

---

---

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

---

---

УДК 553.08+ 553.411.071

## ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И РУДНО-ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ АЛБАЗИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СИХОТЭ-АЛИНСКАЯ ЗОЛОТОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Р. А. Кемкина<sup>1</sup>, И. В. Кемкин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

<sup>2</sup>Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения  
Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН), г. Владивосток

Поступила в редакцию 24 апреля 2018 г.

**Аннотация:** приводятся данные минералого-геохимического изучения руд Албазинского золоторудного месторождения (Хабаровский край). В составе рудных минералов, кроме ранее известных сульфидов железа, мышьяка, свинца, цинка и меди, установлены сульфиды сурьмы, висмута и молибдена, самородный висмут, никель, серебро и медь, теллуриды висмута, сульфосоли кобальта, сульфоантимонид никеля, сульфовисмутит серебра, свинцово-сурьмяно-висмутовые сульфосоли, оксиды олова, титана и ряд других. Выявленная специфика вещественного состава руд указывает на принадлежность данного месторождения к золото-редкометалльной формации.

**Ключевые слова:** золоторудные месторождения, редкие металлы, Сихотэ-Алинь.

### PECULIARITIES OF THE MATERIAL COMPOSITION OF ORES AND ORE-FORMATION BELONGING OF THE ALBAZINSKOE GOLD DEPOSIT, THE SIKHOTE-ALIN GOLDEN PROVINCE

**Abstract:** the paper presents new data on mineral composition and geochemical peculiarities of ores from the Albazinskoe gold-bearing deposit (Khabarovsk region, Far East of Russia). Excepting earlier known ore minerals represented by sulfides of iron, arsenic, lead, zinc and copper, we have established about two tens ore minerals, new for this deposit. Among them there are sulfides of antimony, bismuth and molybdenum, native bismuth, copper, nickel, silver, tellurides of bismuth, cobalt sulphoarsenite, nickel sulphoantimonite, silver sulphobismuthites, lead-antimony-bismuth sulphosalts, oxides of tin, titanium, tungsten and some others. The revealed specificity of material composition of the ores indicates the belonging of this deposit to the gold-rare metallic ore-formational type.

**Keywords:** gold-bearing deposit, rare metal, Sikhote-Alin.

#### Введение

Согласно схеме районирования золотоносных территорий Дальнего Востока России, Албазинское золоторудное месторождение входит в состав Нижнеамурской зоны Сихотэ-Алинской золотоносной провинции [1]. В пределах этой минерагенической зоны известно более десятка крупных и средних месторождений (Многовершинное, Белая гора, Полянка, Агние-Афанасьевское, Дяппе и др.) и более трех десятков рудопроявлений. По минералогическому составу руды месторождений отнесены к золото-кварцевой и золото-сульфидной рудным формациям. Золотая минерализация Нижнеамурской площади пространственно и генетически ассоциируется с дайками и различными по размеру гранит-гранодиоритовыми

массивами, субвулканическими интрузиями среднекислого состава и, в отдельных случаях, с жерловыми фациями, представленными базальт-липаритовыми породами [1, 2]. Считается, что размещение золоторудных месторождений Нижнеамурской зоны подчинено региональной рудно-магматической зональности, сформированной либо вокруг орогенного свода, возникшего над глубинным очагом гранитизации [1, 3], либо вокруг мегаструктуры центрального типа, связанной с мантийным плюмом [4, 5, 6]. Согласно этой модели в центральных частях сводовокупольных структур (или мегаструктуры) развита оловянная и, в меньшей мере, молибденовая, еще реже высокопробная золотая минерализация. В краевых частях и далее, в неметаморфизованных породах ин-

трузивной рамы, локализуется более позднее золото-кварцевое оруденение, а на периферии в терригенных породах формируется низкотемпературная золото-сульфидная минерализация с низкопробным золотом. В вулканогенных и субвулканических образованиях, ассоциирующих с терригенными комплексами, развивается золото-малосульфидное (убогосульфидное) оруденение, иногда с теллуридом.

Цель данной статьи – показать широкое присутствие в рудах Албазинского месторождения минералов халько- и сидерофильных элементов (Te, Bi, Se, Sb, Sn, Hg, Ni, Co, Mo, W), что дает основание классифицировать его, согласно [7, 8, 9, 10, 11], как золото-редкометалльное.

### Методы исследования

Изучение образцов руд осуществлялось в полированных шлифах (аншлифах) с применением традиционных методов минералогии. Идентификация рудных и нерудных минералов выполнялась в оптическом микроскопе в отраженном свете на основе выявления физических, морфологических и оптических свойств минералов, их текстурно-структурных особенностей, а также взаимоотношений как отдельных рудных и жильных минералов, так и их ассоциаций. Элементный состав и содержания элементов в рудных минералах, используемые в дальнейшем для расчета кристаллохимических формул, определялись на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 XVP с энергодисперсионным спектрометром рентгеновского излучения INCA-350 в лаборатории микро- и наностудий ДВГИ ДВО РАН. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 KV, разрешение 1 мкм, аналитик Кемкин И. И. В качестве эталонов использованы следующие стандарты: для S и Fe – FeS<sub>2</sub> 10-июл-2008 03:47 PM, Co – Co 10-июл-2008 03:31 PM, Ni – Ni 1-июн-1999 12:00 AM, As – InAs 1-июн-1999 12:00 AM, Sb – Sb 1-июн-1999 12:00 AM, Se – Se 1-июн-1999 12:00 AM, Pb – PbF<sub>2</sub> 1-июн-1999 12:00 AM, Bi – Bi 1-июн-1999 12:00 AM, Ag – Ag 1-июн-1999 12:00 AM, Te – HgTe 1-июн-1999 12:00 AM, Cu – Cu 1-июн-1999 12:00 AM.

