

УДК 553.411.071

**МИНЕРАЛЫ ОЛОВА И СЕРЕБРА ИЗ НИКОЛАЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)**

**Н.П. Сафина<sup>1,2</sup>, А.А. Обухов<sup>2</sup>, И.А. Блинов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, safina@ilmeny.ac.ru*

<sup>2</sup> *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе*

**TIN AND SILVER MINERALS FROM THE NIKOLAEVSKOE GOLD DEPOSIT (YENISEI RIDGE, KRASNOYARSK KRAI, RUSSIA)**

**N.P. Safina<sup>1,2</sup>, A.A. Obukhov<sup>2</sup>, I.A. Blinov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, safina@ilmeny.ac.ru*

<sup>2</sup> *South Ural State University, Miass*

В результате минералогического изучения золотоносной кварцевой жилы Николаевского месторождения Южно-Енисейского рудного района впервые выявлены станнин, фрейбергит и касситерит. Находка Те-канфильдита является первой в России. Особенности химического состава станнина и Те-канфильдита – присутствие примеси цинка (2.8–3.5 и 0.5–0.8 мас. %, соответственно). Полученные материалы показывают, что Николаевское месторождение отличается от месторождений золото-кварц-сульфидной формации в Южно-Енисейском золотоносном районе находками этих минералов.

Илл. 1. Табл. 1. Библ. 9.

*Ключевые слова:* золото, Те-канфильдит, кварцевые жилы, Енисейский кряж.

Stannite, freibergite and cassiterite were found for the first time in the gold-quartz vein from the Nikolaevskoe deposit, South Yenisei ore region, Krasnoyarsk krai, Russia. Te-canfieldite was described for the first time in Russia. Stannite and Te-canfieldite are characterized by the presence of Zn: 2.8–3.5 and 0.5–0.8 wt. %, respectively. The presence of these minerals is a specific feature of Nikolaevskoe deposit in comparison with other gold-quartz-sulfide deposits of the South Yenisei ore region.

Figures 1. Tables 1. References 9.

*Key words:* gold, Te-canfieldite, quartz veins, Yenisei Ridge.

**Введение**

Николаевское месторождение – типичный представитель золоторудных объектов золото-кварц-сульфидной формации на восточной окраине Енисейского кряжа. Для них характерно оруденение в виде кварцевых жил или зон метасоматической проработки в слюдисто-кварц-карбонатных сланцах переменного состава с примесью углеродистого вещества. Рудная минерализация представлена пиритом, пирротинном и арсенопиритом, ассоциирующими с золотом. Реже встречаются халькопирит, сфалерит, галенит, висмутин, магнетит и

гётит (Сазонов и др., 2010). Имеются упоминания о находках блёклых руд (Васильевское месторождение, Партизанский участок, Южно-Енисейский золотоносный район), марказита, миллерита, полидимита, ильменита (месторождение Первенец, Святодухинский участок, Северо-Енисейский золотоносный район) (Петров, 1974; Казимиров, 2013ф).

В связи с этим представляют интерес находки минералов олова и серебра (станнин, касситерит, Те-канфильдит, фрейбергит) в кварцевой жиле Николаевского месторождения. На золоторудных месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Вос-

