

**ЗОЛОТО-ВИСМУТ-ТЕЛЛУРИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
СЕРЕБРЯНОГО (ЛУГОКАНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

**Ю.О. Редин<sup>1</sup>, В.М. Козлова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр-т Академика Коптюга 3,  
г. Новосибирск, 630090; e-mail: redin.u@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «Востокгеология», г. Чита

Поступила в редакцию 7 декабря 2012 г.

Выявлена и изучена золото-висмут-теллуридная минерализация месторождения Серебряного (Восточное Забайкалье). Приводятся рентгено-спектральные анализы самородного золота, сульфидных минералов и данные по их изотопному составу серы. Выделены две минеральные ассоциации с самородным золотом: 1 – ранняя золото-пирит-арсенопиритовая; 2 – поздняя золото-полиметаллическая. В составе последней установлена золото-висмут-теллуридная минерализация, представленная сульфидами, сульфотеллуридами и теллуридами висмута, самородным висмутом и золотом, а также интерметаллидом Au и Bi. Делается предположение о генетической связи золото-висмут-теллуридной минерализации с монзонит-порфирами шахтаминского комплекса, по которым приводятся данные <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar датирования.

**Ключевые слова:** золото-висмут-теллуридная минерализация, Восточное Забайкалье.

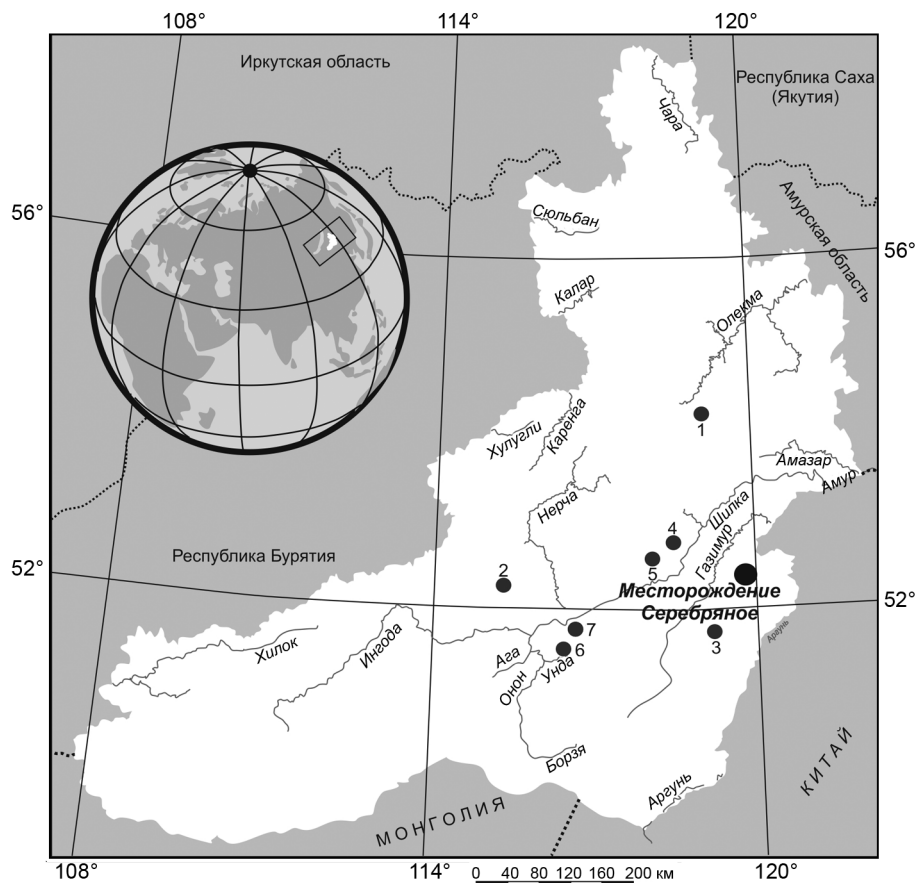
**ВВЕДЕНИЕ**

Золото-висмут-теллуридная минерализация проявлена на многих золоторудных месторождениях различных генетических типов. Такая минерализация установлена в рудах месторождений Австралии – Тимбара, Калгурли, Канады – Омай, Даблин Галч, США – Форт Нокс, Крипл-Крик, России – Качкарское (Урал), Дарасунское, Средне-Голготайское, Ушумунское (Забайкалье), Эргелях, Лево-Дыбинское, Тугучак, Арчан (Северо-Восток РФ) [10, 11]. Месторождение Серебряное находится в Восточном Забайкалье (рис. 1), в пределах Лугоканского рудного узла, на водоразделе рр. Будюмкан и Солонечная, в 3.5 км северо-западнее Солонечинского сурьмяного месторождения и в 7 км южнее Лугоканского золото-медного. Оно было открыто в 2007 г. при проведении поисковых работ ООО «Востокгеология». В рудах месторождения установлены следующие минеральные ассоциации: ранняя золото-пирит-арсенопиритовая, пирротин-халькопиритовая, золото-полиметаллическая, в составе которой установлена золото-висмут-теллуридная, а также более поздняя сульфосольная. Целью данной статьи является детальная минералогическая характеристика впервые выделенной золото-висмут-теллуридной минерализации месторождения Серебряное и сравнение ее с “эталонными”

объектами Забайкалья (Дарасунское, Средне-Голготайское, Ушумунское и др.). Одной из главных задач настоящего исследования является выяснение места Au-Bi-Te минерализации в общем ряду рудообразования и ее взаимоотношения с другими минеральными ассоциациями, сформировавшими месторождение.

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА И  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЕ**

В региональном плане Лугоканский рудный узел расположен в междуречье рр. Аргунь – Шилка, на северо-востоке Аргунского террейна, являющегося составной частью Монголо-Охотской складчатой системы. Главными структурами района являются Газимуровское антиклинорное поднятие, Газимуровская мобильная зона и Урово-Джалирский разлом (рис. 2). Газимуровское поднятие сложено, главным образом, карбонатно-терригенными отложениями нижнего (быстринская свита  $E_1bs$ ) и среднего (яковлевская свита  $D_{2-3}jak$ ) палеозоя, сильно осложнено многочисленными разломами и гранитоидным магматизмом. Газимуровская мобильная зона северо-восточного простирания представлена сложной системой сопряженных глубинных разломов (Аэмканский, Северо-Солонечинский, Сивачинский, Солонечинский). По кинематике большинство разломов являются взбросо-надви-