### Геологическая позиция

Албазинское золоторудное месторождение расположено на левобережье приустьевой части р. Амур, в междуречье ее левых притоков Амгунь и Сомня (Хабаровский край). В структурном плане месторождение приурочено к Ульбанскому террейну юрского турбидитового бассейна Монголо-Охотского орогенного пояса (рис. 1). В строении месторождения принимают участие юрские, главным образом, терригенные толщи, прорванные поздне меловыми интрузивными и субвулканическими телами диоритов, гранодиорит- и гранит-порфиров и риодацитов. Рудные тела образованы сопряженными дайками упомянутых выше пород и сложены серицит-карбонат-кварцевыми метасоматитами, брекчированными породами с прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией

и окварцованными песчаниками с вкрапленностью сульфидов. Месторождение отнесено к золото-кварцевой убого-сульфидной формации [1] и характеризуется небольшим количеством рудных минералов, содержание которых в рудах составляет 1–5 %.

Наиболее распространенными рудными минералами месторождения являются пирит и арсенопирит. Второстепенные – марказит, галенит, сфалерит, пирротин и халькопирит, редко встречаются шеелит и блеклые руды. Жильные минералы – кварц, полевые шпаты, карбонаты, хлорит, слюды.

### Рудная минералогия

В ходе минералого-геохимических исследований руд, с целью уточнения минералов-концентраторов золотой минерализации, впервые в составе рудных минералов были установлены разнообразные сульфиды, теллуриды, селениды, сульфосоли и оксиды таких металлов, как висмут, сурьма, молибден, кобальт, никель, свинец, серебро, олово, титан, вольфрам. При этом висмут, никель, серебро и медь встречены и в самородном виде. Краткое описание некоторых из вновь установленных минералов приводится ниже.

*Висмутин* (Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) один из распространенных минералов месторождения, встречается как в виде обособленных выделений, так и в сростании с другими рудными минералами. В виде изометричных включений он образует редкую вкрапленность в аллотриоморфных зернах халькопирита. Висмутин находится в тесных сростаниях с самородным золотом (рис. 2а), содержащим примесь ртути до 4,39 мас. %. Границы сростаний прямолинейные, реже извилистые, что свидетельствует об их близко одновременной кристаллизации. Кроме этого висмутин встречается в сростаниях с гидроксидами железа, где образует вроски вытянутой угловатой формы. При сростании зерен образуются амебообразные (рис. 2б) формы. Размер индивидуальных зерен не превышает 5 мкм, а минеральных скоплений 20 мкм.

Данные по химическому составу висмутина (табл. 1) показывают наличие в нем таких примесей (в мас. %), как Fe – 1,02–5,11, Sb – 2,8–3,31, Se – 1,32–2,47 и Ag – 2,44. Рассчитанные кристаллохимические формулы висмутина соответствуют теоретическим с незначительным дефицитом серы Bi<sub>2,05</sub>S<sub>2,95</sub> – (Bi<sub>1,76</sub>Fe<sub>0,14</sub>Sb<sub>0,13</sub>)<sub>2,03</sub>(S<sub>2,82</sub>Se<sub>0,15</sub>)<sub>2,97</sub>.

*Теллуровисмутит* (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>) присутствует в виде мономинеральных включений размером до 3 мкм в кварце. Форма выделений изометричная, вытянутая, угловатая (рис. 2в). Встречается в сростаниях с сульфовисмутитами свинца, вместе с которым замещает идиоморфные кристаллы арсенопирита, содержащего примесь кобальта (1,78 мас. %) как изнутри, так и по периферии. Результаты химического анализа теллуровисмутита удовлетворительно пересчитываются на формулы Bi<sub>2,05</sub>Te<sub>2,95</sub> и Bi<sub>2,11</sub>Te<sub>2,89</sub>, хотя в целом в минерале отмечается незначительный избыток висмута (табл. 2).

