УДК 553.08 + 553.41

DOI: 10.25018/0236_1493_2024_3_0_82

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВИСМУТ-ТЕЛЛУРОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДУРМИНСКОЕ (СИХОТЭ-АЛИНЬ)

Р.А. Кемкина¹, И.В. Кемкин²

¹ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия ² Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, e-mail: kemkin@fegi.ru

Аннотация: По результатам минералого-геохимических исследований руд Аи-Ад месторождения Дурминское в их составе установлено широкое присутствие висмутсодержащих минералов. На основе детального изучения их вещественного состава, с использованием современных прецизионных методов рентгеноспектральной микроскопии, впервые для месторождения выявлены и описаны самородный висмут, висмутин, эмплектит, Ag-содержащий и Sb-содержащий эмплектит, айкинит, висмутсодержащие блеклые руды, а также ряд минеральных фаз $CuBi_{15}S_{25}$, $CuPbBi_{25}S_{4}$, $Pb_{5}Bi_{5}S_{2}$, Pb,Bi,S и Pb,Bi,S,. Кроме того, в рудах рассматриваемого месторождения впервые выявлена и теллуровая минерализация. Теллурсодержащие минералы представлены двумя минеральными группами - теллуридами (цумоитом и гесситом) и сульфотеллуридами (тетрадимитом). Приведены описания особенностей химического состава вновь выявленных минералов золото-сульфидно-теллуридно-висмутовой минерализации Дурминского месторождения. По данным изучения характера взаимоотношения рудных минералов и их текстурно-структурных особенностей выделено три стадии минералообразования и определена последовательность выделения в них минералов. Приведены данные о распространенности и вариациях состава самородного висмута, висмутсодержащих блеклых руд, висмутовых сульфосолей и теллуридов. Выявленные минералого-геохимические особенности руд месторождения Дурминское предполагают более комплексную переработку руд, включающую извлечение не только золота и серебра, но и других попутных компонентов.

Ключевые слова: Au-Ag месторождение Дурминское, Bi-Te минерализация, сульфовисмутиты, сульфотеллуриды Bi.

Для цитирования: Кемкина Р. А., Кемкин И. В. Первые данные о висмут-теллуровой минерализации в рудах золото-серебряного месторождения Дурминское (Сихотэ-Алинь) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 3. – С. 82–101. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_3_0_82.

The first data on tellurium and bismuth mineralization of Durmin gold and silver deposit in the Sikhote-Alin

R.A. Kemkina¹, I.V. Kemkin²

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
² Far Eastern Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, e-mail: kemkin@fegi.ru Abstract: The mineralogy and geochemistry analyses of Au and Ag ore at Durmin deposit exhibited high content of bismuth-bearing minerals. The comprehensive survey of the material composition by the advanced and high-precision X-ray spectrum microscopy for the first time ever revealed and described native bismuth, bismuth glance, emplectite, Ag- and Sb-bearing emplectite, aikinite, bismuth-bearing fahl ores, as well as some mineral phases of CuBi₁₅S₂₅, CuPbBiS₂, CuPbBi₂S₄, Pb₃Bi₅S₂, Pb₃Bi₇S and Pb₄Bi₃S₃ in the test deposit. Furthermore, tellurium mineralization is also for the first time discovered. Tellurium-bearing minerals represent two mineral groups-tellurides (tsumoite and hessite) and sulfide-tellurides (bismuth telluride). The chemical compositions of the new-revealed minerals in the gold-sulfide-bismuth-telluride mineralization at Durmin deposit are described. The analyses of interactions of the minerals, as well as their structural and textural features identified three stages of minerogenesis and chains of mineral formation within the stages. The data on the contents and composition variations of native bismuth, bismuth-bearing fahl ores, sulfosalts and tellurides are presented. The discovered mineralogical and geochemical peculiarities of Durmin ore imply introduction of integrated and more comprehensive processing, including recovery of gold, silver and the other associate components.

Key words: Durmin Au-Ag deposit, Bi-Te mineralization, bismuth sulfides, bismuth telluride sulfides.

For citation: Kemkina R. A., Kemkin I. V. The first data on tellurium and bismuth mineralization of Durmin gold and silver deposit in the Sikhote-Alin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(3):82-101. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_3_0_82.

Введение

Неуклонное сокращение природных минеральных ресурсов, обусловленное интенсивной деятельностью горнодобывающих предприятий с целью удовлетворения всевозрастающих потребностей экономики, диктует переход к более рациональным методам недропользования. В соответствии с законом РФ «О недрах», основу современного рационального недропользования составляет, наряду с повторной переработкой отходов обогащения горнорудного сырья, комплексное максимально полное извлечение всех промышленно важных химических элементов и их соединений. Общеизвестно, что практически все рудные месторождения различной металлогенической специализации являются комплексными, так как содержат значительное разнообразие рудных минералов и химических элементов в свободной форме,

одни из которых существенно преобладают и являются основными промышленными компонентами, другие, содержащиеся в меньших количествах — попутными. Следует отметить также, что многие химические элементы, кроме промышленной ценности, характеризуются также и различной степенью токсического воздействия на биосферу, включая и человека [напр., 1—3 и др.]. В этой связи комплексная переработка горнорудного сырья предполагает и сохранение природного экологического равновесия.

Очевидно, что для проведения максимально полного извлечения промышленных компонентов необходимо наличие информации о вещественном составе руд, характере взаимоотношения рудных минералов, размере минеральных зерен и ряде других показателей, необходимых для выбора способа переработки руды. В свою очередь, детальная информация по качественным характеристикам руд достигается путем тщательного изучения рудных образцов и диагностики слагающих их минеральных образований. Особую значимость детальные минералогогеохимические исследования руд имеют для вновь открываемых месторождений, так как позволят еще до передачи их в промышленную отработку определить наиболее эффективные ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии переработки минерального сырья.

Одним из таких новых рудных объектов является Au-Ag месторождение Дурминское, подготовленное ООО «Восточная Горнорудная Компания» к открытой отработке. Нами было проведено



Рис. 1. Тектоническая схема Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий (по [4] с дополнениями)

Fig. 1. Tectonic scheme of the Sikhote-Alin orogenic belt and adjacent territories (according to [4] with additions)

минералого-геохимическое изучение руд данного месторождения, которое показало, что помимо ранее установленных самородных золота, серебра и их сплавов, а также сульфидов железа, меди, мышьяка, цинка и серебра, в составе руд широко представлены сульфиды висмута и свинца, сульфосоли меди, серебра, висмута и более сложные разновидности висмутовых сульфосолей, содержащих медь, свинец, серебро, а также теллуриды серебра и висмута. В значительных количествах присутствует самородный висмут. В настоящей статье приводятся первые данные о вещественно-минералогических особенностях и характере проявления висмут-теллуровой минерализации на Au-Aq месторождении Дурминское с целью возможного более комплексного использования его руд.

Краткая геологическая характеристика месторождения

Au-Ag месторождение Дурминское расположено на водоразделе рек Обор и

Дурмин в районе им. Лазо Хабаровского края в 90 км к Ю-В от г. Хабаровска (звездочка на рис. 1) и локализуется в толще позднемеловых вулканитов, несогласно перекрывающих карбонатнокремнисто-терригенные образования, слагающие Бикинскую часть Наданьхада-Бикинского террейна юрской аккреционной призмы. Согласно отчетным материалам проведенных ООО «Восточная Горнорудная Компания» разведочных работ, Дурминское месторождение приурочено к локальному грабену, ограниченному разломами северо-западного и северо-восточного простирания, который представляет собой структуру проседания, образовавшуюся между двумя локальными вулканическими постройками центрального типа. Площадь месторождения (или структура проседания) сложена лавовыми потоками андезитов, андезито-дацитов, лавобрекчиями и туфами так называемой «андезитовой толщи» позднемелового возраста, прорванной многочисленными сингенетичными



Рис. 2. Геологическая схема Дурминского месторождения (по материалам ООО «ВГК») Fig. 2. Geological scheme of the Durminskoe deposit (based on materials from OOO «VGK»)

субвулканическими телами и дайками андезитов, дацитов и риолитов (рис. 2).

Основным, контролирующим рудную минерализацию структурным элементом является зона сочленения разломов С-З простирания, ограничивающих борта грабена, и разломов С-В простирания, сопряженных с процессом межкупольного проседания, которые контролируют расположение зон трещиноватости в вулканогенных породах. В зонах разломов вулканиты интенсивно тектонически передроблены и подвержены гидротермально-метасоматическим изменениям, проявленным в образовании полей метасоматитов серицит-кварцевого и адуляр-серицит-кварцевого состава, содержащих сульфидную минерализацию.