тока находки этих минералов обычно приурочены к разным минеральным типам руд. Так, станнин и касситерит отмечаются в рудах золото-сульфидно-мышьякового типа (Учагинское, Дальний Восток), а фрейбергит и канфилдит – золото-кварц-сульфидного типа (Озёрновское, Ветренское, Дальний Восток). Присутствие канфилдита характерно для месторождений золото-серебряного типа (Валунистое, Дальний Восток). Совместное присутствие в золотосодержащих кварцевых жилах минералов олова (станнин, канфилдит, касситерит) и блёклой руды (теннантит, фрейбергит) установлено на Мангазейском серебро-сурьмяном месторождении (Восточная Якутия), оловорудных месторождениях Хинганское (Дальний Восток) и Льяльягуа (Южная Боливия) (Смирнов, 1989; Костин и др., 1997; Коростелёв и др., 2000). Те-канфилдит – разновидность канфилдита  $Ag_8SnS_6$  с повышенным содержанием теллура – была наиболее подробно описана как «теллуροканфилдит» в полиметаллических жилах скарнового Zn-Pb-Ag месторождения Бацзязи (Китай) (Zhao et al., 2003). Те-канфилдит в ассоциации с канфилдитом, Ag-станнином, галенитом и фрейбергитом обнаружен в кварцевых жилах Sn-W месторождения Панашквейра (Центральная Португалия) (Wimmers, 1985) и в ряде других объектов. В литературе данных о находках Те-канфилдита в России не обнаружено.

Целью настоящих исследований является выявление особенностей нахождения Те-канфилдита, станнина, фрейбергита и касситерита в кварцевой жиле Николаевского золоторудного месторождения. Перечисленные минералы на изучаемом месторождении до настоящего времени известны не были.

Оптические наблюдения минералов проводились на микроскопе Axiolab (Carl Zeiss, ИМин УрО РАН, г. Миасс) и электронном микроскопе VEGA3 TESCAN с энергодисперсионной приставкой (ИМин УрО РАН, аналитики И.А. Блинов, Ю.Д. Крайнев).

### **Краткий геологический и минералогический очерк месторождения**

Николаевское золоторудное месторождение расположено в центральной части Енисейского кряжа (Красноярский край) и входит в состав Партизанского рудного узла Южно-Енисейского золотоносного района (Отчёт..., 2008ф). В структурном от-

ношении Партизанский рудный узел располагается в восточном крыле Центрального (Татарского) антиклинория – складчатого обрамления Сибирской платформы.

В геологическом строении месторождения принимают участие метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы кординской ( $R_1kd$ ) и пенчегинской ( $PR_1pn$ ) свит протерозоя (Отчёт..., 2008ф). Последняя прорывается небольшими интрузивными телами габбро-диабазов, метаморфизованных до амфиболитов. Помимо этого в непосредственной близости от месторождения располагается крупный Татарский гранитоидный массив, сложенный порфиroidными лейко- и мезократовыми слюдяными и биотит-амфиболовыми породами, в т. ч. диоритами и сиенитами.

Пенчегинская рудовмещающая свита представлена плотными, однородными по внешнему виду, слабо расланцованными метаморфизованными породами кварц-хлоритового, кварц-альбитового, карбонатно-кварцевого, серицит-карбонатно-хлоритового, кварц-альбит-хлоритового, биотит-хлорит-кварцевого и хлорит-актинолитового состава.

Николаевская золотоносная жила представляет собой вытянутое плитообразное тело сложной линзовидной формы. Протяжённость жилы по простиранию составляет более 1500 м, по падению – 480 м. Установлено, что жила имеет чётковидный характер и её мощность изменяется от первых дециметров (при выклинивании на флангах) до 13 м. В строении жилы принимают участие кварцевые, кварц-карбонатные, кварц-сульфидные минеральные ассоциации.

Главные сульфидные минералы представлены пиритом, пирротинном, халькопиритом, второстепенные – арсенопиритом, сфалеритом, галенитом и магнетитом. Количество рудных минералов в жильной массе варьирует от первых процентов до 9–10 %. Сульфиды встречаются преимущественно в виде тонко рассеянной вкрапленности, реже в виде прожилков и гнёзд. Самородное золото, представленное преимущественно микроскопическими выделениями (до 1–2 мм), характеризуется неравномерным распределением среди сульфидной или кварцевой массы. Золото на месторождении высокопробное, в среднем 88–89 % Au и 11–12 % Ag.

Основные нерудные минералы – кварц, формирующий 60–70 % всего объёма жильного вещества,

и кальцит. Второстепенные – доломит, магнезит, анкерит, брейнерит, сидерит и хлорит.