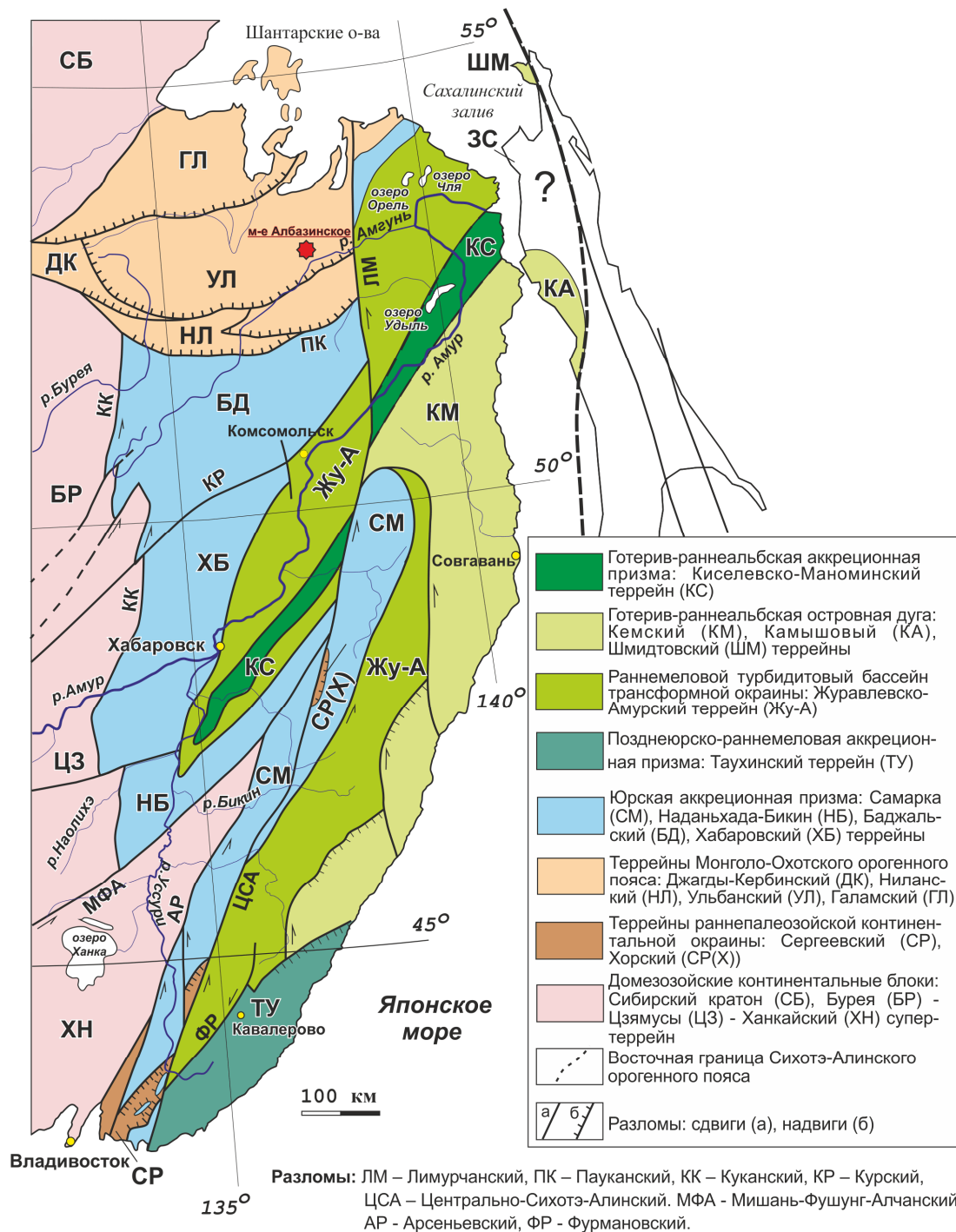


Рис. 1. Тектоническая схема Сихотэ-Алинского региона и прилегающих территорий (по [20]).

*Хедлейит* ( $Bi_7Te_3$ ) так же как и теллурувисмутит, образует в кварце обособленные мономинеральные выделения округлой формы. Размер их до 10 мкм. Пересчет результатов анализа на теоретическую формулу ( $Bi_{7,48}Te_{2,52}$ ) также показывает повышенные количества висмута в минерале.

*Цумоит* ( $BiTe$ ) встречается в виде мелких (до 2 мкм) округлых или слегка вытянутых минеральных выделений (рис. 2в). Отмечается в ассоциации с самородным золотом, теллурувисмутитом и сульфовисму-

титам свинца. Рассчитанная кристаллохимическая формула цумоита соответствует  $Bi_{0,93}Te_{1,07}$ .

*Молибденит* ( $MoS_2$ ) является редким минералом в рудах месторождения и встречается в виде редких тонкочешуйчатых скоплений, а также агрегатов листоватой (розетковидной) формы (рис. 2г). Приурочен он, как правило, к серицит-карбонат-кварцевым прожилкам, в которых образует гнезда размером до 15 мкм. Рассчитанная кристаллохимическая формула молибденита соответствует теоретической (табл. 2).

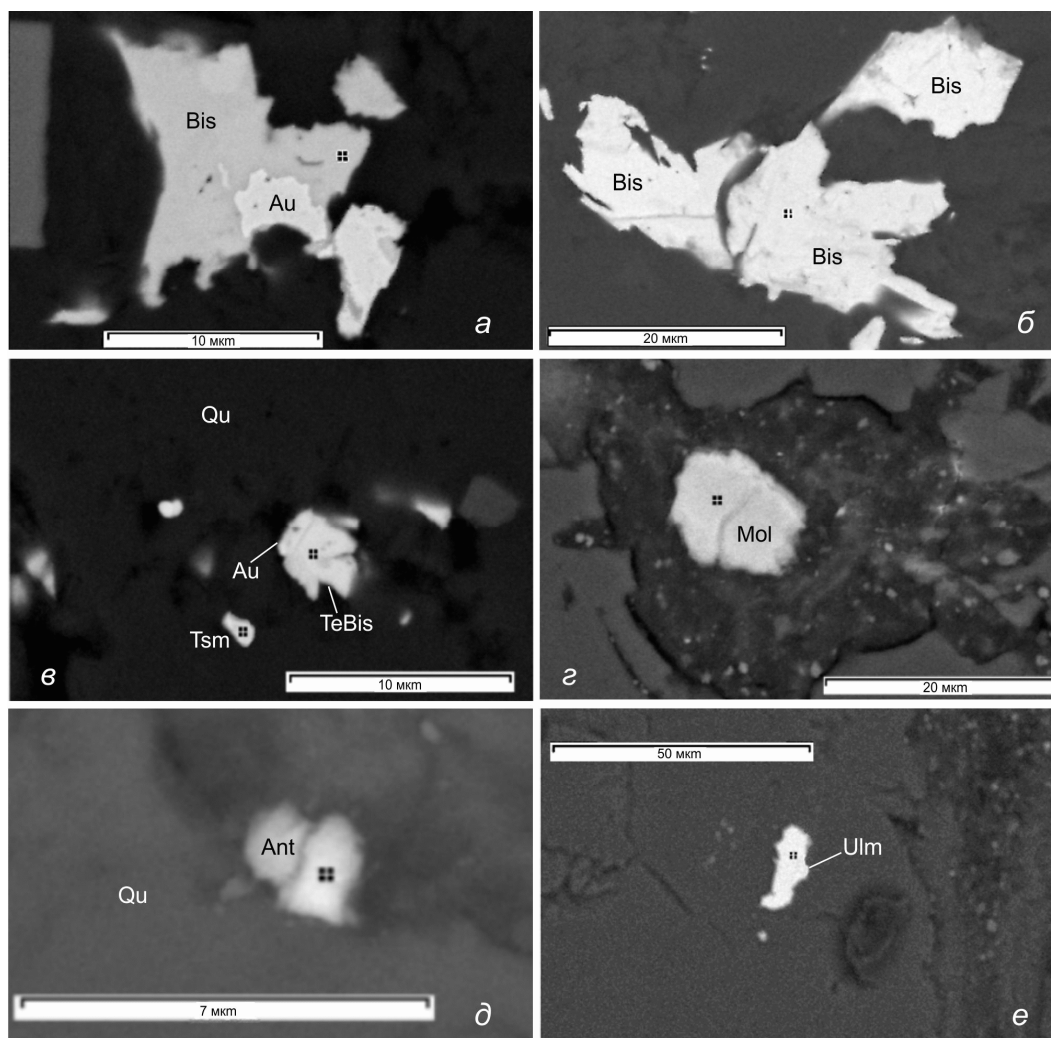


Рис. 2. Морфология зерен и характер сростаний минералов висмута, молибдена, сурьмы и никеля. Bis – висмутин, Au – золото, TeBis – теллуrowисмутит, Tsm – цумоит, Mol – молибденит, Ant – антимонит, Ulm – ульманит, Qu – кварц. Метка внутри минеральных зерен – это точка, в которой определялся химический состав.

