

УДК 535.435

БЛЕКЛЫЕ РУДЫ РУДНЫХ ФАЦИЙ ЮБИЛЕЙНОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А.С. Целуйко^{1,2}, Н.Р. Аюпова^{1,2}, С.П. Масленникова¹, В.А. Котляров¹

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; celyukoa@rambler.ru

²Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, ул. 8 июля 10, г. Миасс, Челябинская обл., 456301 Россия

FAHLORES OF ORE FACIES OF THE YUBILEYNOE MASSIVE SULFIDE DEPOSIT (SOUTH URALS)

A.S. Tseluyko^{1,2}, N.R. Ayupova^{1,2}, S.P. Maslennikova¹, V.A. Kotlyarov¹

¹Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; celyukoa@rambler.ru

²South Urals State University, Miass branch, ul. 8 Iyulya 10, Miass, Chelyabinsk district, 456301 Russia

В кальцит-талк-сфалерит-пирит-халькопиритовых трубах палеокурильщиков, борнитовых, сфалерит-пирит-халькопиритовых и кварц-карбонат-гематитовых диагенитах, а также кремнистых алевропелитах Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) установлены Ag-, Te-, Mn, Pb-содержащие разновидности теннантита и минералов ряда теннантит-тетраэдрит. В халькопирите крустификаций гидротермальных труб доминирует теннантит, в то время как в псевдоморфозах халькопирита по колломорфному пириту оболочек труб и в кальцит-талк-сфалеритовых крустификациях осевого канала труб – теннантит и минералы ряда теннантит-тетраэдрит. Наблюдается повышение сурьмянистости ($100\text{Sb}/(\text{Sb} + \text{As} + \text{Te})$) от 1.4 к 48.5 % и понижение средних содержаний Fe (3.8 → 2.1 мас. %), Cu (42.2 → 39.8 мас. %) и As (19.6 → 9.7 мас. %) от внутренних к периферийным частям зерен блеклых руд. Предполагается, что нарастание сурьмянистости связано с нарастанием роли морской воды в гидротермальных флюидах. Железистость ($100\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Zn})$) теннантита, в среднем, убывает в ряду от палеокурильщиков (42 %) и сфалерит-пирит-халькопиритовых диагенитов (37 %) к борнитсодержащим диагенитам (8.5 %). По содержаниям Fe, Zn и Sb большая часть проанализированных блеклых руд занимает промежуточное положение между блеклыми рудами колчеданных месторождений кипрского и уральского типов. Исключение представляет теннантит борнитсодержащих диагенитов, по составу соответствующий блеклым рудам месторождений куроко типа.

Илл. 7. Табл. 2. Библ. 32.

Ключевые слова: блеклые руды, рудные фации, сульфидные трубы палеокурильщиков, колчеданные руды, Урал.

The Ag-, Te-, Mn, Pb-bearing tennantite and minerals of the tennantite-tetrahedrite series are recognized in chalcopyrite-pyrite-sphalerite-talc-calcite smoker chimneys, bornite- and chalcopyrite-rich and quartz-carbonate-hematite diagenites and siliceous siltstones. Tennantite is a dominant mineral in chalcopyrite crustification of chimneys, while tennantite and tennantite-tetrahedrite are abundant in colloform pyrite replaced by chalcopyrite and in axial conduits filled with sphalerite, talc and calcite. The #Sb value ($100\text{Sb}/(\text{Sb} + \text{As} + \text{Te})$) (1.4 → 48.5 %) increases and the average contents of Fe (3.8 → 2.1 wt. %), Cu (42.2 → 39.8 wt. %) and As (19.6 → 9.7 wt. %) decrease from central to marginal parts of fahlore grains. It is suggested that the increase in #Sb value is related to the increasing role of seawater in hydrothermal fluids. The average #Fe value ($100\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Zn})$) of tennantite decreases in a range from chimneys (42 %) and pyrite-chalcopyrite layers (37 %) to

bornite-bearing diagenites (8.5 %). In terms of Fe, Zn and Sb contents, most of the analysis fall between compositions of fahlores of Cyprus and Uralian types of VMS deposit except of tennantite of bornite-diagenites ores, the composition of which corresponds to that of Kuroko type deposits.

Figures 7. Tables 2. References 32.

Key words: fahlore, ore-bearing facies, sulfide chimneys of paleosmokers, volcanic massive sulfide deposits, Urals.

Введение

Благодаря широкому изоморфизму, состав минералов группы блеклых руд отражает условия и эволюцию процессов рудообразования (Мозгова, Цепин, 1983; Спиридонов, 1985; Спиридонов, 1987; Чвилева и др., 1988; Филимонов, Спиридонов, 2005). Блеклые руды распространены как второстепенные минералы на многих колчеданных месторождениях, присутствуя в различных рудных фациях, включая донные гидротермальные трубы, сульфидные и оксидно-железистые продукты субмаринного гипергенеза и диагенеза обломочных сульфидных отложений, а также ассоциирующих с ними кремнистых породах (Масленников, Зайков, 2006). Доказано, что состав блеклых руд гидротермальных труб курильщиков зависит от состава рудовмещающих формаций (Масленников и др., 2015). Однако в пределах одной рудной залежи состав блеклых руд сильно варьирует, что может быть связано с присутствием различных рудных фаций. В связи с этим, цель данной статьи – сравнение состава блеклых руд различных рудных фаций на примере Юбилейного медноколчеданного месторождения. Изменение факторов минералообразования в пространстве также приводит к минералогическому геохимическому зональности блеклых руд на месторождениях: состав этих минералов закономерно меняется в направлении от центра к периферии и (или) от глубоких горизонтов к верхним (Мозгова, Цепин, 1983). Поэтому задачей статьи является установление зональности кристаллов блеклых руд, которая бы отражала изменение физико-химических условий минералообразования.

Под термином «рудная фация» нами понимается часть рудного тела, отличающаяся от другой части этого же тела текстурно-структурными, минералогическими, геохимическими и другими генетическими признаками, отражающими не только механизмы, но и специфические условия и обстановки колчеданообразования (Масленников, Зайков, 2006). Описание разновидностей блеклых руд в статье проводится в соответствии с номенклатурой (Мозгова, Цепин, 1983), по которой выделя-

ются теннантит (3 к.ф. < As < 4 к.ф.), тетраэдрит (3 к.ф. < Sb < 4 к.ф.) и смешанные сурьмяно-мышьяковые блеклые руды рядов теннантит-тетраэдрит (2 к.ф. < As < 3 к.ф.) и тетраэдрит-теннантит (2 к.ф. < Sb < 3 к.ф.) (далее – теннантит-тетраэдрит и тетраэдрит-теннантит). «Цинкистые» и «железистые» разновидности блеклых руд отражают преобладание того или иного металла в составе. Для сравнительного анализа также использованы два показателя, рассчитываемые по формульным коэффициентам: железистость $Fe^* = 100Fe/(Fe + Zn)$ и сурьмянистость $Sb^* = 100Sb/(Sb + As + Te)$ (Спиридонов, 1987).

Геологическая позиция месторождения

Юбилейное месторождение расположено в Бурибайском рудном районе в пределах силурийско-девонской Западно-Магнитогорской островной дуги (Прокин и др., 1988) (рис. 1). В геологическом разрезе месторождения выделяются пять толщ, относящихся к баймак-бурибаевской свите (снизу вверх): 1) долеритовая, 2) базальтовая, 3) дацитовая, 4) андезитобазальтовая и 5) андезитодацитовая. На месторождении на глубинах от 52 до 585 м установлено шесть рудных залежей линзовидной, сундучной или пластообразной форм, приуроченных к кровле базальтовой толщи.

Изученная линзообразная Вторая рудная залежь реконструирована как слабо разрушенный сульфидный холм (Масленников и др., 2014). Ядро рудного тела сложено массивными зернистыми пиритовыми рудами с вкрапленностью халькопирита, сфалерита и реликтами колломорфных агрегатов пирита. На склонах сульфидного холма залегают линзы сульфидных брекчий с фрагментами труб палеокурильщиков (рис. 2а). В некоторых случаях сульфидные брекчии обогащены борнитом (см. рис. 2б). На выклинках сульфидные брекчии сменяются слоистыми сульфидными турбидитами, переслаивающимися с гематит-кварц-карбонатными госсанитами и кремнистыми алевропелитами (см. рис. 2в, г).

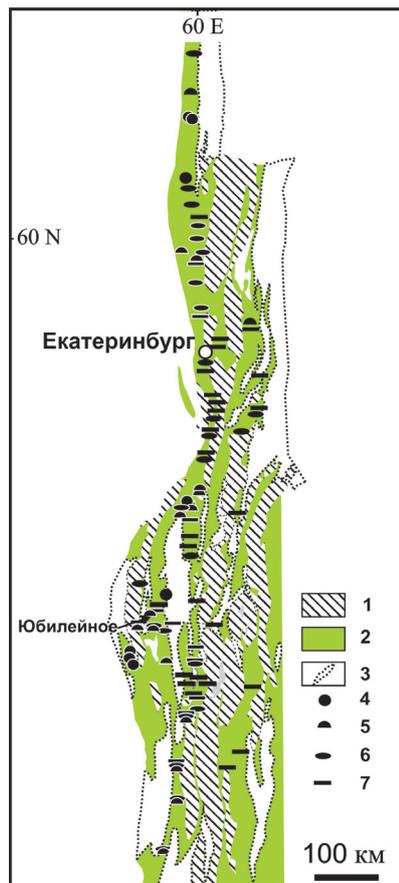


Рис. 1. Позиция колчеданных месторождений Урала с сульфидными трубами палеокурильщиков и блеклыми рудами (Масленников и др., 2015).

