

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
РУД МАЛИНОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)**

**К.Н. Доброшевский<sup>1</sup>, В.И. Гвоздев<sup>2</sup>, С.А. Шлыков<sup>3</sup>, В.А. Степанов<sup>4</sup>, Д.Г. Федосеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЗАО «Приморзолото», ул. Верхнепортовая 46, оф. 308 г. Владивосток, 690003

<sup>2</sup>ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: [gvozdev@fegi.ru](mailto:gvozdev@fegi.ru)

<sup>3</sup>МИФ «Экоцентр», Океанский пр-т 29/31, 204 г. Владивосток, 690091

<sup>4</sup>ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Северо-Восточное шоссе 30, а/я 56, г. Петропавловск-Камчатский, 683002

Поступила в редакцию 30 декабря 2015 г.

По материалам горных выработок (канав, расчисток и буровых скважин) изучен минеральный состав и геохимические особенности руд золоторудного месторождения Малиновского. Установлено, что рудно-магматическая система месторождения сформировалась в несколько стадий минерализации, характеризующих два разных по возрасту магматических этапа. По комплексу признаков (геолого-структурной позиции месторождения, вещественному составу и геохимическим характеристикам руд) месторождение относится к золото-турмалиновому типу минерализации, который пространственно и генетически ассоциирует с «редкометалльным» гранитоидным магматизмом и ранее не был известен в Приморском крае России. Изучение вещественного состава и геохимических особенностей руд позволило установить корреляционные связи между элементами, причины их возникновения и по аналогии с другими золоторудными объектами Дальневосточного региона разработать минералого-геохимическую модель месторождения (модельный ряд элементов вертикальной зональности: Be-Sn-Cr-Ba-Au-Cu-Mo-Pb-V-Ti-Co-W-Ag-Bi-Ni-Mn-Sr-Zn-Sb-As), позволяющую оценивать уровень эрозионного среза рудных тел и давать оценку их перспективности. Установлено, что наиболее продуктивной на месторождении является золото-висмутовая (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co), менее – золото-вольфрамовая (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) геохимические ассоциации.

**Ключевые слова:** месторождения золота, минералогия и геохимия руд, турмалиновый тип минерализации, Приморский край, Дальний Восток России.

**ВВЕДЕНИЕ**

Интенсивная отработка россыпных месторождений золота привела к истощению их запасов. В этой связи в последние два десятилетия промышленность начала переориентировку на ввод в эксплуатацию коренных месторождений, из которых особый интерес для исследователей имеют золото-кварцевые или золото-сульфидно-кварцевые месторождения [18, 23] золото-турмалинового типа, которые рядом исследователей рассматриваются как золото-редкометалльные месторождения [5]. Основной особенностью этих месторождений является то, что они пространственно и генетически связаны с магмати-

ческими комплексами, имеющими редкометалльную (Sn, W и др.) металлогеническую специализацию [3, 6, 7, 12, 20, 23 и др.], и в структурном плане контролируют зоны глубинных разломов, часто по границам плит. К числу таких объектов относятся крупные по запасам (более 10 тонн Au) месторождения Дальневосточного региона (Дарасун, Кировское, Ключевское) и Северо-Востока России [3, 4, 7, 17, 26]. За рубежом – это уникальное месторождение Пого на Аляске [5, 28], которое (по аналогии с выделяемыми в провинции Тинтин – территория центральной Аляски и севера Канады, штат Юкон) соответствует классу месторождений золота «IRGS», образовавшихся в интрузивной системе [27, 29]. Классифика-

ционные признаки таких месторождений детально рассмотрены в работе [5].

В плане золотоносности Приморский край не является исключением. Кроме вольфрамовых, оловянных и полиметаллических месторождений, где золото и серебро являются сопутствующими компонентами руд большинства месторождений, здесь известны, в разной степени изучены и обрабатывались (преимущественно россыпи) месторождения золота: Пионер, Приисковое (Благодатненское рудное поле), Аскольд, Криничное, Салют, Пасечное и многие другие. По существующим классификациям [12, 17, 18, 21, 23] эти месторождения относятся к золото-кварцевому и золото-сульфидно-кварцевому формационным типам, а по запасам – к разряду небольших.

Проведение ООО «Малиновская золоторудная компания» поисково-оценочных работ на площади рудного поля Малиновского месторождения позволило в его пределах выявить зону Меридиональную с золото-турмалиновым типом минерализации, что принципиально меняет перспективы этого объекта и требует всестороннего его изучения. Первоначально Малиновское месторождение было отнесено к Сипорфировому типу. Обоснованием этого послужила локализация рудных тел зоны Меридиональной среди габбромонцодиоритов Водораздельного интрузивного массива [24]. В то же время сами магматические породы не являются рудоносными, а золото-сульфидное оруденение носит преимущественно «жильный» характер. В целом, по комплексу признаков (геологоструктурной позиции, минеральному составу руды и др.) изученное Малиновское месторождение имеет большое сходство с месторождениями, ассоциирующимися с гранитоидным магматизмом, продуцирующим золото-редкометалльный тип оруденения. В этой связи в задачу исследований было поставлено провести анализ минералогического и геохимического состава руд, изучить и уточнить стадийность процесса минералообразования; определить природу геохимических полей с целью разработки дополнительных поисковых критериев, позволяющих оценивать перспективы золотоносности рудных тел и их эрозионный срез.

#### КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Район Малиновского золоторудного месторождения (рис. 1, врезка) расположен в центральной части Приморского края (Дальнереченский район) в 60 км на восток от п. Ариадное. Согласно схеме тектонического районирования юга Дальнего Востока России и прилегающих территорий, район месторождения находится в Журавлевско-Амурском тер-

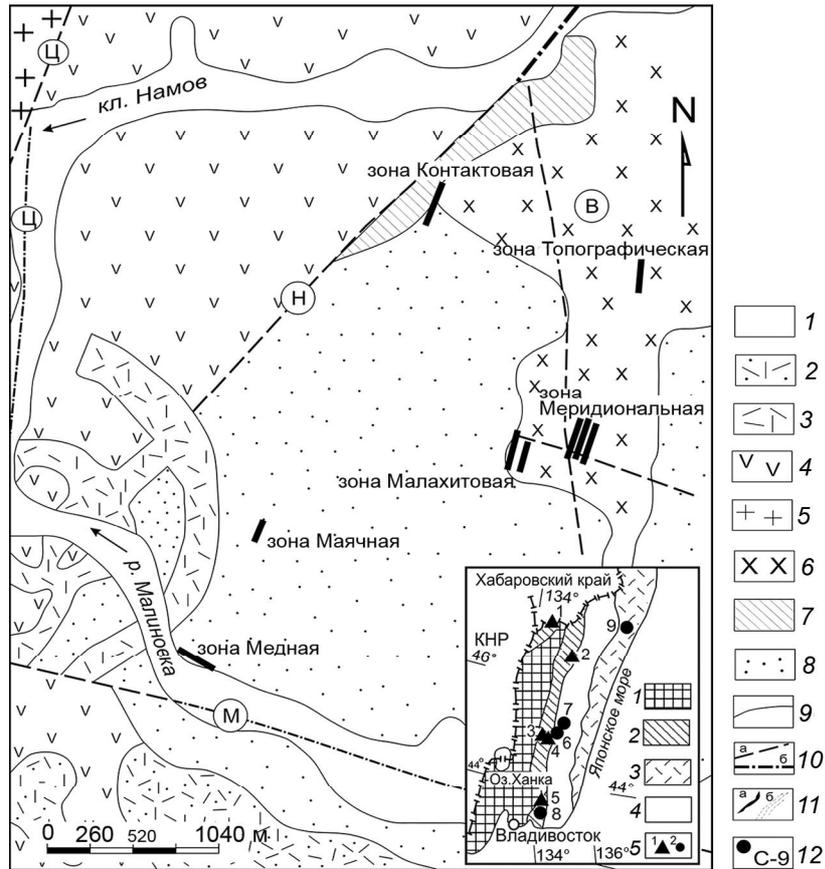
рейне, примыкающем с востока к Самаркинскому по Центрально-Сихотэ-Алинскому разлому [11, 25]. Журавлевско-Амурский террейн сложен осадками приконтинентального синсдвигового турбидитового бассейна, представлен несколькими тектоно-стратиграфическими комплексами (снизу вверх): тудовакским, усть-журавлевским, удековским, себучарским, окраинско-сергеевским и ариаднинским [10].

На площади (более 30 км<sup>2</sup> в верхнем течении реки Малиновки) Малиновского месторождения преобладают вулканогенно-терригенные породы нижнего мела усть-журавлевского комплекса (рис. 1). В нем осадочные породы представлены журавлевской (алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники) и ключевской (песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты, их переслаивание, линзы гравелитов) свитами, а вулканогенные породы – дорофеевской (андезиты, андезибазальты и их туфы с прослоями туфоалевролитов и туфов риолитов) и богопольской (туфы, туфолавы, туфопесчаники, туффиты, игнимбриты риолитов, реже дациты и лавы риолитов) свит. Все осадочные породы журавлевской и ключевской свит прорваны многофазными гранитоидами татибинского позднемелового комплекса, которые, в свою очередь, перекрываются позднемеловыми–палеогеновыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами дорофеевской и богопольской свит [10].

Первая фаза татибинского комплекса представлена Водораздельным интрузивом раннемелового возраста (106 млн лет; [19]), образующего интрузивно-купольную структуру, полого погружающуюся в южном, юго-восточном направлении [22]. Интрузив вытянут в северо-восточном направлении на 17 км при ширине до 3.5 км и сложен габбромонцонитами, габбромонцодиоритами, монцонитами.

Вторая фаза татибинского комплекса наблюдалась только в северо-западной части площади месторождения (рис. 1). Интрузив имеет тектонические контакты и сложен крупнозернистыми биотитовыми гранитами, возраст которых, по данным А.А. Аленичевой с соавторами (сопряженная территория; U-Pb метод изотопного датирования), составляет 92.5–104 млн лет [1]. Эти гранитоиды относятся к известково-щелочному ряду и широко распространены в зоне влияния Центрально-Сихотэ-Алинского разлома, а по петрохимическим характеристикам соответствуют I-S-типу ильменитовой серии.