Таблица 1

Химический состав минералов висмута, сурьмы, никеля, кобальта, серебра и свинца

Номер пробы	Компоненты (в масс. %)											Минерал
	Ni	Co	Sb	As	S	Fe	Bi	Pb	Ag	Se	Cu	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ан5-46/1			2,80		19,00	1,02	77,18					Висмутин
Ан5-55/1					16,73	2,89	76,22		2,44	1,72		Висмутин
Ан5-57/1					17,01	5,11	76,56			1,32		Висмутин
Ан5-59/1			3,31		18,29	1,54	74,38			2,47		Висмутин
Ан5а-63/1					16,93	0,73	78,88	2,01		1,33		Висмутин
Ан5а-64/1					18,07		81,93					Висмутин
Ан5а-64/2					18,08		79,13			2,79		Висмутин
Ан5а-66/1			3,44		18,55		76,94			1,08		Висмутин
Ан5а-67/1			2,94		18,45		76,79			1,82		Висмутин
Ан5а-73/1					16,55	3,56	75,27	2,11		2,50		Висмутин
Ан5а-74/5					17,26		76,76	2,77		3,21		Висмутин
Ан5а-80/2			1,39		18,07		77,69			1,37	1,47	Висмутин
Ан2с-9/1				5,76	16,09	4,39	45,77		27,00			Матильдит
Ан2с-10/1				6,78	15,50	5,72	46,68		25,32			Матильдит

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ан2-14/1			9,94		16,49	0,72	33,32	35,53			1,64	Кобеллит
Ан2-14/9			9,31		18,66	0,86	31,05	38,22			1,13	Кобеллит
Ан2-14/9а			9,16		17,96	0,94	30,16	39,14			0,98	Кобеллит
Ан2-9/1	25,18	1,05	56,18	2,49	15,06							Ульманит
Ан2-10/1	26,21	1,51	54,64	2,76	14,89							Ульманит
Ан3-4/1	2,70	20,42		42,13	22,56	6,82						Кобальтин
Ан4-25/1	5,73	21,75		43,77	21,18	7,57						Кобальтин
Ан3-16/3	4,44	23,46		46,24	20,00	5,52						Кобальтин
Ан3-26/1	5,48	22,54		46,39	20,10	5,49						Кобальтин
Ан3-29/1	7,28	21,80		47,59	19,85	3,48						Кобальтин
Ан3-29/9			70,98		28,05							Антимонит
Ан5-22/1			71,55		28,45							Антимонит
Ан2а-11/1			31,39		18,80	1,33		48,46				Гетероморфит
Ан2а-12/1			30,94		18,87	1,29		48,87				Гетероморфит
Ан2а-6/3			30,34	2,73	21,01	7,48		38,38				Джемсонит
Ан2а-7/2			33,99		20,98	4,36		40,63				Джемсонит
Ан2а-7/4			33,04		21,02	4,85		41,09				Джемсонит
1Д-32-1/1	99,25					0,75						Самородный Ni
1Д-32-1/2	99,38				0,62							Самородный Ni
1Д-44-1/1									99,07			Самородное Ag
1Д-44-1/2									96,06			Самородное Ag
1Д-45-1/1											97,9	Самородная Cu
1Д-45-1/2											98,2	Самородная Cu
1Д-18-1							91,68					Самородный Bi
Ан5-28-1							93,66					Самородный Bi

Таблица 2

Химический состав минералов висмута и теллура, молибдена и олова

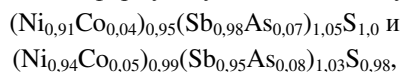
Номер пробы	Компоненты (в масс. %)								Минерал	
	Mo	Sn	Mn	O	S	Fe	Bi	Te		
Ан4-40/1	61,34				38,42					Молибденит
Ан4-41/1	61,83				37,20					Молибденит
Ан5-11/1		76,61		20,52		2,84				Касситерит
Ан5-12/1		74,97		21,86		3,19				Касситерит
Ан5-16/1		75,81		21,23		2,93				Касситерит
Ан4-30/1							53,31	46,38		ТеВисмутин
Ан4-30/9							51,99	46,75		ТеВисмутин
Ан4-28/1							54,48	45,53		ТеВисмутин
Ан4-28/9							51,72	47,22		ТеВисмутин
Ан5-40/1							82,93	17,07		Хедлейит
Ан5-40/9							81,78	18,22		Хедлейит
Ан5-50а/1							58,49	41,51		Цумоит
Ан5-50а/9							46,25	53,75		Цумоит
Ан5-51/9							61,13	38,44		Цумоит

Антимонит ( $Sb_2S_3$ ) так же как и молибденит, встречается в виде обособленных изометричных и пластинчатых выделений в кварце, размер которых изменяется от 1 до 3,5 мкм (рис. 2д). Рассчитанная кристаллохимическая формула антимонита соответ-

ствует теоретической.

Ульманит ( $NiSbS$ ) обнаружен в виде редких, обособленных единичных зерен в метасоматически измененных породах. Срастаний с другими рудными минералами не отмечается. Для него характерны аллотри-

оморфные зерна, которые имеют как изометричную, так и удлиненную форму (рис. 2e). Размер удлиненных зерен составляет 15x8 мкм, изометричных – 3–5 мкм. Границы зерен извилистые, слегка зазубренные. Химический состав ульманнита характеризуется стехиометричностью (табл. 1) и соответствует крайнему ульманнитовому ряду. В его составе всегда отмечается примесь кобальта (до 1,51 мас. %) и мышьяка (до 2,76 мас. %), которые изоморфно замещают никель и сурьму соответственно. Рассчитанные на 3 атома кристаллохимические формулы ульманнита следующие:



что соответствует теоретическому составу NiSbS.