1 – раннепалеозойский метаморфизованный фундамент; 2 – среднепалеозойские вулканические пояса; 3 – верхнепалеозойские вулканогенно-осадочные комплексы; 4–7 – колчеданные залежи: 4 – слабо разрушенные холмы, 5 – сильно разрушенные холмы, 6 – рудокластические линзы с включениями реликтов сульфидных холмов; 7 – пластообразные слоистые линзы рудокластитов.

Fig. 1. Position of the Urals massive sulfide deposits with sulfide smoker chimneys and fahlores (Maslennikov et al., 2015).

1 – Early Paleozoic metamorphosed basement; 2 – Middle Paleozoic volcanic belts; 3 – Upper Paleozoic volcanosedimentary complexes; 4–7 – massive sulfide deposits: 4 – weakly eroded mounds; 5 – strongly eroded mounds; 6 – ore clastic lenses with relic sulfide mounds; 7 – layered lenses of ore clastites.

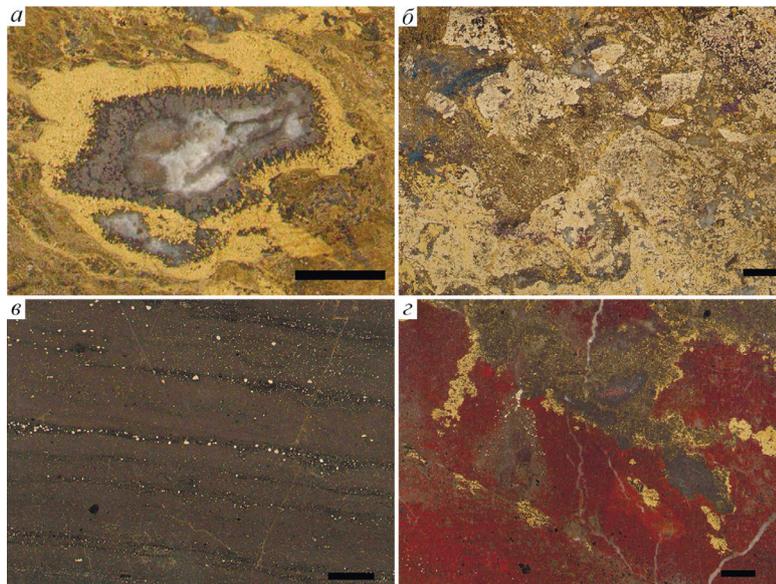


Рис. 2. Рудные фации Юбилейного месторождения с блеклыми рудами.

а – кальцит-сфалерит-пирит-халькопиритовая труба палеокурильщика; *б* – борнитсодержащие сульфидные брекчии; *в* – гематит-кварц-карбонатный госсанит; *г* – кремнистый алевропелит. Полированные образцы. Масштаб 1 см.

Fig. 2. Fahlore-bearing ore facies of the Yubileynoe deposit.

а – chalcopyrite-pyrite-sphalerite-calcite chimney; *б* – sulfide breccia with bornite; *в* – calcite-quartz-hematite gossanite; *г* – siliceous siltstone. Polished samples. Scale bar is 1 cm.

Методы исследований

Аналитические работы выполнены в Южно-Уральском центре коллективного пользования Института минералогии УрО РАН (г. Миасс). Микроскопическое изучение 20 аншлифов колчеданных руд производилось на микроскопе Olympus BX-51 с использованием фотокамеры Olympus DP12. Анализы блеклых руд выполнялись с помощью рентгеновского микроанализатора JEOL-733, оснащенного волновой приставкой при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 20 нА. Стандартными образцами служили FeS_2 (S), Cu_3SbS_3 (Sb), GaAs (As), CuFeS_2 (Cu, Fe), ZnS (Zn), Bi_2Te_3 (Bi, Te), HgS (Hg), Sb_2S_3 (Sb), Cu, Zn, Fe (чистые металлы) (аналитик Ю.Д. Крайнев). Дополнительные анализы получены с помощью растрового электронного микроскопа РЭММА-202М и СЭМ VEGA3 Tescan с энергодисперсионными анализаторами при ускоряющем напряжении 20 кВ и «живом» времени 120 с. Для количественного анализа использовались эталоны НЭРМА.УНИВ1.25.10.74ГТ, CuFeS_2 (Cu, Fe, S), ZnS (Zn), AgSbS_2 (Ag, Sb), FeAsS (As), PbTe (Te). Анализы блеклых руд рассчитаны на формулу с 13 атомами серы. В некоторых анализах отмечается избыток металлов, связанный с влиянием окружающей сфалеритовой или халькопиритовой матрицы.

Донные гидротермальные рудные фации

Донные гидротермальные фации формировались в устьях гидротермальных источников и представлены сульфидными трубами палеокурльщиков (далее – трубами) различного состава, диффузерами, гидротермальными плитами и корками (см. рис. 2а). Во втором рудном теле трубы обнаружены в положении *in situ* в кровле массивных халькопирит-пиритовых и сфалерит-халькопирит-пиритовых руд ядра залежи и на флангах в составе сульфидных брекчий. Неразрушенные трубы характеризуются диаметром от 2 до 12 см и эллипсоидными, треугольными и вытянутыми сечениями.

Блеклые руды чаще всего встречаются в кальцит-сфалерит-пирит-халькопиритовых, тальк-сфалерит-пирит-халькопиритовых и пирит-сфалерит-халькопиритовых трубах. Трубы подобного состава отличаются значительным количеством сфалерита, присутствующего как в оболочке, так и заполняющего осевой канал. Наружная оболочка сложена

почковидными, дендритовидными агрегатами колломорфного и тонкозернистого пирита, частично замещенными халькопиритом и нерудными минералами. Внутренняя стенка образована халькопиритовой крустификацией с обильной вкрапленностью сфалерита, пирита, галенита и блеклых руд. Осевая часть канала труб заполнена друзовым и почковидным сфалеритом, гипидиоморфным пиритом, блеклыми рудами, а также тальком или кальцитом. В кристаллах и почках сфалерита встречаются включения самородного золота и электрума в сростании с халькопиритом, галенитом и блеклыми рудами (Целуйко и др., 2017).

Среди минералов ряда теннантит-тетраэдрит в трубах наиболее распространен теннантит, который встречается в разных зонах и различных минеральных ассоциациях (Масленников и др., 2015). В агрегатах сфалерита осевого канала теннантит образует крупные (200–300 мкм) включения, часто ассоциирующие с галенитом и электрумом (рис. 3а). Эмульсионная вкрапленность (зерна размером до 5 мкм) теннантита иногда встречается в зональных кристаллах и агрегатах сфалерита (см. рис. 3б). В редких случаях теннантит входит в состав кальцит-халькопиритовых прожилков, секущих почки сфалерита (см. рис. 3в). Содержания Sb в теннантите составляют 0.0–4.6 мас. %, иногда отмечаются примеси (мас. %) Ag (до 0.23), Pb (до 1.12) и Mn (до 0.1) (табл. 1). Теннантит из прожилков отличается повышенными концентрациями Sb (до 6.2 мас. %). В халькопиритовых крустификациях труб теннантит присутствует в виде мелких включений размером до 50–100 мкм, часто располагающихся в интерстициях и обрастающих кристаллы халькопирита (см. рис. 3г). Кальцит-сульфидная матрица осевого канала содержит включения и сростки теннантита с халькопиритом и борнитом. Ассоциирующий с халькопиритом теннантит содержит 0.8–4.35 мас. % Sb и в единичных случаях – Ag (до 0.63 мас. %) и Te (до 0.21 мас. %). Редкие включения теннантита обнаружены в псевдоморфном халькопирите, развитом по колломорфному пириту оболочек труб.

Большая часть проанализированного теннантита относится к цинкистой разновидности. Железистость теннантита различных минеральных ассоциаций составляет 26.5–48.5 % для сфалеритовых агрегатов и 29.9–58.0 % – для халькопиритовых крустификаций.