**Рис. 1.** Золоторудные и золотосодержащие месторождения, рудные поля Восточного Забайкалья.

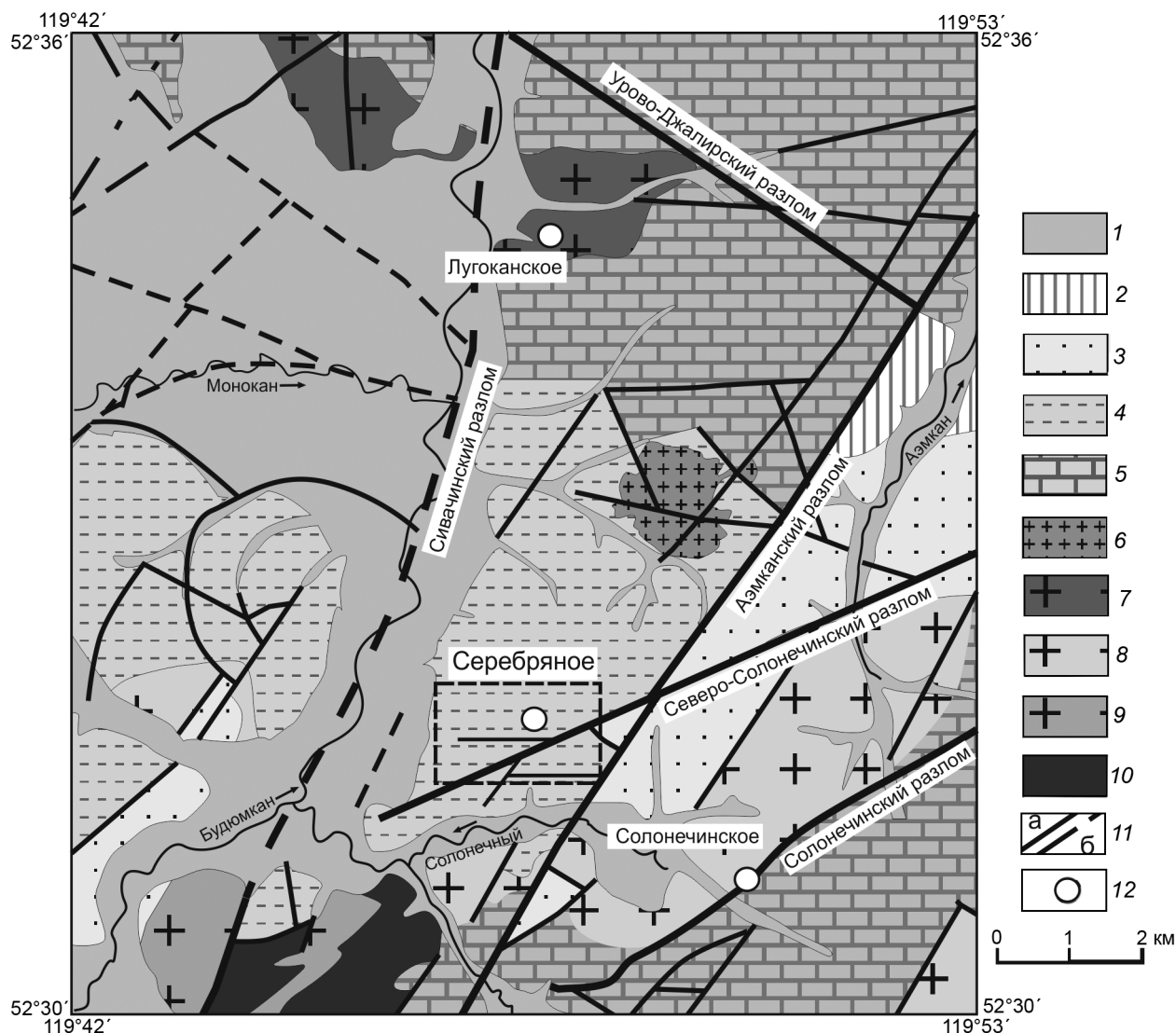
Месторождения: 1 – Итакинское, 2 – Дарасунское, 3 – Новоширокинское, 5 – Ушумунское, 6 – Средне-Голго-тайское; Рудные поля: 4 – Карийское, 7 – Балейское.

гами и сбросами. Время заложения большинства, в том числе и главных, разломов, по данным предшествующих, – позднеюрское–раннемеловое, соответствующее коллизийному и постколлизийному этапам развития Монголо–Охотской складчатой области. Магматические образования делятся на две группы: позднепалеозойскую и позднемезозойскую. Первая группа представлена раннепермскими средне–крупнозернистыми порфировидными гранитами ундинского комплекса. Вторая группа представлена: шахтаминским и кукульбейским интрузивными комплексами.

Месторождение Серебряное приурочено к узлу пересечения глубинного Северо–Солонечинского разлома северо–восточного простирания с разломами более низких порядков. Площадь месторождения сложена, в основном, терригенными породами яковлевской свиты ( $D_{2-3}jak$ ) и представлена сланцами, алевролитами, песчаниками с прослоями известняков и доломитов (рис. 3). Нижняя и верхняя части разреза – преимущественно сланцевые, средняя – песчаная. Прослой известняков и доломитов отмечаются в нижней части разреза. Породы свиты регионально метаморфизованы до зеленосланцевой фации. Местами проявлено ороговикование алевролитов и алевропес-

чаников, скарнирование известняков. Магматические образования представлены, главным образом, дайкообразными телами кислого–среднего состава, относящимися к шахтаминскому комплексу. Они представлены диорит–порфирами, гранодиорит–, плагиогранит– и монцонит–порфирами, имеют как субсогласные, так и секущие контакты с вмещающими породами. Для большинства тел характерно зональное строение: краевые части имеют более основной состав и сложены диоритовыми порфирами, центральная же часть представлена гранодиорит–порфирами и плагиогранит–порфирами [9]. С дайковой серией шахтаминского комплекса в Восточном Забайкалье связано промышленное молибденовое, полиметаллическое, золото–полиметаллическое и золотое оруденение, а также проявления мышьяка, сурьмы и других металлов [20].

Возраст монцонит–порфиров, определенный  $Ar^{39}/Ar^{40}$  методом (плато) по высокотитанистому биотиту ( $Ti - 3.5-4\%$ ) в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), составляет 154.6 млн лет. В отдельных скважинах на глубине более 250 м вскрыт штوك лейкократовых гранитов, предположительно отнесенных к третьей фазе ундинского комплекса.

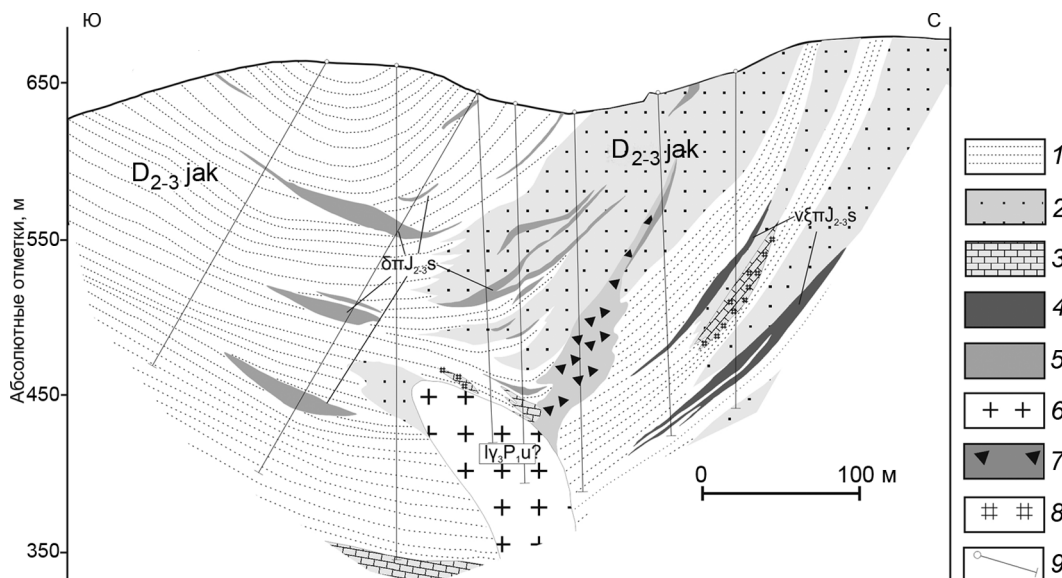


**Рис. 2.** Геологическая карта Лугоканского рудного узла (составлена на основе Государственной карты полезных ископаемых масштаба 1: 200 000).

1 – четвертичные отложения; 2 – тургинская свита ( $K_1tr_1$ ), конгломераты; 3 – глушковская свита ( $J_3gl_1$ ), конгломераты, песчаники, алевролиты, лавы; 4 – яковлевская свита ( $D_2jak$ ), песчаники, алевролиты, известняки; 5 – быстринская свита ( $E_1bs$ ), известняки, доломиты; 6 – кукульбейский комплекс ( $Iy_1J_3k$ ), лейкограниты; 7 – шахтаминский комплекс ( $\gamma\delta P_{2-3}s$ ), гранодиорит-порфиры; 8–10 – ундинский комплекс ( $P_1u$ ): 8 – среднезернистые граниты ( $\gamma_2P_1u$ ), 9 – гранодиориты ( $\gamma\delta_2P_1u$ ), 10 – габбро ( $v_1P_1u$ ); 11 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 12 – месторождение.

Формирование месторождения Серебряного происходило на протяжении средне-позднеюрской и раннемеловой эпох тектоно-магматической активизации, в результате чего были сформированы зоны метасоматической проработки, брекчирования и катаклаза мощностью десятки и сотни метров. В формировании месторождения выделяются три этапа: дорудный, рудный и пострудный. Преобразования алевролитов и алевропесчаников в фации зеленых сланцев регионального метаморфизма относятся к дорудному этапу. Рудный этап начинается

с гидротермально-метасоматической деятельности, сопровождающей внедрение даек шахтаминского комплекса. В результате этого формировались метасоматиты кварц-серицит-турмалинового и кварц-серицитового состава, на контактах с интрузивными породами происходило скарнирование известняков. По минеральному составу (роговая обманка, актинолит, эпидот, гранат, сфен, магнетит) скарны относятся к известковым. Кварц-серицитовые метасоматиты значительно катаклазированы, а в участках проявления интенсивной тектонической дея-



**Рис. 3.** Схематический геологический разрез месторождения Серебряного (составлен на основе данных ООО «Востокгеология»).