Кобальтин (CoAsS) по сравнению с ульманнитом встречается гораздо чаще. Анализ взаимоотношений его с другими минералами, данные изучения морфологии и размера зерен показали наличие двух генераций этого минерала в рудах месторождения. Кобальтин первой генерации встречается в виде зерен округлой (рис. 3a), реже линзовидной формы в Co-содержащем (до 3 мас. %) пирите и нерудных мине-

ралах. Размер таких зерен не превышает 3 мкм. Он также образует реликтовые каемки (рис. 3б), мощностью до 1 мкм вокруг зерен пирита, содержащего включения галенита, что свидетельствует о более ранней его кристаллизации.

Кобальтин второй генерации (рис. 3в, г), напротив, развивается в виде идиоморфных кристаллов с хорошо выраженными кристаллографическими формами кубического и октаэдрического габитусов. Размеры кристаллов 10–20 мкм. С другими минералами всегда имеет четкие и ровные границы. Часто содержит включения халькопирита и сфалерита, с последним, в большинстве случаев, образует тесные сростания. Развивается также и по пириту.

Изучение химического состава разновременных генераций кобальтина показало, что они различаются также и по содержаниям главных химических элементов Co, As, S, и примесных (Fe и Ni). Химический состав кобальтина первой генерации (пробы Ан3-4/1 и Ан4-25/1, табл. 1) характеризуется повышенными содержаниями железа (до 7,57 мас. %) и невысокими никеля. Кристаллохимическая формула минерала

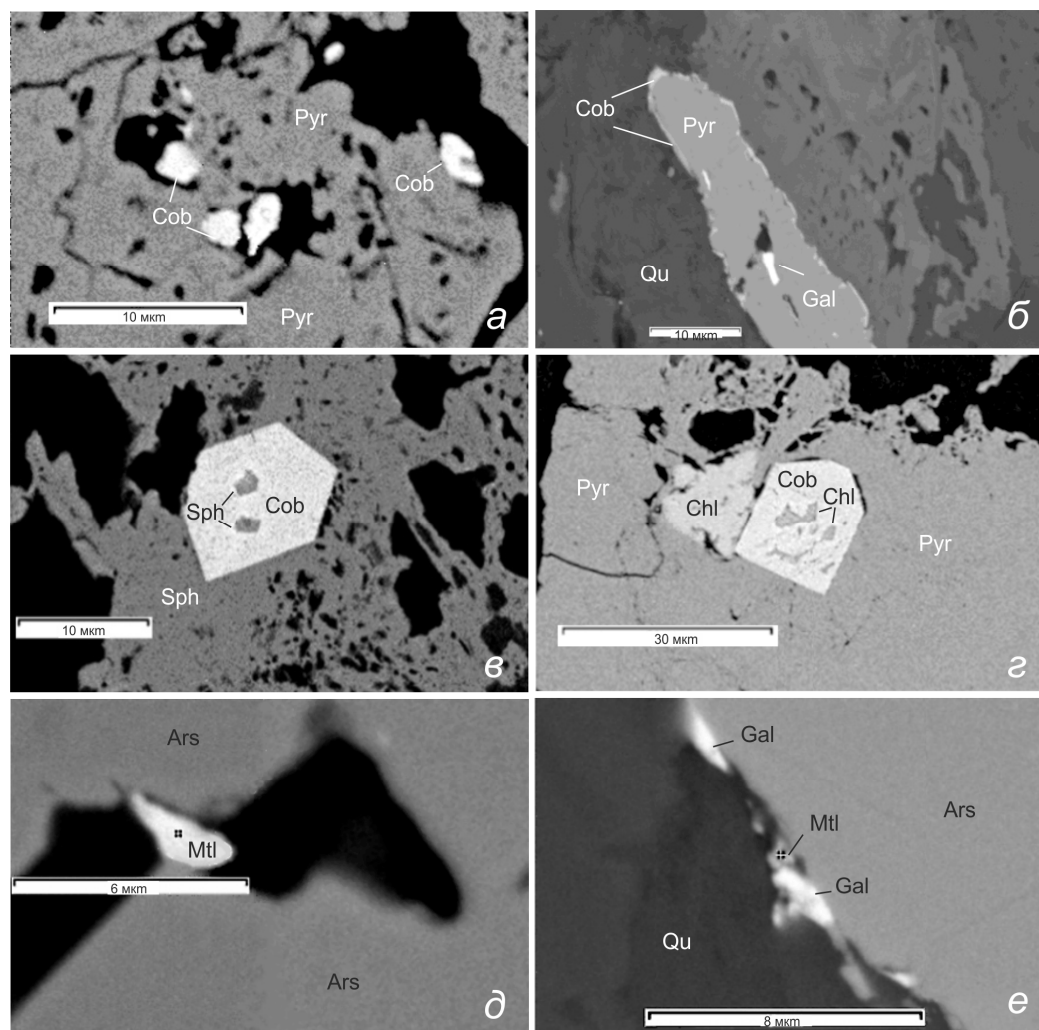
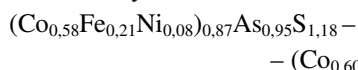


Рис. 3. Морфология зерен и характер сростаний минералов кобальта, серебра и свинца. Cob – кобальтин, Pyr – пирит, Gal – галенит, Qu – кварц, Sph – сфалерит, Chl – халькопирит, Ars – арсенопирит, Mtl – матильдит.

соответствует:



Следует отметить недостаток основных компонентов – кобальта и мышьяка по сравнению с теоретическим составом и избыток серы.