Теннантит-тетраэдрит и тетраэдрит-теннантит ассоциируют с теннантитом, галенитом, электрумом и образуют включения размером до 50 мкм

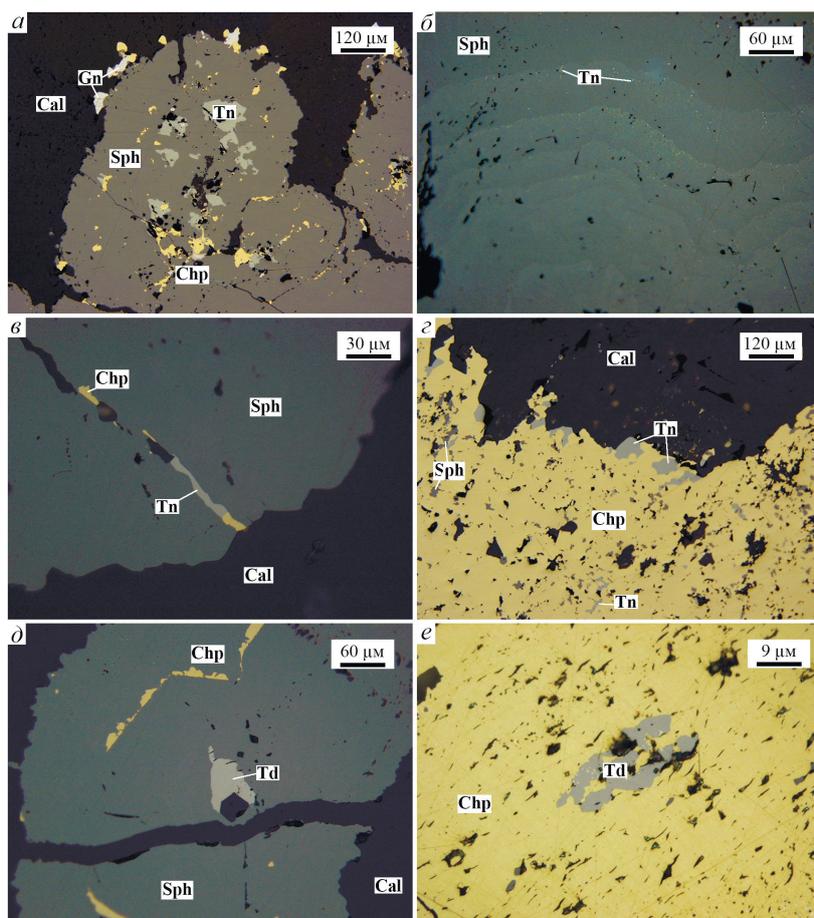


Рис. 3. Включения блеклых руд в трубах палеокурильщиков Юбилейного месторождения.

a – включения теннантита в почке сфалерита; *b* – эмульсионные включения теннантита в зональном кристалле сфалерита; *c* – халькопирит-теннантитовый прожилок в почке сфалерита; *z* – включения теннантита в халькопирите внутренней стенки; *d* – зерно тетраэдрит-теннантита в сфалерите осевого канала; *e* – включение тетраэдрит-теннантита в псевдоморфном халькопирите оболочки. Здесь и далее: Cal – кальцит, Chp – халькопирит, Gn – галенит, Py – пирит, Sph – сфалерит, Td – теннантит-тетраэдрит; Tn – теннантит. Отраженный свет.

Fig. 3. Fahlore inclusions of smoker chimneys of the Yubileynoe deposit.

a – tennantite inclusion in sphalerite; *b* – tennantite emulsion in zonal sphalerite crystal; *c* – tennantite-chalcopyrite veinlet in sphalerite; *z* – tennantite inclusion in the inner chalcopyrite wall; *d* – tetrahedrite-tennantite grain in sphalerite of axial channel; *e* – tetrahedrite-tennantite in pseudomorphic chalcopyrite of chimney coating. Here and hereafter: Cal – calcite, Chp – chalcopyrite, Gn – galena, Py – pyrite, Sph – sphalerite, Td – tennantite-tetrahedrite; Tn – tennantite. Reflected light.

в сфалеритовых и халькопиритовых агрегатах в тальк-кальцит-сфалерит-пирит-халькопиритовых и пирит-сфалерит-халькопиритовых трубах (см. рис. 3д). Мелкая вкрапленность теннантит-тетраэдрита иногда обнаруживается в псевдоморфном халькопирите, развитом по колломорфному пириту оболочки труб (см. рис. 3е).

В нескольких анализах теннантит-тетраэдрита и тетраэдрит-теннантита из труб установлена примесь Ag до 0.24 мас. % (см. табл. 1). Железистость этих минералов (в среднем, 20 %) меньше, чем теннантита из сфалеритовых агрегатов (в среднем, 39 %). Минимальная железистость характерна

для тетраэдрит-теннантита тальксодержащих труб (4.9 %).

Под электронным микроскопом некоторые зерна блеклых руд имеют отчетливое зональное строение (рис. 4), например, в почковидном сфалерите, заполняющем осевой канал трубы (см. рис. 4а). В зернах наблюдается несколько зон с варьирующими содержаниями As, Sb, Ag и других элементов (табл. 2). Внутренние части зональных зерен представлены теннантитом с содержаниями (мас. %) Cu 42.12–42.43, Zn 4.49–5.68, Fe 3.46–4.10, Sb 0.38–0.46, Ag 0.67, As 19.19–19.96. В центре некоторых зерен проявляются «ядра» теннантита и

Таблица 1

Table 1

Химический состав блеклых руд рудных фаций Юбилейного месторождения (мас. %)

Chemical composition of fahllore of ore facies of the Yubileynoe deposit (wt. %)

№ п/п	Cu	Ag	Mn	Fe	Zn	Pb	As	Sb	S	Te	Сумма	Fe*	Sb*	Формула
Донная гидротермальная рудная фация – сульфидные трубы палеокурильщиков														
<i>Сфалерит осевого канала</i>														
1	40.91	-	-	3.83	5.2	1.12	20.03	-	28.58	-	99.67	46.30	0.00	$Cu_{0.39}(Fe_{1.00}Zn_{1.16}Pb_{0.08}S_{2.24})As_{3.90}S_{1.3}$
2	40.89	0.23	-	3.60	5.21	-	20.57	0.38	28.89	-	99.76	35.94	4.70	$(Cu_{9.29}Ag_{0.03})_{29.32}(Fe_{0.93}Zn_{1.15}S_{2.08})(Sb_{0.05}As_{3.96}S_{4.01})S_{1.3}$
3	40.47	0.37	-	3.95	5.35	-	15.90	6.20	27.12	-	99.36	46.38	19.31	$(Cu_{9.79}Ag_{0.05})_{29.84}(Fe_{1.09}Zn_{1.26}S_{2.41})(Sb_{0.78}As_{3.26}S_{4.04})S_{1.3}$
4	37.94	0.17	-	1.37	6.66	-	6.33	20.36	27.46	-	100.28	19.27	66.49	$(Cu_{9.06}Ag_{0.02})_{29.09}(Fe_{0.37}Zn_{1.55}S_{1.92})(Sb_{2.54}As_{1.28}S_{3.82})S_{1.3}$
5	38.27	0.18	-	1.52	6.62	-	7.63	18.12	26.85	-	99.19	21.11	59.38	$(Cu_{9.35}Ag_{0.03})_{29.38}(Fe_{0.42}Zn_{1.57}S_{1.99})(Sb_{2.31}As_{1.58}S_{3.89})S_{1.3}$
<i>Халькопиритовая внутренняя стенка</i>														
6	41.33	0.63	-	3.96	4.2	-	18.88	1.86	27.74	0.74	99.33	52.45	5.60	$(Cu_{9.78}Ag_{0.09})_{29.86}(Fe_{1.07}Zn_{0.97}S_{2.03})(As_{3.79}Sb_{0.23}Te_{0.09}S_{4.10})S_{1.3}$
7	41.49	-	-	5.49	4.65	-	18.14	2.29	27.69	-	99.75	58.04	7.12	$Cu_{9.83}(Fe_{1.48}Zn_{0.07}S_{2.55})(As_{3.65}Sb_{0.28}S_{3.93})S_{1.3}$
<i>Псевдоморфный халькопирит наружной оболочки</i>														
8	40.73	-	-	4.29	4.78	-	20.55	0.88	28.89	-	100.11	51.15	2.46	$Cu_{9.25}(Fe_{1.11}Zn_{1.06}S_{2.17})(As_{3.96}Sb_{0.10}S_{4.06})S_{1.3}$
9	39.27	-	-	4.26	5.71	-	9.14	15.57	26.05	-	100	46.62	51.18	$Cu_{9.89}(Fe_{1.22}Zn_{1.4}S_{2.62})(Sb_{2.05}As_{1.95}S_{4.00})S_{1.3}$
Кластогенная фация														
<i>Борнитсодержащие сульфидные брекчи</i>														
10	42.89	0.17	0.14	0.37	6.66	-	17.04	2.81	27.78	1.05	98.9	6.13	9.31	$(Cu_{10.13}Ag_{0.02}S_{10.15})(Fe_{0.10}Zn_{1.53}Mn_{0.04}S_{1.67})(As_{3.41}Sb_{0.35}Te_{0.12}S_{3.88})S_{1.3}$
11	42.99	0.17	0.17	0.19	6.7	-	17.23	2.71	27.75	0.67	98.58	3.14	8.71	$(Cu_{10.16}Ag_{0.02}S_{10.19})(Fe_{0.05}Zn_{1.54}Mn_{0.05}S_{1.64})(As_{3.46}Sb_{0.33}Te_{0.08}S_{3.87})S_{1.3}$
12	42.62	0.14	0.11	0.05	6.94	-	17.33	3	27.64	1.46	99.29	0.62	9.59	$(Cu_{10.15}Ag_{0.02}S_{10.14})(Fe_{0.01}Zn_{1.60}Mn_{0.03}S_{1.64})(As_{3.49}Sb_{0.37}Te_{0.17}S_{4.03})S_{1.3}$
<i>Сфалерит-пирит-халькопиритовые диагениты</i>														
13	40.67	-	-	3.5	5.21	-	17.18	5.16	27.52	-	99.23	76.55	15.57	$Cu_{9.70}(Fe_{0.95}Zn_{1.21}S_{2.16})(As_{3.47}Sb_{0.64}S_{4.12})S_{1.3}$
14	40.57	-	-	3.89	5.61	-	16.6	4.65	28.27	-	99.58	44.78	14.62	$Cu_{9.41}(Fe_{1.03}Zn_{1.27}S_{2.29})(As_{3.27}Sb_{0.56}S_{3.83})S_{1.3}$
15	41.09	-	-	2.99	5.42	-	17.37	5.12	27.53	-	99.52	39.13	15.42	$Cu_{9.79}(Fe_{0.81}Zn_{1.26}S_{2.29})(As_{3.51}Sb_{0.64}S_{4.15})S_{1.3}$
<i>Кремнистые алевропелиты</i>														
16	39.48	-	-	2.15	7.24	-	6.42	19.7	25.83	-	100.82	25.79	65.38	$Cu_{10.03}(Fe_{0.62}Zn_{1.79}S_{2.41})(As_{1.38}Sb_{2.61}S_{3.99})S_{13.00}$
Субмаринная гипергенная фация – гематит-кварц-карбонатные госсаниты														
17	42.64	-	-	1.06	7.11	-	20.39	-	28.81	-	100	14.80	0.00	$Cu_{9.71}(Fe_{0.27}Zn_{1.57}S_{1.84}As_{3.94})S_{13.00}$