Зоны метасоматически измененных пород составляют основную часть рудных полей месторождения. Внешне они характеризуются более светлой окраской, чем неизмененные андезиты, и содержат многочисленные тонкие прожилки кварца, кальцита, карбоната и сульфидов. В поле развития метасоматитов вдоль разрывов С-В простирания и оперяющих их трещин развиты тела и зоны жильного кварца с сульфидной минерализацией и минерализованные брекчии (кварцевые брекчии с кварц-сульфидным цементом). Отдельные кварцевые жилы прослеживаются на поверхности до 275 м при ширине 1,7-3,1 м, хотя с глубиной мощность увеличивается до 47,2 м. В среднем мощность кварцевых жил варьирует в пределах 0,5-21,2 м. По данным разведочных работ в пределах рудных зон выявлена четкая зональность от центра к периферии: кварцевые жилы и/или брекчии с кварцсульфидным цементом — адуляр-серицит-кварцевые метасоматиты с многочисленными прожилками кварца кварц-серицитовые метасоматиты с редкими прожилками кварца — пропилиты. Результаты изучения вещественного состава рудной минерализации в кварцевых жилах, брекчиях и метасоматитах показали, что рудные минералы составляют порядка 4,7% от общего объема рудных тел. Преобладающим среди них является пирит, составляющий до 98% от всех рудных минералов. В гораздо меньших количествах присутствуют арсенопирит, халькопирит, сфалерит, пирротин, аргентит, акантит, самородные золото, серебро и их сплавы.

По совокупности геолого-минералогических данных Дурминское месторождение отнесено к эпитермальному вулканогенному золотосеребряному рудно-формационному типу с гидротермально-метасоматическим механизмом рудоотложения. Основной полезный компонент — золото и серебро.

Материалы и методы исследования

Материалом для настоящего исследования послужили образцы руд, отобранные из керна скважин, пройденных ООО «Восточная Горнорудная Компания» с целью прослеживания рудных тел на глубину, уточнения их параметров и содержаний полезных компонентов в них. Минеральный состав руд и их структурно-текстурные особенности изучались на поляризационном микроскопе отраженного света Nikon Eclipse 50i POL (Япония) в лаборатории минераграфии ДВФУ по совокупности оптических, физических и морфологических свойств минеральных зерен и их взаимоотношений.

Вещественный состав выявленных минералов, а также тонких и дисперсных минеральных выделений, не идентифицируемых в поляризационном микроскопе, изучался на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и ЭДС INCAx-sight при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе 1·10⁻⁸ А в аналитиче-

Таблица 1

Химический состав (масс. %) и кристаллохимические формулы изученных рудных минералов месторождения Дурминское Chemical composition (wt %) and crystal chemical formulas of the studied ore minerals of the Durminskoe deposit

ы формула			лото	ЛОТО	лото 10то 10то	лото пото пото пото		лото пото пото пото пото пото	лото пото пото пото пото пото пото	лото пото пото пото пото пото пото смут	лото пото пото пото пото пото смут смут	лото пото пото пото пото пото пото смут смут смут	лото пото пото пото пото пото смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут смут смут	лото пото пото пото пото пото смут смут смут смут смут смут смут смут
сталлохимическа			самородное зол	самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис	самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородное зол самородный вис самородный вис
		,70		,45	,45 c	,45 ,45 ,43 ,58 ,00 ,00 ,00 ,00 ,00 ,00 ,00 ,00 ,00 ,0	,45 ,45 38 33 33 0 0	.45 .45 .43 .0 .333 .0 .61 .0	.45 .45 .0 .45 .0 .0 .0 .23 .33 .0 .0 .0 .10 .0 .0 .0 .0 .0 .10 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .10 .0	.45 .45 .45 .43 .33 .33 .33 .45 .45 .45 .33 .45 .45 .45 .45 .45 .45 .45 .45 .45 .46 .45	45 45 43 43 33 33 56 61 19 6 65 6	45 45 43 43 61 43 61 61 66 61 67 6 67 6	.45 .45 .45 .43 .333 .23 .333 .23 .45 .23 .67 .23 .67 .23 .67 .23 .67 .23 .67 .23 .67 .23	45 45 43 43 43 43 45 61 66 62 66 62 67 63	45 45 33 33 33 56 56 56 56 56 61 9 94 56 61 60 62 56 63 56 64 56 65 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 67 56 68 56 69 56 60 56 67 56 68 56 69 56 60 56 61 56 62 56 63 56 64 56 65 56 66 56 67 56 68 56 68 56 68 56 68 56 68 56 68 56 68 56 68	33 34 45 33 33 33 34 45 61 35 33 9 36 65 6 37 9 6 38 45 6 39 45 6 31 45 6 32 6 6 33 6 6 34 6 6 35 6 6 36 6 6 37 9 6 38 6 6 39 6 6 6 6 6 6 6 6 7 6 6 8 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6 6 9 6	45 45 33 33 33 45 45 56 61 19 65 56 66 61 76 66 88 83 83 94 60 66 60 66 60 67 60 66 60 66 60 66 60 66 66 66 67 66 66 66 67 66 66 66 67	45 45 33 33 33 33 33 45 66 61 94 67 93 45 33 6 33 6 66 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6 67 6	45 45 43 43 61 43 61 61 61 61 61 61 61 61 62 65 64 65 65 67 66 67 67 66 67 67 68 67 69 64 60 65 61 67 62 67 63 66 64 67 65 66 66 66 67 66 68 67 69 67 60 67 66 66 67 66 66 66 66 66 67 66 68 66 68 66 69 66 66 66 67 66 68 66 68 66 68 66 69 66 60 66 67 66 68 66 68	45 45 43 43 33 33 33 33 33 45 667 67 667 67 67 67 75 75 75 76 75 76
S S		- 102,/	- 102,4		- 99,43	- 99,43 - 98,38	- 99,4 <u>3</u> - 98,38 - 98,33	- 99,43 - 98,38 - 98,33 - 98,61	- 99,43 - 98,33 - 98,53 - 98,61	- 99,43 - 98,38 - 98,53 - 98,61 - 92,61 - 97,66	- 99,43 - 98,38 - 98,61 - 98,61 - 95,15 - 97,66	 99,43 98,38 98,51 98,61 98,61 98,61 98,61 97,66 100,6 92,45 	 99,43 98,53 98,63 98,61 98,61 97,66 97,66 100,6 92,45 100,0 100,0 	 99,43 98,38 98,53 98,61 98,61 98,61 97,66 92,45 97,41 97,41 	 99,43 98,53 98,61 95,15 97,66 100,6 97,41 97,41 96,94 	 99,43 98,53 98,61 98,61 97,41 97,41 97,41 95,81 	 99,43 98,63 98,63 95,13 97,66 97,66 97,66 97,64 97,41 97,41 97,43 95,83 	 99,43 98,53 98,613 98,614 97,416 97,414 97,414 97,414 96,94 95,81 95,81 101,01 111,01,01 	 99,43 98,53 98,61 98,61 97,66 97,66 97,66 97,41 100,0 97,41 97,81 95,88 110,0 95,88 100,0 97,75 	 99,43 98,63 98,61 98,61 97,41 97,41 100,6 97,41 97,41 95,81 95,81 95,83 95,83 100,0 95,83 101,0 99,75 3100,0
• I I • I I	1 1 1 1	1		1			 	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""> <th1< th=""></th1<></th1<></th1<></th1<>	1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	- - <td>- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - 53,10</td> <td>- - - - <tr td=""> <</tr></td>	- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - 53,10	- - - - <tr td=""> <</tr>
E		1			1		' 						- - - - 95,75 - 99,42 - 99,44 -		- - - - - - 95,75 - 99,42 - 99,44 - 97,41 - 94,73 -	- - - - - - 95,75 - 99,42 - 99,42 - 99,44 - 97,41 - 93,39 -	- - - - - - 95,75 - - 95,75 - 94,55 97,41 - 97,41 97,73 - 93,39 95,588 - 95,888	- - - - - - 95,75 - 99,42 - 99,44 - 99,44 - 97,41 - 94,73 - 95,88 -	- - - - - - 95,75 - 92,42 - 91,55 - 91,55 - 92,41 - 92,339 - 93,339 - 95,88 -	- - - - - - - - - 99,442 - - 99,444 - - 97,411 - - 94,773 - - 95,359 - - 95,888 - - - - -
8 I I	1 1	Ι		I	I	I		I	1 1	1 1 1	1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
A I I I A			1		 	1		 	I I	1 1 1 	1 1 1 1		1 I I I I I I	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Ag Cc 2,50 - 1,25 - 1,32 -	2,50 – 1,25 – 1,32 –	1,25 – 1,32 –	1,32 –		11,43 —	1,44 –	12,44 –		12,97 –	12,97 -	12,97 -	12,97	12,97	12,97	12,97 - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -	12,97 -	12,97 - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -	12,97 -	12,97 - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -	12,97 - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
Au 100,2	100,2		101,2	98,11	86,95	96,89		86,17]	86,17 1 82,22 1	86,17 1 82,22 1 -	86,17 1 82,22 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1 82,22 1 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1 82,22 1 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1 82,22 1 1	86,17 1 86,17 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1 82,22 1 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1 82,22 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	86,17 1 86,17 1 82,22 1	86,17 1 82,22 1 82,22 1
d I I		1		I	Ι	I		I	1 1	1 1 1										
^u I	1		I	1	1	1		1	1 1											
Ξ I	I		1	1	1	1		1												
ΰI	Ι		1	1	I													3 3 3 3 3 1,01 1 1 1 1 1 1 1	3 3 3 3 55 1 1 1 1 10 2,14	3 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
- L	Ι			1	I	1				3 0,5£	2 0,55 I	2 0,55 0,85	3 0,58 1 - 1 0,85 1 -	1 0,58 1 1 1 0,85	1 0,58 0,85 0,85	1 1 5 0,58 0 0,85 0 0,62		1 1 3 0,58 5 - 0,86 - 1 - 1 - 1 - 2 0,85 3 0,63 45,8 -	- - - 3 0,58 - - 0 0,89 - - - 9 0,63 - - - - 1 - - - - - - - 9 0,63 - <	1 1 3 0,58 5 - 0,83 0,63 1 - 1
	۲ ا	<u>ר</u>	1	1	1	1		 		9 9 1,3 <u>7</u> 1,3 <u>7</u>	9 – – – – – – – – – – – – – – – – – – –	9 1 9 1 1,33 1,25 1,25	9 - 9 - 9 - 1,33 <	9 - 9 - 9 - 9 - 1,33 1,25 2 - 1,25 0,61	9 - 9 - 1,25 - 1,25 - 0,61 -	9 - 9 - 1,33 - 1,25 - 1,25 - 0 - 1,75 - 1,75 -	9 - 9 - 1,25 - 2 - 1,25 - 2 1,75 9 -	9 - 9 - 1,33 2 1,25 2 1,25 1 1,25 2 1,75 9 - - -	9 - 9 - 1,33 - 1,25 - 2 1,75 2 1,75 9 - 2 1,77 2 1,77 2 1,77 2 1,77	9 - 9 - 1,33 - 2 - 1,25 1,75 9 - 2 1,75 2 1,75 2 1,75 2 1,75 2 1,75 2 1,75 2 1,75
cliekipa		Sp 16/2:	Sp 20/2	Sp 21/2	Sp 8/29	Sp 15/29		Sp 16/29	Sp 16/29 Sp 22/29	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 5/22	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 5/22	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 5/22 Sp 20/23 Sp 9/23	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 5/22 Sp 20/25 Sp 9/23 Sp 1/23	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/23 Sp 1/29	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/23 Sp 1/29 Sp 22/22	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/29 Sp 1/29 Sp 1/29 Sp 13/25	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/23 Sp 1/23 Sp 1/23 Sp 13/25 Sp 6/22	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/29 Sp 1/29 Sp 15/2: Sp 15/2:	Sp 16/29 Sp 22/29 Sp 9/22 Sp 9/23 Sp 1/29 Sp 1/29 Sp 13/2: Sp 15/2: Sp 36/22