Породы татибинского комплекса прорываются дайками (дорофеевского и богопольского комплексов) трахибазальтов, трахиандезибазальтов, риолитов и риодацитов предположительно позднемелового–палеогенового возраста. Дайки выполняют крутона-



**Рис. 1.** Геологическая схема месторождения Малиновского.

1 – четвертичные отложения (суглинки, супеси, гальки); 2 – богопольская свита ( $K_2-P_1$  bg): туфы, туфолавы, туфопесчаники, туффи-ты, игнимбриты риолитов, реже дациты и лавы риолитов; 3 – богопольский комплекс (лп  $K_2-P_1$  bg): дайки риолитов, риодацитов; маастрихт-датский вулcano-плутонический комплекс (лп  $K_2-P_1$  md): риолиты; 4 – дорофеевская свита, верхняя подсвита ( $K_2 dr_2$ ): андезиты, андезибазальты и их туфы с прослоями туфоалевролитов и туфов риолитов; маастрихтский вулканический комплекс: дайки андезитов, андезибазальтов ( $\alpha K_2$ ); 5–6 – татибинский комплекс (5 – вторая фаза: граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов –  $\gamma\text{-el}\gamma K_1 t_2$ , 6 – первая фаза: монцоидиориты, монцогабброидиориты –  $\mu K_1 t_1$ ); 7 – ключевская свита: песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты их переслаивание, линзы гравелитов ( $K_1 kl$ ); 8 – журавлевская свита: алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники ( $K_1 zr$ ); 9 – геологические границы; 10 – разрывные нарушения: а – установленные, б – перекрытые аллювием.

В кружках буквами обозначены: Ц – Центральный Сихотэ-Алинский разлом; Н – Намовский разлом; М – Малиновский разлом; В – Водораздельный массив габбромонцоидиоритов. Геологическая схема составлена по материалам геологической карты L-53-XXXVII масштаба 1:200 000 (Белянский Г.С. и др., 2013 г.).

На врезке – фрагмент схемы террейнов Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий, по В.В. Голозубову [15] и А.И. Ханчуку с соавторами [22]).

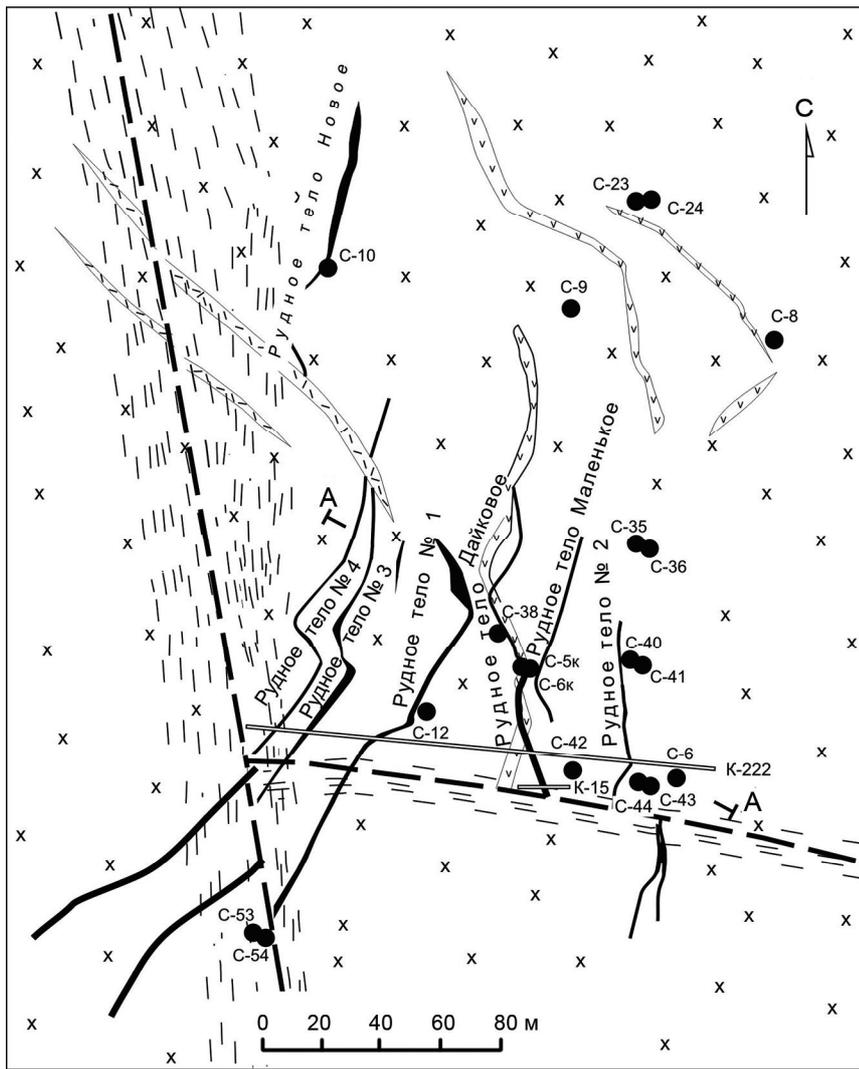
1 – Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 – Самаркинская аккреционная призма; 3 – Прибрежный вулканический пояс; 4 – осадки турбидитового бассейна и прилегающих к нему островных дуг (Журавлевский и Таухинский террейны); 5 – скарновые вольфрамовые месторождения (а) (1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Беневоское), гидротермальные золоторудные месторождения (б) (6 – Малиновское, 7 – Глухое, 8 – Криничное, 9 – Болотистое).