Примечание. Анализы 1–15 выполнены на рентгеновском микроанализаторе JEOL-733 (аналитик Ю.Д. Крайнев), анализы 16–17 – на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3 (аналитик И.А. Блинов). Прочерк – ниже предела обнаружения.

Note. The analyses 1–15 – JEOL-733 microprobe (analyst Yu.D. Kraunev), analyses 16–17 – SEM Tescan VEGA 3 (analyst I.A. Blinov). Dash – below detection limit.

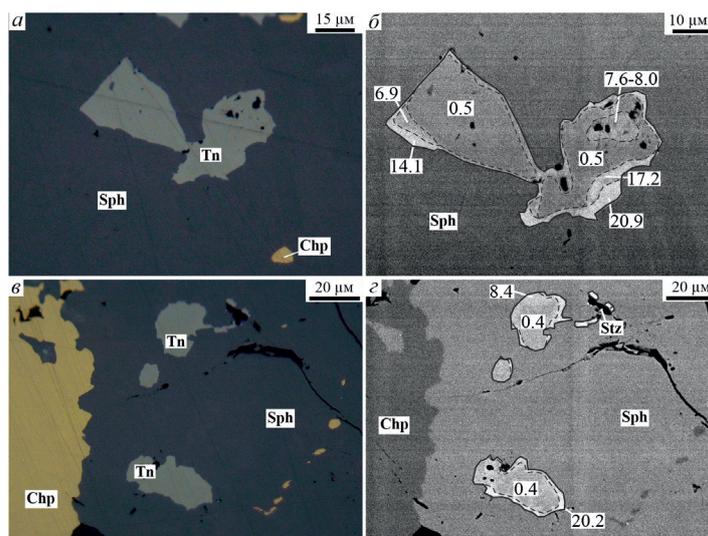


Рис. 4. Зональные зерна блеклых руд в осевом канале палеокурильщика Юбилейного месторождения.

a, в – зональные зерна блеклых руд в сфалерите; *б* – деталь фото *a*, демонстрирующая последовательную смену состава от теннантита к тетраэдрит-теннантиту с более светлым ядром теннантит-тетраэдрита в правом зерне; *г* – деталь фото *в*, показывающая возрастание содержания Sb от центра к краевой части верхнего зерна теннантита в ассоциации с штюцитом и обрастание каймой тетраэдрит-теннантита нижнего зерна теннантита. Stz – штюцит. Цифрами (20.2) обозначено содержание сурьмы в мас. %. Фото *a, в* – отраженный свет; *б, г* – СЭМ фото.

Fig. 4. Zonal fahlore grains in axial paleosmoker channel of the Yubileynoe deposit.

a, в – zonal fahlore grain in sphalerite; *б* – detail of photo *a* demonstrating evolution from tennantite to tetrahedrite-tennantite with lighter core of tennantite-tetrahedrite in a right grain; *г* – detail of photo *в* demonstrating the increase in the Sb content from center to rim of the upper tennantite grain associated with stützite and rim of tetrahedrite-tennantite around the lower tennantite grain. Stz – stützite. Numbers (20.2) indicate Sb content (wt. %). Photo *a, в* – reflected light; *б, г* – SEM photo.

теннантит-тетраэдрита с повышенными концентрациями (мас. %) Zn (до 5.29), Sb (до 8.08) и Ag (до 0.63) (см. табл. 2). Внешние зоны зональных зерен сложены теннантитом с содержаниями Sb до 6.97 мас. %, теннантит-тетраэдритом и тетраэдрит-теннантитом (см. рис. 4в, г). По сравнению с промежуточными частями зерен блеклых руд, в кайме возрастают концентрации Zn (6.17–7.8 мас. %) и Sb (6.9–20.9 мас. %) и понижаются содержания Fe (1.47–2.84 мас. %), Cu (38.86–40.98 мас. %) и As (5.6–15.1 мас. %). Исключением выступают обогащенные Sb (7.58–8.08 мас. %) и обедненные As (14.35–14.8 мас. %) центральные части зональных блеклых руд. Постоянной примесью во всех зонах является Ag (не более 0.67 мас. %). В сфалерите в ассоциации с зональной блеклой рудой обнаружено мельчайшее (2 мкм) зерно штюцита $Ag_{4.32}Te_{3.00}$, редкого минерала для труб Юбилейного месторождения.

Кластогенная рудная фация

Борнитсодержащие сульфидные брекчии. Среди руд кластогенной фации минералами группы блеклых руд обогащены борнитсодержащие

сульфидные брекчии. Брекчии сложены угловатыми обломками халькопирит-пиритового и борнит-халькопиритового состава в борнит-пирит-халькопирит-карбонатном матриксе (см. рис. 2б). Главные минералы представлены халькопиритом, пиритом, борнитом, сфалеритом, второстепенные – галенитом, теннантитом; из акцессорных минералов обнаружены электрум, колусит, гессит и медистый кервеллит.

Теннантит распространен в борнитовых, халькопиритовых и пирит-халькопиритовых агрегатах в виде изометричных и округлых включений размером до 100–200 мкм, ассоциирующих со сфалеритом и галенитом (рис. 5а). Для теннантита характерна низкая железистость (в среднем, 8 %) и постоянное присутствие примесей (мас. %): Mn (до 0.21), Ag (до 0.37), Te (до 2.07). Содержание Sb в теннантите обычно не превышает 3 мас. % (см. табл. 1).

Сульфидные диагениты и кремнистые алевропелиты. Сульфидные диагениты представляют собой слоистые сульфидные руды, почти полностью утратившие признаки рудокластического происхождения (Масленников, 1999). Диагениты сфале-

Таблица 2

Химический состав зональных блеклых руд сульфидных труб курильщиков Юбилейного месторождения (мас. %)

Table 2

Chemical composition of zonal fahlore of sulfide smoker chimneys of the Yubileynoe deposit (wt. %)

