

УДК 553.45(571.56)

**ЗОЛОТО-ТЕЛЛУР-ВИСМУТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ЗАДЕРЖНИНСКОЕ (ЮЖНОЕ ВЕРХОЯНЬЕ, ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)**

**Г.С. Анисимова, Л.А. Кондратьева**

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск;  
g.s.anisimova@diamond.ysn.ru*

**GOLD-TELLURIUM-BISMUTH MINERALIZATION  
FROM THE ZADERZHNINSKOE DEPOSIT  
(SOUTH VERKHOYANSK REGION, EAST YAKUTIA)**

**G.S. Anisimova, L.A. Kondrat'eva**

*Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk;  
g.s.anisimova@diamond.ysn.ru*

Детальные минералогические исследования Задержнинского месторождения показали разнообразие минерального состава руд. Диагностированы ранее неизвестные теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли серебра, висмута и свинца, самородный висмут, обнаружены вторичные теллуриды и оксиды. Теллуриды представлены хедлейитом, сульфотеллуриды – минералами группы тетрадимита, сульфосоли Ag, Bi, Pb – минералами лиллианит–густавитовой гомологической серии, в ассоциации с этими минералами отмечаются самородный висмут и висмутин. С Te-Bi минеральными парагенезисами связано самородное золото средней пробы (750 ‰).

Илл. 4. Табл. 2. Библи. 33.

*Ключевые слова:* самородный висмут, висмутин, группа тетрадимита и густавита, смирнит, бисмит, Задержнинское месторождение.

The detailed mineralogical studies of the Zaderzninskoe deposit showed diverse mineral composition. Various tellurides (hedleyite), sulfotellurides and sulfosalts of silver, bismuth and lead (minerals of tetradymite group, minerals of lillianite-gustavite series), and native bismuth were identified for the first time, as well as their secondary tellurites and oxides. Native gold of fineness of 750 ‰ is associated with Te-Bi minerals.

Figures 4. Tables 2. References 33.

*Key words:* native bismuth, bismuthine, tetradymite and gustavite group, smirnite, bismite, Zaderzninskoe deposit.

**Введение**

Золото-теллуру-висмутная минерализация встречается во многих золоторудных месторождениях разных регионов России: на Урале – Кочкарское (Спиридонов, 1996), Березняковское (Грабежев и др., 2000); на Алтае – Натальевское (Алабин, Калинин, 1999); в Забайкалье – Дарасун (Тимофеевский,

1972), Боксон-Гарганская металлогеническая зона (Гармаев, 2011), Серебряное (Редин, Козлова, 2014; Редин, 2015); на Северо-Востоке – Эргелях, Тугучак, Аркачан и другие (Гамянин и др., 1998; Гамянин, 2001; Горячев, Гамянин, 2004; Гамянин и др., 2015); на Дальнем Востоке – Криничное, Аскольд, Путятинское (Иванов и др., 2002; Фатьянов, Хомич, 1989), Болотистое (Лотина, 2009, 2011) и другие.

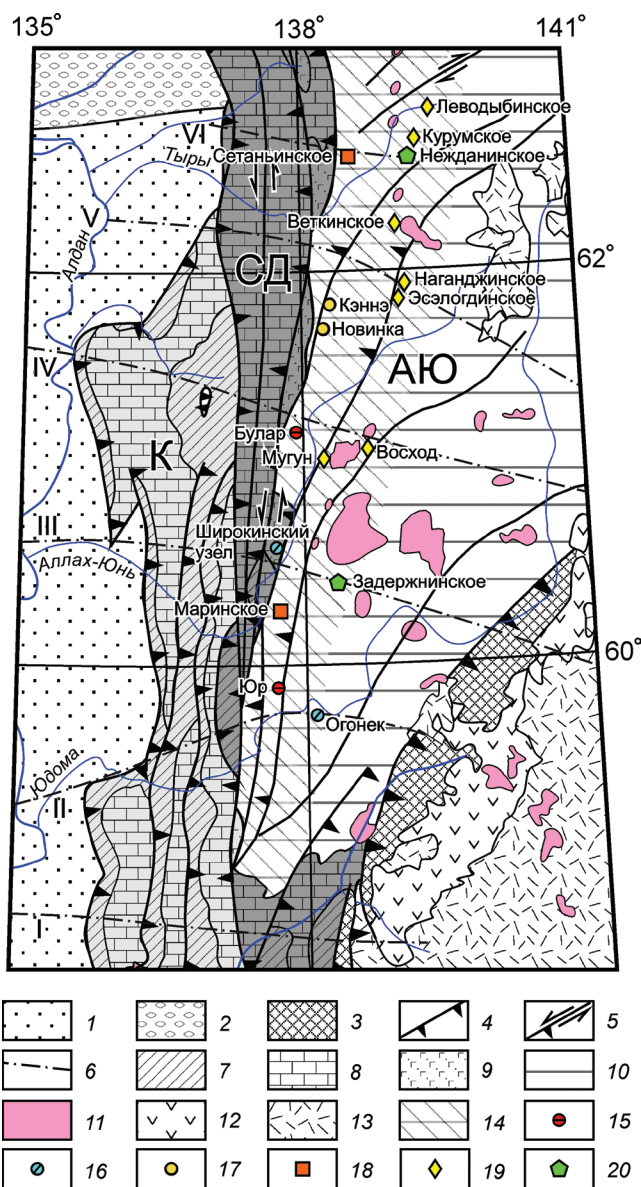


Рис. 1. Положение Задержнинского рудного поля в региональных структурах Южного Верхоянья. Тектоническая основа по А.В. Прокопьеву (Тектоника..., 2001, с изменениями и дополнениями).