клонные, извилистые, разноориентированные трещины мощностью 1–6 м и протяженностью до 250 м.

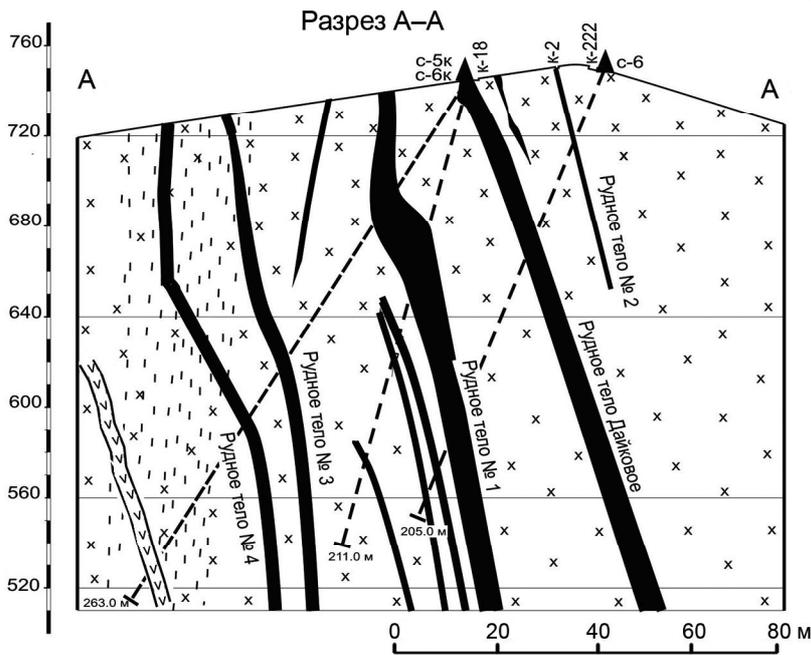
Формирование структуры месторождения непосредственно связано с Центрально-Сихотэ-Алинской сдвиговой системой [22]. Следствием левостороннего движения блоков являются серии сосдвиговых трещин растяжения, которые, вероятно, являлись и рудо-подводящими каналами, а смещения, соответствующие правому сдвигу, наблюдаемые на рис. 2 – более

поздние, наложенные. Золоторудная минерализация локализована как в сводовой, так и в периферийной частях интрузивного купольного поднятия (рис. 1).

По геохимическим и геофизическим данным на месторождении установлено несколько рудных зон (рис. 1). Наиболее перспективна разведанная зона Меридиональная (рис. 2). Здесь результаты литохимического опробования вторичных ореолов рассеяния (по делювию; рис. 3) показали несколько комплексных



- 1 [Symbol: Dashed lines]
- 2 [Symbol: V-shaped patterns]
- 3 [Symbol: X-shaped patterns]
- 4 [Symbol: Parallel lines]
- 5 [Symbol: Curved lines]
- 6 [Symbol: Circle with dot]



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта и разрез А-А по линии скважин 5 к и 6 к рудной зоны Меридиональной.  
 1 – дайки риолитов богопольского комплекса; 2 – андезиты, андезибазальты дорощеевского комплекса; 3 – монцидиориты, монцогабброидиориты татибинского комплекса; 4 – разрывные нарушения; 5 – рудные тела; 6 – устье скважин и их номер.