№ п/п	Формула										
	Cu	Ag	Fe	Zn	As	Sb	S	Сумма	Fe*	Sb*	Формула
Центральная часть (ядро)											
1	41.57	0.45	2.62	5.29	14.35	8.05	26.73	99.06	36.68	25.62	$(\text{Cu}_{10.20}\text{Ag}_{0.07}\text{Fe}_{10.27}\text{Zn}_{1.26}\text{As}_{1.99}\text{Sb}_{1.03}\text{S}_{2.40})\Sigma_{24.02}\text{S}_{13}$
2	40.93	0.63	2.84	5.28	14.80	7.58	27.03	99.09	38.42	23.94	$(\text{Cu}_{9.93}\text{Ag}_{0.09}\text{Fe}_{10.02}\text{Zn}_{1.25}\text{As}_{2.03}\text{Sb}_{0.96}\text{S}_{2.40})\Sigma_{24.01}\text{S}_{13}$
Промежуточная часть											
3	42.22	0.00	3.46	5.68	19.96	0.46	28.00	99.78	41.63	1.49	$\text{Cu}_{9.89}(\text{Fe}_{0.92}\text{Zn}_{1.29}\text{As}_{3.97}\text{S}_{2.40})\Sigma_{24.03}\text{S}_{13}$
4	42.43	0.35	3.96	4.49	19.74	0.48	27.87	99.33	50.00	1.50	$(\text{Cu}_{9.99}\text{Ag}_{0.05}\text{Fe}_{10.04}\text{Zn}_{1.03}\text{As}_{3.94}\text{S}_{2.09}\text{Sb}_{0.06}\text{S}_{3.94})\Sigma_{24.00}\text{S}_{13}$
Периферия											
5	39.36	0.32	1.95	7.82	9.80	14.14	25.71	99.10	22.48	47.14	$(\text{Cu}_{8.78}\text{Ag}_{0.04}\text{Fe}_{28.82}\text{Zn}_{1.69}\text{As}_{1.65}\text{S}_{23.5})\Sigma_{23.5}\text{S}_{13}$
6	38.97	0.52	1.76	6.50	5.59	20.89	25.17	99.40	24.21	69.66	$(\text{Cu}_{8.87}\text{Ag}_{0.07}\text{Fe}_{28.94}\text{Zn}_{1.44}\text{As}_{1.08}\text{S}_{23.56})\Sigma_{23.56}\text{S}_{13}$
7	40.98	0.39	2.62	6.46	13.84	8.36	26.55	99.20	32.23	27.05	$(\text{Cu}_{9.30}\text{Ag}_{0.05}\text{Fe}_{29.35}\text{Zn}_{1.43}\text{As}_{2.22}\text{S}_{11})\Sigma_{23.66}\text{S}_{13}$

Примечание. 1, 2 – центр; 3, 4 – промежуточная часть; 5–7 – периферия. Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М (аналитик В.А. Когляров).

Note. 1, 2 – center; 3, 4 – intermediate part; 5–7 – margin. SEM REMMA-202M (analyst V. A. Kotlyarov).

рит-пирит-халькопиритового состава, обнаруженные на флангах Второго рудного тела, представлены сплошными рудами с полосчатой текстурой, отражающей различное содержание пирита, халькопирита и сфалерита. Теннантит в ассоциации с галенитом образует изометричные и ксеноморфные включения размером до 200–300 мкм в халькопирите и сфалерите (см. рис. 5б). Теннантит отличается широкими вариациями железистости (31–76 %) и содержаний Fe (2.2–3.9 мас. %) и Sb (3.26–7.5 мас. %).

Кремнистые алевропелиты переслаиваются с мелкообломочными сульфидными отложениями и гиалокластитовыми тифроидами на удаленных выклинках Второй рудной залежи. Они сложены чередованием маломощных (1–20 мм) темно-зеленых хлорит-кварцевых и серо-зеленых, темно-серых, красновато-серых кремнистых слоев мощностью 5–30 мм (см. рис. 2в). В кремнистых алевропелитах распространена рассеянная сульфидная минерализация, представленная гип- и идиоморфными метакристаллами пирита, а также пиритовыми конкрециями размером 0.01–5 мм. Халькопирит образует сгустки и вытянутые стяжения (конкреции?) размером до 2 мм в кремнистой массе. Конкреции пирита содержат мелкие включения самородного золота, петцита, гессита, колорадоита и других теллуридов. Редкие зерна тетраэдрит-теннантита размером до 20 мкм обнаружены в виде включений в халькопиритовых конкрециях (см. рис. 5в). Для тетраэдрит-теннантита характерна низкая концентрация Fe (2.15 мас. %) и высокое содержание Zn (7.24 мас. %) (см. табл. 1).

Субмаринная гипергенная фация

Субмаринная гипергенная фация представлена продуктами полного окисления (гальмиролиза) сульфидоносных осадков – госсанитами, придонное происхождение которых подтверждается их закономерной локализацией в кровле рудного тела и переслаиванием с мелкообломочными сульфидными отложениями (Аюпова, Масленников, 2005). Они представлены красными гематит-кварц-карбонатными породами, содержащими новообразованные сульфиды, а также обломки хлоритизированных гиалокластов в основной мелко- и тонкозернистой гематит-кварц-карбонатной массе (Аюрова et al., 2018). На госсаниты наложена постседиментационная сульфидная минерализация с метакристаллами пирита, халько-

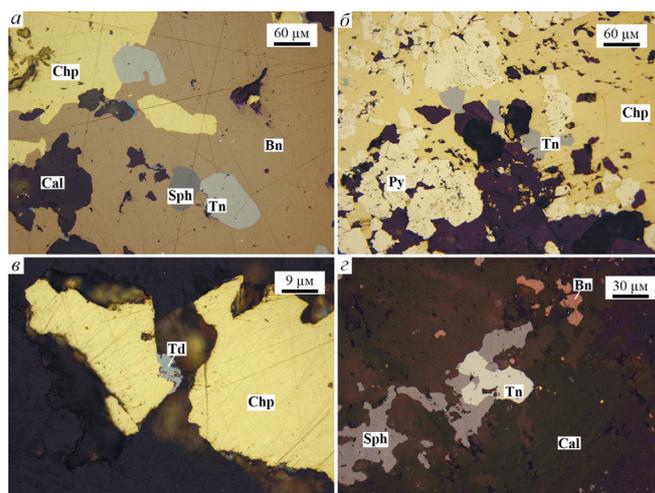


Рис. 5. Включения блеклых руд в кластогенных рудных фациях Юбилейного месторождения.

a – теннантит в ассоциации с борнитом, халькопиритом и сфалеритом в борнитсодержащих сульфидных брекчиях; *б* – включения теннантита в халькопирите сульфидных диагенитов; *в* – сросток тетраэдрит-теннантита и халькопирита в кремнистых алевропелитах; *г* – сросток теннантита и сфалерита в карбонатной матрице госсанита. Bn – борнит, Cal – кальцит, Chp – халькопирит, Py – пирит, Sph – сфалерит, Td – теннантит-тетраэдрит; Tn – теннантит. Отраженный свет.

Fig. 5. Fahlore inclusions in clastic facies of the Yubileynoe deposit.

a – tennantite associated with bornite, chalcopyrite and sphalerite in bornite-bearing sulfide breccias; *б* – tennantite inclusions in chalcopyrite of sulfide diagenites; *в* – tetrahedrite-tennantite intergrowth with chalcopyrite in siliceous siltstones; *г* – tennantite intergrowth with sphalerite in carbonate matrix of gossanite. Bn – bornite, Cal – calcite, Chp – chalcopyrite, Py – pyrite, Sph – sphalerite, Td – tennantite-tetrahedrite; Tn – tennantite. Reflected light.

пиритовыми, пирротин-халькопиритовыми и пирит-халькопиритовыми прожилками и гнездами (см. рис. 2г). Второстепенные и редкие минералы представлены борнитом, галенитом, магнетитом, теннантитом, электрумом, гесситом, алтаитом, кервеллитом, акантитом, уранинитом (Аюпова et al., 2018). Теннантит находится в ассоциации с борнитом, сфалеритом, халькопиритом и галенитом (см. рис. 5г). Для него характерны низкие концентрации Fe (1.06 мас. %) и высокие содержания Zn (7.11 мас. %) (см. табл. 1).

Обсуждение результатов

Преобладающая часть блеклых руд Юбилейного месторождения относится к цинкистым разновидностям, характерным для других колчеданных месторождений Урала (Цепин и др., 1978; Мозгова, Цепин, 1983; Бахтина и др., 1991; Рыкус, 1999; Викентьев, 2004; Еремин и др., 2007; Масленникова, Масленников, 2007; Maslennikov et al., 2013; Масленников и др., 2015). Вместе с тем, отмечаются широкие вариации содержаний Zn не только в пределах одной рудной фации, но и в различных зонах труб. Среднее содержание Zn в теннантите

из сфалерита осевых каналов (5.48 мас. %) выше, чем в аналогичной блеклой руде в псевдоморфном халькопирите оболочки труб (4.74 мас. %). Нарастание содержаний Zn в блеклых рудах может быть связано с повышением окислительного потенциала растворов, который определяется повышением фугитивности кислорода или серы (Спиридонов и др., 1990).