Fe _{1.01} S _{1.99} пирит	(Fe _{0.96} Co _{0.07}) _{1.03} S _{1.97} пирит	(Fe _{0.94} Co _{0.05} Ni _{0.02} As _{0.06}) _{1.08} S _{1.92} пирит	(Fe _{0.95} Со _{0.05} Аs _{0.02}) _{1.02} S _{1.98} пирит	Си _{1.02} Fe _{1.0} S _{1.98} халькопирит	Си _{1.0} Fе _{1.01} S _{1.99} халькопирит	Си _{0.99} Fe _{1.02} S _{1.99} халькопирит	Си ₀₉₉ Fе _{1.02} S _{1.99} халькопирит	Си _{1.02} Fe _{1.02} S _{1.96} халькопирит	$(Pb_{0.90}Bi_{0.09}Cu_{0.04}Fe_{0.04}Ag_{0.02})_{1.09}S_{0.91}$ FaneHutt	(Pb _{0.97} Си _{0.03} Fe _{0.03}). ₀₃ S _{0.97} галенит	(Си ₉₃₈ Zn _{1.57} Fe _{0.44} Cd _{0.08}) _{12.07} As _{4.07} S ₁₂₈₆ Zn-содержащий теннантит	(Си _{9,85} (Zn _{1,73} Fe _{0.51})) _{12.09} As ₃₉₉ S _{12.92} Zn-содержащий теннантит	[(Cu ₉₈₆ Ag _{0.14}) ₁₀₀₀ (Zn _{1.83} Fe _{2.25} Cu _{0.04}) _{2.10} 1 _{12.10} (AS _{2.75} Bi _{1.36} A _{4.11} S _{12.79} Zn-содержащий Bi теннантит	[(Cu _{9,29} Ag _{0,28}) _{9,56} (Zn _{1,73} Fe _{1.06}) _{1,79}] _{11,35} (AS _{1,99} Bi _{1,72}) _{5,71} S _{12,86} аннивит – теннантит	[Си _{9,98} (Zn ₁₈₅ Fe _{0,46}) _{2,31}] _{12,29} (Аѕ _{3,15} Bi _{0,86}) _{4,01} S _{12,60} Вi теннантит	[Си _{9,82} Аg _{0,18}) ₁₀₀₀ (Zn _{1.79} Fe _{0,37} Си ₀₀₂) _{2,11}] _{2,11} (Sb _{5,94} As _{0,37}) _{4,31} S _{12,35} тетраэдрит
99,75	99,75	100,81	100,77	98,12	99,36	98,77	98,78	100,28	100,41	97,17	101,82	99,71	98,51	95,30	95,63	99,01
53,11	52,46	50,20	52,30	34,01	34,46	34,25	34,31	34,28	12,14	13,00	28,21	27,91	24,09	22,80	23,96	23,12
I	I	I	I	I	T	I	T	I		I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	Ι	I	I	I	I	I	7,98	I	I	I	16,69	19,86	10,68	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	T	I	I	I	I	0,51	0,68	28,03
I	I	4,13	0,78	I	I	I	I	I	T	I	20,87	20,12	12,09	8,25	13,98	1,60
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	0,61	I	I	I	I	I
I	Ι	I	I	I	I	I	I	I	0,69	I	I	I	06'0	1,68	I	1,15
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	77,72	82,38	I	I	I	I	I	I
I	Ι	I	Ι	I	I	I	I	I	I	I	7,04	7,62	7,03	6,25	7,18	6,81
I	Ι	1,30	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	2,52	2,14	3,49	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
46,64	44,77	43,04	44,20	30,27	30,65	30,78	30,67	31,03	0,93	0,76	1,67	1,92	0,82	3,29	1,52	1,20
I	Ι	I	I	33,84	34,25	33,74	33,80	34,97	0,95	1,03	43,41	42,14	36,89	32,64	37,63	37,10
Sp 12/23	Sp 24/23	Sp 25/23	Sp 26/23	Sp 7/22	Sp 16/22	Sp 23/22	Sp 35/22	Sp 11/23	Sp 17/23	Sp 18/23	Sp 17/22	Sp 18/22	Sp 21/22	Sp 26/29	Sp 27/29	Sp 9/29