Химический состав кобальтина второй генерации (пробы Ан3-16/3, Ан3-26/1, Ан3-29/1, (табл. 1) включает тот же перечень изоморфно замещающих компонентов, но количество их существенно отличается. Для него характерны высокие концентрации Ni (до 7,28 мас. %), а содержания Fe существенно ниже (до 3,48 мас. %), чем в кобальтине 1. Причиной значительного количества Ni в более позднем кобальтине является, вероятно, высокая его концентрация в минералообразующих растворах. Следует также отметить несколько повышенные содержания главных компонентов Co и As в кобальтине 2 по сравнению с кобальтином 1. В среднем для кобальтина второй генерации отмечается незначительный дефицит элементов в катионной группе, и наоборот, избыток мышьяка и серы.

Рассчитанная кристаллохимическая формула соответствует  $(\text{Co}_{0,61-0,66}\text{Fe}_{0,10-0,16}\text{Ni}_{0,13-0,21})_{0,92-0,95}\text{As}_{1,01-1,05}\text{S}_{1,03-0,04}$ . Соотношение As/S для кобальтина разных генераций также отличается и составляет для первой генерации 1,9–2,1, а для второй – стабильно 2,3. Таким образом, от ранних к поздним генерациям кобальтина падают концентрации серы и железа, но возрастают содержания кобальта, никеля и мышьяка.

В виде примеси кобальт и никель встречаются в арсенопирите и пирите. Содержание кобальта в реликтовых зернах арсенопирита – до 2,34, а в пирите – до 3,51 мас. %. Количество никеля, соответственно, до 1,85 и до 2,32 мас. %.

*Матильдит* ( $\text{AgBiS}_2$ ). Редкий минерал в рудах. Встречается в виде аллотриоморфных выделений размером до 3 мкм в пустотах зерен арсенопирита и образует с ним как ровные, так и коррозионные границы (рис. 3д). Такие взаимоотношения указывают на более позднюю кристаллизацию матильдита. Кроме того, отмечаются тесные срастания матильдита с галенитом по границам зерен арсенопирита (рис. 3е). Размер зерен матильдита не превышает 1–1,5 мкм. Примечательно то, что в ассоциирующем с матильдитом галените отмечается примесь Ag до 6 мас. %, в то время как матильдит лишен свинца, но в нем присутствуют примеси железа и мышьяка (табл. 1). В целом в структуре минерала отмечается дефицит количеств основных минералообразующих элементов, тем не менее, химический состав минерала положительно пересчитывается на формулу  $\text{AgBiS}_2 - (\text{Ag}_{0,88}\text{Fe}_{0,28})_{1,16}(\text{Bi}_{0,79}\text{As}_{0,27})_{1,06}\text{S}_{1,78}$ .

*Кобеллит* ( $\text{Pb}_6\text{FeBi}_4\text{Sb}_2\text{S}_{16}$ ) встречается редко. Наблюдается в виде обособленных (изолированных) изометричных выделений с зазубренными очертаниями в метасоматитах. В срастаниях с другими рудными минералами не обнаружен. В составе минерала отмечается незначительная примесь меди и железа (табл. 1).

Пересчет результатов анализа на 29 атомов соответствует следующей формуле  $(\text{Pb}_{5,15}\text{Cu}_{0,78}\text{Fe}_{0,39})_{6,32}\text{Bi}_{4,78}\text{Sb}_{2,45}\text{S}_{15,45}$ .

*Джемсонит* ( $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ ) в рудах месторождения встречается как в виде округлых зерен, так и вытянутых сростков размером от 2 до 5 мкм. Его тонкие вкрапленники тяготеют к центральным частям арсенопиритовых зерен, где они ассоциируют с галенитом и сурьмяно-висмутовыми сульфосолями свинца. Данные по химическому составу этих минеральных образований показывают (табл. 1), что содержание основных компонентов Pb, Sb и S в минерале варьирует несущественно, а количество Fe выше теоретического (от 4,35 до 7,48 мас. %). Усредненная рассчитанная кристаллохимическая формула соответствует  $\text{Pb}_{4,06}\text{Fe}_{1,61}\text{Sb}_{5,78}\text{S}_{13,55}$ .

*Гетероморфит* ( $\text{Pb}_7\text{Sb}_8\text{S}_{19}$ ) развит преимущественно в сульфидных минералах в виде удлиненно-призматических кристаллов со слегка округлыми гранями и вершинами. Размер зерен варьирует от 2,5 до 5 мкм. В виде обособленных зерен гетероморфит встречается и во вмещающих метасоматических породах. Минерал имеет сравнительно выдержанный химический состав, хотя иногда отмечается примесь железа до 1,33 мас. % (табл. 1). Кристаллохимическая формула минерала соответствует теоретическому составу  $(\text{Pb}_{6,98}\text{Fe}_{0,74})_{7,72}\text{Sb}_{8,03}\text{S}_{18,25}$ . Характер взаимоотношений упомянутых сульфидов свинца и сурьмяно-висмутовых сульфосолей с другими рудными минералами свидетельствует об их более позднем отложении по отношению к массе доминирующих сульфидов.

*Касситерит* ( $\text{SnO}_2$ ) обнаружен в виде обломков преимущественно призматической и клиновидной формы, реже изометричной в пирите (рис. 4а). Размер таких обломков составляет 3–6 мкм. По данным химического анализа отмечается примесь железа (табл. 2).

*Самородный никель* (Ni) встречается в пустотах в кварце и в виде пластинчатых и изометричных зерен. Размер пластинок составляет 0,7–3,0 мкм, изометричных зерен – 18 мкм. Срастаний с рудными минералами не образует. Границы зерен рваные, зазубренные. Отдельные зерна самородного никеля характеризуются зональным строением, что фиксируется наличием кайм более светлого оттенка по периферии зерен (рис. 4б). Результаты изучения химического состава показали в составе этих кайм присутствие серы до 0,62 мас. % и отсутствие железа (табл. 1), в то время как темные (центральные) участки, наоборот, содержат до 0,75 мас. % железа, а сера в них отсутствует. Количество никеля в них составляет 99,38 и 99,25 мас. %, соответственно.