1–3 – яковлевская свита ( $D_{2-3}jak$ ): 1 – алевролиты, 2 – песчаники, 3 – известняки; 4–5 – шахтаминский комплекс ( $J_{2-3}s$ ): 4 – монцит-порфиры ( $v\zeta\pi$ ), 5 – диорит-порфиры ( $\delta\pi$ ); 6 – ундинский комплекс ( $P_1u?$ ), лейкократовые граниты ( $l\gamma$ ); 7 – зоны дробления и брекчирования; 8 – скарны; 9 – скважины.

тельности сформировались тектонические брекчии. Иногда их относят к эксплозивно-гидротермальным образованиям [1]. Главными новообразованными минералами в них являются турмалин и кварц, широко развиты серицит и мусковит, реже отмечается калиевый полевой шпат. Турмалин представлен двумя разновидностями: преобладает натрийсодержащий турмалин желтого цвета – дравит, реже встречается черный шерл. Формы кристаллов турмалина столбчатые, тонкопризматические, образующие фибробластовые и нематобластовые агрегаты [9]. Из рудных минералов наиболее распространены пирит, арсенопирит и самородное золото. Завершается гидротермальная деятельность формированием пострудных аргиллизитов.

Основными минеральными (промышленными) типами руд месторождения Серебряное являются арсенопирит-пирит-золотосодержащий и блеклорудно-галенит-сфалеритовый (с сульфосолями свинца и сурьмы) золото-серебросодержащий [9]. Рудные тела выделяются исключительно по данным опробования. Мощность их составляет от первых до десятков метров. Они разделены интервалами с содержанием полезных компонентов ниже промышленного или пустыми. Пирротин-халькопиритовая минерализация приурочена к дайкам. Золото-пирит-арсенопиритовая, золото-полиметаллическая, золото-висмут-теллуридная и суль-

фосольная минеральные ассоциации приурочены к зонам брекчирования, катаклаза, трещиноватости, совпадающим с зонами интенсивной метасоматической проработки. Основной геолого-промышленный тип – золото-березит-кварцевый.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были изучены образцы руд, отобранные по канавам и буровым скважинам месторождения. Минеральный состав, текстурные, структурные особенности, взаимоотношение минеральных индивидов между собой изучались под оптическим микроскопом в отраженном и проходящем свете. Мономинеральные фракции арсенопирита, пирита и других сульфидов отбирались под биноклем из протолок и сульфидных концентратов, полученных при растворении образцов в плавиковой кислоте. Химический состав сульфидов анализировался в полированных шашках микрорентгеноспектральным методом (пирит, арсенопирит, самородное золото, галенит, буланжерит, бурнонит, менегинит) на приборе JEOL JXA-8100, а также с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) на приборе JSM-6510 (робинсонит, герсдорфит, ульманит, леллингит, соединение  $PbBiS$ , висмутин, жозеит В, сульфоцумоит, теллурид висмута, самородные висмут и золото, мальдонит) снабженном энерго-дисперсионным спектрометром (EDS) фирмы OXFORD. Содержание золота в сульфидах

определялось атомно-абсорбционным методом, ICP-MS и LA-ICP-MS. Определение изотопного состава серы в сульфидных минералах выполнено в Аналитическом Центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

#### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЕБРЯНОГО

Руды месторождения Серебряного сложены самостоятельными и разноэтапными минеральными ассоциациями. Структуры руд, главным образом, мелко- и тонкозернистые, текстура – вкрапленная, прожилково-вкрапленная и гнездово-вкрапленная, встречаются также массивные, трещиноватые, пятнистые текстуры. К числу главных рудообразующих минералов принадлежат пирит, арсенопирит, джемсонит, буланжерит, бурнонит, к второстепенным минералам относятся сфалерит, галенит, блеклая руда, марказит; менее распространены халькопирит, пирротин, менегинит, редко встречаются леллингит, робинсонит, соединение  $PbBiS$ , висмутин, жозеит В, сульфосоумоит, теллурид висмута, мальдонит, самородный висмут, самородное золото. Количество рудных минералов варьирует от 5 до 10 %, местами достигая 15–20 %. На основании изучения структурно-текстурных особенностей и вещественного состава руд выделяются следующие парагенетические ассоциации (от ранних к поздним): золото-пирит-арсенопиритовая, пирротин-халькопиритовая, золото-полиметаллическая, золото-висмут-теллуридная и сульфосолиная.

К наиболее ранним и высокотемпературным золоторудным ассоциациям относится золото-пирит-арсенопиритовая.

**Золото-пирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация** – одна из наиболее распространенных в рудах месторождения. Она характерна для кварц-серпичитовых ( $\pm$  турмалин) метасоматитов. Основными нерудными минералами в данной ассоциации являются кварц и серицит, реже турмалин. Рудные минералы представлены пиритом, арсенопиритом (II) и самородным золотом (I). Пирит является сквозным минералом, присутствуя в качестве главного рудного минерала практически во всех изученных полированных аншлифах. Он представлен зернистыми агрегатами, хорошо ограненными кристаллами кубического, реже пентагон-додекаэдрического габитуса, часто образует совместные срастания с арсенопиритом (II). Размеры отдельных выделений колеблются от 0.1 мм до 1 см. В брекчированных породах кристаллы пирита сильно катаклазированы, а межзерновое пространство и трещины залечиваются арсенопиритом (II). Химический состав пиритов близок к теоретическому: Fe – 46.5 %, S – 53.5 %; в качестве элементов примесей присутствуют (%): As – 1.9; Ni – 0.22; Co – 0.1; Au – 0.08.

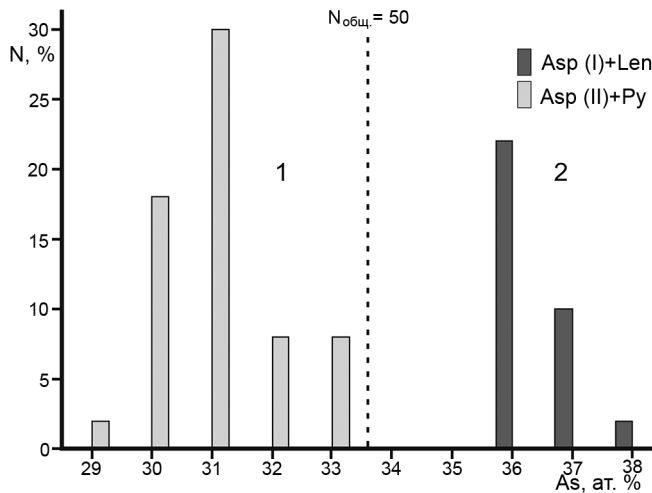
Содержание золота в мономинеральных пробах пирита широко варьирует. По данным атомно-адсорбционного анализа, максимальное содержание золота в пирите составляет 13 г/т (содержание в породе 0.4 г/т). Арсенопирит (II) представлен хорошо сформированными одиночными кристаллами призматического, удлиненно-призматического и игольчатого облика с ромбовидным сечением, часто встречаются сложные двойниковые сростки арсенопирита. Размеры кристаллов колеблются от 0.1 до 0.5 мм. Арсенопирит ранней золоторудной минерализации (арсенопирит II) по химическому составу (табл. 1) нестехиометричен и относится к сернистой разновидности –  $S/As > 1$ , из примесей отмечены максимумы (%): Co – 0.5, Ni – 0.1, Sb – 0.3 и Au – 0.08.