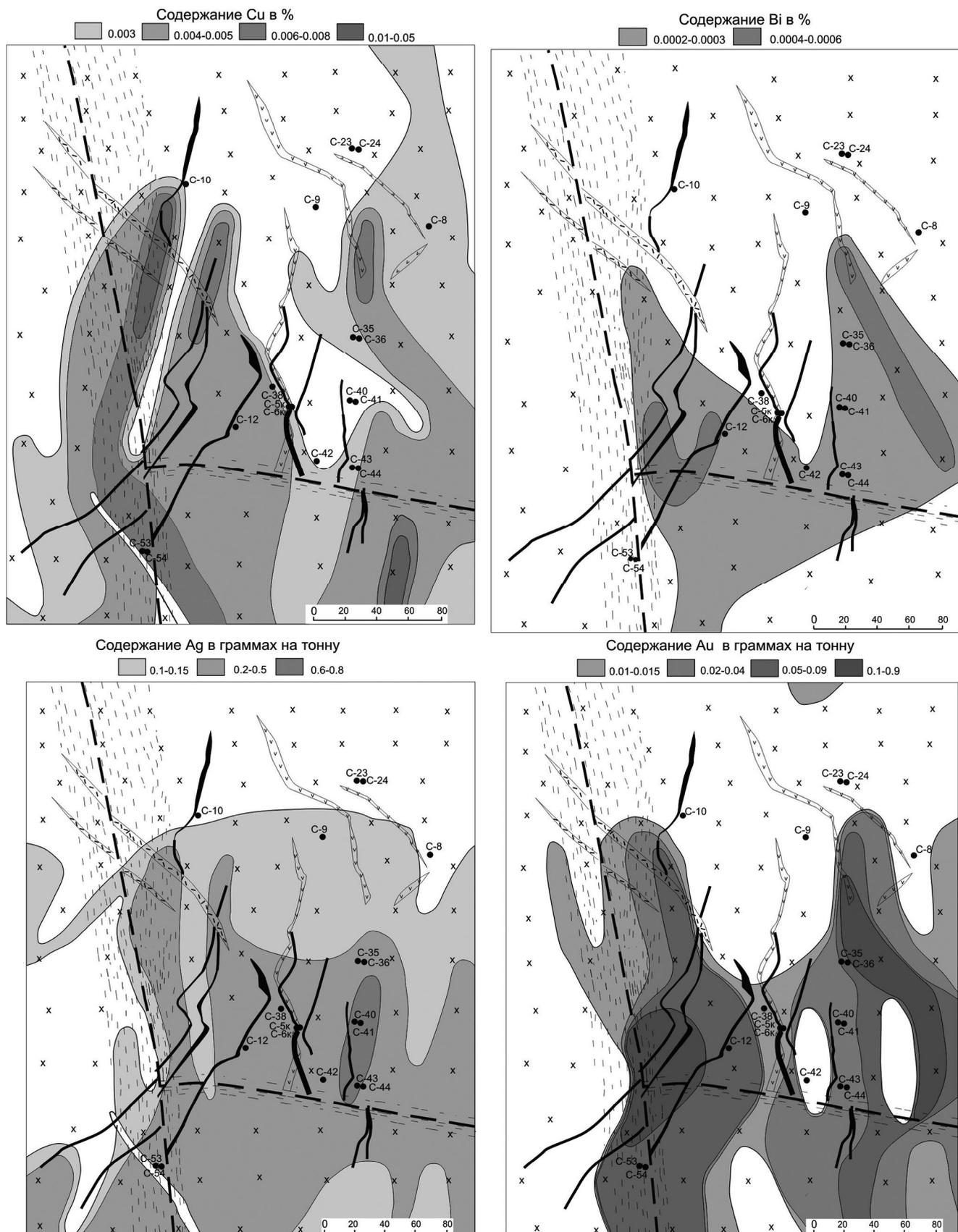


Рис. 3. Геохимические ореолы Cu, Bi, Ag, Au рудной зоны Меридиональной. Условные обозначения как на рис. 2.

Таблица 1. Минеральный состав руд зоны Меридиональной месторождения Малиновского, %.

Место отбора пробы	№ Пробы, образца	% Сульф. (проба)	% Сульф (обр.)	Ср	Ро	Ру	Аrs	Sf	Редк. Вi, Au	Примечание
РТ-1	К-222(1)	15-20	35-45	0.1	Ед.	-	35-45	Ед.	Ед.	Fe-окис. – 5 %; блеклая руда, Ga
	К-222(2)	15-20	15-25	0.1	Ед.	Ед.	15-25	Ед.	Ед.	Fe-окис. – 5 %; Мо, минер.-Ti,
	К-5-15(1)	5-7	15-20	1	Ед.	Ед.	15-20	Ед.	Ед.	Fe-окис. – 5 %; минер.-Ti, шеелит, апатит-?
	К-5-15(2)	5-7	50-55	0.1	-	35-45	5-10	Ед.	Ед.	Fe-окис. – 15 %; ковеллин, скородит-?
	К-5-15(3)	5-7	40-50	0.1	-	35-45	5-10	Ед.	Ед.	Fe-окис. – 30 %; ковеллин, скородит-?
	Ст-1(1)	15-25	10-15	4-6	-	Ед.	7-10	Ед.	Ед.	Аrs-руды; ковеллин, Fe-окис. – 15 %
РТ-2	СТ-1(2)	15-25	40-45	7-8	-	1-2	15-20	0.1	Ед.	Аrs-руды; ковеллин, Fe-окис. – 5 %
	СТ-1(3)	15-25	15-20	3-5	-	10-15	1-3	Ед.	Ед.	Аrs-Ру руды; ковеллин, Fe-окис. – 5 %
	К-2-2	3-5	3-5	2-3	-	1-2	-	Ед.	Ед.	Ковеллин, Fe-окис. – 35 %
Дайковое	Скв-8-52(1)	10-15	12-15	14	0.1	1	0.5	0.2	Ед.	Марказит; минер.-Ti, шеелит
	Скв-8-52(2)	10-15	10-12	9	-	2	Ед.	0.5	-	Марказит; минер.-Ti
	СК-15-2(1)	30-40	30-40	0.1	Ед.	Ед.	30-40	Ед.	Ед.	Аrs-руды; шеелит
	СК-15-2(2)	30-40	30-40	0.1	Ед.	Ед.	30-40	Ед.	Ед.	Аrs-руды
	СК-15-4(1)	30-40	14-15	5-7	Ед.	Ед.	5-7	Ед.	Ед.	Аrs-руды, магнетит, минер.-Ti, Fe-окис. – 5 %, скородит-?, ковеллин
РТ-3	СК-15-4(2)	30-40	14-15	5-6	Ед.	Ед.	6-7	Ед.	Ед.	Аrs-руды, магнетит, минер.-Ti, Fe-окис. – 5 %, скородит-?, ковеллин, шеелит
	М-4	2-3 (30)	3-5	-	-	1-2	2-3	-	-	минер.-Ti-?, магнетит-?, Fe-окис. – 1 %
Маленькое	Скв.35-195	85-90	85-90	30-35	45-55	1	-	0.2	1	Магнетит, паракастит, гудмундит, брейтгауптит