*Самородное серебро* (Ag) наблюдается в виде изолированных микровключений в кварце. Оно образует зерна дуговидно-изогнутой формы (рис. 4в) размером до 12 мкм. Содержание серебра в пределах разных зерен изменяется от 96,06 до 99,07 мас. % (табл. 1).

*Самородная медь* (Cu) встречается в зернах кальцита в виде обособленных вкрапленников близ изометричной формы размером до 10 мкм (рис. 4г).



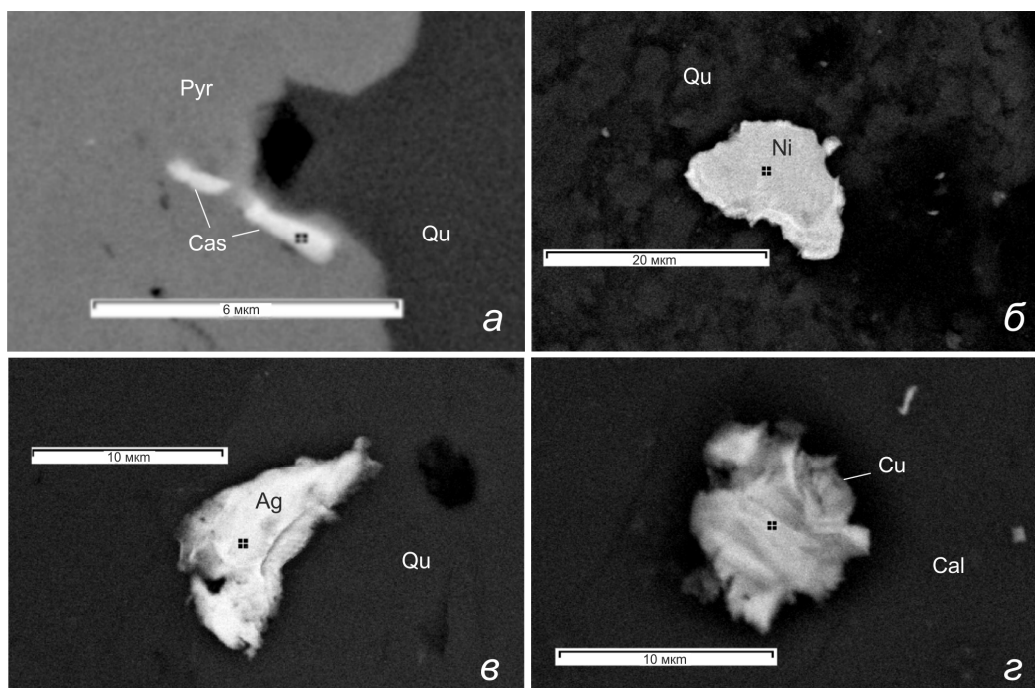


Рис. 4. Морфология зерен и характер сростаний минералов олова и самородных металлов. Cas – касситерит, Pyr – пирит, Qu – кварц, Ni – самородный никель, Ag – самородное серебро, Cu – самородная медь, Cal – кальцит.

Вследствие незначительной твердости и ковкости поверхность изобилует разнонаправленными бороздами, царапинами и вмятинами. Данные химического анализа показали (табл. 1), что самородная медь имеет практически чистый состав (содержание Cu – 97,90 мас. %). По периферии выделений самородной меди развивается оксид меди – куприт (CuO).

Самородный висмут (Bi) образует микроскопические (до 2,5 мкм) идиоморфные кристаллы, а также изометричные зерна с идиоморфными очертаниями отдельных граней. Наиболее характерен для серицит-карбонат-кварцевых метасоматитов.

#### Обсуждение результатов

Выявленные особенности минерального состава руд Албазинского месторождения и геохимическая специфика рудных минералов указывают на принадлежность его к золото-редкометалльной рудной формации. Ранее месторождения данной формационной принадлежности не были описаны в составе Нижне-амурской минерагенической зоны, а вся золоторудная минерализация бассейна нижнего течения р. Амур относилась либо к золото-кварцевому, либо золото-сульфидному формационным типам [1].

Золото-редкометалльные месторождения широко распространены и хорошо изучены [7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 и ссылки в них], что позволило выделить для них ряд индикаторных признаков. Помимо минералого-геохимической индивидуальности руд, показательным является также форма проявления золотой минерализации. На Албазинском месторождении, равно как и на других месторождениях этого типа, золото присутствует в виде тонкодисперсной примеси и субмикроскопической формы в арсенипирите,

реже в других сульфидах, а также в висмутовых и теллурических минералах. Другим идентификационным признаком золото-редкометалльных месторождений являются структурно-морфологические типы рудных тел. Как правило, это простые или ветвящиеся жилы (серия сближенных жил), сопряженных с дайками и субвулканическими телами гранодиорит-гранитов и сложенные серицит-карбонат-кварцевыми метасоматитами и/или тектонизированные метасоматические зоны (минерализованные зоны дробления) с прожилково-вкрапленной минерализацией, наложенные на гранитоидные дайки и субвулканические тела и вмещающие их терригенные породы. Обычно сочетание зон дробления и метасоматических жильных тел.

На юге Дальнего Востока России (Приморский и Хабаровский края), в отличие от Северо-Востока России, доля золоторудных месторождений, отнесенных к золото-редкометалльной формации пока еще не велика (возможно, ввиду недостаточной изученности вещественно-минералогического состава руд). Среди них можно отметить месторождения Болотистое, Малиновское, Криничное и некоторые другие [1, 15, 16, 17]. Важной особенностью этих месторождений является то, что пространственно и генетически они связаны с позднемеловыми (поздний мел)-палеогеновыми гранитоидами [15, 16, 17], петро-геохимические характеристики которых соответствуют А-типу [18, 19].

Учитывая вещественный состав рудных минералов золото-редкометалльных месторождений, их руды можно считать комплексными и рассматривать как дополнительные источники цветных и редких металлов.