Железистость большинства изученных блеклых руд составляет 20–60 % (рис. 6). Средняя железистость блеклых руд халькопиритовых крустификаций (43.8 %) и оболочки (42 %) превосходит таковую блеклых руд из сфалеритового заполнения каналов труб (35.9 %). Вместе с тем железистость теннантита (среднее, 42 %) выше, чем у теннантит-тетраэдрита (среднее, 27.3 %) и тетраэдрит-теннантита (среднее, 23.6 %) сфалерит-пирит-халькопиритовых труб. Минимальная средняя железистость характерна для сурьмянистого теннантита и мышьяковистого тетраэдрита тальксодержащих труб (4.9 %). Теннантит сульфидных диагенитов характеризуется относительно высокой средней железистости (37 %). Теннантит борнитсодержащих сульфидных брекчий имеют низкую железистость (8.5 %), что типично для блеклых руд борнитсодер-

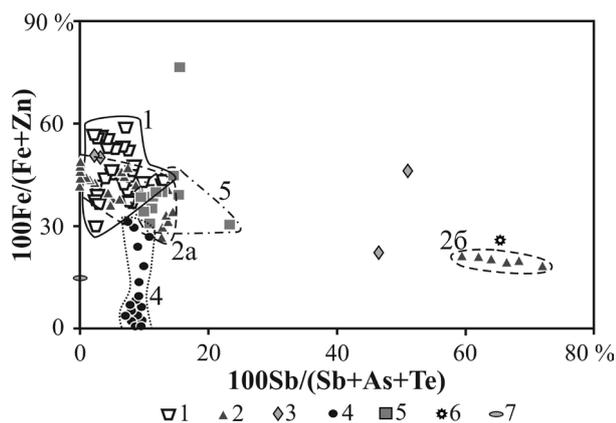


Рис. 6. Корреляция между сурьмянистостью и железистостью блеклых руд рудных фаций Юбилейного месторождения.

Блеклые руды донной гидротермальной фации (трубы палеокурильщиков) в ассоциации с: 1 – халькопиритовыми крустификациями; 2 – почками и друзами сфалерита в осевом канале; 3 – псевдоморфным халькопиритом оболочки труб. Блеклые руды кластогенной фации: 4 – борнитсодержащие брекчии; 5 – сфалерит-пирит-халькопиритовые диагениты; 6 – кремнистые алевропелиты. Блеклые руды субмаринной гипергенной фации: 7 – гематит-кварц-карбонатных госсанитов.

Fig. 6. Correlation between #Sb and #Fe values of fahlores of ore facies of the Yubileynoe deposit.

Fahlores of seafloor hydrothermal ore facies (smoker chimneys) associated with: 1 – chalcopyrite crustifications; 2 – reniform and drusy sphalerite of axial channel; 3 – pseudomorphic chalcopyrite of chimney coating. Fahlores of clastic ore facies: 4 – bornite-bearing sulfide breccias; 5 – chalcopyrite-pyrite-sphalerite diagenites; 6 – siliceous siltstones. Fahlores of submarine supergene ore facies: 7 – hematite-quartz-carbonate gossanite.

жащих ассоциаций колчеданных месторождений Урала (Молошаг и др., 2004).

Содержание Cu в блеклых рудах изученных рудных фаций составляет 37.4–44.0 мас. %. Ее минимальные содержания характерны для тетраэдрит-теннантита труб (37.41–38.27 мас. %), а максимальные – для теннантита борнитсодержащих сульфидных брекчий (40.48–44.0 мас. %).

Содержания Sb в теннантите большинства рудных фаций не превышает 3–4 мас. %. На диаграмме Zn-Fe-Sb видно, что сурьмянистость теннантита попадает в интервал 0–20 % (см. рис. 6). В трубах преобладает теннантит с сурьмянистостью 0–13.6 %. Более высокая сурьмянистость характерна для тетраэдрит-теннантита (59.4–71.9 %) халькопирит-сфалеритовых и блеклых руд (38.7–61.5 %) кальцит-талк-сфалеритовых крустифика-

ций каналов труб. Повышенной сурьмянистостью отличается и теннантит-тетраэдрит (46.7–51.2 %), содержащийся в псевдоморфном халькопирите оболочки труб. Это согласуется с тем, что теннантит-тетраэдрит формировался в более окислительных, низкотемпературных субщелочных условиях, чем теннантит (Масленников и др., 2015). Такие условия могут быть обеспечены смешением гидротермальных флюидов с большим количеством кислородсодержащей субщелочной холодной морской водой в оболочках и в осевых каналах труб. В среднем, сурьмянистость теннантита возрастает в ряду от труб (6.4 %) к борнитсодержащим сульфидным брекчиям (8.7 %) и пирит-халькопиритовым диагенитам (13.4 %) (рис. 6).

В составе блеклых руд в незначительных количествах присутствуют изоморфные примеси Ag, Pb, Te и Mn. Наиболее часто отмечается присутствие Ag, содержание которого, в теннантите сфалеритовых агрегатов некоторых труб составляет до 0.67 мас. %. Серебросодержащие теннантит и сурьмянистый теннантит с содержанием Ag 0.3–2.6 мас. % встречаются в трубах Яман-Касинского, Сафьяновского, Молодежного, Узельгинского и Валенторского колчеданных месторождений (Масленников и др., 2015). Однако на Юбилейном месторождении наиболее часто серебросодержащие блеклые руды (Ag до 0.31 мас. %) установлены в борнитсодержащих сульфидных брекчиях.

Хотя теллур является характерной примесью теннантита труб Яман-Касинского, Сафьяновского и других колчеданных месторождений Урала (Масленников и др., 2015), в теннантите труб Юбилейного месторождения он фиксируется единично и только в халькопирите (до 0.74 мас. %). Гораздо чаще примесь Te обнаруживается в теннантите борнитсодержащих сульфидных брекчий (0.64–2.07 мас. %). Теллур в составе теннантита установлен также в борнитовых рудах Молодежного (Зайков, 2006) и Валенторского (Maslennikov et al, 2013) колчеданных месторождений. Для борнитовых руд характерен дефицит теллуридов, среди которых изредка обнаруживается гессит (Молошаг и др., 2004). Вероятным источником Te являются растворившиеся теллуриды, которые гораздо реже формируют аутигенную минерализацию в субмаринных зонах гипергенеза (Масленников, 2006).

Mn-содержащий теннантит характерен для борнитсодержащих сульфидных брекчий (до 0.21 мас. %) и сфалеритовых агрегатов труб (до 0.1 мас. %). Предполагаемым источником Mn яв-

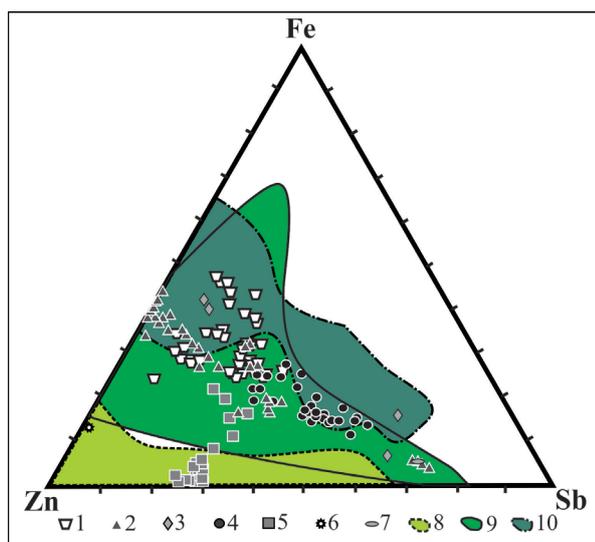


Рис. 7. Тройная диаграмма Fe-Zn-Sb (мас. %), демонстрирующая особенности состава минералов группы блеклых руд в рудных фациях Юбилейного месторождения.

Блеклые руды донной гидротермальной фации (трубы палеокурильщикиков) в ассоциации с: 1 – халькопиритовыми крустификациями; 2 – почками и друзами сфалерита в осевом канале; 3 – псевдоморфным халькопиритом оболочки труб. Блеклые руды кластогенной фации: 4 – борнитсодержащие брекчии; 5 – сфалерит-пирит-халькопиритовые диагениты; 6 – кремнистые алевропелиты. Блеклые руды субмаринной гипергенной фации: 7 – гематит-кварц-карбонатных госсанитов. Блеклые руды колчеданных месторождений: 8 – куроко типа (Масленников и др., 2015), 9 – уральского типа (Масленников и др., 2015); 10 – гидротермального поля ТАГ (Мозгова и др., 1995).

Fig. 7. Fe-Zn-Sb ternary diagram (wt. %) showing compositions of fahlore of ore facies of the Yubileynoe deposit.

Fahlores of seafloor hydrothermal ore facies (smoker chimneys) associated with: 1 – chalcopyrite crustifications; 2 – reniform and drusy sphalerite of axial channel; 3 – pseudomorphic chalcopyrite of chimney coating. Fahlores of clastic ore facies: 4 – bornite-bearing sulfide breccias; 5 – chalcopyrite-pyrite-sphalerite diagenites; 6 – siliceous siltstones. Fahlores of submarine supergene ore facies: 7 – hematite-quartz-carbonate gossanite. Fahlores of massive sulfide deposits: 8 – Kuroko-type (Maslennikov et al., 2015), 9 – Uralian-type (Maslennikov et al., 2015), 10 – TAG hydrothermal field (Mozgova et al., 1995).

ляется колломорфный пирит, который растворялся при формировании борнитовых руд. Средние содержания Mn в колломорфном пирите Юбилейного месторождения могут достигать 655 г/т (Масленников и др., 2014).