В Южном Верхоянье Au-Te-Vi минерализация характерна для рудопроявлений золото-редкометалльного типа – Леводыбинского, Курумского, Тарбаганнах (Мугун), Эсэлогдинского, Наганджинского и др., расположенных в экзоконтактах гранитоидных массивов (Гринберг и др., 1970; Кокин, 1994). Основными рудными минералами являются арсенопирит, лёллингит, самородный висмут, тетрадимит, висмутин, галенобисмутит, вольфрамит, шеелит, теллуриды золота (сильванит, петцит) и самородное золото.

1 – осадочный чехол Сибирской платформы; 2 – Приверхоянский краевой прогиб; 3 – раннедокембрийские образования Верхне-Майского выступа Охотского террейна; 4 – надвиги; 5 – сдвиги и взбросо-сдвиги; 6 – поперечные поднятия (по: Гринберг и др., 1970): I – Курун-Юряхское, II – Огонекское, III – Менджельское, IV – Сегенинское, V – Халыинское, VI – Тыринское; 7–10 – отложения: 7 – рифейские, 8 – венд-нижнепалеозойские, 9 – среднедевонские-нижнекаменноугольные, 10 – верхнепалеозойские-мезозойские; 11 – мезозойские гранитоиды; 12–14 – вулканоплутонические пояса: 12 – Удской, 13 – Охотско-Чукотский, 14 – метаморфический пояс. Тектонические зоны: К – Кыллахская (светло-серое), СД – Сетте-Дабанская (серое), АЮ – Аллах-Юньская (белое). 15–20 – золото-рудные месторождения: 15 – золото-кварцевые стратиформного типа, 16 – золото-кварцевые секущего типа, 17 – золото-сульфоантимонитовые, 18 – золото-кварц-сульфидные, 19 – золото-редкометалльные, 20 – полиформационные.

Fig. 1. Position of the Zaderzhninskoye ore field in the regional structures of the South Verkhoyansk area. Tectonic map is modified after A.V. Prokop'ev (Tectonics..., 2001).

1 – sedimentary cover of the Siberian platform; 2 – Pri-Verkhoyansk foredeep; 3 – Early Precambrian rocks of the Upper Maya inlier of the Okhotsk terrane; 4 – thrusts; 5 – strike-slip and reverse strike-slip faults; 6 – transverse uplifts (after Grinberg et al., 1970): I – Kurun-Yuryakh, II – Ogonyok, III – Mendzhel, IV – Segen, V – Khalyya, VI – Tyry; 7 – Riphean rocks; 8 – Vendian to Lower Paleozoic rocks; 9 – Middle Devonian to Lower Carboniferous rocks; 10 – Upper Paleozoic to Mesozoic rocks; 11 – Mesozoic granitic rocks; 12–14 – volcanoplutonic belts: 12 – Uda, 13 – Okhotsk-Chukotka, 14 – metamorphic belt. Tectonic zones: K – Kyllakh (light grey), CD – Sette-Daban (grey), AY – Allakh-Yun' (white). 15–20 – gold deposits: 15 – gold-quartz stratiform type, 16 – gold-quartz vein type, 17 – gold-sulfantimony, 18 – gold-quartz-sulfide, 19 – gold-rare metal, 20 – of complex genesis.

Задержнинское месторождение расположено в структурах Аллах-Юньской тектонической зоны Верхоянского складчато-надвигового пояса, где распространены месторождения золота различных геолого-генетических типов (рис. 1): полиформационное Нежданнинское (Гамянин и др., 2000); стратифицированные Au-кварцевые Дуэт, Юр и Булар (Константинов и др., 1984); Au-сульфоантимонитовые Новинка и Кэннэ; Au-кварц-сульфидные Маринское и Сетаньинское (Окунев, Данилов, 2010).

В последнее время нами получены новые данные по распространению Au-Te-Bi оруденения в регионе. В кварцевожильных образованиях эндо- и экзоконтактов Тарбаганнахского массива впервые диагностированы мальдонит, хедлейит, бурнонит, пентландит и кобальтин, уточнена пробность самородного золота различных минеральных ассоциаций (Анисимова, Кондратьева, 2014). В рудах Широкинского рудно-россыпного узла определены теллурид Bi (пильзенит), самородный Bi и теллуриды Ag и Bi (Кондратьева и др., 2010).

На Задержнинском золоторудном месторождении авторами установлены ранее неизвестные минералы висмута, что в совокупности с другими данными может быть использовано для минералогеохимической типизации, определения формационной принадлежности месторождения. В данной статье приведены результаты этих исследований.

### Краткие сведения о геологии и минералогии Задержнинского месторождения

Промышленная золотоносность Задержнинского месторождения связана с рудными телами секущего морфоструктурного типа, представленными крутопадающими кварцевыми жилами и минерализованными зонами дробления с прожилкововкрапленными рудами (Кондратьева и др., 2005). Все они размещены в осевой части антиклинали ССВ простираения, ассоциирующей с надвиговыми структурами. Рудовмещающие терригенные турбидиты нижней перми представлены переслаивающимися песчанистыми алевролитами и песчаниками бонсолчанской свиты. Интенсивно проявлен интрузивный магматизм: дайки диоритов, микродиоритов, диоритовых порфириров, спессартитов и керсантитов, мелкие штоки диоритов и субщелочных гранитоидов, рассматриваемых М.К. Силичевым (Силичев, Белозерцева, 1993ф) в качестве апикальных выступов неровной кровли интрузивного массива.

Руды в зависимости от текстурно-структурного облика сложены в основном кварцем (от 60 до 95 %), а также карбонатами и слюдами. Рудные минералы – арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, самородное золото, электрум; халькопирит и пирротин – составляют 1–5 %. Самородное золото характеризуется разнообразием морфологии, преимущественно мелкими размерами выделений

и примесью ртути. При исключительно широкой вариации химического состава самородного золота основная масса его (более 90 %) представлена низкопробной разностью.

