

## ЗОЛОТО-ВИСМУТ-ТЕЛЛУРОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ УЧАСТКА БОЛОТИСТОГО (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)

*А.А. Лотина*

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток,  
690022, e-mail: anylotina@mail.ru*

Поступила в редакцию 10 марта 2010 г.

Приводятся результаты исследования висмут-теллуровой минерализации золотоносного участка Болотистого (бассейн р. Хор, Хабаровский край). Из руд выделены и изучены минералы: теллуrowисмутит ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), тетрадимит ( $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ), цумоит ( $\text{BiTe}$ ), протожозеит ( $\text{Bi}_2\text{Te}_4\text{S}$ ) и самородный висмут. Основные элементы-примеси этих минералов – свинец и селен.

Выделены две минеральные ассоциации: 1 – ранняя кварц-арсенидно-сульфидная с висмут-теллуrowыми минералами, связанная с эоценовыми габбродиоритами, диабазами и кварцевыми диоритами; 2 – поздняя кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуrowисмутитовая, наложенная на эоценовые дациты, дайки среднего и кислого состава, меловые осадочные толщи и послужившая основным источником питания промышленных россыпей золота. Делается предположение о существовании двух типов оруденения гипабиссального уровня.

**Ключевые слова:** золото, висмут, теллур, минерализация, Сихотэ-Алинь.

### ВВЕДЕНИЕ

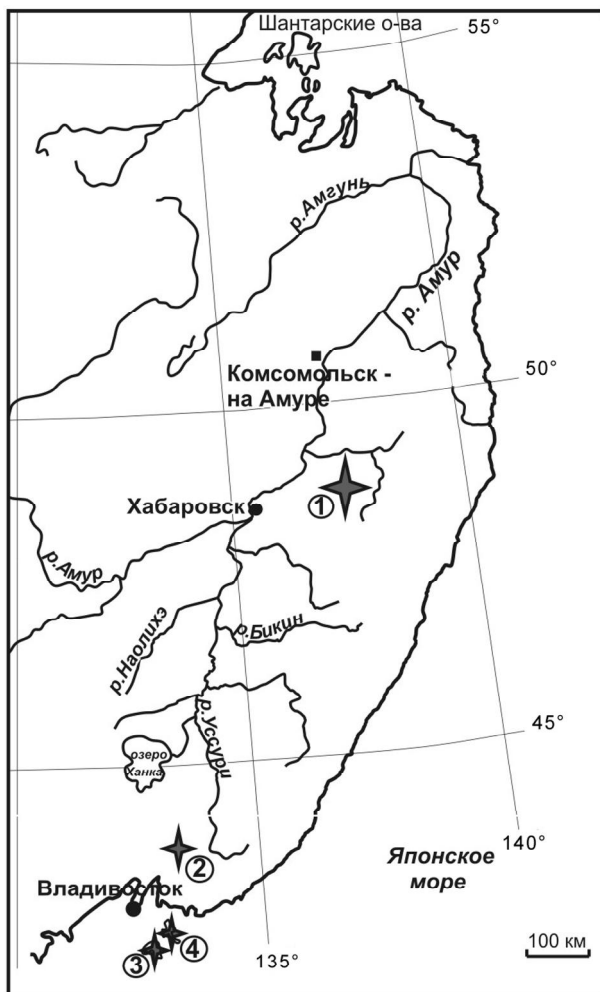
Висмут-теллуrowая (Bi-Te) минерализация широко представлена на многих золоторудных месторождениях различных генетических типов. Она известна в России на Урале (месторождения Кочкарское [10], Натальевское [1]), в Забайкалье (Березняковское, Дарасун, [4, 13]), Северо-Востоке (Эргелях, Лево-Дыбинское, Тугучак, Аркачан и другие [2, 3]). Подобный тип минерализации распространен также в Австралии (месторождения Тимбара, Калгури [20]); Канаде (Даблин Галч, Омай, Ред-Монтбрей [19, 23]); США (Шотгун, Форт-Нокс, Крипл-Крик [16, 17]), Испании (Орто-са [18]).

Bi-Te минерализация известна и на золоторудных объектах юга Дальнего Востока (Криничное, Аскольд, Путятинское, Многовершинное [5, 14]). В основном золоторудные месторождения данного типа генетически связаны с позднеюрско-раннемеловыми, раннемеловыми и позднемеловыми гранитоидами [2, 3]. В конце прошлого столетия было открыто проявление золота Болотистое, расположенное значительно севернее отмеченных выше месторождений Приморья.

Характеристика россыпного и коренного золота, геолого-структурные особенности и некоторые вопросы минералогии участка Болотистого приведены в краткой форме в работах В.М. Степаненко и др. [11], В.В. Иванова и др. [5], Л.Б. Сушкина [12] и А.А. Логиной [8]. В данной работе приводятся результаты детальных исследований золото-висмут-теллуrowой минерализации участка Болотистого.

### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Объект исследований расположен в бассейне р. Хор Хабаровского края (рис. 1) в зоне сочленения Самаркинского и Журавлевского террейнов (западные отроги Сихотэ-Алиня). Наиболее древними образованиями района являются верхнетриасовые толщи кремнистых пород с горизонтами кремнисто-глинистых и углисто-глинистых сланцев, алевролитов и песчаников (Дымович, 1987 г.). На них несогласно залегают нижнемеловые алевролиты и песчаники. Терригенные образования перекрыты эоценовыми базальтоидами кузнецовской свиты, олигоценными галечниками, суглинками и супесями бирофельдской свиты и миоценовыми базальтами кизинской свиты.



**Рис. 1.** Схема расположения золоторудных объектов с висмут-теллуровой минерализацией. Показано звездочкой: 1 – Болотистое, 2 – Криничное, 3 – Аскольд, 4 – Путятинское.

Интрузивные образования представлены телами габбродиоритов, диоритов и трахидолеритов эоценового возраста, а также маломощными дайками позднемеловых гранодиоритов и гранитов.