Помимо сернистого арсенопирита в скарнах в ассоциации с леллингитом и пирротинном был встречен мышьяковистый арсенопирит (I) ( $As/S > 1$ ), относимый нами к наиболее ранней генерации. Арсенопирит (I) образует гнезда и вкрапленность в известковых скарнах и представлен катаклазированными идиоморфными кристаллами (размер отдельных выделений от 100 мкм до 1–2 см), реже призматическими кристаллами. В арсенопирите в виде включений отмечается леллингит и пирротин. Пирротин практически полностью замещен пирит-марказитовыми агрегатами. Если в ассоциации арсенопирита (сернистого) с пиритом кристаллизация начинается с последнего, то в ассоциации арсенопирита (мышьяковистого) с леллингитом первым кристаллизовался леллингит. Мышьяковистый арсенопирит характерен для наиболее высокотемпературных, тесно сопряженных с магматизмом образований: высокотемпературных гидротермальных жил, грейзенов, скарнов и т. д. Как видно на рис. 4, арсенопириты месторождения Серебряного попадают в два поля. Одна группа отвечает полю устойчивости парагенезиса арсенопирит + леллингит, другая – арсенопирит + пирит. Наличие двух разных по составу групп арсенопирита позволяет говорить о полистадийности рудообразования на данном объекте с резкой сменой физико-химических параметров. Различия в составе арсенопирита можно объяснить изменением активности серы и окислительно-восстановительных условий среды. Сернистый арсенопирит, вероятно, образуется в наиболее окислительной обстановке при высокой активности серы. Тогда как для образования мышьяковистого арсенопирита активность серы должна была быть ниже, а обстановка – более восстановительной (наличие пирротина и леллингита) [22]. Локальные концентрации других элементов-примесей в арсенопирите (I) достигают в отдельных точках (%): Ni – 0.1; Co – 0.05; Sb – 0.4; Au – 0.18 (табл. 1).

Таблица 1. Состав арсенопиритов месторождения Серебряного, мас. %.

№ п.п.	Минеральные ассоциации	As	Fe	S	Au	Ni	Sb	Co	сумма
1		48.9	33.2	18.2	0	0	0.2	0	101
2		48.6	33.2	18.5	0.1	0	0.1	0	101
3		48.6	33.3	18.2	0.1	0	0.1	0	100
4		49.7	33	17.7	0	0	0.1	0.1	101
5		49	32.7	18.1	0	0	0.3	0.1	100
6		49.2	33.2	18.1	0	0	0.1	0	101
7		48.8	33.3	18.3	0	0	0	0	100
8		48.6	33.1	18.5	0	0	0.1	0	100
9	Арсенопирит (I) + леллингит	48.7	33.2	18.5	0.1	0	0.1	0	101
10		49.2	32.3	17.4	0.2	0.1	0.1	0.1	99.3
11		49.4	32.4	17.8	0	0.1	0.2	0.1	99.8
12		49	32.8	18.2	0	0	0.3	0	100
13		50.6	32.5	17.3	0	0	0.1	0	101
14		49.3	32.6	18	0	0	0.2	0	100
15		49.4	32.2	17.9	0	0.1	0	0	99.7
16		48.4	32.3	18.5	0.1	0	0	0	99.4
17		49.4	32.1	17.9	0	0	0	0	99.5
18		44.5	33.9	20.8	0	0	0	0	99.3
19		45.2	33.7	20.3	0	0	0.1	0.1	99.4
20		45.3	33.7	20.3	0	0	0	0	99.3
21		45.2	33.5	20.3	0	0	0	0	99.1
22		43.3	33.5	22	0	0.1	0	0	98.9
23		43.3	33.9	21.9	0	0	0.1	0	99.4
24		44.4	34.2	21	0	0.1	0.1	0.2	100
25		43.8	34.6	21.4	0	0	0	0	99.9
26		43.8	34.4	21.5	0.1	0	0	0	99.7
27		44.1	33.3	21.3	0	0	0.1	0	98.9
28		43.1	34.9	22	0	0	0	0	100
29		43.3	34.7	21.7	0	0	0.1	0	99.9
30		43.8	34.9	21.4	0	0	0.1	0	100
31		43.4	34.8	21.5	0	0	0.1	0.1	99.8
32		44	34.6	21.2	0	0	0	0	99.8
33		43.7	34.8	21.4	0	0	0	0	100
34	Арсенопирит (II) + пирит	41.9	35.6	21.7	0	0	0	0	99.4
35		42.3	34.6	21.9	0	0	0	0	98.9
36		42.3	35.4	21.8	0	0	0	0	99.6
37		44	35.3	21.2	0	0	0	0	101
38		41.8	35.4	21.1	0	0	0	0	98.4
39		42.5	35.7	21.4	0.1	0	0	0	99.7
40		43.5	34.8	22.1	0.1	0	0.1	0	101
41		42.3	35.2	22.5	0.1	0	0	0	100
42		42.8	35.4	21.7	0.1	0	0.1	0	100
43		41.7	35.6	22.5	0	0	0.3	0	100
44		43.3	35	21.6	0	0	0.1	0	100
45		43.3	34.9	21.4	0	0	0	0	99.7
46		42.4	35.4	22.1	0	0	0	0	100
47		43.7	33.7	20.1	0	0.1	0	0.5	98.2
48		43.3	34.8	21.5	0	0.1	0	0.1	99.9
49		45.3	34.2	20.1	0	0	0.1	0.1	99.8
50		43.9	35.2	21.1	0	0	0	0	100

Примечание. Анализы выполнены на приборе JEOL JXA-8100, аналитик В.Н. Королук (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Cu – ниже порога обнаружения.

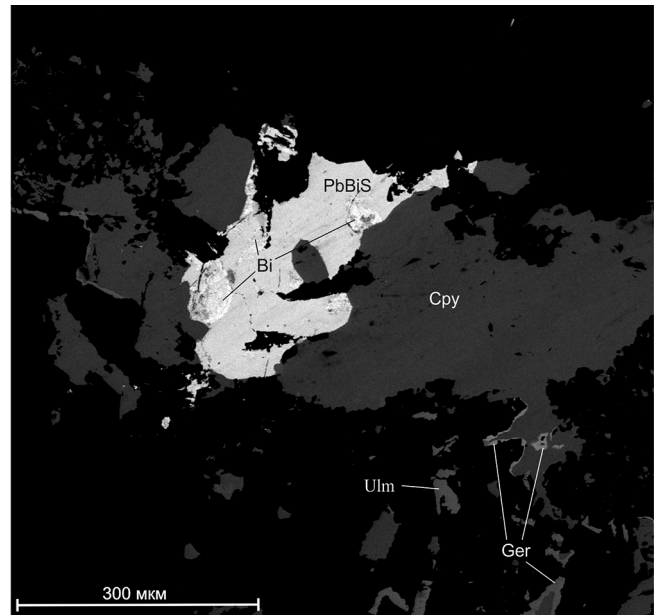


**Рис. 4.** Состав арсенопирита месторождения Серебряного. Поля устойчивости парагенезисов: 1 – арсенопирит+пирит; 2 – арсенопирит+леллингит.

Самородное золото (I) наблюдалось как в виде удлинённых, комковидных, интерстициальных выделений, скоплений зерен неправильной формы желтого цвета, так и в сростаниях с пиритом, арсенопиритом (II). По общепринятой классификации [14, 15], подавляющее число знаков самородного золота по размеру частиц попадает в классы тонкодисперсного (от 0.5 до 1 мкм) и пылевидного (от 1 до 5 мкм), также было обнаружено и более крупное золото размером до 20–30 мкм. Пробность самородного золота составляет 910–940 ‰ (табл. 2).

**Пирротин-халькопиритовая минеральная ассоциация** проявлена преимущественно в дайках шахтаминского комплекса. Пирротин часто замещается пирит-марказитовыми агрегатами.