### Заклучение

В ходе минералого-геохимического изучения руд Албазинского месторождения помимо традиционных сульфидов железа, мышьяка, меди, свинца и цинка, содержащих тонкодисперсную вкрапленность самородного золота, был выявлен широкий круг минералов редкометаллических элементов, многие из которых также находятся в сростании с микроскопическими выделениями золота.

Присутствие в рудах месторождения минералов халько- и сидерофильных элементов (Te, Bi, Se, Sb, Sn, Hg, Ni, Co, Mo, W) дает основание классифицировать его как золото-редкометаллическое. Ранее месторождения данной формационной принадлежности не были описаны в составе Нижнеамурской минерагенической зоны, а вся золоторудная минерализация бассейна нижнего течения р. Амур относилась либо к золото-кварцевому, либо золото-сульфидному формационным типам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеенко, В. Г. Золоторудное месторождение Востока Азии. Владивосток / В. Г. Моисеенко, Л. В. Эйриш – Дальнаука, 1996. – 353 с.
2. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение / Э. П. Изох [и др.] // М.: Наука, 1967. – 384 с.
3. Звездов, В. С. Рудно-магматические системы вулканоплутонических поясов Востока России / В. С. Звездов, О. В. Мишина // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 48–59.
4. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Под ред. А. Н. Диденко, Ю. Ф. Малышев, Б. Г. Саксин. – Владивосток: Дальнаука. – 2010. – 332 с.
5. Моисеенко, В. Г. Плюмовый вулканизм и минерагения Амурской мегаструктуры / В. Г. Моисеенко, В. Г. Сахно - Благовещенск-на-Амуре: АмурКНИИ, 2000. – 160 с.
6. Юшманов, Ю. П. Закономерности размещения золотого оруденения на Нижнем Амуре / Ю. П. Юшманов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2012. – №2 (11). – С. 93–99.
7. Волков, А. В. О плутоногенных месторождениях тонкодисперсного золота Северо-Востока России / А. В. Волков, Н. Е. Савва, А. А. Сидоров // Доклады Академии Наук. – 2007. – Т. 412. – № 1. – С. 76–80.
8. Гамянин, Г. Н. Золото-редкометаллические месторождения Северо-Востока России / Г. Н. Гамянин, В. И. Гончаров, Н. А. Горячев // Тихоокеанская геология. – 1998. – Т. 17. – № 3. – С. 94–103.

9. Горячев, Н. А. Золото-редкометаллическо-кварцевые месторождения / Н. А. Горячев // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука. – 2006. – Кн. 2. – С. 668–672.
10. Осипов, Л. П. Особенности и перспективы золото-редкометаллической формации / Л. П. Осипов, А. А. Сидоров // Новые данные по геологии Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ. – 1973. – Вып. 55. – С. 163–173.
11. Шило, Н. А. Проблемы металлогении золота и перспективы золоторудных месторождений Северо-Востока СССР / Н. А. Шило, А. А. Сидоров, С. Г. Желнин // Актуальные проблемы геологии золота на Северо-Востоке СССР. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР. – 1972. – Вып. 44. – С. 27–34.
12. Goryachev, N. A. Late Mesozoic granitoid magmatism and related gold and tin mineralization of North-East Asia / N. A. Goryachev, V. I. Goncharov // Resource Geology Special Issue, Tokyo. – 1995. – no 18. – P. 111–122.
13. Lang, J. R. An exploration model for intrusion-related gold systems / J. R. Lang, T. Baker, C. J. R. Hart, J. K. Mortensen // Society of Economic Geologists Newsletter. – 2000. – V. 40. – no 1. – P. 6–15.
14. Newberry, R. J. Plutonic-hosted gold ores in Alaska: igneous vs. metamorphic origins / R. J. Newberry, D. McCoy, D. A. Brew // Resource Geology Special Issue, Tokyo. – 1995. – no 18. – P. 61–109.
15. Малиновское месторождение – новый тип золоторудной минерализации в Приморском крае, Россия (геология, минералогия, генезис) / В. И. Гвоздев [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2016. – Т. 35. – № 1. – С. 37–53.
16. Вещественный состав и геохимические особенности руд Малиновского золоторудного месторождения (Приморский край, Россия) / К. Н. Доброшевский [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36. – № 5. – С. 59–74.
17. Лотина, А. А. Золото-висмут-теллуровая минерализация участка Болотистого (Северо-Западный Сихотэ-Алинь) / А. А. Лотина // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30. – № 1. – С. 97–107.
18. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2 кн. / Под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 572 с.
23. Cretaceous and Paleogene granitoid suites of the Sikhote-Alin area (Far East Russia): Geochemistry and tectonic implications / A. V. Grebennikov [et al.] // Lithos. – 2016. – V. 261. – P. 250–261.
20. Kemkin, I. V. Accretionary prisms of the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Composition, structure and significance for reconstruction of the geodynamic evolution of the eastern Asian margin / I. V. Kemkin, A. I. Khanchuk, R. A. Kemkina // Journal of Geodynamics. – 2016. – V. 102. – P. 202–230.

<sup>1</sup> ДВФУ, г. Владивосток

<sup>2</sup> ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток

Кемкина Раиса Анатольевна<sup>1</sup> – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы ДВФУ.  
E-mail: rkemkina@yandex.ru; Тел.: +7 (423) 231-64-59

Кемкин Игорь Владимирович<sup>1,2</sup>, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы ДВФУ, зав. лаб. ДВГИ ДВО РАН  
E-mail: kemkin@fegi.ru

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>2</sup> Far Eastern Geological Institute of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (FEGI FEB RAS), Vladivostok

Kemkina R. A.<sup>1</sup>, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Geology, Geophysics and Geoecology Department, School of Engineering FEFU  
E-mail: rkemkina@yandex.ru; Tel.: +7 (423) 231-64-59

Kemkin I. V.<sup>1,2</sup>, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Geology, Geophysics and Geoecology Department, School of Engineering FEFU, Head of the Laboratory of the FEGI FEB RAS  
E-mail: kemkin@fegi.ru