Тектонические нарушения проявлены в виде зон интенсивной трещиноватости (мощностью более 50 м) северо-западного и субмеридионального простирания. Мезозойские породы ороговикованы и интенсивно изменены гидротермальными процессами.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

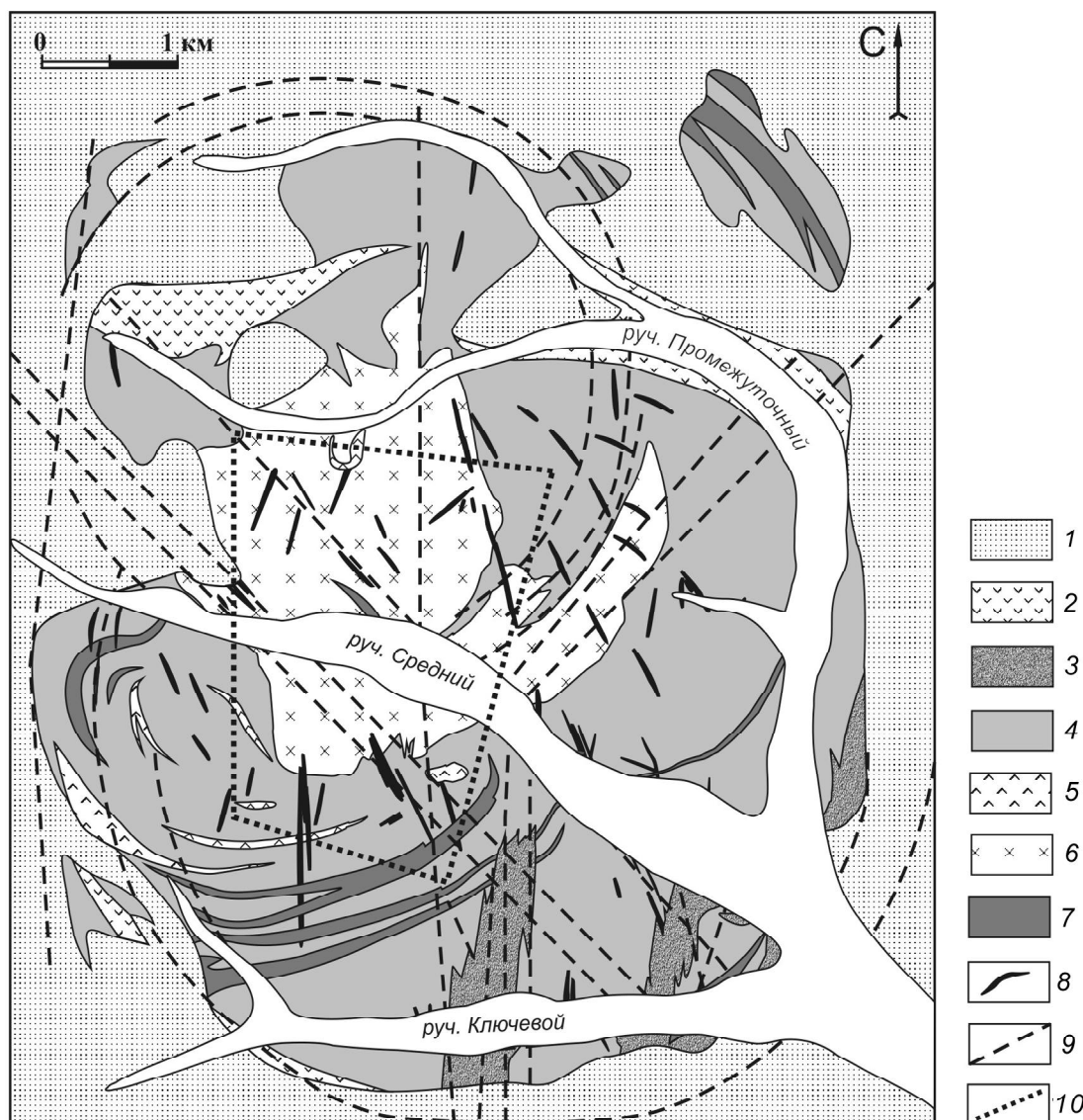
Участок Болотистый приурочен к “эрозионному окну” в миоценовых базальтах (рис. 2), где обнажаются меловые терригенные отложения, прорванные эоценовой интрузией сложного состава (габбро, габбродиабазы, диабазы, габбродиориты, диориты, кварцевые диориты) и частично перекрытые андези-

тами кузнецовской свиты. Дайковый комплекс состоит из тел эоценовых габбродиоритовых порфиритов, гранодиоритов, а также дацитов.

На участке проявлены разрывные нарушения северо-западного и субмеридионального направления. Они выражены зонами интенсивной трещиноватости, гидротермально измененными породами и контролируют размещение даек. Для участка характерна общая раздробленность пород и повышенное развитие кор выветривания (до 25 м) по интрузивным породам. На участке выявлены глубокие эрозионные врезы (25–35 м) субмеридионального простирания, наиболее крупный из них (1000×200 м) установлен на левобережье руч. Ключевого. Выполняющие его рыхлые щебнисто-суглинистые отложения характеризуются неравномерной золотоносностью [12].

Гидротермальная деятельность на участке проявлена как в осадочных, так и в изверженных породах в виде метасоматического окварцевания, турмалинизации с образованием кварц-турмалиновых и серицит-кварцевых метасоматитов. Развита сульфидизация дайковых пород и в незначительной степени диоритов, которые местами альбитизированы.