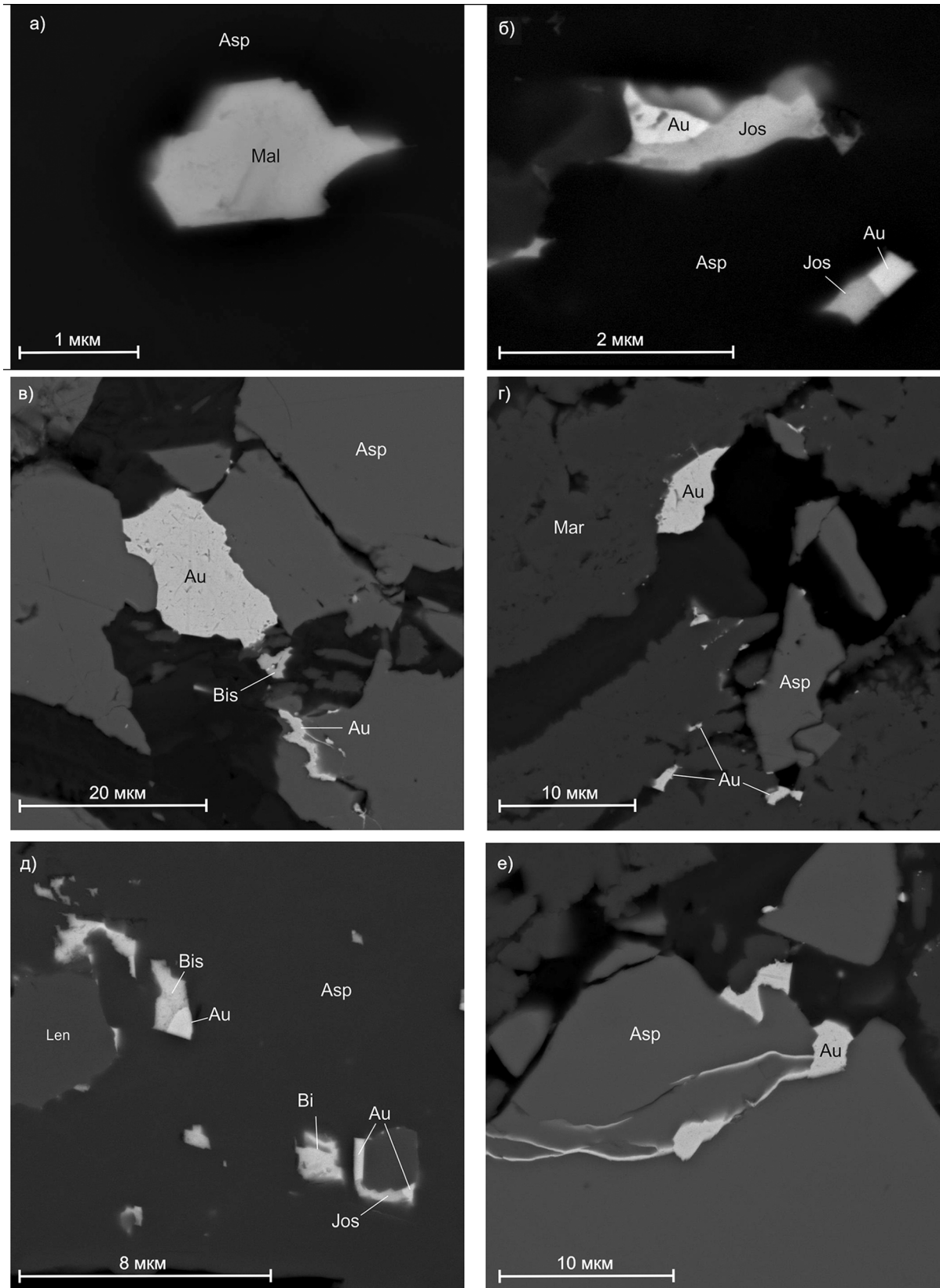
**Золото-полиметаллическая минеральная ассоциация** приурочена к кварц-серицитовым метасоматитам. Из нерудных минералов преобладают серицит, мусковит, кварц, псевдобрукит, иногда карбонат [9]. Рудные минералы представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой, соединением PbBiS (гиссенитом или бурсаитом), висмутином, жозеитом В, сульфоцумоитом, теллуридом висмута, мальдонитом, самородным висмутом, самородным золотом (II). Галенит представлен отдельными кристаллами, скоплением зерен, местами слагает сплошные агрегаты, захватывающие пирит и арсенопирит (II), а также был отмечен в микротрещинах в арсенопирите (I). Из примесей в галените в значимых количествах установлены серебро (до 0.1 %) и висмут (до 1 %), что объясняется наличием в галените продукта распада твердого раствора – шапбахита (AgBiS<sub>2</sub>) [18]. Галенит с примесью серебра и висмута обнаружен как на контактах, так и в дайках монцо-



**Рис. 5.** Характерное взаимоотношение висмутовых минералов с халькопиритом (снято в отраженных электронах). Буквами показаны следующие минералы: Cru – халькопирит, PbBiS – гиссенит или бурсаит, Bi – самородный висмут, Ger – герсдорфит, Ulm – ульманит.

нит-порфиров. В галените в виде включений отмечается также блеклая руда. Сфалерит ассоциирует в основном с галенитом. Размеры выделения сфалерита достигают 2–5 см. Характерной примесью является кадмий (до 4–9 %) [9]. Халькопирит наблюдается в виде отдельных зерен и эмульсионной вкрапленности в сфалерите. В единичном случае отмечено замещение халькопирита герсдорфитом, который образует каймы вокруг него. Блеклая руда образует как включения в галените, так и вкрапленность и агрегаты (до 2–4 мм) в основной массе породы.

**Золото-висмут-теллуридная минерализация** образовалась на самых поздних этапах формирования золото-полиметаллической ассоциации. В исследуемых образцах золото-висмут-теллуридная минерализация обнаружена как на контактах, так и в самих монзонит-порфирах. Она представлена: соединением PbBiS (гиссенитом или бурсаитом), висмутином, жозеитом В, сульфоцумоитом, теллуридом висмута, мальдонитом, самородным висмутом, самородным золотом (II) (рис. 5, 6). Соединение PbBiS установлено в монзонит-порфире в виде неправильных выделений (рис. 5). Это минерал светло-серого цвета, с розоватым оттенком, характеризуется высокой отражательной способностью и отчетливой анизотропией. По химическому составу близок к гиссениту и бурсаиту – Bi 30 %, Pb 46 %, Sb 7 %, Ag 2 %, Cu 1 %, S 15 %. Висмутином, жозеит В, сульфоцумоит, теллурид висму-



**Рис. 6.** Характерные взаимоотношения минералов золото-висмут-теллуридной ассоциации (снято в отраженных электронах).

Буквами показаны следующие минералы: Asp – арсенопирит, Mar – марказит, Bis – висмутин, Jos – жозеит В, Len – леллингит, Mal – мальдонит, Au – самородное золото (II), Bi – самородный висмут.



та, самородный висмут, мальдонит образуют мелкокристаллические выделения и вместе с самородным золотом (II) (рис. 6 г, е) тяготеют к микротрещинам или микропорам в арсенопирите (I). Размер выделений колеблется от 0.5 до нескольких микрон. Помимо минералов висмута, в арсенопирите (I) отмечались мелкокристаллические выделения галенита. С помощью сканирующей электронной микроскопии были выявлены мелкие включения минеральной фазы, состоящей из висмута и теллура, отнесенной нами к теллуриду висмута. Самородный висмут (рис. 6 д) образовывал как самостоятельные выделения в арсенопирите (I), так и наблюдался в виде обильной сыпи в соединении  $PbBiS$ , являясь продуктом разложения последнего (рис. 5). Самородное золото (II) обнаружено в сростаниях с галенитом (без примесей) и сфалеритом, имеет пробность 800–860 ‰ (табл. 2) (примесь ртути до 0.6 ‰). Форма выделений Au округлая или неправильная, с ровными границами, цвет светло-желтый, размеры от 1 до 20 мкм. Также самородное золото установлено в тесном сростании с висмутином (рис. 6 в, д) и жозеитом В (рис. 6, б, д), в виде удлиненных и интерстициальных выделений размером от 300 нм до 20 мкм. Положительная корреляция золота и висмута в арсенопирите (I) установлена с помощью LA-ICP-MS и ICP-MS, при соотношении  $Bi/Au$ , близком к 3. Наиболее высокие концентрации золота (1700 г/т) были приурочены к местам с высокими содержаниями висмута (до 5000 г/т) в арсенопирите (I). Содержание золота в арсенопирите (I), по данным ICP-MS, составляет 130 г/т, висмута – 411 г/т. Такие высокие содержания золота и висмута в арсенопирите (I) объясняются наличием достаточно большого количества микровключений самородного золота и минералов висмута в арсенопирите (I). Пробность самородного золота в сростаниях с висмутовыми минералами составляет 730–820 ‰ (табл. 2). Помимо серебра в золоте присутствует примесь ртути, максимальное содержание которой достигает 0.6 ‰. Замеры пробности в центральных и краевых частях зерен не выявили изменения значений в пределах отдельных золотин. Все это может указывать на однократность проявления рудоотложения и отсутствие последующих процессов химического преобразования золота. Общая последовательность кристаллизации выглядит следующим образом: (сфалерит – галенит – блеклая руда) – (соединение  $PbBiS$  – висмутином – жозеит В – сульфосолюит – теллурид висмута – самородный висмут) – самородное золото – мальдонит.