Примечание. Принятые индексы минералов: Ср – халькопирит, Ро – пирротин, Аrs – арсенопирит, Sf – сфалерит, Ga – галенит, Ру – пирит, Вi – самородный висмут, Au – са-мородное золото, Редк. – редкие минералы Pb, Bi, Sb и др., Мо – молибденит.

аномалий по Cu, Bi, Au и Ag, которые на поверхности были вскрыты канавами. Рудные тела представляют собой зоны повышенной трещиноватости, образуя линейные штокверки, состоящие из одной-двух жил сульфидно-кварцевого или сульфидного состава. Вмещающие породы содержат прожилково-вкрапленную минерализацию. Протяженность рудных тел составляет 100–250 м при мощности от 1 до 20 м. По вертикали некоторые из рудных тел прослежены на глубину более 160 м (рис. 2, разрез). Содержание полезных компонентов в рудах меняется в широком диапазоне: от 0.1 до 89.7 г/т Au, от 1.8 до 160.6 г/т Ag, от 0.024 до 10.08 % Cu. Предварительные прогнозные ресурсы зоны Меридиональной составляют более 20 т золота, а месторождения: 42 т – Au, 60 т – Ag, 80 т – Cu [2]. Следует обратить внимание, что в некоторых пробах установлены высокие содержания  $WO_3$  (до 1.64 %) и висмута (до 1.04 %). Минеральный состав типовых образцов разных рудных тел зоны Меридиональной приведен в таблице 1.

#### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ

Вещественный состав руд и типоморфные особенности минералов ранее детально изучены на примере зоны Меридиональной [9]. Сопоставляя эти результаты с результатами изучения минералогии других, еще слабо изученных рудных зон (Медной, Контактной и др.), можно по аналогии выделить три таких же основных минеральных типа прожилков, продуктивных на золотую минерализацию: *сульфидно-кварцевые, сульфидно-карбонатно-кварцевые и сульфидные*, которые отражают разные стадии минералообразования. Их особенность – постоянное присутствие в околожильных метасоматитах турмалина; отсутствие пересечений между выделенными прожилками разного состава. В то же время все прожилки пересекаются прожилками кварц-карбонатного состава (иногда с пиритом). Кроме этого, по периферии зоны Меридиональной встречаются флюорит-карбонат-кварцевые жилы мощностью первые десятки сантиметров. Прожилков с молибденитом не наблюдалось, хотя он иногда встречается в сростках с кварцем и мусковитом, слагая гнезда (реликты) до 3–4 мм в поперечнике среди хлоритовых метасоматических пород, сопровождающих сульфидно-кварцевые жилы.

В минеральном составе золоторудных кварцевых жил и прожилков зоны Меридиональной из породобразующих минералов преобладают кварц, карбонат, хлорит и турмалин; в небольшом количестве встречаются полевые шпаты, мусковит, эпидот, флюорит, апатит. Количество сульфидных минералов в прожилках

варьирует в широком диапазоне от 5–7 до 30–40 %, в среднем составляя 10–15 %. Наиболее часто встречаются халькопирит, пирит, арсенопирит и пирротин; иногда присутствуют шеелит, магнетит, сфалерит, галенит, блеклая руда (тетраэдрит), самородные висмут и золото, теллуриды (хедлейит) и сульфотеллуриды (группа жозеитов) висмута, сложные Pb-Bi-Sb (кобеллит, Sb-козалит), Pb-Cu-Sb (бурнонит) и Pb-Bi-Ag (лиллианит-густавит) сульфосоли, висмутин, икунолит, молибденит и др. В окисленных рудах наблюдаются гидроксиды железа, ковеллин, халькозин, малахит, скородит и др.

*Сульфидно-кварцевые* прожилки сложены на 75–85 % кварцем и 15–25 % сульфидными минералами; в небольшом количестве присутствуют хлорит, турмалин, калишпат (ортоклаз), карбонат, апатит, шеелит. Из сульфидов преобладает арсенопирит; пирит, халькопирит (с вкрапленниками сфалерита) и пирротин имеют подчиненное распространение; редкие – бурнонит, тетраэдрит, кобеллит, Sb-лиллианит, Sb-козалит, густавит, самородные висмут и золото. В околожильных метасоматитах преобладает хлорит и турмалин, среди которых иногда встречаются гнезда (до 1 см) кварц-мусковитового состава с молибденитом. Шеелит и арсенопирит часто пространственно тяготеют к зальбандам прожилков.