Ранее по преобладающей низкопробности самородного золота, присутствию в рудах халцедоновидного кварца с минеральными парагенезисами минералов серебра, петровскаита, айтенбогаардитта, примеси ртути в самородном золоте, сульфидах и сульфосолях в пределах месторождения был выделен эпитермальский тип золото-серебряного оруденения (Кондратьева, Анисимова, 2007; Анисимова, Кондратьева, 2008; Анисимова и др., 2008). Позднее в галените были найдены микровключения штютцита, а в ассоциации с пираргиритом встречен сульфид Ag, Pb, Te и Sn с примесью селена, предварительно отнесенный к Te-Pb-содержащему канфильдиту (Кондратьева, Анисимова, 2011; Анисимова, Кондратьева, 2012).

### Методы исследования

Минераграфическое изучение полированных шлифов проводилось на рудном микроскопе Jenavert SL 100. Исследование в отражённых электронах, получение энергодисперсионных спектров, количественное определение состава минералов выполнено на сканирующем электронном микроскопе фирмы JEOL JSM-6480LV с использованием энергетического дисперсионного спектрометра Energy 350 of Oxford Instruments. Количественный анализ и обработка результатов проводились по методу XPP в программном обеспечении Software INCA Energy. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1.08 нА, время измерения 10 сек. Аналитические линии: Bi, Pb (M $\alpha$ ); Te, Ag, Sb, Sn, S (L $\alpha$ ); Cu, Fe, Zn (K $\alpha$ ); O – по стехиометрии. Эталоны: халькостибит – Cu, Sb, S; сфалерит – Zn; халькопирит – Fe; висмутин – Bi; колорадоит – Hg, Te; арсенопирит – As; золото 750 ‰ – Au; чистые (100 %) – Ag и Sn.

Частично количественное определение состава минералов выполнено с помощью рентгено-спектрального микроанализатора Camebax-micro при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе –  $0.8 \cdot 10^{-7}$  А,  $t = 10$  сек. Аналитические линии: Bi, Pb, Hg (M $\alpha$ ); Te, Ag, Sb, As (L $\alpha$ ); Cu, Fe, S (K $\alpha$ ). Эталоны: CuSbS<sub>2</sub> – Cu, Sb, S; HgTe – Hg, Te; PbS – Pb; Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> – Bi; FeAsS – As; CuFeS<sub>2</sub> – Fe.

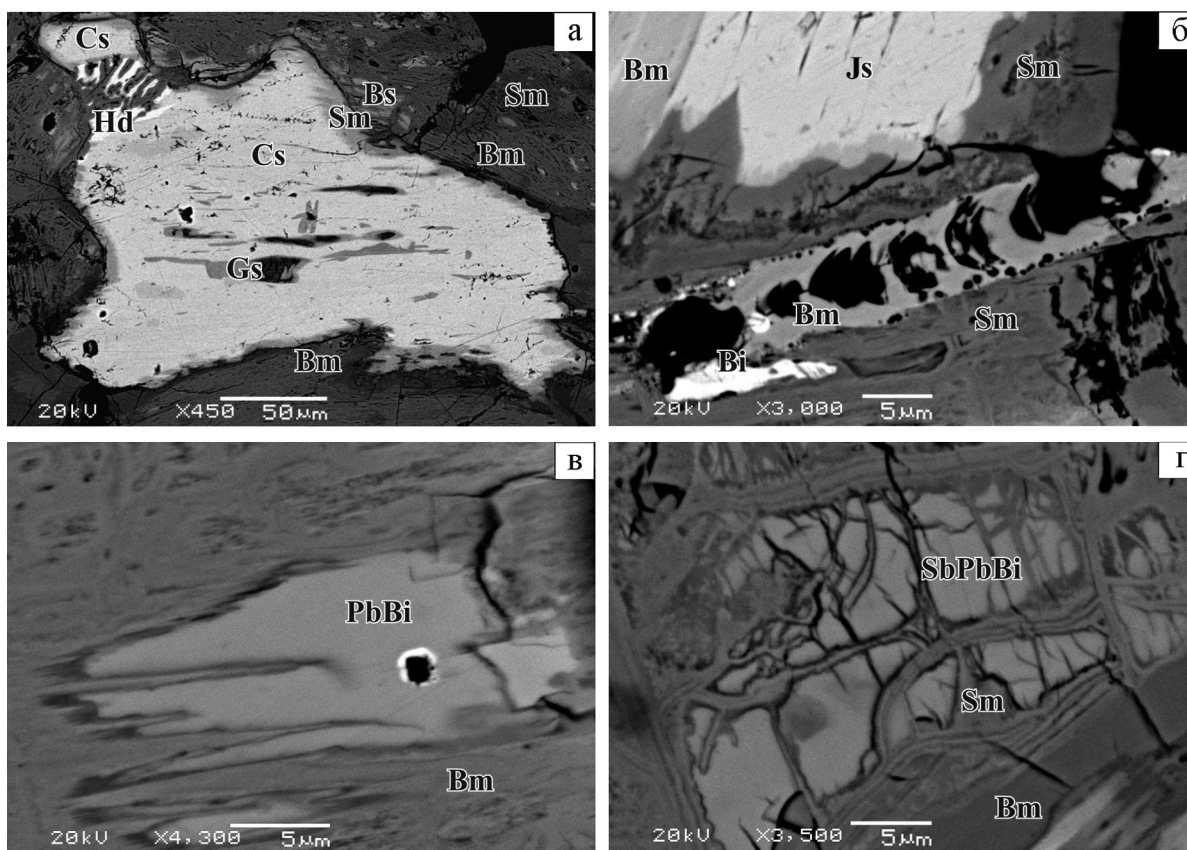


Рис. 2. Минералы висмута и теллура в рудах Задержнинского месторождения.

а – развитие минералов группы густавита (Gs) по спайности сульфозумойта (Cs) и замещение хедлейита (Hd), сульфозумойта (Cs) и висмутина (Bs) бисмитом (Bm) и смирнитом (Sm); б – самородный висмут (Bi) в бисмите (Bm) и смирните (Sm), замещающем жозейт-В (Js); в – реликты свинецсодержащего висмутина (PbBi) в бисмите (Bm); г – реликты Pb-Sb-содержащего висмутина (SbPbBi) в смирните (Sm) и бисмите (Bm).