Кварц представлен несколькими морфологическими типами, что свидетельствует о нескольких стадиях минералообразования. Наиболее ранним является мелкозернистый кварц, который составляет основную массу жилы. Вместе с ним наблюдаются карбонаты, среди которых неравномерно рассеяны включения рудных минералов. Второй тип представлен крупнозернистым белым кварцем, образующим прожилки, линзы, включения и гнезда среди мелкозернистого кварца, и ассоциирующим с самородным золотом. Последним сформировались кристаллы горного хрусталя совместно с пиритом в мелких полостях и пустотах.

### Результаты исследований

По данным геологоразведочных работ (Отчёт..., 2008ф), рудная минерализация в кварцевой жиле Николаевского месторождения представлена тонкими субпараллельными прожилковидными обособлениями мощностью в первые миллиметры, гнездами и мелкой рассеянной вкрапленностью. Объектом наших исследований стала рудная минерализация в участках кварцевой жилы. Содержание

рудных минералов в кварце 20–30 %. Макроскопически установлено присутствие галенита, сфалерита и пирита. Пирит также приурочен к прожилкам из углеродистого материала мощностью от 2 мм до 5 мм. Типичные структуры: аллотриоморфнозернистая для сфалерита и галенита, гипидиоморфнозернистая для пирита.

Строение кварцевой матрицы неоднородное. Отмечается присутствие двух разновидностей кварца, различающихся по цвету и структуре. Крупнозернистый белый кварц цементирует более ранний мелкозернистый кварц серого цвета. Рудная минерализация приурочена к выделениям обоих типов кварца.

Сфалерит формирует массивные скопления с коррозионными границами с кварцем и состоит из мелкокристаллических агрегатов, среди которых обнаруживаются участки, содержащие эмульсионную вкрапленность станнина. Участки без станнина характеризуются бурыми и желтоватыми внутренними рефлексиями. Сфалерит содержит многочисленные включения кварца, станнина, халькопирита, галенита, блёклой руды (рис. 1). Помимо этого в сфалерите присутствуют включения халькопирита размером до 20 мкм, ассоциирующие исключительно со станнином. В сфалерите уста-