*Сульфидно-карбонатно-кварцевые* прожилки наиболее распространены. В них количество карбоната иногда превышает 20–25 %, кварца – 45–50 %, сульфидов – 35–40 %. В околожильных метасоматических породах наиболее распространен хлорит, а мусковит, кварц и турмалин часто встречаются совместно, образуя гнезда (до 1 см в поперечнике). Из сульфидных минералов преобладают халькопирит (содержит «звездчатые» вкрапленники сфалерита и мелкие, не более 0.08 мм, идиоморфные зерна пирита, Со-арсенопирита, глаукодота) и пирротин, а количество арсенопирита редко превышает 10 % (от объема сульфидов). Висмутовые минералы и самородное золото наблюдаются в виде изометричных зерен (0.07–0.5 мм в поперечнике) в халькопирите и арсенопирите. Они представлены висмутином, сульфотеллуридами висмута (группа жозеита) и самородным висмутом. В пределах прожилков иногда наблюдаются микрозонки (до 3 мм мощностью, ориентированные почти перпендикулярно контакту жилы) карбонат-хлорит-пиритового состава, в которых Sb-козалит образует тесные сростания с густавитом, галенитом, самородным висмутом и золотом.

*Сульфидные* прожилки встречаются редко. В них отсутствует кварц, а карбонат, ортоклаз и хлорит имеют подчиненное распространение (составляют

ЭТАП	Позднемеловой					Позднемеловой-палеогеновый				
	СТАДИЯ	Сульфидно-кварцевая		Сульфидно-карбонатно-кварцевая		Сульфидная	Магм-II	Py-Q	Fl-Ca-Q	
		Мо-Q	Shl-Q	Ars-Q	Py-Cp-Po-Q	Cp-Po				
АССОЦИАЦИЯ										
Кварц (Q)	г	X	—————					V /	—————	
Пол.шпат	г	+	—————					\ V	—————	
Мусковит	г	+	—————					\ V	—————	
Карбонат (Ca)	г	X	—————					V \	—————	
Турмалин	г	X	—————					/ V	—————	
Хлорит	г	+	—————					/ V	—————	
Магнетит	г	+	—————					/ V	—————	
Fe-Ti-минер.	г	X	—————					V /	—————	
Апатит	г	+	—————					\ V	—————	
Флюорит (Fl)	г	+	—————					\ V	—————	
Шеелит (Shl)	г	+	—————					\ V	—————	
Молибденит (Mo)	г	X	—————					V \	—————	
Арсенопирит (Ars)	г	+	—————					/ V	—————	
Халькопирит (Cp)	г	+	—————					/ V	—————	
Пирротин (Po)	г	X	—————					V /	—————	
Пирит (Py)	г	+	—————					\ V	—————	
Сфалерит	г	+	—————					\ V	—————	
Fe-Sb-Co-минер.	г	X	—————					V \	—————	
Со-минер.	г	+	—————					/ V	—————	
Галенит	г	+	—————					/ V	—————	
Кобеллит	г	X	—————					V /	—————	
Sb-козалит	г	+	—————					\ V	—————	
Бурнонит	г	+	—————					\ V	—————	
Блекл. руда	г	+	—————					\ V	—————	
Густавит	г	X	—————					V \	—————	
Висмутин	г	+	—————					/ V	—————	
Жозеит	г	+	—————					/ V	—————	
Хедлейит	г	X	—————					V /	—————	
Висмут	г	+	—————					V /	—————	
Золото	г	+	—————					\ V	—————	
Ауростибит	г	X	—————					\ V	—————	
Мальдонит	г	+	—————					V \	—————	
Fe-окислы	г	+	—————					/ V	—————	—————
Cu-окислы	г	+	—————					/ V	—————	—————
As-окислы	г	+	—————					/ V	—————	—————
T °C	>700	>350	400-300		<350-270		350-200		<250	
Ph		<6	6.3-7.7							
Элементная специализация		P,Mo,W,As,Fe (Cu,Bi,Au)		B,As,Fe,Cu (Sb,Co,Bi,Ag,Au)		B,Fe,Cu (Ni,Sb,Co,Bi,Au)				

г г г 1    x + x 2    \ / \ / 3    10%Fe 4

Рис. 4. Схема последовательности минералообразования месторождения Малиновского.

1 – монзогаббродиориты татибинского комплекса; 2 – граниты, гранодиориты татибинского комплекса; 3 – вулканогенные породы среднего-кислого состава Прибрежного вулканогенного пояса; 4 – типоморфный элемент-примесь и его содержание в минерале.

в сумме не более 10 %). Из сульфидных минералов преобладают пирротин и халькопирит (соотношение близкое 1:1). Халькопирит часто пространственно тяготеет к приконтактовым, а пирротин к центральным участкам прожилков. В небольшом количестве в прожилках встречаются сфалерит (с эмульсионной вкрапленностью халькопирита), магнетит, флюорит, ильменит-? и минералы Ni-Co-Sb состава. Особенностью таких прожилков является повышенная концентрация в них низкопробного золота, которое часто наблюдается в сростках с самородным висмутом и хедлейитом. Во внешних зонах околожилковых метасоматитов преобладают карбонат (замещает полевые шпаты) и хлорит (замещает темноцветные минералы), при этом сохраняется текстурный рисунок первичной породы; во внутренних зонах – хлорит; а непосредственно в контакте прожилка среди хлорита встречаются гнезда (до более 5 мм) кварц-мусковитового состава с турмалином.