Fig. 2. Bi and Te minerals in ores from the Zaderzhninskoe deposit.

а – development of minerals of the gustavite group (Gs) along cleavage of sulphotsumoite (Cs) and replacement of hedleyite (Hd), sulphotsumoite (Cs) and bismuthine (Bs) by bismite (Bm) and smirnite (Sm); б – inclusion of native bismuth (Bi) in bismite (Bm) and smirnite (Sm), which replaces joesite-B (Js); в – relicts of Pb-bearing bismuthine (PbBi) and bismite (Bm); г – relicts of Pb-Sb-bearing bismuthine (SbPbBi) in smirnite (Sm) and bismite (Bm).

### Золото-теллур-висмутовая минерализация

В результате последних детальных минералогических исследований в рудах месторождения диагностированы различные теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли серебра, висмута и свинца, самородный висмут, а также обнаружены их вторичные производные – теллуриды и оксиды. Висмутовые минералы обнаружены в виде гнёзд в кварцевой жиле, расположенной на контакте с дайкой спессартитов.

**Самородный висмут.** Единичные выделения самородного висмута округлой и удлинённой формы фиксируются в бисмите, возможно, как новообра-

зования при разложении икунолита в зоне выветривания (рис. 2б). В отражённом свете минерал имеет белый цвет с кремовым оттенком. Отражение высокое. В составе минерала, кроме висмута, других элементов не обнаружено (табл. 1, ан. 1, 2).

**Хедлейит** отмечается спорадически по краям выделений сульфотеллуридов висмута. Иногда наблюдаются мирмекитоподобные графические, так называемые симплектические, выделения в оксидах и теллуридах висмута (см. рис. 2а). Под микроскопом хедлейит среди остальных минералов висмута выделяется наиболее светлым оттенком. Он замещается оксидами и теллуридами Bi. Элементы-примеси не обнаружены (см. табл. 1, ан. 12).