Завершается рудный этап формированием **сульфосолюитной минерализации**. Она представлена: буланжеритом, джемсонитом, бурнонитом, менегинитом, робинсонитом, семсейитом, ульманитом,

развитыми преимущественно в кварц-карбонатном цементе. В пределах тектонических зон сконцентрировано наиболее богатое сурьмяное оруденение, сопровождаемое интенсивной метасоматической проработкой пород. Брекчированные породы, как правило, имеют сульфидизированный цемент. В составе цемента господствующую роль играют буланжерит, джемсонит и бурнонит, которые цементируют катаклазированные зерна более ранних сульфидов (пирита, арсенопирита II, сфалерита, галенита). Буланжерит, джемсонит, бурнонит и менегинит слагают ксеноморфные зерна и минеральные агрегаты. Для бурнонита характерны полисинтетические двойники по (110), развивающиеся в двух направлениях под углом примерно  $90^\circ$ , а также сростания с буланжеритом. Джемсонит представлен ксеноморфными зернами и тонкопризматическими (игольчатыми) кристаллами. В них наблюдаются более светлые включения (S 20 %, Sb 30 %, Pb 47 %, Ag 3 %), представленные, вероятно, гетероморфитом с примесью серебра или робинсонитом. Характерной примесью для сульфосолей является As (до 2.5 ‰) (табл. 3). Примесь Bi (до 1.75 ‰) отмечается в буланжерите, наибольшие концентрации висмута установлены в менегините (до 10 ‰). Структуры замещения галенита буланжеритом и менегинитом часто наблюдаются в полированных аншлифах. Там, где в галените присутствовала примесь висмута (галенит с Bi 1 ‰), образовывался висмутсодержащий буланжерит (буланжерит с Bi 1.7 ‰) и менегинит, а при замещении галенита химически “чистого” (галенит без Bi) образовывался буланжерит (буланжерит без Bi), состав которого соответствует теоретическому. Атомно-абсорбционным анализом в мономинеральных фракциях сульфосолей установлены повышенные содержания серебра (до 150 г/т) и золота (до 1 г/т). Наличие золота объясняется наложением поздней низкотемпературной сульфосолюитной минерализации на золото-пирит-арсенопиритовую и золото-полиметаллическую. Отмечаются единичные вкрапления антимонита.

Изотопный состав серы сульфидных минералов, приведенный в табл. 4, достаточно однороден и варьирует в диапазоне от +2 до +5.8 ‰. Согласно исследованиям предшественников, такое незначительно утяжеление серы относительно метеоритного стандарта свидетельствует о глубинном эндогенном (мангитно-коровом) источнике серы рудных минералов [2, 7, 19]. Незначительные вариации величин  $\delta^{34}S$  в пределах различных минеральных ассоциаций свидетельствуют о гомогенном (едином) источнике серы рудного вещества как для собственно золотых, так и для сурьмяных руд.

Таблица 2. Состав самородного золота месторождения Серебряного, мас. %.

№ п.п.	Минеральная ассоциация	Ag	Cu	Au	Hg	сумма
1		6.8	0.0	92.8	0.0	99.6
2		6.8	0.0	93.3	0.0	100.1
3		6.9	0.0	93.8	0.0	100.7
4		7.0	0.1	91.6	0.0	98.7
5		7.0	0.0	93.7	0.0	100.7
6	Золото-пирит-арсенопиритовая	7.1	0.0	93.9	0.0	101.0
7		7.1	0.0	93.1	0.0	100.2
8		7.1	0.0	92.9	0.0	100.0
9		7.1	0.0	93.8	0.0	100.9
10		7.1	0.0	93.2	0.0	100.3
11		14.2	0.0	85.7	0.3	100.2
12		13.7	0.0	87.0	0.0	100.6
13		14.3	0.0	85.0	0.1	99.4
14		14.1	0.0	85.4	0.2	99.6
15		12.9	0.0	87.0	0.0	99.9
16		13.5	0.0	86.4	0.2	100.1
17		14.9	0.0	84.9	0.2	100.0
18		14.3	0.0	84.9	0.4	99.6
19		12.9	0.0	86.5	0.2	99.6
20	Золото-полиметаллическая	14.2	0.0	85.4	0.2	99.8
21		19.6	0.0	80.5	0.6	100.7
22		14.1	0.0	85.7	0.2	100.0
23		14.3	0.0	85.9	0.3	100.5
24		13.8	0.0	84.8	0.1	98.7
25		13.1	0.0	85.9	0.2	99.2
26		18.0	0.0	81.8	0.3	100.0
27		13.2	0.0	86.2	0.2	99.6
28		13.3	0.0	86.1	0.5	100.0
29		21.6	0.0	79.0	0.0	100.6
30		20.7	0.0	76.6	0.0	97.4
31		24.4	0.0	75.3	0.5	100.3
32		22.2	0.0	78.2	0.1	100.5
33		23.3	0.0	76.8	0.3	100.4
34		20.9	0.0	79.0	0.1	100.0
35		16.5	0.0	82.3	0.0	98.8
36		21.2	0.0	79.2	0.0	100.4
37	Золото-висмут-теллуридная	19.6	0.0	76.0	0.0	95.6
38		20.0	0.0	76.4	0.0	96.4
39		20.2	0.0	76.7	0.0	97.0
40		17.6	0.0	76.0	0.0	93.7
41		24.4	0.0	74.8	0.5	99.8
42		24.3	0.0	74.6	0.4	99.3
43		23.8	0.0	75.1	0.5	99.3
44		24.8	0.0	73.8	0.6	99.2

Примечание. Анализы выполнены на приборе JEOL JXA-8100, аналитик В.Н. Королюк (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

На данном этапе изученности месторождения Серебряного общая схема последовательности рудообразования включает в себя следующие стадии (от ранних к поздним): арсенопирит-лелленгит-пирротинную – золото-пирит-арсенопиритовую – пирротин-халькопиритовую – золото-полиметаллическую – золото-висмут-теллуридную – сульфосольную.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Золото-висмут-теллуридная минерализация проявлена и на других месторождениях Восточного Забайкалья. По ряду признаков изученный объект имеет ряд сходств и отличий с месторождениями Дарасунского рудного района, а также со среднеглубинными месторождениями Бaleyского (Средне-Голготайское)

Таблица 3. Состав сульфосолей месторождения Серебряного, мас. %.

№ п.п	минерал	S	Cu	Te	As	Sb	Pb	Bi	Сумма
1	менегинит	17.7	0.5	0	<b>0.3</b>	16.1	59.7	<b>5.3</b>	99.6
2		17.5	0.9	0	<b>0.2</b>	16.8	55.9	<b>7.4</b>	98.8
3		18.2	1	0	<b>0.2</b>	17.4	53.2	<b>9.7</b>	99.7
4	буланжерит	18.3	0	0	<b>0.5</b>	23.9	55.9	<b>1.6</b>	100.2
5		18.6	0	0	<b>0.6</b>	23.3	55.5	<b>1.7</b>	99.7
6		18.1	0	0	<b>0.6</b>	22.8	55.9	<b>1.8</b>	99.3
7		18.7	0	0	<b>0.5</b>	23.6	56.1	<b>1.7</b>	100.5
8		18.4	0	0	<b>0.4</b>	23.8	55.3	<b>1.7</b>	99.6
9		18.5	0	0	<b>0.7</b>	25.2	57.5	0	101.8
10		18.8	0	0	<b>0.6</b>	25.6	56.2	0	101.3
11		18.1	0	0	<b>0.6</b>	24.3	56.9	0	99.9
12		18.5	0	0	<b>0.6</b>	26	54.4	0	99.6
13		17.9	0	0	<b>0.5</b>	25.2	56.4	0	100
14		18.5	0	0	<b>0.6</b>	25.5	55.4	0	100.1
15		18.4	0.1	0	<b>0.6</b>	25.1	55.8	0	99.9
16		19.2	0	0	<b>0.5</b>	25.4	54.8	0	99.9
17		19.1	0	0	<b>0.6</b>	25.4	55.1	0	100.2
18		19	0	0	<b>0.7</b>	25.4	56.6	0	101.7
19		18.8	0	0	<b>0.6</b>	25.5	55.9	0	100.8
20		18.7	0	0	<b>0.6</b>	25.6	55.5	0	100.4
21		18	0	0	<b>0.6</b>	25.6	57.5	0	101.6
22		18.9	0	0	<b>0.7</b>	25.4	55.5	0	100.5
23		17.9	0	0	<b>0.7</b>	25.8	55.2	0	99.6
24		18	0	0	<b>0.4</b>	25.2	55.4	0	99
25		18.5	0	0	<b>0.5</b>	25.5	55.5	0	99.9
26		19.1	13.4	0	<b>0.9</b>	22.3	43.4	0	99
27		19.2	13.4	0	<b>0.9</b>	23.5	43.1	0	100
28		18.6	13.1	0.1	<b>0.9</b>	22.9	44.1	0	99.7
29	19.8	13.1	0	<b>1.3</b>	24	43.6	0	101.8	
30	19.9	13.8	0	<b>0.6</b>	24.5	43	0	101.8	
31	20	13.6	0	<b>1.1</b>	24	43.8	0	102.5	
32	20.1	13.7	0	<b>2.6</b>	21.4	44.2	0	101.9	
33	19.1	12.6	0	<b>1</b>	23.3	43.8	0	99.8	
34	19.5	12.7	0	<b>0.9</b>	23.5	43.2	0	99.9	
35	19.7	12.5	0.1	<b>1</b>	22.9	43.6	0	99.8	
36	20.4	12.8	0	<b>2.6</b>	21.2	43.7	0	100.6	
37	18.9	12.6	0	<b>0.9</b>	22	45.6	0	99.9	
38	18	8.9	0	<b>0.7</b>	24.7	46.9	0	99.2	
39	17.3	7.4	0	<b>0.7</b>	23.3	48.4	0	97.1	
40	19.7	12.3	0	<b>0.8</b>	23.6	43.3	0	99.7	
41	19.9	12.3	0	<b>0.7</b>	23.6	43.8	0	100.2	