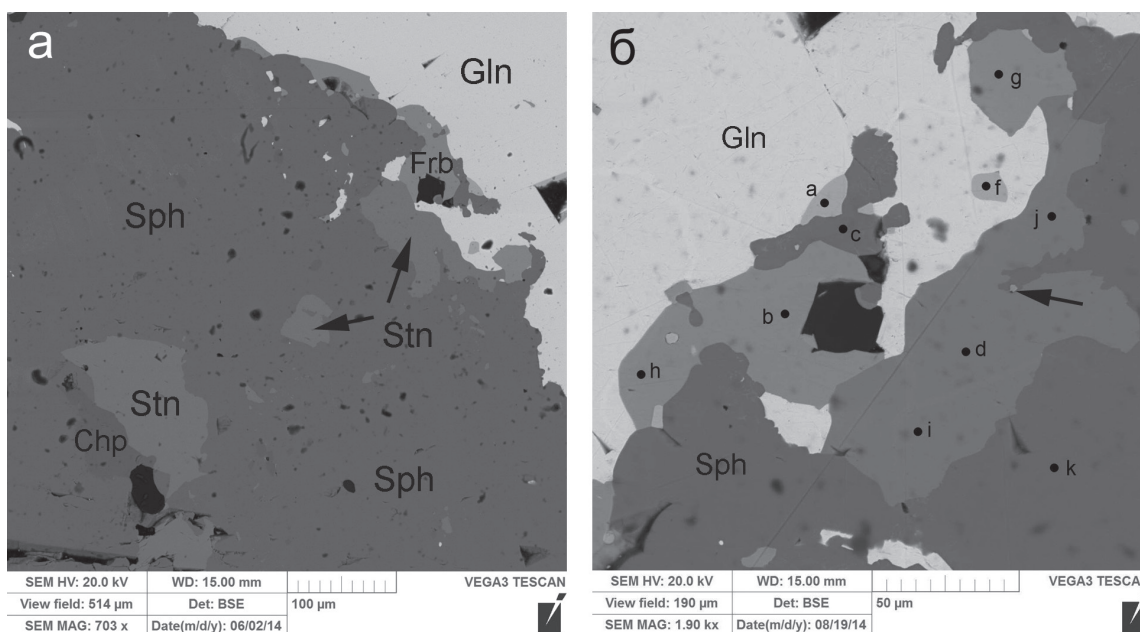


Рис. 1. а – Скопления станнина (Stn) и фрейбергита (Frb) на контакте сфалерита (Sph) и галенита (Gln); б – деталь снимка а. Срастание станнина (точки i, d, j), фрейбергита (h, b, g), сфалерита (c, k), Те-канфильдита (a, f) и касситерита (показано стрелкой). Точки а–к – точки анализов в таблице.

Fig. 1. a – Aggregates of stannite (Stn) and freibergite (Frb) at the contacts of sphalerite (Sph) and galena (Gln); б – detail of fig. a. Intergrowth of stannite (the analyses i, d, j), freibergite (h, b, g), sphalerite (c, k), Te-canfieldite (a, f) and cassiterite (arrow). The analyses a–k are shown in Table.

Таблица

## Состав рудных минералов в кварцевой жиле Николаевского месторождения (мас. %)

Table

## Composition of ore minerals in quartz veins of the Nikolaevskoe deposit (wt. %)

№ п/п	№ анализа	Cu	Sn	Sb	Ag	Fe	Te	Zn	Cd	S	Сумма	Формула
Сфалерит												
1	14206f	-	-	-	-	3.50	-	61.13	0.73	34.60	99.96	$(Zn_{0.86}Fe_{0.06}Cd_{0.01})_{0.93}S_{1.00}$
2	14206с	-	-	-	-	3.54	-	61.16	0.88	34.40	99.98	$(Zn_{0.87}Fe_{0.05}Cd_{0.01})_{0.93}S_{1.00}$
3	14338с	0.45	-	-	-	3.02	-	62.15	0.83	33.26	99.71	$(Zn_{0.91}Fe_{0.05}Cd_{0.01}Cu_{0.01})_{0.98}S_{1.00}$
4	14338к	-	-	-	-	3.61	-	61.91	0.80	33.93	100.24	$(Zn_{0.89}Fe_{0.06}Cd_{0.01})_{0.96}S_{1.00}$
Станнин												
5	14206а	28.59	28.02	-	-	10.44	-	2.76	-	29.65	99.47	$Cu_{1.95}(Fe_{0.81}Zn_{0.18})_{0.99}Sn_{1.02}S_{4.00}$
6	14206d	29.27	27.89	-	-	10.39	-	3.04	-	29.41	99.98	$Cu_{2.01}(Fe_{0.81}Zn_{0.2})_{1.01}Sn_{1.03}S_{4.00}$
7	14338d	28.76	27.06	-	-	10.82	-	3.39	-	29.94	99.97	$Cu_{1.94}(Fe_{0.86}Zn_{0.21})_{1.02}Sn_{0.99}S_{4.00}$
8	14338и	28.47	27.29	-	-	11.00	-	3.32	-	29.79	99.86	$Cu_{1.94}(Fe_{0.86}Zn_{0.21})_{1.02}Sn_{0.94}S_{4.00}$
9	14338j	29.89	26.64	-	-	10.79	-	3.50	-	30.14	100.96	$Cu_{2.00}(Fe_{0.81}Zn_{0.21})_{1.02}Sn_{0.94}S_{4.00}$
Фрейбергит												
10	14206е	21.67	-	26.76	20.58	4.85	-	2.21	-	22.89	98.96	$(Cu_{6.23}Ag_{3.48}Sb_{0.71})(Fe_{1.65}Zn_{0.55})_{2.20}Sb_{4.03}S_{13.00}$
11	14338g	22.72	-	27.14	20.95	4.83	-	1.94	-	22.84	100.43	$(Cu_{6.22}Ag_{3.48}Sb_{0.70})(Fe_{1.65}Zn_{0.55})_{2.20}Sb_{4.03}S_{13.00}$
12	14338h	22.00	-	27.59	21.45	4.88	-	1.96	-	23.06	100.93	$(Cu_{6.32}Ag_{3.61}Sb_{0.93})(Fe_{1.81}Zn_{0.54})_{2.35}Sb_{4.15}S_{13.00}$
13	14338b	22.34	-	27.76	20.71	4.99	-	1.96	-	22.96	100.72	$(Cu_{6.32}Ag_{3.43}Sb_{0.75})(Fe_{1.81}Zn_{0.54})_{2.35}Sb_{4.15}S_{13.00}$
Те-канфилдит												
14	14338а	-	8.13	-	62.13	-	18.64	0.82	-	9.63	99.34	$(Ag_{7.73}Zn_{0.13}Te_{0.86})_{0.93}Sn_{0.93}(S_{4.57}Te_{1.43})_{6.00}$
15	14338f	-	8.33	-	62.23	-	18.78	0.51	-	9.41	99.26	$(Ag_{7.73}Zn_{0.13}Te_{0.86})_{0.93}Sn_{0.93}(S_{4.57}Te_{1.43})_{6.00}$