Таблица 1

## Химический состав Вi-содержащих минералов Задержнинского месторождения (мас. %)

Table 1

## Chemical composition of the Bi-bearing minerals from the Zaderzhninskoe deposit (wt. %)

Минерал	№ ан.	Ag	Bi	Te	Pb	Sb	S	Сумма	Формула
Самородный висмут	1	–	100.11	–	–	–	–	100.11	Bi
	2	–	100.90	–	–	–	–	100.90	Bi
Висмутин	3	–	80.36	–	–	–	17.78	98.14	Bi <sub>2.05</sub> S <sub>2.95</sub>
Pb-содержащий висмутин	4	–	77.66	–	2.85	–	19.22	99.73	Bi <sub>1.89</sub> Pb <sub>0.07</sub> S <sub>3.04</sub>
	5	–	76.93	–	4.56	–	18.42	99.92	Bi <sub>1.91</sub> Pb <sub>0.11</sub> S <sub>2.98</sub>
	6	–	76.11	–	5.73	–	18.50	100.34	Bi <sub>1.91</sub> Pb <sub>0.14</sub> S <sub>2.98</sub>
	7	–	75.68	–	4.67	–	17.96	98.31	Bi <sub>1.92</sub> Pb <sub>0.12</sub> S <sub>2.96</sub>
Pb-Sb-содержащий висмутин	8*	–	77.36	–	4.34	1.79	16.82	101.30	Bi <sub>1.99</sub> Pb <sub>0.11</sub> Sb <sub>0.08</sub> S <sub>2.82</sub>
	9	–	79.28	–	5.13	1.16	17.40	102.97	Bi <sub>1.98</sub> Pb <sub>0.13</sub> Sb <sub>0.05</sub> S <sub>2.84</sub>
	10	–	78.58	–	3.40	0.93	17.74	100.65	Bi <sub>1.97</sub> Pb <sub>0.09</sub> Sb <sub>0.04</sub> S <sub>2.90</sub>
	11	–	76.28	–	3.92	1.01	16.62	98.51	Bi <sub>2.00</sub> Pb <sub>0.10</sub> Sb <sub>0.05</sub> S <sub>2.85</sub>
Хедлейит	12	–	78.07	21.88	–	–	–	99.95	Bi <sub>2.06</sub> Te <sub>0.94</sub>
Сульфоцумоит	13	0.56	66.37	24.53	1.61	–	5.61	98.68	Bi <sub>2.73</sub> Pb <sub>0.07</sub> Ag <sub>0.05</sub> Te <sub>1.65</sub> S <sub>1.50</sub>
	14	1.01	64.71	28.23	1.97	–	5.21	101.13	Bi <sub>2.61</sub> Pb <sub>0.08</sub> Ag <sub>0.08</sub> Te <sub>1.86</sub> S <sub>1.34</sub>
	15	0.80	65.55	24.87	2.33	–	5.53	99.08	Bi <sub>2.69</sub> Pb <sub>0.068</sub> Te <sub>1.67</sub> S <sub>1.48</sub>
	16	0.90	67.95	21.90	2.33	–	5.21	98.29	Bi <sub>2.87</sub> Pb <sub>0.10</sub> Ag <sub>0.07</sub> Te <sub>1.52</sub> S <sub>1.44</sub>
	17	–	66.79	23.52	2.53	–	5.50	98.34	Bi <sub>2.79</sub> Pb <sub>0.20</sub> Te <sub>1.61</sub> S <sub>1.49</sub>
	18	–	62.91	25.96	3.56	–	6.09	98.52	Bi <sub>2.54</sub> Pb <sub>0.14</sub> Te <sub>1.72</sub> S <sub>1.60</sub>
	19	0.46	64.98	24.83	4.76	–	4.74	99.77	Bi <sub>2.74</sub> Pb <sub>0.20</sub> Ag <sub>0.04</sub> Te <sub>1.72</sub> S <sub>1.34</sub>
	20	–	60.20	27.10	6.31	–	5.19	98.81	Bi <sub>2.50</sub> Pb <sub>0.26</sub> Te <sub>1.84</sub> S <sub>1.40</sub>
	21	–	65.90	27.49	–	–	5.59	98.98	Bi <sub>2.68</sub> Te <sub>1.83</sub> S <sub>1.48</sub>
	22	–	67.24	27.48	–	–	5.22	99.94	Bi <sub>2.76</sub> Te <sub>1.84</sub> S <sub>1.46</sub>
	23	–	70.15	24.17	–	–	5.41	99.73	Bi <sub>2.90</sub> Te <sub>1.64</sub> S <sub>1.46</sub>
	24	0.77	68.89	24.56	–	–	5.59	99.81	Bi <sub>2.81</sub> Ag <sub>0.06</sub> Te <sub>1.64</sub> S <sub>1.49</sub>
	25	0.49	70.35	24.74	–	–	5.58	101.16	Bi <sub>2.85</sub> Ag <sub>0.04</sub> Te <sub>1.64</sub> S <sub>1.47</sub>
	Жозент-В	26	–	73.56	22.49	–	–	2.80	98.86
27		–	73.86	21.94	–	–	2.82	98.62	Bi <sub>4.03</sub> Te <sub>1.97</sub> S
28		–	74.11	21.60	–	–	2.55	98.26	Bi <sub>4.11</sub> Te <sub>1.97</sub> S <sub>0.92</sub>
29		–	75.10	21.60	–	–	3.20	99.91	Bi <sub>4.00</sub> Te <sub>1.89</sub> S <sub>1.11</sub>
30		–	75.63	21.07	–	–	2.44	99.15	Bi <sub>4.20</sub> Te <sub>1.92</sub> S <sub>0.88</sub>
Лиллианит-густавитовая серия	31	5.78	38.57	–	39.41	–	15.54	99.31	Ag <sub>0.65</sub> Pb <sub>2.29</sub> Bi <sub>2.22</sub> S <sub>5.85</sub>
	32	6.28	39.57	–	36.72	1.62	16.53	100.71	Ag <sub>0.64</sub> Pb <sub>2.12</sub> Bi <sub>2.27</sub> Sb <sub>0.16</sub> S <sub>5.81</sub>
	33	5.79	40.04	–	36.38	2.25	17.02	101.48	Ag <sub>0.66</sub> Pb <sub>2.02</sub> Bi <sub>2.20</sub> Sb <sub>0.21</sub> S <sub>5.92</sub>
	34	6.16	40.81	–	36.45	1.10	15.71	100.22	Ag <sub>0.67</sub> Pb <sub>1.99</sub> Bi <sub>2.21</sub> Sb <sub>0.10</sub> S <sub>6.02</sub>
	35	6.38	42.08	–	32.89	2.02	16.45	99.83	Ag <sub>0.82</sub> Pb <sub>1.82</sub> Bi <sub>2.30</sub> Sb <sub>0.19</sub> S <sub>5.87</sub>
	36*	7.74	42.57	–	33.95	–	15.30	99.55	Ag <sub>0.78</sub> Pb <sub>1.98</sub> Bi <sub>2.46</sub> S <sub>5.77</sub>
	37	6.97	43.59	–	32.90	–	15.04	98.50	Ag <sub>0.79</sub> Pb <sub>1.94</sub> Bi <sub>2.55</sub> S <sub>5.72</sub>
	38	7.02	43.62	–	30.51	1.06	16.97	99.18	Ag <sub>0.62</sub> Pb <sub>1.71</sub> Bi <sub>2.42</sub> Sb <sub>0.10</sub> S <sub>6.14</sub>
	39	5.79	44.97	2.24	29.95	–	16.10	99.05	Ag <sub>0.61</sub> Pb <sub>1.74</sub> Bi <sub>2.59</sub> S <sub>6.06</sub>
	40	5.44	47.83	4.28	27.30	–	14.26	99.11	Ag <sub>0.98</sub> Pb <sub>1.64</sub> Bi <sub>2.85</sub> S <sub>5.54</sub>
	41	8.46	48.00	–	26.53	–	15.07	99.41	Ag <sub>0.84</sub> Pb <sub>1.57</sub> Bi <sub>2.82</sub> S <sub>5.77</sub>
	42	7.37	51.20	–	24.44	0.68	17.23	100.92	Ag <sub>0.88</sub> Pb <sub>1.32</sub> Bi <sub>2.74</sub> Sb <sub>0.06</sub> S <sub>6.00</sub>

Примечание. JEOL JSM-6480LV, аналитик Н.В. Христофорова; \*) в ан. 8 и 36 примесь As 0.32 и 0.26 мас. %, соответственно. Прочерк – не обнаружено.

Note. JEOL JSM-6480LV microprobe, analyst N.V. Hristoforova. \*) Samples 8 and 36 contain 0.32 and 0.26 wt. % As, respectively. Dash – not detected.