Примечание. Анализы выполнены на приборе JEOL JXA-8100, аналитик В.Н. Королюк (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Fe, Co, Ni, Mn, Zn, Hg – ниже предела обнаружения.

и Сретенско-Карийского (Ушумунское) рудных районов. Au-Bi-Te минерализация отмечается как в составе ранних высокотемпературных минеральных ассоциаций (Средне-Голготайское), так и наиболее поздних (Дарасунское). По данным гомогенизации и декрипитации газовой-жидких включений в минералах, температура формирования золото-висмут-теллуридной ассоциации Средне-Голготайского месторожде-

ния приходится на интервал 380–270°C [12]. На Дарасунском месторождении золото-висмут-теллуридная минерализация отмечается в составе сульфосольной стадии минерализации, образование минеральных парагенезисов которой происходило в интервале 300–200°C [13].

Рудные тела Ушумунского и Средне-Голготайского месторождений представлены кварцевыми

**Таблица 4. Изотопный состав серы сульфидных минералов месторождения Серебряное, ‰.**

№ п.п.	Минерал	$\delta^{34}\text{S}, \text{‰CDT}$
1	арсенопирит (II)	4.6
2	арсенопирит (II) + пирит	4.4
3	пирит	4.4
4	пирит	4.4
5	пирит	4.6
6	пирит	4.9
7	арсенопирит (I)	3.0
8	пирротин	2.8
9	сфалерит	2.0
10	менегинит	3.7
11	антимонит	4.1
12	буланжерит + бурнонит	4.4
13	буланжерит + бурнонит	5.8

*Примечание.* Анализы выполнены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), аналитики В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова.

жилами (с Au-Bi-Te минерализацией) простой морфологии, которые и являются наиболее важными в практическом отношении [21]. В отличие от них рудные тела с Au-Bi-Te минерализацией месторождения Серебряного приурочены к кварц-серицитовым метасоматитам, дайкам монцонит-порфиров, а также к скарновым зонам, но имеют второстепенное распространение. Характерным признаком золото-висмут-теллуридной стадии этих месторождений является тесная связь золота с сульфидами и сульфотеллуридами висмута, что характерно и для Au-Bi-Te минерализации Серебряного месторождения, где самородное золото первой генерации наблюдалось в тесных сростаниях преимущественно с минералами висмута. Главное отличие заключается в том, что на Средне-Голготайском месторождении (в отличие от месторождения Серебряного) Au-Bi-Te минерализация является более ранней и высокотемпературной по отношению к золото-полисульфидной минерализации.

Наиболее близкая картина рудообразования наблюдается на Дарасунском, Теремкинском, Талатуйском месторождениях. Одними из основных типоморфных признаков для этих месторождений являются [20]:

- формирование золоторудных жил сопровождается синрудными метасоматическими процессами типа лиственитизации-березитизации;

- характерен парагенезис золота с халькопиритом и минералами висмута, теллура и серебра; основными типоморфными элементами золотого оруденения являются – Cu, Bi, Ag, Pb, Sb, As, Hg.

Также характерным является тяготение ранних золоторудных ассоциаций (пирит-кварц, пирит-арсенопирит) к жилам с кварц-турмалиновой минерализацией. Все минеральные ассоциации этой стадии несут микроскопическое золото в варьирующих количествах. Полиметаллическая стадия наиболее проявлена на Дарасунском месторождении, менее – на Теремкинском и очень скудно – на Талатуйском [20]. Галенит и блеклая руда полиметаллической стадии обогащены Ag и Bi. Характерным является то, что в этом же направлении понижается доля висмутовых минералов: наибольшее распространение – на Дарасунском, менее – на Теремкинском и минимальное количество обнаружено в рудах месторождения Талатуй [17]. Минералы сульфосольной стадии отлагаются преимущественно в местах развития галенит-сфалеритовой минеральной ассоциации. Все это может свидетельствовать о том, что золото-висмут-теллуридная минерализация Дарасунского месторождения отлагалась на самых поздних этапах формирования полиметаллической стадии.

Общим для всех месторождений является генетическая связь золото-висмут-теллуридной минерализации с интрузивными телами амуджиканского комплекса. Формирование ранней золото-висмут-теллуридной ассоциации на Средне-Голготайском месторождении связывается с внедрением магматических тел раннеамуджиканского комплекса и, в первую очередь, с дайками кварцевых монцонитов и гибридных порфиров [8, 16]. На Дарасунском месторождении рудный этап характеризуется пестрой гаммой магматических пород амуджиканского комплекса. В них в качестве элементов примесей в значимых содержаниях обнаружены Au, Ag, W, Mo, Pb, Zn, Cu, As, Bi, Te и др. Результаты исследования изотопов Sr, S, C и O свидетельствуют как о мантийном, так и о смешанном мантийно-коровом источнике расплава и основной массы рудных компонентов [20]. Пространственная приуроченность золото-висмут-теллуридной минерализации месторождения Серебряного к дайкам монцонит-порфиров, их контактам, результаты анализа изотопного состава серы сульфидных минералов свидетельствуют о генетической связи Au-Bi-Te минерализации с дайками шахтаминского комплекса. Дайки играли основную роль в образовании золото-полиметаллической и золото-висмут-теллуридной минерализации, что характерно и для многих других золоторудных и золотосодержащих месторождений Восточного Забайкалья.