Оруденение представлено штокверковой зоной кварцевых и кварц-турмалиновых (иногда с сульфидами) прожилков шириной 120–180 м и протяженностью более 800 м. Кварцевые и турмалин-кварцевые прожилки мощностью от нитевидных до 3 см, редко достигая 20 см, протяженностью 10–15 м, имеют северо-западное, субмеридиональное, реже северо-восточное или субширотное простирание. Золотое оруденение на участке приурочено к интрузии сложного состава, кварц-турмалиновым метасоматитам и терригенно-осадочным породам (Дымович, 1979 г). Наибольшие концентрации золота отмечены в кварц-турмалиновых и кварцевых прожилках, секущих метасоматически измененные породы. Кварцевый агрегат сложен изометричными, шестоватыми, удлиненными и реже ксеноморфными зернами величиной 0.1–0.8 мм. В кварцевых прожилках отмечаются вкрапленники теллуридов и сульфотеллуридов висмута, самородного золота, сульфидов, сульфосолей свинца и сурьмы (соединение  $PbBiS_2$ , буланжерит). Турмалин отмечается в виде гнезд и призальбандовых оторочек в кварцевых прожилках, околорудных метасоматитах и вмещающих породах. По данным инфракрасной спектроскопии, исследуемый минерал относится к дравиту и представлен призматическими, шестигранными и изометричными кристаллами величиной 0.8–1.0 мм.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта участка Болотистого (по [12]).

1 – базальты кизинской свиты, миоцен; 2 – андезиты и андезибазальты кузнецовской свиты, эоцен; 3 – щебнисто-глинистые отложения эрозионно-тектонического вреза, палеоген; 4 – песчаники, реже алевролиты, аргиллиты, мел; 5–8 – эоценовый магматический комплекс: 5 – дациты, 6 – интрузия сложного состава (габбро, габбродиабазы, диабазы, габбродиориты, диориты, кварцевые диориты), 7 – силлы габбродиоритовых порфиритов, гранодиоритов, 8 – дайки основного и среднего состава; 9 – разрывные нарушения; 10 – контур рудной зоны.

Содержания золота в руде обычно не превышают первых г/т, но в отдельных штучных пробах достигают нескольких десятков г/т. Промышленные концентрации золота установлены в коренном залегании в кварц-турмалиновых метасоматитах (1.4 г/т), в алевролитах, окварцованных кварцевых диоритах (от 1 г/т и выше).

Золотое оруденение участка Болотистого послужило источником питания выявленных здесь средних и мелких по масштабу аллювиальных зо-

лотоносных россыпей в долинах ручьев Средний, Ключевой и Болотистый [11].

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу статьи положены данные, собранные автором в процессе минералогического картирования, а также материалы, любезно предоставленные В.В. Ивановым, С.В. Лесновым и А.И. Замбрицким. Отбор минералов проводился из протолок, а их первичная диагностика выполнена с помощью

бинокля Nikon EZ4D (Nikon, Япония). Фазовый состав выделенных в ряде случаев висмут-теллуридных минералов изучался на дифрактометре ДРОН-3 (ЛОМО, Россия) и микродифрактометре D8-Discover (Bruker AXS, Германия). Химический состав минералов определялся на микроанализаторе JXA-8100 (Jeol, Япония). Для изучения турмалина была применена инфракрасная спектроскопия с использованием Фурье-спектрометра Nicolet 6700 (Thermo, США). Вся исследовательская работа проведена в Аналитическом Центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

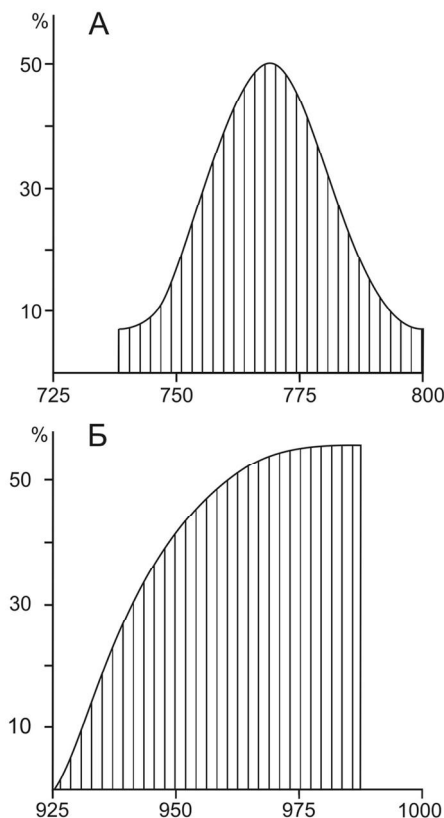
#### ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ И ВИСМУТ-ТЕЛЛУРОВЫХ МИНЕРАЛОВ

По минеральному составу, пробности золота, времени формирования и взаимоотношениям выделено две минеральные ассоциации, содержащие теллуриды и сульфотеллуриды висмута: 1 – ранняя, кварц-арсенидно-сульфидная; 2 – поздняя, кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовая, с которыми, по мнению автора, могут быть связаны два различных типа оруденения.

*Кварц-арсенидно-сульфидная с теллуридами и сульфотеллуридами висмута ассоциация* установлена в кварцевых прожилках, которые секут эоценовые габбродиориты, диабазы и кварцевые диориты. В данной ассоциации выделяется 3 парагенезиса минералов: арсенопирит-герсдорфит-ульманнит-пирротин-пиритовый; халькопирит-сфалерит-галенитовый и золото-теллуридно-висмутитовый. Основным нерудным минералом в данной ассоциации является кварц, очень редко встречается кальцит. Рудные минералы представлены в основном тетрадимитом, теллуровисмутитом, цумоитом и самородным золотом с пробностью 925–985 ‰ (рис. 3 А)

*Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовая ассоциация* характерна для кварц-турмалиновых прожилков, которые секут метасоматически измененные дайки среднего и кислого состава, эоценовые дациты и вмещающие их меловые осадочные породы (южная часть участка, правобережье руч. Среднего). Основными нерудными минералами в данной ассоциации являются кварц и турмалин. Рудные минералы представлены в основном тетрадимитом, теллуровисмутитом, цумоитом и самородным золотом с пробностью 920–985 ‰ (рис. 3Б).