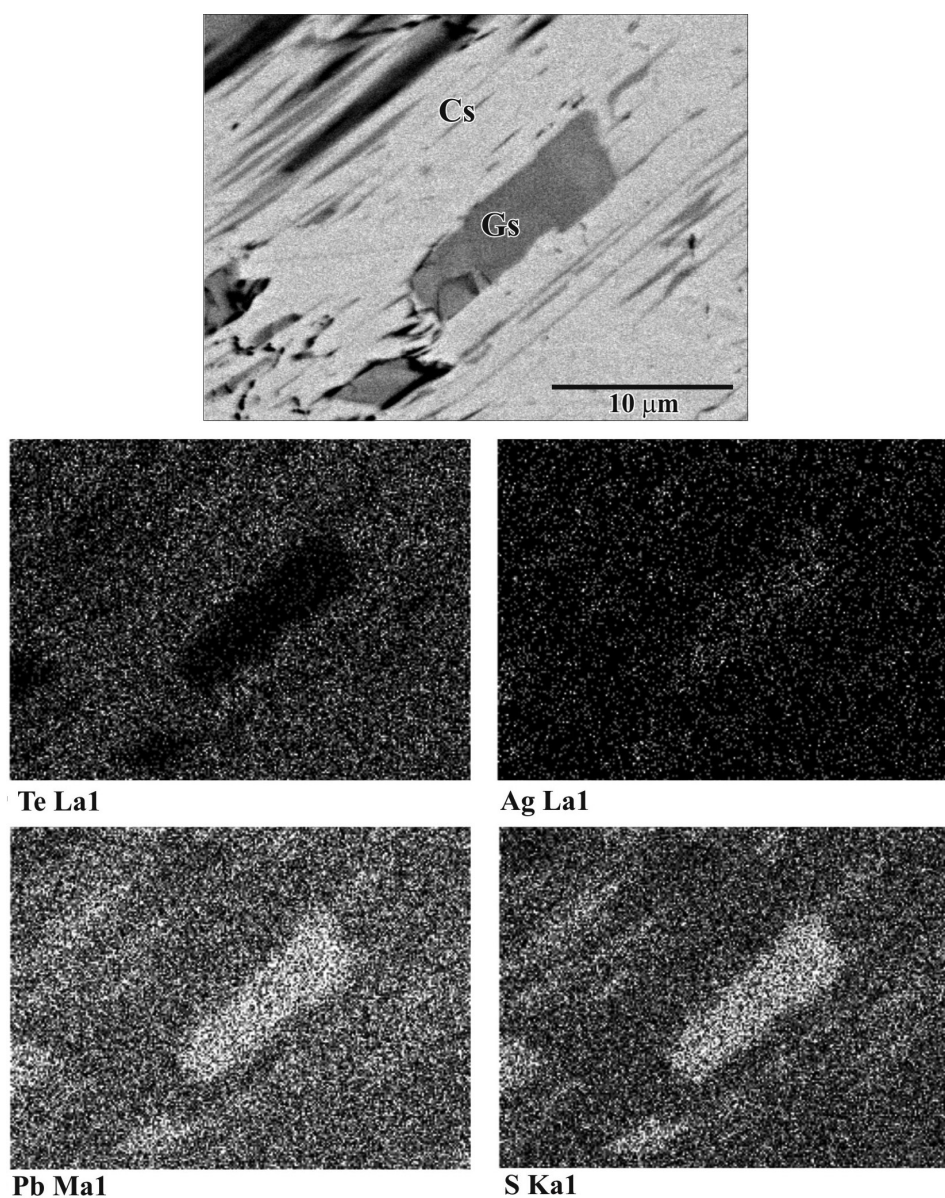


Рис.3. Таблитчатые выделения густавита (Gs) по спайности в сульфотумоите (Cs) и растровые картины распределения элементов.

Fig. 3. Tabular inclusions of gustavite (Gs) along cleavage in sulphotsumoite (Cs) and patterns of element distribution.

**Сульфотеллуриды висмута.** Пластинчатые и листоватые выделения сульфотеллуридов величиной 0.1–0.5 мм находятся в массе оксидов и теллуридов висмута (см. рис. 2а–б). Под микроскопом в отражённом свете сульфотеллуриды имеют белый с желтоватым оттенком цвет и по химическому составу отнесены к сульфотумоиту и жозеиту-В (см. табл. 1, ан. 13–30). В некоторых выделениях присутствуют примеси Рb (до 4.76 мас. %) и, редко, незначительные концентрации Sb и Ag.

**Сульфосоли висмута, свинца и серебра** находятся в виде единичных пластинчатых выделений, удлинённых по плоскостям спайности в сульфотеллуридах висмута (см. рис. 2а, рис. 3). Размеры этих сульфосолей, образующих между собой тонкие срастания, составляют 5–20 мкм. Диагностика и интерпретация состава минералов этой группы затруднена из-за малых размеров зёрен и вариаций состава. По химическому составу изученные минералы относятся к лиллианит-густавитовой серии с содержанием серебра 5.81–8.46 мас. % и близки ширмериту, эскимоиту, оурэтийиту и викингиту (см. табл. 1, ан. 31–42).

**Висмутин** не образует больших скоплений и находится в агрегатах оксидов висмута в виде реликтов (см. рис. 2а, в–г). Размеры их не превыша-

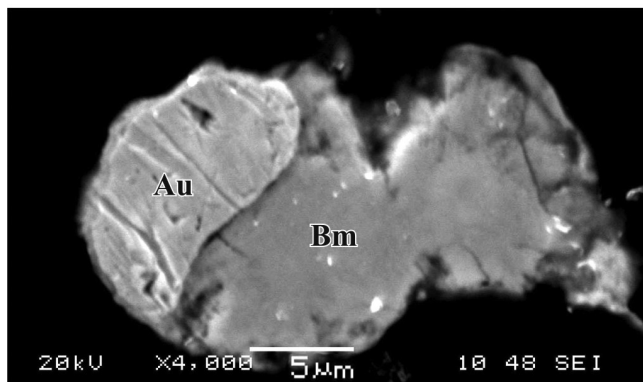
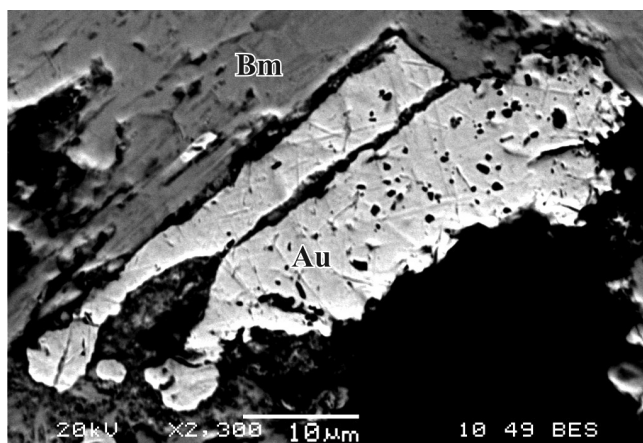


Рис. 4. Низкопробное (740 ‰) самородное золото (Au) в ассоциации с висмутом (Bm).