(Bi _{1.96} Sb _{0.06} Cu _{0.05}) _{2.07} S _{2.93} висмутин	(Bi ₂ Sb _{0.07} Cu _{0.05} Pb _{0.01}) _{2.22} S _{2.78} висмутин	(Bi _{1.96} Cu _{0.11} Pb _{0.18}) _{2.24} S _{2.75} висмутин	(Bi _{2.08} Pb _{0.04} Sb _{0.08}) _{2.2} S _{2.8} висмутин	(Bi _{1.96} Cu _{0.11} Pb _{0.13} Sb _{0.04}) _{2.24} S _{2.76} висмутин	(Bi _{1.98} Cu _{0.06} Pb _{0.12} Sb _{0.04}) _{2.2} S _{2.8} висмутин	(Си _{1.00} Fe _{0.04}) _{1.04} Pb _{1.01} Bi _{1.14} S _{2.81} айкинит	(Си _{0.95} Fe _{0.07}) _{1.02} Pb _{1.08} Bi _{1.11} S _{2.84} айкинит	Си _{1.05} Рb _{1.09} Вi _{1.12} S _{2.74} айкинит	Си _{1.07} Рb _{1.06} Вi _{1.15} S _{2.72} айкинит	(Си _{0.95} Sb _{0.04}) _{0.99} Bi _{1.18} S _{1.83} эмплектит	(Си _{1.02} Sb _{0.04}) _{1.06} Bi _{1.01} S _{1.93} эмплектит	(Си _{1.02} Pb _{0.02}) _{1.04} Bi _{1.04} S _{1.92} эмплектит	(Си _{0.70} Аg _{0.1} Fe _{0.1} Pb _{0.02}) _{0.92} Bi _{1.15} S _{1.93} эмплектит	(Си _{1.02} Аg _{0.02}) _{1.04} Вi _{1.02} S _{1.94} эмплектит	(Си _{0.69} Аg _{0.06} Pb _{0.17}) _{0.92} Bi _{1.14} S _{1.94} эмплектит	$(Cu_{1.10}Fe_{0.10})_{1.20}Pb_{1.09}Bi_{1.90}S_{3.81}$ ϕ aза	Си _{0.96} Рb _{0.98} Вi _{1.07} S _{2.43} фаза
95,53	99,79	101,83	97,80	00'66	99,20	90,06	99,23	96,40	96,79	98,16	98,65	97,11	97,68	96,72	100,10	96,75	100,35
17,44	16,51	16,58	16,5	16,39	16,43	14,79	14,97	13,73	13,74	15,61	17,80	17,14	16,36	17,42	16,14	14,41	13,55
I	I	Т	I	I	I	T	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	T
76,06	77,21	77,06	77,9	75,12	76,33	39,05	38,36	37,01	37,80	65,29	60,84	60,96	64,29	60,28	61,69	46,71	37,46
1,47	1,62	I	1,8	0,96	0,78	T	I	I	I	1,22	1,41	I	I	I	I	I	T
I	I	I	I	I	I	I	I	I	Ι	I	Ι	I	I	I	I	Ι	Ι
I	I	I	I	I	I	I	I	I	Ι	I	Ι	I	I	I	I	Ι	I
I	Ι	I	I	I	I	I	I	I	Ι	I	Ι	I	2,72	0,71	1,77	Ι	I
I	I	Т	Т	I	I	I	I	I	Т	I	Т	I	I	I	I	Т	T
I	3,89	6,9	1,6	5,23	4,71	34,36	35,29	35,25	34,57	I	Ι	0,98	1,16	I	9,15	26,75	38,71
I	I	I	I	I	T	T	T	I	I	I	I	I	I	I	I	I	Т
Ι	I	Ι	Ι	I	I	I	I	I	Ι	Ι	Ι	I	I	I	I	Ι	Ι
I	I	I	I	I	I	I	I	I	Ι	I	Ι	I	I	I	I	Ι	I
Ι	I	I	I	I	I	0,43	0,65	I	Ι	I	Ι	I	1,42	I	I	0,67	I
0,56	0,56	1,29	I	1,3	0,95	10,43	9,96	10,41	10,68	16,04	18,6	18,03	11,73	18,31	11,35	8,21	10,63
Sp 1/22	Sp 2/22	Sp 3/22	Sp 12/22	Sp 3/23	Sp 4/23	Sp 10/22	Sp 19/22	Sp 11/29	Sp 12/29	Sp 13/22	Sp 14/22	Sp 7/23	Sp 21/29	Sp 4/22	Sp 5/23	Sp 20/29	Sp 28/29

5/23	13,11	Ι	I	Ι	Ι	0,68	Ι	1,73	Ι	I	I	65,16	Ι	16,97	97,65	Си _{0.97} Ад _{0.08} Рb _{0.02} Ві _{1.46} S _{2.48} фаза
6	1,14	0,78	Ι	Ι	I	30,92	Ι	Ι	Ι	I	Ι	65,21	Ι	3,92	101,97	(Pb _{2.43} Cu _{0.29} Fe _{0.23}) _{2.95} Bi _{5.06} S _{1.99} фаза
6	1,35	0,79	Ι	I	Ι	15,90	Ι	Ι	Ι	I	I	79,86	Ι	1,91	99,81	(Pb _{1.39} Си _{0.38} Fe _{0.25}) _{2.02} Ві _{6.90} S _{1.08} фаза
29	1,34	0,47	I	I	I	48,54	I	I	I	I	I	40,83	I	6,12	97,29	$(Pb_{3,61}Cu_{0.31}Fe_{0.13})_{4.05}Bi_{3.01}S_{2.94}\varphia3a$
22	Ι	2,56	I	I	Ι	I	Ι	Ι	Ι	I	I	54,32	34,18	4,67	95,73	(Bi _{1.81} Fe _{0.32}) _{2.13} Te _{1.86} S _{1.01} тетрадимит
23	Ι	1,35	I	I	I	I	I	I	I	I	I	55,8	33,39	4,46	95.00	(Bi _{1.93} Fe _{0.16}) _{2.09} Te _{1.91} S ₁ тетрадимит
23	0,6	1,65	I	I	I	I	I	I	I	I	I	57,46	34,12	4,51	98,34	(Bi _{1.9} Cu _{0.07} Fe _{0.2}) _{2.17} Te _{1.86} S _{0.97} тетрадимит
/29	I	1,23	I	I	I	I	I	I	I	I	I	57,57	32,94	4,53	96,27	(Bi _{1.98} Fe _{0.16}) _{2.14} Te _{1.85} S _{1.01} тетрадимит
29	Ι	2,84	Ι	I	Ι	I	Ι	Ι	Ι	I	I	60,02	36,04	Ι	98,92	Ві _{0.93} Fе _{0.19} Те _{0.89} цумаит
22	0,55	0,31	I	I	I	I	I	61,29	I	I	I	I	36,92	I	99,07	(Аg _{1.96} Си _{0.02} Fe _{0.02}) _{2.0} Те _{1.0} гессит
22	0,99	0,59	I	I	I	I	I	61,53	I	I	I	I	36,75	0,24	100,1	$(Ag_{1.92}Cu_{0.05}Fe_{0.03})_{2.0}(Te_{0.97}S_{0.03})_{1.0}$
23	Ι	2,22	I	I	I	I	I	57,66	I	I	I	I	33,88	1,25	95,01	(Ag _{1.98} Си _{0.02} Fe _{0.03}) _{2.03} Te _{0.97} гессит
29	2,23	0,77	I	I	I	I	I	54,52	I	I	I	8,6	31,32	2,41	99,85	(А _{91.66} Си _{0.11} Ві _{0.13} Fе _{0.05}) _{1.95} (Те _{0.8} S _{0.25}) _{1.05} гессит
29	0,71	1,23	Ι	Ι	65,03	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	I	Ι	30,64	97,62	(Zn _{1.0} Fe _{0.02} Cu _{0.01}) _{1.03} S _{0.97} сфалерит
23	Ι	32,28	I	I	I	I	I	I	Ι	45,05	I	I	I	22,68	100,00	Fe _{0.92} As _{0.96} S _{1.12} арсенопирит
22	Ι	58,61	Ι	Ι	Ι	1	I	I	I	I	I	I	I	41,32	99,93	Fе _{0.91} S _{1.09} пирротин
чани	e: – (прочер	к) — н	е обнар	ужено.											

ском центре ДВГИ ДВО РАН (аналитики Н.П. Екимова, Г.Б. Молчанова). Химические составы изученных минералов и минеральных фаз приведены в табл. 1.

Результаты исследований и обсуждение

По результатам выполненных исследований установлено, что в рудах и околорудных метасоматитах Au-Ag месторождения Дурминское присутствует порядка 30 рудных минералов (см. табл. 1), содержание которых составляет 1 — 3%, редко достигая 5% от общего объема руд. Основная их масса представлена сульфидами железа и меди, главным образом пиритом (преобладает), марказитом и халькопиритом. В меньших количествах присутствуют арсенопирит, сфалерит, галенит, висмутин, пирротин, аргентит, акантит, борнит и халькозин, а также самородные, представленные золотом, серебром и висмутом. Кроме того, значительно распространены сульфосоли меди (тетраэдрит, теннантит, теннантит-аннивит), сульфосоли серебра (миаргирит), сульфовисмутиты меди и свинца (эмплектит, айкинит, а также их более сложные неназванные соединения CuBi₁₅S₂₅, CuPbBiS_{2.5}, CuPbBi₂S₄, Pb₃Bi₅S₂, Pb₂Bi₇S и Pb₄Bi₃S₃), сульфотеллуриды висмута (тетрадимит) и теллуриды висмута (цумоит) и серебра (гессит). Из нерудных минералов развиты кварц, калиевый полевой шпат, карбонаты, серицит, мусковит, гидрослюды.