На основе взаимоотношений с различными минералами, форм выделения и пробности было выявлено две генерации самородного золота.

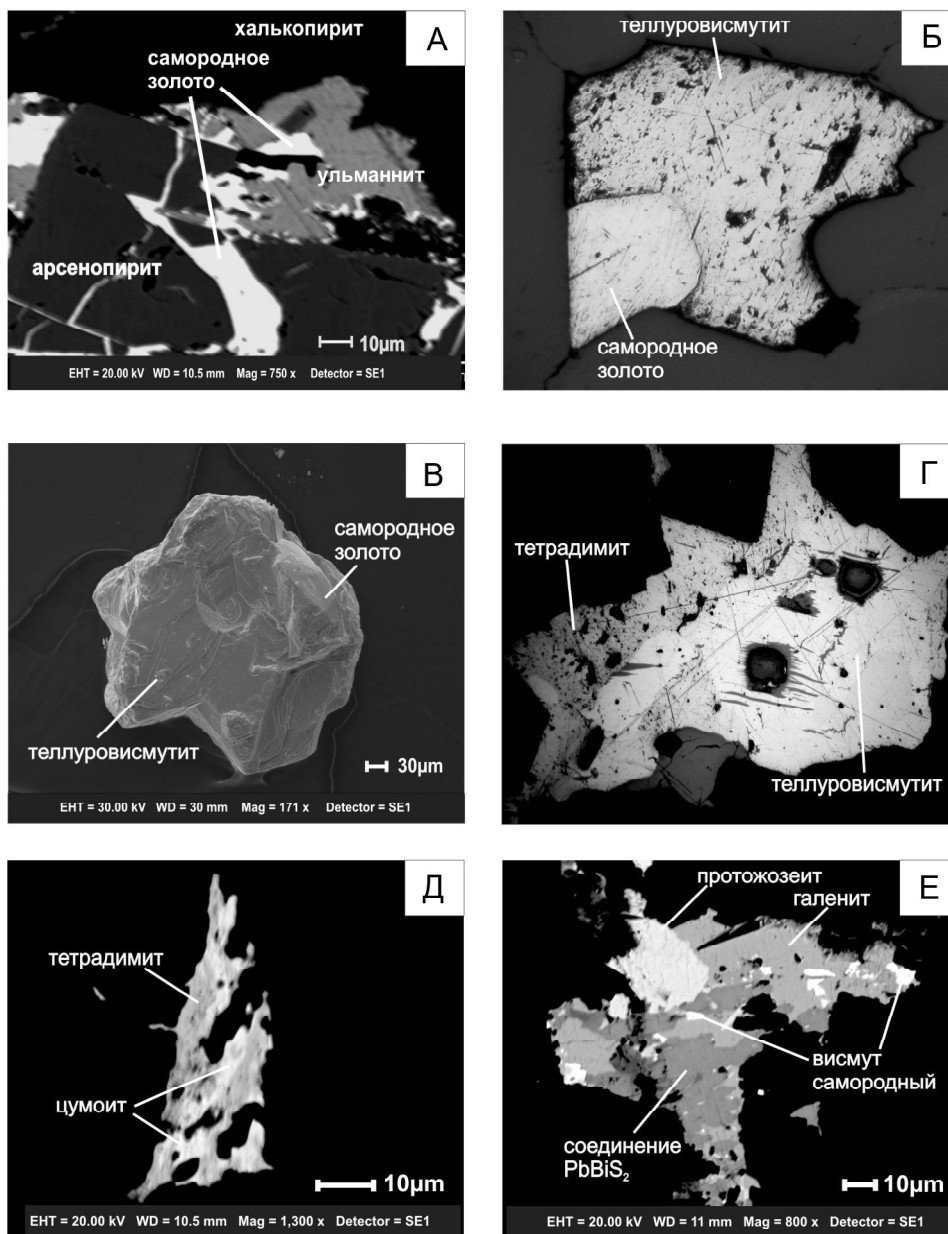


**Рис. 3.** Гистограммы пробности самородного золота в кварц-арсенидно-сульфидной (А) и в кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовой (Б) ассоциациях.

Ранняя генерация золота установлена в сульфидах (арсенопирите, ульманните (рис. 4А), халькопирите и пирите) в кварцевых прожилках в габбродиоритах, диабазах и кварцевых диоритах в виде комковидных, удлиненных и интерстициальных выделений зерен светло-желтого цвета размером от 0.01 до 0.2 мм. Для данной генерации характерен парагенезис с галенитом, тетрадимитом, редкими зернами самородного висмута, цумоита и протожозеита. Пробность его составляет 740–800 ‰.

Поздняя генерация золота установлена в кварц-турмалиновых прожилках в виде вкрапленных выделений с величиной зерен от 0.5 до 0.16 мм. Цвет золотин – интенсивно желтый. Форма зерен – комковидная, интерстиционная, удлиненная и гемиидиоморфная. Оно установлено в сростании с теллуровисмутитом (рис. 4Б, В), тетрадимитом и цумоитом. Пробность самородного золота варьирует от 925 до 985 ‰.

Теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли висмута, наблюдаемые в тесном сростании с золотом



**Рис. 4.** Взаимоотношения золота, теллуридов и сульфотеллуридов висмута в рудах участка Болотистого.

А – Золото выполняет микропрожилки в арсенопирите и ульманните. Электронный микроскоп, отраженные электроны. Анш. И-28452/1. Б – Сrostок теллуровисмутита с самородным золотом в кварц-турмалиновом прожилке. Увел. 100. Анш. И-28505/12. В – Сrostок золота с теллуровисмутитом из кварц-турмалинового прожилка. Электронный микроскоп, отраженные электроны. Анш. И-28505/12. Г – Сrostок тетрадимита с теллуровисмутитом в кварц-турмалиновом прожилке. Увел. 100. Анш. И-28504/2. Д – Срастание тетрадимита с цумоитом в халькопирите. Электронный микроскоп, отраженные электроны. Анш. И-28505/4. Е – Срастания галенита с соединением  $PbBi_2S_2$ , протожозеитом и самородным висмутом в халькопирите. Электронный микроскоп, отраженные электроны. Анш. И-28456/2а.