Fig. 4. Low-finesness (740 ‰) native gold (Au) in association with bismuth (Bm).

ют 15 мкм. Примечательной особенностью состава минерала являются ощутимые концентрации Pb и Sb (см. табл. 1, ан. 3–11).

**Самородное золото** тесно ассоциирует с оксидами висмута (рис. 4). Выделения золота округлой в сечении или удлинённой формы, величиной 0.01–0.5 мм. Состав анализированного зерна, мас. %: Au 74.95; Ag 24.99; Hg 0.41; сумма 100.35 (табл. 2); пробность 747 ‰ соответствует средней пробности основной массы самородного золота месторождения.

**Оксиды и теллуриды висмута** являются основными носителями данного элемента и доминируют над всей группой Bi-содержащих минералов. Все вышеприведённые минералы (самородный висмут, теллуриды, сульфотеллуриды, сульфиды и сульфосоли висмута и серебра, самородное золото) встречаются в них в виде реликтов (см. рис. 2). Оксиды и теллуриды образуют перемежающиеся ритмичные выделения. По химическому составу теллуриды с содержанием Bi 65.59–68.20 мас. % и Te 14.01–17.26 мас. % предположительно отнесены к

смирниту  $\text{Bi}_2\text{TeO}_5$ , а оксиды висмута с содержанием Bi около 83 мас. % – к бисмиту  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . В теллуридах в виде примесей фиксируются Ag, Cu, Sb и Se, а в оксидах – иногда Te, Se и F (из-за микровключений других минералов). Вокруг зёрен сульфотеллуридов развиты теллуриды, а в краевой части – оксиды висмута. При наличии реликтов висмутита наблюдается обратная картина: внутренняя зона образована оксидами висмута, а внешняя – теллуридами. Бисмит с каплевидными новообразованиями самородного висмута образует трубчатые выделения в массе смирнита (см. рис. 2б).

### Обсуждение результатов и выводы

По вопросу формационной принадлежности Задержнинского месторождения у исследователей нет единого мнения. Ю.П. Воронин (1970) описывал его как убогосульфидное золото-кварцевое месторождение. Г.Н. Гамянин (2001) отнёс данное месторождение к постаккреционным золото-кварцевым «нежданского» типа. В.А. Амузинский (2005) в свою очередь считал объект золото-редкометалльным наряду с Нежданским месторождением.

Проведённые нами минералогические исследования руд Задержнинского месторождения позволили впервые выявить самородный висмут, Pb- и Pb-Sb-содержащий висмутин, хедлейит, сульфоцумоит, жозеит-В, минералы лиллианит-густавитовой серии, а также вторичные минералы – смирнит и бисмит с низкопробным (740–760 ‰) золотом. Au-Te-Bi парагенезисы найдены обособленно от других ассоциаций месторождения; единственным ассоциирующим с ними минералом является катаклазированный арсенопирит.

Для висмутовых минералов Задержнинского месторождения характерны те же особенности, отмеченные Г.Н. Гамяниным (2001) при изучении золото-редкометалльных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области (ВКСО). На Задержнинском месторождении также наблюдается нестехиометричность состава сульфотеллуридов и теллуридов висмута; изменчивость минералов отмечается не только в пределах одного штуфа, но и в отдельных зёрнах. Основными изоморфными элементами минералов висмута являются Pb, Sb, Ag, встречаются и Ag-содержащие свинцово-висмутовые сульфосоли. В примесном составе минералов висмута отражается геохимическая специализация руд месторождения. Также наблюдаются тесные

Таблица 2

**Химический состав золота, ассоциирующего с висмутовыми оксидами (мас. %)**

Table 2

**Chemical composition of the gold associated with Bi oxide (wt. %)**

№ ан.	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность
1	74.95	24.99	–	99.94	750
2	73.35	24.65	–	98.00	748
3	71.77	26.56	–	98.33	730
4	72.29	25.92	–	98.21	736
5	70.76	27.62	–	98.37	719
6	71.74	25.04	0.10	96.92	740
7	71.37	24.42	0.29	96.08	743
8	71.99	24.02	0.19	96.20	748
9	72.72	23.56	0.23	96.50	753

*Примечание.* JEOL JSM-6480LV (ан. 1–5) и Camebax-micro (ан. 6–9). Аналитики Н.В. Христофорова, Л.М. Попова. Прочерк – не обнаружено.

*Note.* JEOL JSM-6480LV (ан. 1–5) and Camebax-micro (ан. 6–9) microprobes. Analyst N.V. Hristoforova, L.M. Popova. Dash – not detected.

срастания сернистых и бессернистых соединений висмута с его гипогенными оксидами – бисмитом и смирнитом. Самородный висмут месторождения – это продукт распада икунолита, о чём свидетельствует каплевидная форма выделений, беспримесность его состава и ассоциация со вторичными минералами. В теллуридах и оксидах висмута встречается примесь Se, присутствующая также в полибазите, Te-Pb-содержащем канфильдите (?), оксидах и сульфатах Pb (Кондратьева, 2013). Все вышеперечисленные особенности являются типоморфными признаками образования комплекса висмутовых минералов в нестабильных физико-химических условиях малых глубин формирования Задержнинского месторождения.

Таким образом, в последнее время авторами расширена площадь распространения Au-Te-Bi оруденения в регионе. Проявление висмутовой минерализации, геохимия поздних минералов, наличие ореолов биотит-кордиеритовых роговиков позволило пересмотреть типизацию Задержнинского месторождения и обосновать выделение Au-редкометалльного этапа рудообразования. Детальные минералогические исследования руд показали комплексный характер оруденения. Формирование полиформационного полихронного золотого оруденения месторождения обусловлено длительно развивавшейся рудно-магматической системой и совмещением в рудных телах мезотермального зо-

лото-кварцевого арсенопиритового (Au-As) и полисульфидного (Au-Pb-Zn) минеральных типов с эпитеpmальной золото-редкометалльной (Au-Bi-Te) и золото-серебряной (Au-Ag-Sb) минерализацией.