В некоторых анализах теннантита из сфалеритовых агрегатов труб установлена примесь Pb до 1.12 мас. %. Блеклые руды, содержащие свинец, описаны на некоторых полиметаллических месторождениях, молибден-медно-порфиром проявлении Марония и колчеданном проявлении типа Куроко в Греции (Мозгова, Цепин, 1983; Vavelidis, Melfos, 1997). Не исключается, однако, наличие в проанализированных блеклых рудах микровключений галенита.

Возрастание сурьмянистости от центра к периферии зональных зерен блеклых руд, обнаруженных в сфалерите труб, типично для эволюции состава блеклых руд (Мозгова, Цепин, 1983; Спиридонов, 1987; Филимонов, Спиридонов, 2005). Это может быть связано со снижением температуры рудообразования и возрастанием щелочности рудоносного раствора (Кемкина, Кемкин, 2010).

Значительная часть проанализированных включений блеклых руд Юбилейного месторождения на треугольной диаграмме Fe-Zn-Sb находится на границе составов блеклых руд месторождений кипрского (гидротермальное поле ТАГ) и уральского (месторождения Яман-Касы, Узельга и Молодежное) типов (рис. 7). Это согласуется с представлениями о рудно-формационной принадлежности месторождения как переходного типа от кипрского к уральскому (Серавкин, 2013). Часть анализов маложелезистого теннантита борнитсодержащих сульфидных брекчий попадает в область значительных блеклых руд месторождений типа куроко (см. рис. 7). Следует отметить, что наряду с таким теннантитом, трубы месторождений провинции Хокуро содержат борнит (Масленникова, Масленников, 2008).

Блеклые руды труб пространственно разобщены с теллуридами за исключением единичных случаев ассоциации со штюцитом. Другая ситуация наблюдается в госсанитах и кремнистых алевропелитах, где теннантит и тетраэдрит-теннантит ассоциируют с разнообразными минералами теллура.

Заключение

Проведенные исследования показали, что среди минералов группы блеклых руд в рудных фациях Юбилейного медноколчеданного месторождения преобладает теннантит, а теннантит-тетраэдрит и тетраэдрит-теннантит распространены в меньшей степени. В халькопиритовых крустификациях

труб палеокурильщиков обнаружены включения теннантита; в сфалеритовом заполнении осевых каналов труб развиты теннантит, теннантит-тетраэдрит и тетраэдрит-теннантит. Железистость убывает в ряду от мышьяковистых к сурьмянистым разновидностям блеклых руд труб. В некоторых зернах блеклых руд повышается сурьмянистость и понижаются средние содержания Fe, Cu и As от внутренних к периферийным частям, что, вероятно, связано с нарастанием роли морской воды и возрастанием щелочности гидротермальных флюидов. Установлено, что по содержаниям Fe, Zn и Sb большая часть блеклых руд рудных фаций Юбилейного месторождения занимает промежуточное положение между блеклыми рудами месторождений кипрского и уральского рудно-формационных типов.

Авторы благодарят В.В. Масленникова за всестороннюю поддержку в ходе исследований, а также И.А. Блинова и Ю.Д. Крайнева за аналитические работы. Особая благодарность выражается анонимному рецензенту за ценные замечания и исправления. Работа выполнена по бюджетной программе Института минералогии УрО РАН № АААА-016-116021010244-0.

Литература

- Аюпова Н.Р., Масленников В.В.** (2005) Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 199 с.
- Бахтина А.П., Мурзин В.В., Литошко Д.Н.** (1991) Теннантит-тетраэдрит / Минералогия Урала. Свердловск: УрО РАН, 38–51.
- Бортников Н.С., Викентьев И.В.** (2005) Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в Мировом океане. *Геология рудных месторождений*, 47(1), 16–50.
- Викентьев И.В.** (2004) Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 344 с.
- Еремин Н.И., Сергеева Н.Е., Дергачев А.Л.** (2007) Тимоморфизм редких минералов колчеданных руд и их геохимический тренд. Вестник МГУ. Серия 4. Геология, 62(2), 40–48.
- Зайков В.В.** (2006) Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 429 с.
- Кемкина Р.А., Кемкин И.В.** (2010) Химическая неоднородность и минералогическая зональность блеклых руд месторождения Купол. *Исследовано в России*, (13), 179–187. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2010/013.pdf>.
- Коваленкер В.А., Гришина Н.В.** (1980) О золото-содержащей блеклой руде / Сульфосоли, платиновые минералы и рудная микроскопия. М.: Наука, 75–83.
- Масленников В.В.** (1999) Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 348 с.
- Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Мелекесцева И.Ю., Сафина Н.П., Белогуб Е.В., Ларж Р.Р., Данюшевский Л.В., Целуйко А.С., Гладков А.Г., Крайнев Ю.Д.** (2014) Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 340 с.
- Масленников В.В., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Целуйко А.С., Котляров В.А., Крайнев Ю.Д., Чуринов Е.И., Херрингтон Р.Е.** (2015) Блеклые руды в палеозойских «курильщиках» из колчеданных месторождений Урала и Рудного Алтая. *Минералогия*, 1(4), 53–78.
- Масленников В.В., Зайков В.В.** (2006) Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 224 с.
- Масленникова С.П., Масленников В.В.** (2007) Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 312 с.
- Масленникова С.П., Масленников В.В.** (2008) Первые данные о сульфидных трубах миоценового возраста из колчеданно-полиметаллических месторождений куроко типа (Япония). *Уральский минералогический сборник № 15*. Миасс: ИМин УрО РАН, 85–90.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Ефимов А.В., Краснов С.Г., Степанова Т.В., Самоваров М.Л.** (1995) Особенности химического состава блеклых руд из гидротермальных образований срединно-океанических хребтов (постройка «Мир», поле ТАГ, 26° с.ш. Срединно-Атлантического хребта). *Записки Всероссийского минералогического общества*, 124(5), 77–83.
- Мозгова Н.Н., Цепин А.И.** (1983) Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). М.: Наука, 280 с.
- Молошаг В.П., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я., Тесалина С.Г.** (2005) Борнитовые руды колчеданных месторождений Урала. *Литосфера*, 16(3), 99–116.
- Молошаг В.П., Грабежев А.И., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я.** (2004) Фации преобразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала. *Литосфера*, 11(2), 30–51.
- Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Исмагилов М.И., Дымкин А.М., Иванов К.С., Контарь Е.С., Магадеев Б.Д., Милецкий Б.Е., Наседкин А.П., Нечухин В.М., Попов Б.А., Потапенко Б.П., Рогожников А.К., Серавкин И.Б., Федоров В.И., Язева Р.Г., Ярош П.Я.** (1988) Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение. Свердловск: УрО АН СССР, 239 с.
- Рыкус Н.Г.** (1999) Минералого-геохимические особенности руд Учалинского и Ново-Учалинского месторождений на примере мышьяка и сурьмы (Южный

Урал). Канд. дисс..., Уфа: Институт геологии и геохимии. 214 с.

Сафина Н.П., Масленников В.В. (2009) Рудокласиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 260 с.

Серавкин И.Б. (2013) Корреляция состава руд и рудовмещающих пород в вулканогенных колчеданных месторождениях (на примере Южного Урала). *Геология рудных месторождений*, **55**(3), 238–258.

Спиридонов Э.М. (1985) О видах и разновидностях блеклых руд и рациональная номенклатура минералов группы. Некоторые замечания об условиях образования блеклых руд / Новые данные о минералах СССР, **32**, 128–146.

Спиридонов Э.М. (1987) Типоморфные особенности блеклых руд некоторых плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота. *Геология рудных месторождений*, **27**(6), 83–92.

Спиридонов Э.М., Игнатов А.И., Шубина Е.В. (1990) Эволюция блеклых руд вулканогенного месторождения Озерновское (Камчатка). *Известия АН СССР. Серия Геология*, (9), 82–94.

Филимонов С.В., Спиридонов Э.М. (2005) Блеклые руды плутоногенного гипабиссального золото-антимонитового месторождения кварцитовые горки (север Центрального Казахстана). *Новые данные о минералах*, **40**, 96–104.

Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М., Агроскин А.С., Папаян Г.В., Виноградова Р.А., Лебедева С.И., Завьялов Е.Н., Филимонова А.А., Петров В.К., Раутиан Л.П., Свешникова О.Л. (1988) Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 504 с.

Целуйко А.С., Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П. (2017) Минеральные и текстурно-структурные особенности рудных фаций Юбилейного медно-колчеданного месторождения (Южный Урал). *Известия вузов. Геология и разведка*, (4), 50–56.

Цепин А.И., Мозгова Н.Н., Пшеничный Г.Н. (1978) Особенности химического состава блеклых руд южноуральских месторождений колчеданной формации. Состав и структура минералов как показатели их генезиса. М.: Наука. 171–186.

Ayupova N.R., Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tseluyko A.S., Blinov I.A., Beltenev V.E. (2018) Uranium accumulation in modern and ancient Fe-oxide sediments: Examples from the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic Ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia). *Sedimentary Geology*, **367**, 164–174.