в кварцевых прожилках, на основании прецизионных аналитических исследований относятся к широко распространенным теллуровисмутиту, тетрадимиту и редким для данного объекта цумоиту, протожозеиту, самородному висмуту и соединению  $PbBi_2S_2$ . В

обеих ассоциациях последовательность кристаллизации висмут-теллуридов следующая: соединение  $PbBi_2S_2$  → теллуровисмутит → тетрадимит → цумоит → протожозеит → самородный висмут → самородное золото.

Таблица 1. Химический состав висмут-теллуридов участка Болотистого.

№ п.п.	№ образца	Bi	Sb	Pb	Ag	Cu	Te	Se	S	Сумма	Формулы
1	И-28504/2	<u>53.16</u> 40.59	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	<u>47.51</u> 59.41	н.о.	н.о.	<u>100.67</u> 100.00	Bi <sub>2.03</sub> Te <sub>2.97</sub>
2	И-28505/12	<u>60.87</u> 41.60	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	<u>34.60</u> 38.73	<u>0.91</u> 1.65	<u>4.05</u> 18.02	<u>100.40</u> 100.00	Bi <sub>2.08</sub> Te <sub>1.94</sub> (S <sub>0.90</sub> Se <sub>0.08</sub> ) <sub>0.98</sub>
3	И-28505/2	<u>62.13</u> 41.54	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	<u>34.01</u> 37.24	<u>1.50</u> 2.65	<u>4.26</u> 18.57	<u>101.91</u> 100.00	Bi <sub>2.08</sub> Te <sub>1.86</sub> (S <sub>0.93</sub> Se <sub>0.13</sub> ) <sub>1.06</sub>
4	И-28505/4	<u>62.69</u> 51.20	н.о.	<u>1.62</u> 1.33	н.о.	н.о.	<u>33.72</u> 45.11	<u>1.09</u> 2.36	н.о.	<u>99.11</u> 100.00	(Bi <sub>1.02</sub> Pb <sub>0.03</sub> ) <sub>1.05</sub> (Te <sub>0.90</sub> Se <sub>0.05</sub> ) <sub>0.95</sub>
5	И-28504/1	<u>61.90</u> 50.10	н.о.	<u>0.68</u> 0.55	н.о.	н.о.	<u>33.87</u> 44.89	<u>2.08</u> 4.46	н.о.	<u>98.53</u> 100.00	(Bi <sub>1.00</sub> Pb <sub>0.01</sub> ) <sub>1.01</sub> (Te <sub>0.90</sub> Se <sub>0.09</sub> ) <sub>0.99</sub>
6	И-28504/2	<u>60.90</u> 49.48	н.о.	<u>1.78</u> 1.45	н.о.	н.о.	<u>34.97</u> 46.53	<u>1.18</u> 2.54	н.о.	<u>98.83</u> 100.00	(Bi <sub>0.99</sub> Pb <sub>0.03</sub> ) <sub>1.02</sub> (Te <sub>0.99</sub> Se <sub>0.05</sub> ) <sub>0.98</sub>
7	И-28455/1-4	<u>78.54</u> 57.99	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	<u>11.21</u> 13.56	<u>1.56</u> 3.05	<u>5.28</u> 25.40	<u>96.59</u> 100.00	Bi <sub>4.1</sub> Te <sub>0.9</sub> (Se <sub>0.2</sub> S <sub>1.8</sub> ) <sub>2.0</sub>
8	И-28456/1a	<u>74.38</u> 55.45	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	<u>10.59</u> 12.92	<u>2.13</u> 4.20	<u>5.65</u> 27.43	<u>92.75</u> 100.00	Bi <sub>3.9</sub> Te <sub>0.9</sub> (Se <sub>0.3</sub> S <sub>1.9</sub> ) <sub>2.2</sub>
9	И-28451/1	<u>48.84</u> 27.24	н.о.	<u>33.57</u> 18.88	<u>1.66</u> 1.79	н.о.	н.о.	н.о.	<u>14.33</u> 52.09	<u>98.40</u> 100.00	(Ag <sub>0.07</sub> Pb <sub>0.76</sub> ) <sub>0.83</sub> Bi <sub>1.09</sub> S <sub>2.08</sub>
10	И-28456/16	<u>44.28</u> 22.71	<u>2.38</u> 2.10	<u>32.40</u> 16.76	<u>5.95</u> 5.91	<u>0.59</u> 1.00	н.о.	<u>1.14</u> 1.55	<u>14.95</u> 49.97	<u>101.69</u> 100.00	(Ag <sub>0.24</sub> Cu <sub>0.04</sub> Pb <sub>0.67</sub> ) <sub>0.95</sub> (Bi <sub>0.91</sub> Sb <sub>0.08</sub> ) <sub>0.99</sub> (S <sub>2.0</sub> Se <sub>0.06</sub> ) <sub>2.06</sub>
11	И-28456/2a	<u>44.71</u> 23.65	<u>2.40</u> 2.17	<u>29.98</u> 16.00	<u>6.66</u> 6.82	н.о.	н.о.	<u>0.79</u> 1.11	<u>14.58</u> 50.25	<u>99.12</u> 100.00	(Ag <sub>0.27</sub> Pb <sub>0.64</sub> ) <sub>0.91</sub> (Bi <sub>0.91</sub> Sb <sub>0.08</sub> ) <sub>1.04</sub> (S <sub>2.01</sub> Se <sub>0.04</sub> ) <sub>2.05</sub>

Примечание: в числителе – мас. %, в знаменателе – ат. %. 1 – теллуридовисмутит, 2–3 – тетрадимит, 4–6 – цумоит, 7–8 – протожозеит, 9–11 – соединение PbBi<sub>2</sub>. н.о. – не обнаружено.