*Работа выполнена в рамках плана НИР ИГАБМ СО РАН на 2014–2016 гг.*

### Литература

Алабин Г.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. 237 с.

Амузинский В.А. Металлогенические эпохи и золотоносность рудных комплексов Верхоянской складчатой системы. Якутск: ИГАБМ СО РАН, 2005. 247 с.

Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А. Новые типы эпитеpmального золотого оруденения Аллах-Юньской металлогенической зоны // «Золото северного обрамления Пацифика». Международ. горно-геолог. форум. Магадан, 2008. С. 49–51.

Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А. Нестехиометричность состава серебряных минералов золоторудных месторождений Восточной Якутии // Матер. III Всеросс. научно-практ. конф. «Минералогия Северо-Восточной Азии». Улан-Удэ. 2012. С. 5–8.



Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А. Au-Ag-Te-Bi-REE-U минерализация Мугунского рудопроявления Аллах-Юньской металлогенической зоны // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 5. С. 41–45.

Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Лескова Н.С. Сульфидные соединения золота и серебра в золоторудных месторождениях Восточной Якутии // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 24–32.

Воронин Ю.П. Структура, морфология и минералогия Задержнинского золоторудного месторождения // Геология и полезные ископаемые Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1970. С. 109–112.

Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозойд. Москва: ГЕОС, 2001. 222 с.

Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алтатов В.В. Нежданское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. М.: ГЕОС, 2000. 228 с.

Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С. Аркачан – новый золото-висмут-сидерит-сульфидный тип месторождения в оловоносном Западно-Верхоянском районе (Якутия) // Геология руд. месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 513–545.

Гамянин Г.Н., Гончаров В.И., Горячев Н.А. Золото-редкометалльные месторождения Востока России // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 3. С. 94–103.

Гармаев Б.Л. Золото-теллуридный и золото-висмутовый минеральные типы оруденения западного фланга Боксон-Гарганской металлогенической зоны (Восточный Саян): Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2011. 16 с.

Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Au-редкометалльные месторождения: перспективы промышленного освоения // Матер. конф. «Au Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технологическая экономика, экология». Улан-Удэ, 2004. С. 57–58.

Грабежьев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Молошаг В.П., Сотников В.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А., Покросовский Б.Г. Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 1. С. 38–52.

Гринберг Г.А., Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Кухтинский Г.Г., Недосекин Ю.Д. Гранитоиды Южного Верхоянья. М.: Наука, 1970. 216 с.

Иванов В.В., Замбржицкий А.И., Молчанова Г.Б., Лотина А.А., Нарнов Г.А., Афанасьева Т.Б. Особенности минералогии золото-висмут-теллурического оруденения Сихотэ-Алиня // Матер. научн. конф. «Современные проблемы металлогении». Ташкент, 2002. С. 176–178.

Кокин А.В. Минеральные типы золоторудных месторождений Юго-Восточной Якутии // Отечественная геология. 1994. № 8. С. 10–17.

Кондратьева Л.А. Закономерности локализации, минералого-геохимические особенности и возраст золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье): Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2013. 16 с.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С. Новые данные к вопросу об эпitherмальном Au-Ag оруденении Аллах-Юньской металлогенической зоны // Тез. докл. II горно-геол. форума «Золото северного обрамления Пацифика». Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2011. С. 110–111.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С. Золотое оруденение нового типа в Аллах-Юньской металлогенической зоне // Отечественная геология. 2007. № 5. С. 11–14.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Стручков К.К. Комплексная рудоносность и алмазоносность Белореченской зоны Сетте-Дабанского палеорифта // Отечественная геология. 2010. № 6. С. 3–11.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Холмогоров А.И. Структура и минералогия Задержнинского золоторудного поля // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 23–28.

Константинов М.М., Слезко В.А., Косовец Т.Н. Стратиформное золото-кварцевое оруденение // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 2. С. 432–434.

Лотина А.А. Висмут-теллурическая минерализация золоторудного проявления Болотистый (Западный Сихотэ-Алинь, ДВ России) // Электронный журн. «Исследовано в России». 2009. Т. 12. С. 968–977.

Лотина А.А. Висмут-теллурическая минерализация участка Болотистый (Северо-Западный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 1. С. 97–107.

Окунев А.Е., Данилов В.П. Новые проявления золото-кварц-сульфидной формации Аллах-Юньской металлогенической зоны // Вестник ЯГУ. 2010. Т. 7. № 1. С. 41–46.

*Редин Ю.О., Козлова В.М.* Золото-висмут-теллуридная минерализация в рудах месторождения Серебряного (Лугоканский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 3. С. 39–52.

*Редин Ю.О.* Золоторудная минерализация Лугоканского рудного узла (Восточное Забайкалье): минеральные ассоциации, возраст, эндогенная зональность: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2015. 16 с.

*Силичев М.К., Белозерцева Н.В.* Отчёт о результатах структурных и минералого-геохимических исследований в пределах золоторудного месторождения Задержное за 1992–1993 гг. Фонды Структурно-минералогической партии, пос. Хандыга, 1993ф. 260 с.

*Спиридонов Э.М.* Минералогия метаморфизованного плутоногенного золото-кварцевого месторождения Кочкарское, Южный Урал. II. Золото-галенит-висмутиновые руды // Зап. ВМО. 1996. Ч. 125. № 6. С. 1–10.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.

*Тимофеевский Г.И.* Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, 1972. 260 с.

*Фатьянов И.И., Хомич В.Г.* Строение и особенности образования жильно-метасоматических зон золото-серебряного месторождения Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканического пояса // Геологические условия локализации эндогенного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 86–100.

*Поступила в редакцию 10 июня 2016 г.*