Ниже приводятся первые описания висмут- и теллурсодержащих минера-



Рис. 3. Морфология и характер взаимоотношения самородного висмута с рудными минералами: включения самородного висмута (1) в халькопирите (2) и обрастание их более поздним халькопиритом (3), линзовидное выделение сфалерита (4) (а); замещение пирита (3) халькопиритом (2) с включениями самородного висмута (1) и эмплектитом (4) (б); прожилки самородного висмута (1) в эмплектите (2), замещающем висмутин (3) (в, г)

Fig. 3. Morphology and character of the relationship between native bismuth and ore minerals: inclusions of native bismuth (1) in chalcopyrite (2) and their overgrowth with later chalcopyrite (3), lenticular segregation of sphalerite (4) (a); replacement of pyrite (3) by chalcopyrite (2) with inclusions of native bismuth (1) and emplectite (4) (b); veinlets of native bismuth (1) in emplectite (2), replacing bismuthine (3) (v, g)

лов, ранее не известных на данном месторождении.

Висмут самородный Ві широко представлен в рудах месторождения. По характерным ассоциациям и морфологии минеральных выделений устанавливается две его генерации. Первая генерация тесно ассоциирует с халькопиритом, образуя с ним как незакономерные срастания, так и включения в нем (рис. 3, а, б). Данный парагенезис часто обрастает выделениями висмутина и эмплектита. В свою очередь, халькопирит с включениями самородного висмута первой генерации замещается более поздним халькопиритом (рис. 3, *a*). Форма зерен висмута первой генерации аллотриоморфная, изометричная, крючковатая, подковообразная. Размер зерен достигает 0,3 мм.

Самородный висмут второй генерации обычно развивается в виде тонких прожилков (рис. 3, *в*, *г*) по висмутсодержащим минералам, в частности эмплектиту, возможно, за счет разложения последнего.

По данным микрозондового анализа в самородном висмуте установлены (см. табл. 1) примеси железа до 0,89, меди до 1,79 и серебра до 2,21 (масс. %). Существенные примеси железа и меди связаны, вероятно, с окружающими минералами — эмплектитом и халькопиритом, в которых висмут локализуется.

Висмутин Bi_2S_3 довольно широко распространен в рудах месторождения. Чаще встречается в виде зерен неправильной формы совместно с эмплектитом, айкинитом и самородным висмутом (рис. 3, *в*, *г*; 4, *а*). При замещении эмплектитом характерны ксеноморфные, сглажено-угловатые, реже округлые его формы. Он также наблюдается в виде обособленных выделений изометричной формы в нерудной массе (рис. 4, *б*). Размер агрегатов висмутина варьирует в широком диапазоне от 0,007 до 0,2 мм.

В составе висмутина почти во всех пробах наблюдается примесь меди 0,56 – 1,30 масс. %, сурьмы 0,72 – 1,8 масс. % и значительно более высокие содержания свинца до 6,9 масс. % (см. табл. 1). Следует отметить, что для висмутина, который находится в тесной ассоциации с эмплектитом, характерно отсутствие меди и пониженные значения свинца.



Рис. 4. Характер взаимоотношений и формы минеральных образований висмутина: срастание висмутина (1), эмплектита (2), Pb-содержащего эмплектита (3), минеральной фазы CuBi_{1.5}S_{2.5} (4) и самородного висмута (5) (а); срастания висмутина (1) с эмплектитом (2) и самородным висмутом (3) и обособленные включения первого в нерудной массе (б)

Fig. 4. The character of the relationships and forms of mineral formations of bismuthin: intergrowth of (1) bismuth, (2) emplectite, (3) Pb-bearing emplectite, (4) $CuBi_{1.5}S_{2.5}$ mineral phase, and native bismuth (5) (a); intergrowths of bismuth (1) with emplectite (2) and native bismuth (3) and isolated inclusions of the first in the non-metallic mass (b)



Рис. 5. Форма выделений и минеральные ассоциации блеклых руд: срастание теннантита (1) и Ві-теннантита (2) с халькопиритом (3) и пиритом (4), срастания пирита с айкинитом (5) (а); срастание аннивит-теннантита (1), Ві-теннантита (2) и гессита (3) (б)

Fig. 5. Form of segregations and mineral associations of fahlore: intergrowth of tennantite (1) and Bi-tennantite (2) with chalcopyrite (3) and pyrite (4), intergrowths of pyrite with aikinite (5) (a); intergrowth of annivit-tennantite (1), Bi-tennantite (2), and hessite (3) (b)

Напротив, повышенные значения этих элементов отмечаются при срастании его с айкинитом.

Висмутсодержащие блеклые руды (сульфосоли меди), наряду с блеклыми рудами, в составе которых висмут не установлен, в рудах месторождения Дурминское принадлежат к числу широко распространенных минералов. Они образовывались на протяжении всего процесса рудоотложения в парагенезисе с самородным золотом и другими висмутовыми минералами, в связи с чем особенности их состава и закономерности образования приобретают особый интерес. Все минеральные виды и разновидности блеклых руд месторождения образуют разнообразные по форме выделения в кварце (от изометричных и овальных до удлиненных и ксеноморфных). Размер их варьирует в широких пределах, изменяясь от тысячных долей до 0,5 мм. Кроме того, они встречаются и в виде тесных срастаний с другими рудными минералами, такими как пирит, халькопирит, самородный висмут и гессит (рис. 5, *a*, *б*).

Блеклые руды месторождения представляют собой сложные соединения переменного состава с широкими вариациями в них содержаний главных компонентов (см. табл. 1) — Bi, Sb и As, Cu и Ag, Fe и Zn. По содержанию полуметаллов (сурьмы, мышьяка и висмута, изоморфизм между которыми совершенный) в них отчетливо выделяются два минеральных вида — теннантит и тетраэдрит, и одна межвидовая разновидность — аннивит-теннантит, что свидетельствует о длительности процесса кристаллизации блеклых руд на протяжении всего процесса минералообразования от ранних стадий до поздних. В их кристаллохимических формулах, рассчитанных, согласно [5], на 29 формульных единиц, отмечается существенное отклонение от стехиометрии в сторону избытка в группе металлов.

Сульфовисмутиты меди и свинца довольно широко распространены в рудах месторождения. Однако в отличие от других висмутсодержащих минералов, отлагавшихся в течение всего процесса рудообразования, данная минеральная группа, по результатам изучения характерных минеральных ассоциаций и взаимоотношений их с другими рудными минералами, кристаллизовалась одной из последних. Особенности химического состава сульфовисмутитов, выявленные при изучении их на рентгеноспектральном микроанализаторе, позволяют выделить среди них медные (эмплектит и неназванная пока фаза $CuBi_{1.5}S_{2.5}$), свинцовые (фазы $Pb_3Bi_5S_2$, Pb_2Bi_7S , $Pb_4Bi_3S_3$) и смешанные медно-свинцовые (айкинит и фазы $CuPbBi_2S_4$ и $CuPbBiS_{2.5}$) разновидности.

Эмплектит CuBiS, наиболее часто наблюдается в тесной ассоциации с самородным висмутом и висмутином (см. рис. 3, в, г), который он замещает, образуя в нем многочисленные разнонаправленные ветвящиеся прожилки мощностью до 0,1 мм, рассекающие висмутин. В свою очередь в нем самом отмечаются многочисленные микропрожилки самородного висмута. Также часто наблюдается мирмекитоподобное замещение халькопирита с включениями самородного висмута агрегатами эмплектита неправильной формы (см. рис. 4, а). Реже эмплектит отмечается в виде включений пластинчатой формы размером до 0,01 мм в серебросодержащей минеральной фазе CuPbBi₂S₄, образующей, как и самородное золото, включения в пирите (см. рис. 4, б).