Теллуридовисмутит в кварц-турмалиновых прожилках представлен пластинчатыми выделениями от 1 до 5 мм. Минерал серебристо-серого цвета с сильным металлическим блеском на плоскостях спайности, а в отраженном – белого цвета. Характеризуется высокой отражательной способностью, отчетливой анизотропией и отсутствием двуотражения. Наблюдается хорошо проявленная продольная спайность (0001), характерная для этого минерала. Теллуридовисмутит обычно встречается в сростании с золотом и тетрадимитом (рис. 4Б, В, Г). Химический состав теллуридовисмутита приведен в таблице 1. Элементы-примеси в теллуридовисмутите не установлены.

Тетрадимит установлен в кварцевых прожилках в виде вкрапленных выделений и скоплений. Форма его зерен листоватая, таблитчатая или удлиненная, 2–4 мм. Макроскопически минерал обладает серовато-стальным цветом с сильным металлическим блеском и хорошей спайностью (0001). В отраженном свете – белый со слабым нежно-кремовым оттенком. Характеризуется высокой отражательной способностью, слабой анизотропией и двуотражением. Тетрадимит установлен в сростании с теллури-

довисмутитом (рис. 4Г) (иногда образует каемки вокруг него), с цумоитом (рис. 4Д) и самородным золотом. По химическому составу тетрадимит из кварц-арсенидно-сульфидной и кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуридовисмутитовой ассоциаций не различается, а результаты анализов удовлетворительно пересчитываются на формулу Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>S. В нем определена примесь селена от 0.91 до 1.50 мас. % (табл. 1). В таблице 1 приведены результаты анализов (2–3) тетрадимита из кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуридовисмутитовой ассоциации.

Цумоит был установлен в кварцевых прожилках в виде вкрапленных выделений. Размеры его выделений от 0.1 до 0.8 мм. Макроскопически минерал обладает серовато-стальным цветом с металлическим блеском, хорошей спайностью (0001). В отраженном свете – кремовато-розовый с высокой отражательной способностью. В связи с трудностью диагностики цумоита были проведены его исследования с помощью рентгенографического метода. Полученные данные пиков рентгенограммы исследуемого минерала и эталона цумоита совпадают (табл. 2). Он отмечается в сростании с тетрадимитом (рис. 4Д), самородным золотом и теллуридовисмутитом [8]. В нем

Таблица 2. Рентгенограмма цумонта.

Образец		Эталон ASTM 22-117	
d/n	I	d/n	I
3.200	100	3.210	100
2.361	40	2.367	33.5
2.216	25	2.219	15.4
2.178	40	2.183	32.4
2.020	75	2.020	19.2
1.805	25	1.808	17.3
1.606	50	1.605	18.6
1.486	40	1.486	37.5

определены примеси селена от 1.09 до 2.08 мас. % и свинца от 0.68 до 1.78 мас. % (табл. 1).

*Протожозеит* в виде единичных зерен размером от 0.03 до 0.4 мм установлен в кварцевых прожилках. Макроскопически он обладает серовато-стальным цветом с металлическим блеском. В отраженном свете минерал имеет белый цвет, высокое отражение, но ниже чем у самородного висмута, и слабую анизотропию. Он установлен в сростании с галенитом, соединением  $PbBiS_2$  (рис. 4E) и самородным висмутом. Примесь селена в протожозеите составляет 1.56–2.13 мас. % (табл. 1).

*Самородный висмут* в кварцевых прожилках находится в виде вкрапленных выделений округлой и удлиненной формы (спайность по (0001)) размером от 0.5 до 1 мм. Минерал серебристо-серого цвета, с сильным металлическим блеском, в отраженном свете имеет белый цвет с кремовым оттенком, характеризуется высокой отражательной способностью и отчетливой анизотропией, образует сростания с галенитом, соединением  $PbBiS_2$  (рис. 4E), протожозеитом и самородным золотом.

*Соединение  $PbBiS_2$*  установлено в единичных зернах в кварцевых прожилках в халькопирите. Величина зерен – 0.02–0.05 мм. В отраженном свете – минерал серого цвета. Установлено замещение галенита соединением  $PbBiS_2$ . Образует сростание с самородным висмутом и протожозеитом (рис. 4E). По химическому составу минерал близок к козалиту, но отличается от него недостатком S и примесью Ag от 1.66 до 6.05 мас. %. Полученные результаты анализов удовлетворительно пересчитываются на формулу  $PbBiS_2$ . В нем определены примеси селена, сурьмы и меди (табл. 1).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнивая выделенные ассоциации (кварц-арсенидно-сульфидная и кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовая) было установлено,

что для кварц-арсенидно-сульфидной ассоциации характерны теллуриды, сульфотеллуриды висмута, сульфосоли свинца и сурьмы, относительно низкопробное золото (740–800 ‰) с размерами зерен от пылевидного до мелкого (0.01 до 0.2 мм). Данная ассоциация установлена в кварцевых прожилках, секущих тела габбродиоритов, диабазов и кварцевых диоритов.

В кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовой ассоциации в основном преобладают теллуриды (теллуровисмутит, цумоит) и сульфотеллуриды (тетрадимит) висмута, в то время как сульфосоли и сульфиды отсутствуют. Для данной ассоциации характерна в основном весьма высокая (925–985 ‰) пробность самородного золота со средними и мелкими размерами зерен (от 0.5 мм до 0.25 мм). Золото-тетрадимит-теллуровисмутитовая ассоциация установлена в кварц-турмалиновых прожилках из делювиальных обломков. На основе изученных материалов выявлено, что кварц-турмалиновые прожилки секут эоценовые дациты, дайки среднего и кислого состава и вмещающие их меловые осадочные породы. Характерно, что наибольшие концентрации золота отмечены в прожилках, секущих метасоматиты.