Au-Bi-Te минерализация широко проявлена и изучена на многих месторождениях Северо-Востока России. Генетическая связь золото-висмут-теллуридной минерализации на золоторудных месторож-

дениях с интрузивными телами кислого и среднего состава установлена исследованиями Г.Н. Гамянина, Н.А. Горячева и др. [3, 6]. В основном золоторудные месторождения данного типа генетически связаны с позднеюрско-раннемеловыми (Чепак, Малыш-Дубач, Мякистое и др.), раннемеловыми (Тугучак, Лово-Дыбинское и др.) и позднемеловыми (Халали, Порожистое и др.) интрузивными комплексами. По минералого-геохимическим особенностям среди них выделяют следующие типы: висмут-сульфотеллуридно-кварцевый, висмут-арсенидно-сульфоарсенидный, висмут-сидерит-полисульфидный. Во всех типах месторождений отчетливо проявлена корреляционная связь между висмутом и золотом [4, 5, 6]. В то же время, месторождения различаются между собой по ряду минералогических особенностей, среди которых наиважнейшим является разная степень сернистости и мышьяковистости руд. Для золото-висмут-теллуридной минерализации месторождения Серебряного присущи характерные черты каждого из трех перечисленных типов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рудах месторождения Серебряного установлены следующие минеральные ассоциации: золото-пирит-арсенопиритовая, пирротин-халькопиритовая, золото-полиметаллическая (с золото-висмут-теллуридной) и более поздняя сульфосольная. Детальное минералого-геохимическое изучение руд и взаимоотношений, сформировавших месторождение минеральных ассоциаций, показывает, что золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация относится к самой ранней золоторудной минерализации месторождения Серебряного. Она представлена пиритом, сернистым арсенопиритом ( $S/As > 1$ ) и наиболее высокопробным (910–940 ‰) тонкодисперсным золотом, развитыми преимущественно в кварц-серицит-турмалиновых метасоматитах. Золото-полиметаллическая ассоциация наиболее присуща кварц-серицитовым метасоматитам. Для нее характерны галенит, сфалерит и блеклая руда. На поздних этапах формирования полиметаллической ассоциации, с внедрением даек монцонит-порфиоров поступали новые порции гидротермальных растворов, содержащих  $Bi$ ,  $Te$ ,  $Au$ ,  $Ag$ . Этим объясняется наличие галенита с повышенным содержанием  $Bi$  и  $Ag$ . Избыточные концентрации  $Bi$  привели к образованию самостоятельных минеральных фаз. Общая последовательность образования висмутовых минералов выглядит следующим образом: соединения  $PbBiS$  – висмутин – жозеит  $B$  – сульфоцумоит – теллурид висмута – самородный висмут. Последовательность формирования указанных минералов указывает на то, что этот процесс происходил при постепенном

понижении фугитивности серы. Наличие интерметаллида висмута (мальдонита) свидетельствует об образовании его при воздействии золотоносных растворов на ранее отложенный самородный висмут. Вся совокупность выделений самородного золота этой стадии представлена одной генерацией. Исследования взаимоотношений рудных минералов и самородного золота позволили заключить, что последнее выделялось на заключительном этапе минерализации. В случае совмещения золотой и висмутовой минерализации возникают сростания самородного золота с висмутином, жозеитом  $B$ , кроме того, происходит формирование реакционного мальдонита за счет наложения на самородный висмут. В случае совмещения золотой и полиметаллической минерализации самородное золото образует сростания с галенитом, сфалеритом и блеклой рудой, а также присутствует в виде мелких вкраплений в жильной массе. Как показывают проведенные исследования, вариации пробности самородного золота составляют около 130 ‰. Для самородного золота в ассоциации с химически “чистым” галенитом пробность составляет 800–860 ‰ ( $Hg$  до 0.6%), а для самородного золота, находящегося в ассоциации с минералами висмута – 730–820 ‰ ( $Hg$  до 0.6 ‰). Главной отличительной особенностью состава второй генерации самородного золота является постоянная примесь ртути. Наличие нескольких минеральных парагенезисов арсенопирита (арсенопирит+лелленгит и пирит+арсенопирит) позволяет говорить о полистадийности рудообразования с резкой сменой физико-химических параметров. Приуроченность  $Au-Bi-Te$  минерализации к монцонит-порфировым дайкам шахтаминского комплекса, результаты изотопного состава серы сульфидных минералов свидетельствуют о генетической связи монцонит-порфиоров и  $Au-Bi-Te$  минерализации. Дайки являлись источником рудного вещества как для полиметаллической ассоциации, так и для золото-висмут-теллуридной. Весь процесс рудообразования протекал в условиях постоянных тектонических подвижек и заканчивался формированием низкотемпературной сульфосольной минерализации. В случае пространственного совмещения сульфосольной минерализации с ранними золоторудными ассоциациями образуются комплексные руды ( $Au, Ag, Pb, Zn, Sb$ ).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-00998.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Б.Н. Петрохимические и геохимические особенности интрузивных и флюидно-эксплозивных образований золоторудного проявления Куденица-Норина (Восточное Забайкалье) // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 41–47.

2. Виноградов В.И. Роль осадочного цикла в геохимии изотопов серы. М.: Наука, 1980. 192 с.
3. Гамянин Г.Н., Гончаров В.И., Горячев Н.А. Золото-редкометалльные месторождения Северо-Востока России // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 3. С. 94–103.
4. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Типоморфизм арсенопирита месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Материалы Всерос. конф. с международным участием "Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований". М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 126–128.
5. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. As и Bi как индикаторы генетических особенностей орогенных золоторудных месторождений Северо-Востока России // Материалы Всерос. конф. с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2011. С. 334–336.
6. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения Востока России / Труды III Всерос. симпозиума «Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология» (Улан-Удэ, 21–25 сентября 2004 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 50–63.
7. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М.: Наука, 1974. 274 с.
8. Евсеев Ю.П. Металлогения Усть-Карского рудного района и локальный прогноз золотооруденения: Дис. .... канд. геол.-минер. наук. М., 1975. 251 с.
9. Козлова В.М., Федорова А.А., Чернышева Н.Е. Особенности метасоматоза и вещественный состав руд рудопроявления Серебряное (Лугоканский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Геология и минерагения Забайкалья: Сб. докл. и статей к науч.-практ. конф., посвященной 60-летию ФУГП "Читагеолсъемка". Чита: ЗабГГПУ, 2010. С. 192–200.
10. Лотина А.А. Золото-висмут-теллурическая минерализация в коренных источниках и россыпях месторождения Болотистого: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2011. 26 с.
11. Лотина А.А. Золото-висмут-теллурическая минерализация участка Болотистого (Северо-западный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 97–107.
12. Ляхов Ю.В., Пизнюр А.В. Физико-химические закономерности процесса рудообразования на золото-молибденовых месторождениях Восточного Забайкалья // Изв. Томск. политехн. ин-та. 1970. Т. 239. С. 167–171.
13. Ляхов Ю.В., Дмитриев Л.К. Температурный режим и зональность оруденения на Дарасунском месторождении по включениям в минералах // Геология и металлогения Дарасунского золоторудного поля. Чита: Изд-во Забайкал. фил. географ. об-ва СССР, 1971. Вып. 52. С. 53–54.
14. Николаева Л.А., Яблокова С.В. Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геологоразведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41–57.
15. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
16. Полохов В.П., Евсеев Ю.П., Грабеклис Р.В. и др. Особенности и условия локализации рудных районов и узлов, связанных с активизацией протерозойского основания Восточного Забайкалья (на примере Усть-Карского рудного района) // Металлогенический анализ в областях активизации. М.: Наука, 1977. С. 122–165.
17. Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Зорина Л.Д., Гарофало П., Гричук Д.В., Селектор С.Л. Флюидный режим Дарасунской рудообразующей системы на разных уровнях глубинности // Материалы XIII междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симпозиума АРИФИС. М.: ИГЕМ РАН, 2008. Т. 2. С. 108–112.
18. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 1119 с.
19. Рай Р., Омото Х. Обзор исследований изотопов серы и углерода применительно к проблеме генезиса руд // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 76–84.
20. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Акад. изд-во "ГЕО", 2006. 291 с.
21. Тупяков В.Е. Геология и эндогенная рудная зональность Средне-Голготайского золото-висмутового месторождения (Восточное Забайкалье): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Иркутск: Изд-во ИПИ, 1978. 24 с.
22. Тюкова Е.Э., Ворошин С.В. Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Колымского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2007. 107 с.

*Рекомендована к печати Н.А. Горячевым*

*Yu. O. Redin, V. M. Kozlova*

### **Gold-bismuth-telluride mineralization in the ores of the Silver ore deposit (Lugokansky ore zone, East Transbaikalia)**

Au-Bi-Te (gold-bismuth-telluride) mineralization of the Silver ore deposit was established and studied. X-ray spectral analysis of native gold and sulfide minerals and data on their isotopic composition of sulfur are presented. Two mineral associations comprising native gold were distinguished: early gold-pyrite-arsenopyrite, and later gold-polymetallic ones. As part of the latter association gold-bismuth-telluride mineralization was determined. It contains bismuth sulfides, sulfotellurides and tellurides, native bismuth and native gold, and also intermetallic gold and bismuth. A theory of genetic link between gold-bismuth-telluride mineralization and monzonite porphyry of the Shakhtama complex was suggested. In addition, results of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating are given.

**Key words:** gold-bismuth-telluride mineralization, Eastern Transbaikalia.