Рентгеноспектральный анализ показывает (см. табл. 1), что в эмплектите в качестве элементов-примесей более чем в половине проб присутствует серебро, изоморфно замещающее медь, количество которого изменяется от 0,71 до 2,72 масс. %. Кроме серебра в минерале отмечаются свинец и сурьма и в одной пробе железо. Таким образом, для эмплектита в пределах сросшихся минеральных зерен очень характерна изменчивость состава химических элементов, которая выражается в пятнистости окраски этого минерала (см. рис. 4, а). По содержанию примесей в составе эмплектита различаются Ад-содержащие и Sbсодержащие разновидности.

Пересчет анализов, выполненный на 4 атома в формуле, показал, что в мине-

рале отмечается недостаток серы, хотя количество висмута и меди в половине проб соответствует идеальной формуле.

Минеральная фаза CuBi_{1.5}S_{2.5}. Встречается в тесном срастании с эмплектитом, образуя с ним коррозионные границы, а также содержится в нем в виде микровключений в ассоциации с висмутином. Для фазы характерны аллотриоморфные, слегка вытянутые формы, размером до 0,05 мм. Основными минералообразующими элементами являются (масс. %) Си (13,11), Ві (65,16) и S (16,97). В виде примесей присутствуют серебро (1,73 масс. %) и свинец (0,68 масс. %). Рассчитанная кристаллохимическая формула соответствует Cu_{0.97}Ag_{0.08}Pb_{0.02}Bi_{1.46}S_{2.48}. *Айкинит PbCuBiS₃*. Встречается в

Айкинит PbCuBiS₃. Встречается в виде ксеноморфных агрегатов размером до 0,1 мм в тесном срастании с висмутином, халькопиритом и эмплектитом, возможно, замещая последний. Более мелкие образования до 0,01 мм и менее отмечаются при его срастании с пиритом, в котором он встречается в виде мелкой обильной вкрапленности (рис. 5, *a*). В свою очередь, сам содержит включения самородного висмута и гессита.

В составе айкинита (см. табл. 1) в виде примесей в двух пробах присутствует железо, содержание которого незначительно (до 0,65 масс. %). Следует отметить, что железо присутствует лишь в айкините, который ассоциирует с висмутином и эмплектитом.

Рассчитанные кристаллохимические формулы на 6 атомов (см. табл. 1) показывают недостаток серы по всем анализам до 0,28 ат. в формуле, который компенсируется повышенными содержаниями висмута. При этом количество свинца и меди соответствует идеализированной формуле.

Минеральная фаза CuPbBi₂S₄ является редким минералом в рудах. Образует выделения округлой формы размером



Рис. 6. Формы нахождения сульфовисмутитов меди: замещение эмплектитом (1) халькопирита (2) с включениями самородного висмута (3), подковообразные включения самородного висмута в эмплектите (4) (а); включения сростка эмплектита (1) и фазы $CuPbBi_2S_4$ (2) и самородного золота (3) в пирите (6) Fig. 6. The forms of copper sulfobismuthites occurrences: replacement of chalcopyrite (2) with inclusions of native bismuth (3) by emplectite (1), horseshoe-shaped inclusions of native bismuth in emplectite (4) (a); inclusions of an intergrowth of emplectite (1) and a phase of CuPbBi_S₄ (2) and native gold (3) in pyrite (b)

до 0,03 мм в пирите и содержит микровключения эмплектита (рис. 6, *б*). Химический состав минерала, по данным микрозондового анализа, соответствует (масс. %) Cu – 8,21; Fe – 0,67; Pb – 26,75; Bi – 46,71, S – 14,41 и пересчитывается на формулу (Cu_{1.10}Fe_{0.10})_{1.20}Pb_{1.09} Bi_{1.90}S_{3.81}.

^{1.20} ^{3.01} тельно редка и образует ксеноморфные, слегка вытянутые формы с размером минеральных выделений 0,03×0,05 мм, которые преимущественно распространены в основной силикатной массе. По периферии таких выделений отмечаются включения висмутина, со следами эмплектита, а также микровключения самородного висмута и реликты пирита. Химический состав фазы (масс. %) Cu – 10,63; Pb – 38,71; Bi – 37,46 и S – 3,55, который удовлетворительно пересчитывается на формулу Cu_{0.96} Pb_{0.98} Bi_{1,02}S_{2.43}.

В халькопирите совместно с включениями галенита и сфалерита встречаются микровключения ксеноморфной формы с размером, не превышающим 0,006 мм. Они имеют крайне ограниченное распространение. Их химический состав приведен в табл. 1. Они отличаются различными соотношениями главных компонентов. Пересчет данных на 10 атомов в формуле позволяет выделить минеральные фазы, отвечающие составам $Pb_3Bi_5S_2$, Pb_2Bi_7S и $Pb_4Bi_3S_3$ соответственно.

Минералого-геохимическое изучение руд Au-Ag месторождения Дурминское показало, что в их составе присутствуют минеральные образования, которые наряду с висмутом содержат еще и теллур. Они представлены сульфотеллуридом висмута (тетрадимит) и теллуридом висмута (цумоит). Кроме того, широко распространен и теллурид серебра (гессит).

Тетрадимит Bi₂Te₂S встречается как в виде обособленных минеральных выделений в нерудной массе, так и в виде обильных включений размером до 0,03 мм в пирите совместно с самородным золотом и галенитом. Он также тесно ассоциирует с висмутином, самородным висмутом, гесситом. Для него характерны преимущественно изометричные округлые формы (рис. 7, *a*) выделений, реже встречаются неправильные формы.

Химический состав тетрадимита приведен в табл. 1. Микрозондированием установлено, что во всех пробах присутствует примесь железа, содержание



Рис. 7. Теллурсодержащие минералы месторождения Дурминское: замещение халькопиритом (1) пирита (2) с включениями тетрадимита (3) и самородного золота (4) (а); включения цумоита (1) в пирите (2) и гессита (3) в халькопирите (4) (б)

Fig. 7. Tellurium-bearing minerals of the Durminskoye deposit: chalcopyrite (1) replacing pyrite (2) with inclusions of tetradymite (3) and native gold (4) (a); inclusions of tsumoite (1) in pyrite (2) and hessite (3) in chalcopyrite (4) (b)

которого существенно не меняется и находится в пределах 1,23 — 2,56 масс. %. Таким образом, состав исследованных тетрадимитов в целом близок к формуле Bi₂Te₂S. Тетрадимиты чаще имеют небольшой дефициттеллура и висмута. Содержание серы отвечает теоретическому.

Цумоит BiTe обнаружен в виде единичных зерен пластинчатой формы в округлых выделениях пирита в ассоциации с тетрадимитом и самородным золотом. Размер минеральных выделений до 0,04 мм. Состав основных минералообразующих элементов Te — 36,04 масс. %, Bi — 60,02 масс. %, в виде примеси присутствует железо до 2,84 масс. %.

Рассчитанная кристаллохимическая формула на 2 атома соответствует Bi_{0.93} Fe_{0.10}Te_{0.00}.

Fe_{0.19} Te_{0.89}. *Гессит Ag₂Te* является одним из наиболее поздних минералов среди минеральных образований. Встречается в ассоциации с тетрадимитом, айкинитом и самородным золотом. Ангедральные агрегаты гессита размером до 0,02 мм с извилистыми очертаниями в виде включений содержатся в халькопиритовых прожилках (рис. 7, *б*), замещающих пирит. Также гессит присутствует в виде ксеноморфных включений и пластинчатых выделений в нерудной массе и пирите и образует срастания с висмутсодержащими блеклыми рудами (см. рис. 5, *б*). Размер зерен гессита изменяется в пределах 0,01 — 0,05 мм.

Минерал характеризуется стехиометрическими соотношениями основных компонентов. При этом в его состав входят заметные количества серы, которая изоморфно замещает теллур, а также медь и железо (см. табл. 1). Висмут присутствует только в одной пробе в заметных количествах. Химический состав данного минерала, пересчитанный на 3 атома, соответствует кристаллохимической формуле Ag, Te.

Проведенные исследования свидетельствуют о многообразии и сложности состава висмут- и теллурсодержащих минералов, которые представлены самородным висмутом, сульфидами висмута, разнообразными по составу висмутсодержащими сульфосолями Си, сульфовисмутитами Си и Рb с примесью Аg, теллуридами и сульфотеллуридами висмута.