В россыпях участка Болотистого также были установлены кварц-турмалиновые обломки, сростки золота с теллуридами и сульфотеллуридами висмута. Для золота характерны в основном средние и крупные выделения зерен (от 2.0 до 0.16 мм) комковидной, удлиненной и уплощенной формы с узким диапазоном колебания пробности от 925 до 995 ‰. На основе минерального состава руд и россыпей автор предполагает, что основной россыпеобразующей ассоциацией послужила именно золото-тетрадимит-теллуровисмутитовая минерализация.

Особенности состава висмут-теллуридов минералов участка Болотистого отражены на диаграммах Bi-Te-Se и Bi-Te-Pb (рис. 5, 6). Точки состава минералов участка Болотистого образуют единый тренд (цумоит, тетрадимит) и попадают в поле составов висмут-теллуридов минералов золоторудных месторождений различных генетических (эпитермальные и мезотермальные) типов: Джугаджак (Магаданская обл.), Восточно-Сергеевское (Среднее Приднепровье), Ново Книн (Чехия) и Портовело-Зарума (Эквадор). На диаграмме Bi-Te-Se (рис. 5) и Bi-Te-Pb (рис. 6) в тетрадимите и цумоите возрастают селеновый и свинцовый компоненты (рис. 5, 6) более чем в 3 раза. Как известно из литературных данных, примесь Se характерна для эпитермального типа месторождений [7, 22]. Данный факт сближает изученный





Таблица 3. Основные характеристики золоторудных объектов различного генетического типа.

ПРИЗНАКИ	БОЛОТИСТОЕ	МЕЗОТЕРМАЛЬНОЕ КРИНИЧНОЕ	ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ АСАЧИНСКОЕ
Местоположение	Западный фланг Центрально-Сихотэ-Алинского разлома, (верховье бассейна р. Хор)	Южный Сихотэ-Алинь	Южный отрезок Центрально-Камчатского вулканического пояса
Тип рудопроявления	Золото-кварцевый	Золото-кварцевый	Малосульфидный золото-сульфосольный
Рудовмещающие породы	Габброиды, диоритоиды и вулканогенно-кремнисто-терригенные породы	Гранитоиды, диоритовые порфириды и терригенно-карбонатные породы	Покровные и субвулканические андезиты, дациты, интрузивные диоритовые порфириды, автомагматические брекчии андезитов
Возраст оруденения	Оруденение наложено на эоценовые габброиды, диоритоиды и мел-эоценовые вулканогенно-кремнисто-терригенные породы	Оруденение наложено на альб-сеноманские гранитоиды	Оруденение наложено на субвулканические миоценовые андезидациты
Морфология рудных тел	Штокверкоподобные зоны	Жилы, штокверкоподобные зоны	Жилы, штокверкоподобные зоны
Текстуры руд	Прожилковая, полосчатая, вкрапленная, брекчиевая	Прожилковая, вкрапленная, друзовая	Колломорфная, крустификационно-полосчатая, метаколлоидная
<b>Минералогия руд</b> <i>Главные жильные минералы</i> <i>Второстепенные жильные минералы</i>	Кварц, турмалин  Карбонат	Кварц, карбонат  Турмалин	Кварц, адуляр, кальцит  Монтмориллонит, каолинит, хлорит
<b>Рудные минералы</b>	Золото, тетрадимит, теллуrowисмутит, висмут самородный, протожозеит, цумоит, соединение PbBiS <sub>2</sub> , буланжерит, ульманнит, пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, галенит и сфалерит	Золото, самородные висмут и серебро, теллуrowисмутит, тетрадимит, жозеит, пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит и молибденит (редко)	Золото, электрум, висмутин, тетрадимит, полибазит, науманит, тетраэдрит, фрейбергит, теннантит, агвиларит, аргентит, кераргирит, гессит, пираргирит, пирит, марказит, пирротин, сфалерит, халькопирит
<b>Минеральный тип</b>	Au-Bi-Te	Au-Bi-Te	Au-Ag-Se
<b>Морфология самородного золота</b>	Кристаллические формы (октаэдрические, удлиненные и уплощенные) Интерстициальные выделения	Кристаллы разногабитусные (вытянутые индивиды) Интерстициальные выделения	Комковатое, коллоидное или губчатое, реже кристаллической или скелетной формы
<b>Проба золота (‰)</b>	740–800 925–985	550–990	225–881

Примечание. Данные по Асачинскому месторождению взяты из [9], по Криничному – из [5].

ридно-кварцевому (теллуриды, сульфотеллуриды висмута и самородное золото) оруденению.

Автор предполагает, что возможным магматическим источником первого типа оруденения послужила интрузия сложного состава (габбро, габбродиабазы, диабазы, габбродиориты, диориты, кварцевые диориты). Источником формирования второго типа оруденения, вероятно, были полностью денудированные апофизы глубинного гранитоидного массива.

Автор выражает благодарность В.В. Иванову, С.В. Леснову и А.И. Замбжицкому за предоставление проб и фактического материала. Кроме того, неоценима помощь профессора С.А. Щеки, чьи критические замечания и советы внесли большой вклад в подготовку к публикации данного материала. Также автор благодарен А.А. Вржосеку, В.Т. Казаченко, В.К. Попову и И.В. Фатьянову за обсуждения и консультации.

