев Н. А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2002. № 1. С. 61–71.

6. Качаловская В. М., Хромова М. М. О бетехтините, гессите, штрмейерите из борнитовых руд месторождения Уруп // Геология рудных месторождений. 1970. № 1. С. 93–97.

7. Кобяшев Ю. С., Никандров С. Н. Минералы Урала. Екатеринбург: Квадрат, 2007. 312 с.

8. Ковалев С. Г., Пучков В. Н., Высоцкий С. И., Ковалев С. С. Условия образования магматических пород при плюмовом процессе (на примере западного склона Южного Урала) // ДАН. 2017. Т. 475. № 2. С. 171–175.

9. Ковалев С. Г., Высоцкий И. В., Пучков В. Н. Маслов А. В., Гареев Э. З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПресс, 2013. 268 с.

10. Кузнецов С. К., Сокерина Н. В., Филиппов В. Н., Сокерин М. Ю., Жарков В. А. Минералы селена в золотоносных жилах севера Урала // ДАН. 2012. Т. 442. № 3. С. 390–393.

11. Масленников В. В. Аюпова Н. Р., Масленникова С. П. и др. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург, 2014. 340 с.

12. Масленникова С. П., Масленников В. В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург; Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.

13. Новоселов К. А. и др. Бетехтинит из руд Удоканского месторождения медистых песчаников (Забайкалье, Россия) // Минералогия. 2017. № 2. С. 14–21.

14. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

15. Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A., Spiro B. Supergene sulphides and related minerals in the supergene profiles of VHMS deposits from the South Urals // Ore Geology Reviews. 2008. V. 33. Issue 3–4. P. 239–254.

16. Chaplygin I. V., Mozgova N. N., Mokhov A. V. et al. Minerals of the system ZnS–CdS from fumaroles of the Kudriav volcano, Iturup island, Kuriles, Russia // The Canadian Mineralogist. 2007. Vol. 45. P. 709–722.

References

1. Ayupova N. R., Maslennikov V. V., Kotlyarov V. A., Maslennikova S. P., Danyushevskii L. B., Larzh R. *Mineraly selena i indiya v zone submarinnogo gipergeneza kolchedannoi zalezhi Molodezhnogo medno-tsinkovo-kolchedannogo mestorozhdeniya, Yuzhnyi Ural* (Selenium and indium minerals in zone of submarine hypergenesis of sulphide deposit of Molodezhnoe copper-zinc-sulphide deposit). Reports of Academy of Sciences, 2017, V. 473, No. 2, pp. 190–194.

2. Blinov I. A. *Samorodnye metally, selenidy, galogenidy i asotsiiruyuschie mineraly iz buryh zheleznyakov Amurskogo i Verhne-Arshinskogo mestorozhdenii (Yuzhnyi Ural)* (Native metals, selenides, halogenides and associated minerals from brown iron ore of Amur and Upper Amur deposits (South Urals). Litosfera, 2015, No. 1, pp. 65–74.

3. Blinov I. A., Belogub E. V., Novoselov K. A. *Gipergennye samorodnye metally, intermetallidy, sul'fidy i selenidy v buryh zhe-*

leznyakh Yubileinogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya, Yuzhnyi Ural (Hypergene native metals, intermetallides, sulphides and selenides in brown iron ores of Yubileynoe copper sulphide deposit, South Urals). Metallogeniya drevnih i sovremennyh okeanov – 2016. Miass: IMin UB RAS, pp. 106–109.

4. Gaikii GOK: *geologiya Gaikogo i Podolskogo medno-tsinkovykh kolchedannykh mestorozhdenii na Urale* (Geology of Gaysky and Podolsky copper-zinc sulphide deposits in Urals). Ed. V.A. Prokin, Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2004, 148 pp.

5. Grigorev N. A. *O klarkovom sodержanii himicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinentalnoi kory* (Percentage content of chemical elements in upper part of continental crust). Litosfera, 2002, No. 1, pp. 61–71.

6. Kachalovskaya V. M., Hromova M. M. *O betehtinite, gessite, shtromeierite iz bornitovykh rud mestorozhdeniya Urup* (Betehtinite, hessite, stromeirite from bornite ores of Urup deposit). Geologiya rudnykh mestorozhdenii. 1970, No. 1, pp. 93–97.

7. Kobyashev Yu. S., Nikandrov S. N. *Mineraly Urala* (Ural minerals). Ekaterinburg: Kvadrat, 2007, 312 pp.

8. Kovalev S. G., Puchkov V. N., Vysotskii S. I., Kovalev S. S. *Usloviya obrazovaniya magmaticheskikh porod pri plyumovom protsesse (na primere zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala)* (Formation conditions of magmatic rocks at plume process (example of western slope of South Urals). Reports of Academy of sciences, 2017, V. 475, No. 2, pp. 171–175.

9. Kovalev S. G., Vysotskii I. V., Puchkov V. N. Maslov A. V., Gareev E. Z. *Geohimicheskaya spetsializatsiya strukturno-veschestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya* (Geochemical specialization of structural-material complexes of Bashkirsky megaanticlinorium). Ufa: DizainPress, 2013, 268 pp.

10. Kuznetsov S. K., Sokerina N. V., Filippov V. N., Sokerin M. Yu., Zharkov V. A. *Mineraly selena v zolotonosnykh zhilah severa Urala* (Selenium minerals in gold-bearing veins of Urals). Reports of Academy of Sciences, V. 442, No. 3, pp. 390–393.

11. Maslennikov V. V. Ayupova N. R., Maslennikova S. P., Tret'yakov G. A., Melekestseva I. Yu., Safina N. P., Belogub E. V., Larzh R. R., Danyushevskii L. V., Tseluiko A. S., Gladkov A. G., Krainev Yu. D. *Toksichnye elementy v kolchedanoobrazuyuschih sistemah* (Toxic elements in sulphide-forming systems). Ekaterinburg, 2014, 340 pp.

12. Maslennikova S. P., Maslennikov V. V. *Sul'fidnye trubyy paleozoiskikh «chernyy kuril'schikov» (na primere Urala)* (Sulphide pipes of Paleozoic black smokers (Urals)). Ekaterinburg-Miass, UB RAS, 2007, 312 pp.

13. Novoselov K. A. et al. *Betehtinit iz rud Udokanskogo mestorozhdeniya medistykh peschanikov (Zabaikal'e, Rossiya)* (Betehtinite from ores of Udokansky deposit of copper sandstones (Baikal, Russia)). Mineralogiya, 2017, No. 2, pp. 14–21.

14. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of Urals and Ural region (problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DizainPoligrafServis, 2010, 280 pp.

15. Belogub E. V., Novoselov K. A., Yakovleva V. A. Spiro V. Supergene sulphides and related minerals in the supergene profiles of VHMS deposits from the South Urals. Ore Geology Reviews, 2008. V.33. Issue 3–4, pp. 239–254.

16. Chaplygin I. V., Mozgova N. N., Mokhov A. V., Kaporulina E. V., Bernhardt H. J., Bryzgalov I. A. Minerals of the system ZnS–CdS from fumaroles of the Kudriav volcano, Iturup island, Kuriles, Russia. The Canadian Mineralogist. 2007. Vol. 45, pp. 709–722.