*Примечание.* Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 TESCAN (Институт минералогии УрО РАН, аналитики И.А. Блинов, Ю.Д. Крайнев). Формулы сфалерита рассчитаны на один атом серы, станнина – на четыре атома, фрейбергита – на 13 атомов, Те-канфилдита – на сумму атомов серы и теллура, равную шести. Прочерк – содержание элемента ниже предела обнаружения.

*Note.* Analyses were carried out on a VEGA3 TESCAN SEM (Institute of Mineralogy UB RAS, analysts I.A. Blinov and Yu.D. Krainev). Formulae of sphalerite, stannite, and freibergite are calculated to 1, 4, 13 sulfur atoms *pfu*, respectively. Formulae of Te-canfieldite are calculated to the sum of atoms of sulfur and tellurium of 6. Dash, the content of element is below detection limit.



новлены примеси железа (до 3.6 мас. %) и кадмия (0.7–0.9 мас. %) (табл.).

Галенит тесно ассоциирует со сфалеритом в виде прерывистой каймы мощностью до 50 мкм, оконтуривающей сфалерит, а также обособлений с коррозионными контурами в кварце и сфалерите. Изометричные включения галенита размером 5–7 мкм находятся в единичных кристаллах пирита, выросших на границе сфалерита и галенита. Галенит не содержит включений, лишь на контакте со сфалеритом в нём отмечены два зерна Те-канфилдита размером до 10 мкм. Химический состав галенита полностью отвечает теоретическому.

Станнин находится в сфалерите в виде эмульсионной вкрапленности, а также в сростании с халькопиритом, встречается в виде гипидиоморфных зёрен на контакте сфалерита и галенита в ассоциации с фрейбергитом и Те-канфилдитом (рис. 1а). Мелкие угловатые или вытянутые зёрна станнина (до 10 мкм) в сфалерите располагаются цепочками по контурам участков с эмульсионной вкрапленностью этого же минерала. На границе станнина и сфалерита обнаружено зерно касситерита размером 2 мкм (рис. 1б).

Фрейбергит образует сростания со станнином, кварцем на контакте галенита со сфалеритом. Здесь минерал встречается в виде крупных удлинённых зёрен (до 100 мкм) с угловатыми контурами (см. рис. 1а, б). Мелкие зёрна фрейбергита (10–20 мкм) присутствуют как самостоятельные выделения в сфалерите, так и в сростках со станнином и халькопиритом. Также минерал образует маломощные (2–3 мкм) каймы вокруг зёрен сфалерита в кварце. Химический состав минерала весьма выдержанный. Повышенные содержания цинка (до 2.2 мас. %), вероятно, наследуются от замещённого сфалерита (см. табл.).