Автор искренне признателен академику А.И. Ханчуку, чл.-корр. РАН Н.А. Горячеву, профессору Г.Н. Гамянину и неизвестному рецензенту за ценные замечания и советы, которые учтены в окончательной редакции статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин Г.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау // Труды Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. Вып. 843. 237 с.
2. Гамянин Г.Н., Гончаров В.И., Горячев Н.А. Золото-редкометалльные месторождения Востока России // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 3. С. 94–103.
3. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Золото-редкометалльные месторождения: перспективы промышленного освоения // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. С. 57–59.
4. Грабежев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В. и др. Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42, № 1. С. 38–52.
5. Иванов В.В., Замбжицкий А.И., Молчанова Г.Б. и др. Особенности минералогии золото-висмут-теллуридов оруденения Сихотэ-Алинь // Современные проблемы металлогении: Материалы науч. конф., посвященной 90-летию академика Х.М. Абдуллаева. Ташкент: ФАН АН РУЗ, 2002. С. 176–178.
6. Иванов В.Н., Монахов В.С., Рязанцева Л.А. и др. Золото-молибденитовая с теллуридами ассоциация Восточно-Сергеевского рудопроявления (Среднее Приднепровье) // Минерал. журн. 2004. Т. 26, № 4. С. 78–83.
7. Кемкина Р.А., Кемкин И.В. Вещественный состав руд и минералого-геохимическая методика оценки потенциального загрязнения окружающей среды токсичными элементами (на примере Прасоловского Au-Ag месторождения). Владивосток: Дальнаука, 2007. 212 с.
8. Лотина А.А. Висмут-теллуридная минерализация золоторудного проявления Болотистый (Западный Сихотэ-Алинь, ДВ России) // Электрон. журн. "Исследовано в России". 2009. Т. 12. С. 968–977, <http://zhurnal.ape.relam.ru/articles/2009/074.pdf>.
9. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский–Санкт-Петербург: Изд-во СПб карт. фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 116 с.
10. Спиридонов Э.М. Минералогия метаморфизованного плутоногенного золото-кварцевого месторождения Кочкарское, Южный Урал. I. Золото-теллуридные руды // Зап. ВМО. 1995. Ч. 124. Вып. 6. С. 24–39.
11. Степаненко В.М., Замбжицкий А.И., Буряк В.А. Новый (Болотистый) золотоносный узел в Западно-Сихотэ-Алинском поясе – показатель развития молодого (эоценового) плутоногенного золотого оруденения россыпеобразующей формации в этом поясе // Генезис месторождений золота и методы добычи благородных металлов: Материалы междунар. науч. конф. Благовещенск: АмурКНИИ, АмурНЦ, 2001. С. 145–147.
12. Сушкин Л.Б. Геология и золотоносность Болотистого рудного поля (Западный Сихотэ-Алинь) // Эндогенное оруденение в подвижных поясах: Материалы междунар. науч. конф. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. С. 176–180.
13. Тимофеевский Г.И. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, 1972. 260 с.
14. Фатьянов И.И., Хомич В.Г. Строение и особенности образования жильно-метасоматических зон золото-серебряного месторождения Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Геологические условия локализации эндогенного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 86–100.
15. Фомина М.И. Золото-редкометалльное оруденение в экзоконтактах палеозойских интрузивов (Омолонский срединный массив) // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. Сб. науч. статей. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 77–92.
16. Cameron S. Rombach, Rainer J. Newberry. Shotgun deposit: granite porphyry-hosted gold-arsenic mineralization in southwestern Alaska, USA // Miner. Deposit. 2001. P. 607–621.
17. Clark S.H.B., Gray K.J., Back J.M. Geology of the barite hill gold-silver deposit in the southern Carolina slate belt // Econ. Geol. 1999. V. 94. P. 1329–1346.
18. Fuertes-Fuente M., Martin-Izard A., Nieto J.G., et. al. Preliminary mineralogical and petrological study of the Ortosa Au-Bi-Te ore deposit: a reduced gold skarn in the northern part of the Rio Narcea Gold Belt, Asturias, Spain // J. of Geochemical Exploration. 2000. V. 71. P. 177–190.
19. Maloof T. L., Baker T., Thompson J. F. H. The Dublin Gulch intrusion-hosted gold deposit, Tombstone plutonic suite, Yukon Territory, Canada // Miner. Deposit. 2001. V. 36. P. 583–593.
20. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales, Australia // Miner. Deposit. 2001. V. 36. P. 542–562.
21. Sejkora J., Litochleb J., Plasil J. et. al. Tsumoite and associated tellurides from the Au deposit Libcice near Novy

- Knin, Czech Republic: mineralogy and genetic significance // J. of Geosciences. 2009. V. 59. P. 73–82.
22. Vikentyev I., Banda R., Tsepina A. et. al. Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma gold-sulphide vein deposit, Ecuador // Geochemistry, Mineralogy and Petrology. 2005. V. 43. P. 148–154.
23. Voicu G., Bardoux M., Jebrak M. Tellurides from the Paleoproterozoic Omai gold deposit, Guiana Shield // Can. Miner. 1999. V. 37. P. 559–573.

*Рекомендована к печати Н.А. Горячевым*

*Anna Al. Lotina*

### **Gold-bismuth-telluric mineralization at the Bolotistoye placer field (North-Western Sikhote-Alin)**

The results of investigation of bismuth-telluric mineralization at the Bolotistoye gold-bearing ore occurrence (the Khor River basin, Khabarovsk Territory) are offered. Extracted and studied minerals are tellurobismuthite ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), tetradyomite ( $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ), tsumoite ( $\text{BiTe}$ ), protojoseite ( $\text{Bi}_2\text{Te}_4\text{S}$ ), and native bismuth. Major elements of admixture of these minerals are lead and selenium.

Two mineral associations are distinguished: 1 – early quartz-arsenide-sulphide related to bismuth-telluric minerals associated with Eocene gabbro-diorite, diabase and quartz diorites; 2 – late quartz-tourmaline-gold-tetradyomite-tellurobismuthite association superposed on the Eocene dacite bodies, dikes of medium and acidic composition and Cretaceous sedimentary beds, which became the major source for commercial gold placers. It is assumed that there are two types of mineralization of hypabyssal level.

**Key words:** gold, bismuth, tellur, mineralization, Sikhote-Alin.