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V., Herrington R.J., Stanley C.J. (2013) Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu-Zn massive sulfide deposits of the Urals, Russia. *Mineralogy and Petrology*, **107**(1), 67–99.

Shikazono N. (1985) A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan. *Economic Geology*, **80**(5), 1415–1424.

Vavelidis M., Melfos V., Eleftheriadis G. (1997) Mineralogy and microthermometric investigations in the Au-bearing sulphide mineralization of Palea Kavala (Macedonia, Greece). In: *Mineral Deposits: Research and Exploration Where do they Meet?* 343–346.

References

Ayupova N.R., Maslennikov V.V. (2005). [Halmyrolytites of the Uzelga massive sulfide bearing field, Southern Urals]. Miass: UB RAS, 199 p. (in Russian)

Ayupova N.R., Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tseluyko A.S., Blinov I.A., Beltenev V.E. (2018) Uranium accumulation in modern and ancient Fe-oxide sediments: Examples from the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic Ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia). *Sedimentary Geology*, **367**, 164–174.

Bakhtina A.P., Murzin V.V., Litoshko D.N. (1991) [Tennantite-tetrahedrite] / *Mineralogiya Urala [Mineralogy of the Urals]*. Sverdlovsk: Urals Branch of the RAS, 38–51. (in Russian)

Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. (2005) Modern base metal sulfide mineral formation in the World Ocean. *Geology of Ore Deposits*, **47**(1), 13–44.

Chvileva T.N., Bezsmertnaya M.S., Spiridonov E.M., Agroskin A.S., Papayan G.V., Vinogradova R.A., Lebedeva S.I., Zav'yalov E.N., Filimonova A.A., Petrov V.K., Rautian L.P., Svешnikova O.L. (1988) [Handbook of ore minerals in reflected light]. Moscow: Nedra, 504 p. (in Russian).

Eremin N.I., Sergeeva N.E., Dergachev A.L. (2007) Rare minerals from massive sulfide ores: typomorphic features and geochemical trend. *Moscow University Geological Bulletin*, **62**(2), 98–106.

Filimonov S.V., Spiridonov E.M. (2005) Fahlores of the Kvartsitovye Gorki hypabyssal gold-stibnite deposit (North of Central Kazakhstan). *Novye dannye o mineralakh [New Data on Minerals]*, **40**, 96–104. (in Russian)

Kemkina R.A., Kemkin I.V. (2010) [Chemical heterogeneity and mineralogical zonality of fahlore of the Kupol deposit]. *Issledovano v Rossii [Studied in Russia]*, (13), 179–187. (<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2010/013.pdf>). (in Russian)

Kovalenker V.A., Grishina N.V. (1980) [Gold-bearing fahlore] / *Sulfosoli, platinovyye mineraly i rudnaya mikroskopiya [Sulfosalts, Pt minerals and ore microscopy]*. Moscow: Nauka, 75–83. (in Russian)

Maslennikov V.V. (1999) [Sedimentogenesis, halmyrolysis and ecology of massive sulfide paleo-

hydrothermal fields (on example of the Southern Urals)]. Geotur: Miass, 348 p. (in Russian)

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tret'yakov G.A., Danyushevsky L.V., Large R.R., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Tseluyko A.S., Gladkov A.G., Kraynev Yu.D. (2014) [Toxic elements in massive sulfide forming systems]. Yekaterinburg, 340 p. (in Russian)

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V., Herrington R.J., Stanley C.J. (2013) Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu-Zn massive sulfide deposits of the Urals, Russia. *Mineralogy and Petrology*, **107**(1), 67–99.

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Tret'yakov G.A., Tseluyko A.S., Kotlyarov V.A., Kraynev YU.D., Churin E.I., Herrington R.J. (2015) Fahlores of the Paleozoic vent chimneys from the Urals and Rudny Altai volcanic massive sulfide deposits. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **1**(4), 53–78. (in Russian)

Maslennikov V.V., Zaykov V.V. (2006) [Ore facial analysis in geology of massive sulfide deposits]. Chelyabinsk: South Urals State University, 224 p. (in Russian)

Maslennikova S.P., Maslennikov V.V. (2007) [Paleozoic «black smoker» sulfide chimneys: example of the Urals]. Yekaterinburg, RIO RAS, 312 p. (in Russian)

Maslennikova S.P., Maslennikov V.V. (2008) [First data on Miocene sulfide chimneys of polymetallic massive sulfide deposits of Kuroko type (Japan)]. *Uralsky mineralogicheskii sbornik № 15 [Urals mineralogical collection № 15]*. Miass: Imin UB RAS, 85–90. (in Russian).

Mozgova N.N., Borodaev Yu.S., Efimov A.V., Krasnov S.G., Stepanova T.V., Samovarov M.L. (1995) Features of chemical composition of fahlores of hydrothermal precipitates of the mid-oceanic ridges («Mir», TAG field, 26° N, Mid-Atlantic Ridge). *Zapiski RMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, **124**(5), 77–83. (in Russian)

Mozgova N.N., Tsepin A.I. (1983) [Fahlores: features of chemical composition and properties]. Moscow: Nauka, 280 p. (in Russian)

Moloshag V.P., Grabezhev A.I., Vikentiev I.V., Gulyaeva T.Ya. (2004) Ore facies of massive sulfide ore deposits and Cu–Au porphyry deposits of the Urals. *Litosfera [Lithosphere]*, **11**(2), 30–51. (in Russian)

Moloshag V.P., Vikentiev I.V., Gulyaeva T.Ya., Tesalina S.G. (2005) Bornite ores from massive sulfide deposits of the Urals. *Litosfera [Lithosphere]*, **16**(3), 99–116. (in Russian)

Prokin V.A., Buslaev F.P., Ismagilov M.I. Dymkin A.M., Ivanov K.S., Kontar E.S., Magadeev B.D., Miletsky B.E., Nasedkin A. P., Necheukhin V.M., Popov B.A., Potapenko B.P., Rogozhnikov A.K., Seravkin I.B., Fedorov V.I., Yazeva R.G., Yarosh P.Ya. (1988) [Massive sulfide deposits of the Urals: geological structure]. Sverdlovsk: UB AS USSR, 241 p. (in Russian)

Rykus N.G. (1999) [Mineralogical-geochemical features of ores of Uchaly and New Uchaly deposits

of As and Sb examples (South Urals)] *Mineralogico-geokhimicheskiye osobennosti rud Uchalinskogo i Novo-Uchalinskogo mestorozhdeniy na primere mysh'yaka i sur'my (Yuzhnyy Ural)*. Kand. diss..., Ufa: Institute of geology and geochemistry. 214 p. (In Russian)

Safina N.P., Maslennikov V.V. (2008). [Ore clastites of the Yaman-Kasy and Saf'yanovka VMS deposits (Urals)]. Miass: IMin UB RAS, 260 p. (in Russian)

Seravkin I.B. (2013) Correlation between compositions of ore and host rocks in volcanogenic massive sulfide deposits of the Southern Urals. *Geology of Ore Deposits*, **55**(3), 207–224.

Shikazono N. (1985) A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan. *Economic Geology*, **80**(5), 1415–1424.

Spiridonov E.M. (1985) [Fahlore species and varieties and rational nomenclature of the mineral group. Some notes on origin of fahlores]. *Novyye dannyye o mineralakh [New data on minerals]*, **32**, 128–146. (in Russian)

Spiridonov E.M. (1985) [Typomorphic features of fahlores of some plutonic, volcanic, and telethermal gold deposits]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **27**(6), 83–92. (in Russian)

Spiridonov E.M., Ignatov A.I., Shubina E.V. (1990) [Evolution of fahlores of the Ozernovskoe volcanic deposit (Kamchatka)]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya Geologiya [Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Series geology]*, (9), 82–94. (in Russian)

Tseluyko A.S., Maslennikov V.V., Aupova N.R., Maslennikova S.P. (2017) Mineral and textural-structural features of ore facies of the Yubileynoye massive sulfide deposit (Southern Urals). *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [Izvestiya of Universities. Geology and Exploration]*, (4), 50–56. (in Russian)

Tsepin A.I., Mozgova N.N., Pshenichnyy G.N. (1978) [Features of chemical composition of fahlores of the South Urals massive sulfide deposits] / *Sostav i struktura mineralov kak pokazateli ikh genezisa [Composition and structure of minerals as indicators of their genesis]*. M.: Nauka, 171–186. (in Russian)

Vavelidis M., Melfos V., Eleftheriadis G. (1997) Mineralogy and microthermometric investigations in the Au-bearing sulphide mineralization of Palea Kavala (Macedonia, Greece). In: *Mineral Deposits: Research and Exploration Where do they Meet?* 343–346.

Vikent'ev I.V. (2004). [Formation conditions and metamorphism of massive sulfide ores]. Moscow: Nauchnyy mir, 344 p. (in Russian)

Zaykov V.V. (2006) [Volcanism and sulfide mounds of paleoceanic margins: on example of massive sulfide bearing zones of the Urals and Siberia]. Moscow: Nauka, 428 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 27 декабря 2018 г.