Те-канфилдит образует сглажено-угловатые включения размером до 10 мкм в галените и фрейбергите, а также находится в виде удлинённого зерна на контакте сфалерита и фрейбергита (см. рис. 1б). Обычно по краям включений Те-канфилдита сохраняются реликтовые участки нерудного минерала, что свидетельствует о более позднем выделении этого сульфостанната. Химический состав Те-канфилдита выдержанный, с невысокой, но постоянной примесью цинка – 0.5–0.8 мас. % (см. табл.).

Касситерит представлен мелкими округлыми зёрнами (2–5 мкм) в сфалерите и на контакте сфалерита и станнина (см. рис. 1б). Предполагается, что появление касситерита могло быть результатом замещения станнина сфалеритом.

### Выводы

Состав рудной минерализации в кварцевой жиле Николаевского месторождения отличает данный объект от подобных месторождений золота (например, Васильевское, Удережское, Герфердское, Самсон, Архангельское) в пределах Южно-Енисейского золотоносного района. К отличиям месторождения также относятся такие особенности минералогии, как совместное присутствие станнина, фрейбергита, Те-канфилдита и касситерита. Для перечисленных минералов характерна определённая позиция в кварцевой жиле – контакты основных минералов (сфалерита, галенита), слагающих рудные скопления. Редкие касситерит и Те-канфилдит являются поздними минералами по отношению к фрейбергиту, станнину, галениту и сфалериту. В целом, появление минералов олова и серебра могло быть результатом активизации гидротермальной деятельности на стадии формирования крупнозернистого белого кварца, который замещает галенит-сфалеритовые агрегаты. Причина активизации – неоднократные тектонические процессы, проявившиеся при формировании рудного тела Николаевского месторождения.

Полученные минералогические данные могут быть полезны при разработке золоторудных месторождений и разведке многочисленных рудопроявлений золота данного региона.

Исследования выполнены в рамках государственной темы «Создание моделей минералообразования в рудно-седиментационных системах вулканогенных и осадочных формаций» ГР № 01201350139.

### Литература

*Казимиров Е.В.* Минералого-петрографическая характеристика руд и вмещающих пород Святодунского проявления золота (Красноярский край): Дипломная работа. ЮУрГУ, филиал в г. Миассе. Миасс, 2013ф. 50 с.

*Коростелёв П.Г., Семеняк Б.И., Демашов С.Б.* Некоторые особенности вещественного состава оловоносного Хингано-Олонойского района // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 1. С. 202–225.

*Костин А.В., Зайцев А.И., Шошин В.В., Ганевев А.Ш., Лобанов С.П.* Сереброносная провинция Западного Верхоянья. Якутск: Изд-во СО РАН, 1997. 155 с.

Отчёт с подсчётом запасов по объекту «Доизучение Николаевского золоторудного месторождения» по состоянию на 01.04.2008 г. ЗАО «Васильевский рудник». Красноярск, 2008ф. 192 с.

*Петров В.Г.* Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа. Новосибирск: Наука, 1974. 142 с.

*Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власова В.С., Звягина Е.А., Фёдорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И.* Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2010. V. 4. № 3. С. 371–395.

*Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. Учеб. М.: Недра, 1989. 326 с.

*Wimmers D.* Silver minerals of Panasqueire, Portugal: a new occurrence of Te-bearing canfieldite // Mineralogical Magazine. 1985. V. 49. P. 745–748.

*Zhao Y., Dong Y., Li D., Bi Ch.* Geology, mineralogy, geochemistry, and zonation of the Bajiazi dolostone-hosted Zn–Pb–Ag skarn deposit, Liaoning Province, China // Ore Geology Reviews. 2003. V. 23. P. 153–182.

*Поступила в редакцию 27 октября 2014 г.*