Основываясь на данных вещественного состава висмутовых и теллуровых минералов, полученных при изучении руд на рентгеноспектральном микроанализаторе, выяснены особенности их химических составов. Расчет кристаллохимических формул позволил определить формы вхождения химических элементов в кристаллические структуры минералов (собственная минеральная или микропримесная) и установить значительные вариации в содержаниях главных минералообразующих и примесных элементов в составе не только сульфосолей Си, Ві и Ад, но и других минеральных групп. Значительные количества (от 0,31 до 9,15 масс. %, см. табл. 1) таких элементов, как Fe, Zn, Pb, Sb, As, Cu, Ag, в висмут- и теллурсодержащих минералах связано, скорее всего, с изоморфным вхождением этих элементов в кристаллические решетки указанных минералов. Подобные изоморфные замещения одних рудогенных элементов другими отмечаются на многих золото-висмутовых и золото-редкометалльных месторождениях [напр., 6—11 и др.].

Многими исследователями это объясняется изменением физико-химических

таолица z

Стадии	Золото-пирит- кварцевая	Золото-сульф висм	оотеллуридно- утовая	Гипергенная
Ассоциации		золото-поли- сульфидная	золото-висмут- теллуридная	
Минералы				
Золото				
Висмут				
Серебро				
Пирит				
Арсенопирит				
Сфалерит				
Халькопирит				
Пирротин				
Галенит				
Висмутин				
Блеклые руды				
Миаргирит				
Аргентит				
Сульфовисмутиты Pb и Cu				
Тетрадимит				
Цумоит				
Гессит				
Марказит				
Борнит				
Хальказин				
Акантит				
Англезит				
Гидрооксиды Fe				

Схема стадийности образования рудных минералов месторождения Дурминское Scheme of the stages of formation of ore minerals at the Durminskoye deposit

условий среды минералообразования, обусловленным эволюцией гидротермальных растворов [напр., 12 — 16 и др.], а также флуктуациями концентраций рудных компонентов и других элементов на разных стадиях процесса рудоотложения [напр., 17 — 20 и др.].

Анализ имеющихся данных по минеральному составу руд Au-Ag месторождения Дурминское позволяет выделить два их основных типа. Первый, золотокварцевый тип, представлен существенно кварцевыми рудами, количество сульфидов (преимущественно пирита) в которых обычно не превышает 3 – 5% объема руды. Второй, более комплексный золото-сульфидно-теллуридно-висмутовый тип, представлен жильными, линзовидными и прожилково-вкрапленными образованиями адуляр-серицит-кварцевого и серицит-кварцевого состава с сульфидами, сульфосолями и теллуридами в метасоматитах. Результаты изучения структурно-текстурных взаимоотношений минералов и минеральных ассоциаций в основных типах руд месторождения позволяет наметить три последовательно сменяющих друг друга стадии формирования рудной минерализации — золото-пирит-кварцевая, золото-сульфотеллуридно-висмутовая и гипергенная (см. табл. 2).

Широкое развитие в рудах Au-Ag месторождения Дурминское висмут-теллуровой минерализации предполагает более широкую его рудную специализацию. Выявленные минералого-геохимические особенности руд указывают на золото-серебро-висмут-теллуровый геохимический профиль оруденения. Металлогеническая специфика месторождения определяется присутствием в рудах не только самородных золота, серебра и их сплавов, но и многочисленных разнообразных висмут- и теллурсодержащих минералов, имеющих в большинстве своем сложный переменный состав. Формирование разнообразных сложных по составу рудных минералов месторождения обусловлено, вероятно, высокой изменчивостью физико-химических условий (T, P, pH, Eh) процессов минералообразования в приповерхностной обстановке.

Выявленные минералого-геохимические особенности руд месторождения Дурминское сближают его с другими известными золото-висмутовыми месторождениями Сихотэ-Алинской складчатой области [напр., 21 — 23 и др.] и дают основание включить в один с ними геолого-промышленный тип, что предполагает более комплексную переработку руд, включающую извлечение не только золота и серебра, но и других попутных компонентов.

Заключение

Результаты проведенных исследований руд Au-Ag месторождения Дурминское показали присутствие в них значительного количества висмут-и теллурсодержащих минералов. Детальные минералого-геохимические исследования свидетельствуют о сложности состава и многообразии висмутовых и теллуровых минералов. Впервые для месторождения описаны самородный висмут, висмутин, эмплектит, Ag-содержащие и Pb- содержащие эмплектиты, айкинит, цумоит, тетрадимит и ряд новых минеральных фаз.

Широко развитая в рудах месторождения висмутовая и теллуровая минерализация тесно ассоциирует с золотым оруденением и может являться типоморфным индикатором условий формирования золотой минерализации.

Выявленные минералого-геохимические особенности руд месторождения Дурминское предполагают более комплексную переработку руд, включающую извлечение не только золота и серебра, но и других попутных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова С. Л. О токсичности ионов металлов // Химия. — 1991. — № 3. — С. 48—57.

2. Крупская Л. Т., Мелконян Р. Г., Зверева В. П., Растанина Н. К., Голубев Д. А., Филатова М. Ю. Опасность отходов, накопленных горными предприятиями в Дальневосточном федеральном округе, для окружающей среды и рекомендации по снижению риска экологических катастроф // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 12. — С. 102—112. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-102-112.

3. Усиков В. И., Липина Л. Н., Александров А. В., Корнеева С. И. Оценка влияния отходов горного производства на окружающую среду с применением ГИС технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 114—126. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-114-126.

4. *Геодинамика*, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Кн. 1. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — 572 с.

5. *Мозгова Н. Н., Цепин А. И.* Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). — М.: Наука, 1983. — 280 с.

6. Бортников Н. С., Мозгова Н. Н., Некрасов И. Я., Розов Д. Н., Тупяков В. Е., Цепин А. И. Особенности висмутовой минерализации золоторудного месторождения в Восточном Забайкалье // Минералогический журнал. — 1982. — Т. 4. — № 4. — С. 45 — 48.

7. *Некрасов И. Я.* Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. — М.: Наука, 1991. — 302 с.

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

9. Коваленкер В. А., Плотинская О. Ю., Конеев Р. И. Минералогия эпитермальных золотосульфидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Узбекистан) // Новые данные о минералах. — 2003. — № 38. — С. 45 — 56.

10. Горячев Н. А., Гамянин Г. Н. Золото-висмутовые (золоторедкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения России. — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. — С. 50 — 62.

11. Kemkina R. A., Kemkin I. V. Mineral composition of Albazinskoe deposit ores as an indicator of its belonging to the gold-rare metallic ore-formational type // Earth Sciences Research Journal. 2022, vol. 26, no. 3, pp. 263 – 270. DOI: 10.15446/esrj.v26n3.71479.

12. *Zhou H., Sun X., Fu Y., Lin H., Jiang L.* Mineralogy and mineral chemistry of Bi-minerals: Constraints on ore genesis of the Beiya giant porphyry-skarn gold deposit, southwestern China // Ore Geology Reviews. 2016, vol. 79, pp. 408 – 424. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.008.

13. Прибавкин С. В., Суставов С. Г., Готтман И. А. Сульфосоли висмута березовского рудного района: химический состав и минеральные ассоциации // Литосфера. — 2018. — Т. 18. — № 3. — С. 445 — 458. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-445-458.

14. Jian W., Mao J., Cook N. J., Chen L., Xie G., Xu J., Song S., Hao J., Li R., Liu J. Intracrystalline migration of polymetallic Au-rich melts in multistage hydrothermal systems: example from the Xiaoqinling lode gold district, central China // Mineralium Deposita. 2022, vol. 57, pp. 147–154. DOI: 10.1007/s00126-021-01090-z.

15. Vikent'eva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyanin G. N., Goryachev N. A., Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geology Reviews. 2018, vol. 102, pp. 240 – 259. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.09.004.

16. *Kitakaze A.* Phase relation of some sulfide systems-(3) // Memoirs of the Faculty of Engneering, Yamaguchi University. 2018, vol. 68, no. 1, pp. 1–31.

17. Kreissl S., Gerdes A., Walter B. F., Neumann U., Wenzel T., Markl G. Reconstruction of a >200 Ma multi-stage «five element» Bi-Co-Ni-Fe-As-S system in the Penninic Alps, Switzerland // Ore Geology Reviews. 2018, vol. 95, pp. 746-788. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.02.008.

18. Гвоздев В. И., Гребенникова А. А., Вах А. С., Горячев Н. А., Федосеев Д. Г. Эволюция процессов минералообразования при формировании золото-редкометалльных руд Средне-Голготайского месторождения (Восточное Забайкалье) // Тихоокеанская геология. — 2020. — Т. 39. — № 1. — С. 70 – 91. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-70-91.

19. *Гвоздев В. И.*, *Цепин А. И.* Висмутовая минерализация в рудах месторождения Восток-2// Геология рудных месторождений. — 2005. — Т. 47. — № 2. — С. 148—163.

20. Hastie E. C. G., Gagnon J. E., Samson I. M. The Paleoproterozoic MacLellan deposit and related Au-Ag occurrences, Lynn Lake greenstone belt, Manitoba: An emerging, structurally-controlled gold camp // Ore Geology Reviews. 2018, vol. 94, pp. 24–45. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.016.

21. Ханчук А. И., Иванов В. В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. — 1999. — Т. 40. — № 9. — С. 1635 — 1645.

22. Доброшевский К. Н., Гвоздев В. И., Шлыков С. А., Степанов В. А., Федосеев Д. Г. Вещественный состав и геохимические особенности руд Малиновского золоторудного месторождения (Приморский край) // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36. – № 5. – С. 59–74.

23. Кемкина Р. А., Кемкин И. В., Ханчук А. И., Иванов В. В. Первая находка минералов редкометалльных элементов на Албазинском золоторудном месторождении // Доклады Академии наук. — 2018. — Т. 481. — № 3. — С. 300 – 304. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-114-126.

REFERENCES

1. Davydova S. L. On the toxicity of metal ions. *Khimiya*. 1991, no. 3, pp. 48-57. [In Russ].

2. Krupskaya L. T., Melkonyan R. G., Zvereva V. P., Rastanina N. K., Golubev D. A., Filatova M. Yu. Ecological hazard of accumulated mining waste and recommendations on risk reduction in the Far Eastern Federal District. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 12, pp. 102–112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-102-112.

3. Usikov V. I., Lipina L. N., Alexandrov A. V., Korneeva S. I. Evaluation of environmental impact of mining waste using GIS technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 12, pp. 114–126. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-114-126.

4. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii.* Pod red. A. I. Khanchuka. Kn. 1 [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia. Khanchuk A. I. (Ed.), book 1], Vladivostok, Dal'nauka, 2006, 572 p.

5. Mozgova N. N., Tsepin A. I. *Bleklye rudy (osobennosti khimicheskogo sostava i svoystv)* [Fahlores (features of chemical composition and properties)], Moscow, Nauka, 1983, 280 p.

6. Bortnikov N. S., Mozgova N. N., Nekrasov I. Ya., Rozov D. N., Tupyakov V. E., Tsepin A. I. Peculiarities of bismuth mineralization of a gold deposit in Eastern Transbaikalia. *Mineralogicheskiy* zhurnal. 1982, vol. 4, no. 4, pp. 45 – 48. [In Russ].

7. Nekrasov I. Ya. *Geokhimiya, mineralogiya i genezis zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits], Moscow, Nauka, 1991, 302 p.

8. Gamyanin G. N., Goncharov V. I., Goryachev N. A. Gold and rare metal deposits of the East of Russia. *Russian Journal of Pacific Geology*. 1998, vol. 17, no. 3, pp. 94–103. [In Russ].

9. Kovalenker V. A., Plotinskaya O. Yu., Koneev R. I. Mineralogy of epithermal gold-sulfide-telluride ores of the Kairagach deposit (Uzbekistan). *Novye dannye o mineralah*. 2003, no. 38, pp. 45 – 56. [In Russ].

10. Goryachev N. A., Gamyanin G. N. Zoloto-vismutovye (zolotoredkometall'nye) mestorozhdeniya Severo-Vostoka Rossii: tipy i perspektivy promyshlennogo osvoeniya. Zolotorudnye mestorozhdeniya Rossii [Gold-bismuth (gold rare metal) deposits of the North-East of Russia: types and prospects of industrial development. Gold deposits of Russia], Magadan, SVKNII DVO RAN, 2006, pp. 50–62.

11. Kemkina R. A., Kemkin I. V. Mineral composition of Albazinskoe deposit ores as an indicator of its belonging to the gold-rare metallic ore-formational type. *Earth Sciences Research Journal*. 2022, vol. 26, no. 3, pp. 263 – 270. DOI: 10.15446/esrj.v26n3.71479.

12. Zhou H., Sun X., Fu Y., Lin H., Jiang L. Mineralogy and mineral chemistry of Bi-minerals: Constraints on ore genesis of the Beiya giant porphyry-skarn gold deposit, southwestern China. *Ore Geology Reviews*. 2016, vol. 79, pp. 408 – 424. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.008.

13. Pribavkin S. V., Sustavov S. G., Gottman I. A. Bismuth sulfosalts of the Berezovsky ore region: chemical composition and mineral associations. *Litosfera*. 2018, vol. 18, no. 3, pp. 445 – 458. [In Russ]. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-445-458.

14. Jian W., Mao J., Cook N. J., Chen L., Xie G., Xu J., Song S., Hao J., Li R., Liu J. Intracrystalline migration of polymetallic Au-rich melts in multistage hydrothermal systems: example from the Xiaoqinling lode gold district, central China. *Mineralium Deposita*. 2022, vol. 57, pp. 147 – 154. DOI: 10.1007/s00126-021-01090-z.

15. Vikent'eva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyanin G. N., Goryachev N. A., Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids. *Ore Geology Reviews*. 2018, vol. 102, pp. 240 – 259. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018. 09.004.

16. Kitakaze A. Phase relation of some sulfide systems-(3). *Memoirs of the Faculty of Engneering, Yamaguchi University*. 2018, vol. 68, no. 1, pp. 1 - 31.

17. Kreissl S., Gerdes A., Walter B. F., Neumann U., Wenzel T., Markl G. Reconstruction of a >200 Ma multi-stage «five element» Bi-Co-Ni-Fe-As-S system in the Penninic Alps, Switzerland. *Ore Geology Reviews*. 2018, vol. 95, pp. 746–788. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.02.008.

18. Gvozdev V. I., Grebennikova A. A., Vakh A. S., Goryachev N. A., Fedoseev D. G. Mineral evolution during formation of gold — rare-metal ores in the Sredne-Golgotay deposit (Eastern Transbaikalia). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2020, vol. 39, no. 1, pp. 70–91. [In Russ]. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-70-91.

19. Gvozdev V. I., Tsepin A. I. Bismuth mineralization in the ores of the Vostok-2 deposit. *Geology* of Ore Deposits. 2005, vol. 47, no. 2, pp. 148–163. [In Russ].

20. Hastie E. C. G., Gagnon J. E., Samson I. M. The Paleoproterozoic MacLellan deposit and related Au-Ag occurrences, Lynn Lake greenstone belt, Manitoba: An emerging, structurally-controlled gold camp. *Ore Geology Reviews*. 2018, vol. 94, pp. 24–45. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.016.

21. Khanchuk A. I., Ivanov V. V. Meso-Cenozoic geodynamic settings and gold mineralization of the Russian Far East. *Russian Geology and Geophysics*. 1999, vol. 40, no. 9, pp. 1635–1645. [In Russ].

22. Dobroshevsky K. N., Gvozdev V. I., Shlykov S. A., Stepanov V. A., Fedoseev D. G. Material composition and geochemical features of the ores of the Malinovskoye gold deposit (Primorskii krai). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2017, vol. 36, no. 5, pp. 59–74. [In Russ].

23. Kemkina R. A., Kemkin I. V., Khanchuk A. I., Ivanov V. V. First find of trace metal minerals at the Albaza gold deposit. *Doklady Akademii Nauk*. 2018, vol. 481, no. 3, pp. 300 – 304. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-114-126.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кемкина Раиса Анатольевна — канд. геол.-минерал. наук, доцент, Политехнический Институт, Дальневосточный федеральный университет, ORCID ID: 0009-0005-5047-6597, *Кемкин Игорь Владимирович* — член-корреспондент РАН, д-р геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, e-mail: kemkin@fegi.ru, ORCID ID: 0000-0002-9105-288X. Для контактов: Кемкин И.В., e-mail: kemkin@fegi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

R.A. Kemkina, Cand. Sci. (Geol. Mineral.),
Assistant Professor, Polytechnical Institute,
Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russia,
ORCID ID: 0009-0005-5047-6597, *I.V. Kemkin*, Corresponding Member of Russian Academy
of Sciences, Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Head of Laboratory,
Far Eastern Geological Institute,
Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
690022, Vladivostok, Russia, e-mail: kemkin@fegi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-9105-288X,
Corresponding author: I.V. Kemkin, e-mail: kemkin@fegi.ru.

Получена редакцией 05.09.2023; получена после рецензии 25.01.2024; принята к печати 10.02.2024. Received by the editors 05.09.2023; received after the review 25.01.2024; accepted for printing 10.02.2024.