Прежде чем рассматривать типоморфные особенности минералов, следует отметить, что во всех изученных «золоторудных» прожилках последовательность кристаллизации сульфидных минералов одинаковая. Одними из первых кристаллизуются арсенопирит (реже пирит), халькопирит со «звездочками» сфалерита (структура распада твердого раствора) и пирротин; чуть позднее – блеклые руды (тетраэдрит) и сложные Pb-Bi-Sb (кобеллит), Pb-Cu-Sb (бурнонит) сульфосоли; еще позднее (выполняют микротрещины и микропрожилки в арсенопирите) – пирит (основная масса), сфалерит (с эмульсионной вкрапленностью халькопирита – распад твердого раствора), Pb-Bi (Sb-козалит) и Pb-Bi-Ag (Sb-лиллианит, густавит) сульфосоли, галенит, висмутин, икунолит, сульфотеллуриды и теллуриды висмута, самородный висмут, золото, мальдонит, ауростибит. Обобщенная предварительная схема минералообразования руд месторождения Малиновского,

обоснование которой приведено в работе [10], показана на рис. 4.

По результатам рентгено-спектрального микроанализа установлено, что однотипные минералы из прожилков разного минерального состава имеют разные типоморфные особенности.

Так, арсенопириты часто имеют зональное строение, обусловленное присутствием в нем примеси кобальта. А именно, в *сульфидно-кварцевых* жилах содержание кобальта в центральной части зерен редко превышает 1.0 мас. %, в то время как в периферийных частях – часто чуть более 4 мас. %. Еще более высокие концентрации кобальта (до 6.67 мас. % Co) установлены в арсенопиритах (внешние зоны зерен) из *сульфидно-карбонатно-кварцевых* жил. В таких участках жил в халькопиритах нередко наблюдаются зерна глаукодота и кобальтина. В низкокобальтовых арсенопиритах иногда встречаются идиоморфные зерна шеелита.

Состав самородного золота из *сульфидно-кварцевых* жил варьирует от 24–31 мас. % Ag (в сростках с кобеллитом) до 16–20 мас. % Ag (сростки с Sb-козалитом, висмутином, сульфотеллуридами висмута и самородным висмутом). Менее узкий диапазон вариаций имеет самородное золото из *сульфидно-карбонатно-кварцевых* жил: от 20 мас. % Ag (в сростках с галенитом, Sb-козалитом и густавитом) до более 15 мас. % Ag (в сростках с висмутином, сульфотеллуридами висмута и висмутом). Наиболее низкопробное золото (от 27 до 38 мас. % Ag) установлено в *сульфидных жилах*, где оно наблюдалось в сростках с самородным висмутом и хедлейитом. Самое высокопробное золото встречается редко в местах «раздувов» рудных зон с высокими концентрациями галенита. Здесь золото наблюдалось в сростках с ауроситибитом (8 мас. % Ag) и мальдонитом (4 мас. % Ag).

Сфалерит из *сульфидно-кварцевых* и *сульфидно-карбонатно-кварцевых* прожилков по составу относится к железистой разновидности и содержит 6–9 мас. % Fe, в то время как сфалериты в *сульфидных жилах* – более 10 мас. % Fe.

Галенит обычно не содержит элементов-примесей. В то же время установленные в отдельных анализах галенита повышенные концентрации висмута обусловлены присутствием в нем эмульсионной вкрапленности самородного висмута, который часто содержит и примесь сурьмы. Примесь серебра была установлена только в галенитах из *сульфидно-карбонатно-кварцевых* прожилков, где он наблюдался в сростках с самородным висмутом (субграфические сростания, похожие на распад Pb-Bi сульфосолей сложного состава), а примесь селена – в галенитах из

сульфидных прожилков (сростки с самородным висмутом, Se-содержащим хедлейитом и Se-содержащим сульфотеллуридом – жозеитом).

В целом, типоморфной особенностью прожилков *сульфидно-кварцевого* типа является присутствие в них сульфосолей разных групп элементов: Pb-Bi-Sb, Pb-Cu-Sb, Pb-Bi-Ag и др. Примесь железа характерна практически для всех изученных висмутовых минералов (кроме Se-иунолита); примесь серебра – для Sb-козалита; сурьмы – для висмутинов и самородного висмута. Типоморфной особенностью *сульфидных* (халькопирит-пирротиновых) жил является отсутствие минералов мышьяка и присутствие здесь таких минералов, как паракостит, гудмундит и брейтгауптит.

По данным пробирного анализа (валовые монофракции по нескольким образцам) все главные сульфидные минералы руд являются концентраторами золота и серебра: пирит – 30.4 г/т и 306.2 г/т, арсенопирит – 37.0 г/т и 67.6 г/т, халькопирит – 46.1 г/т и 277.3 г/т, пирротин – 99.3 г/т и 94.8 г/т, соответственно. При этом, по данным рентгеноспектрального микроанализа значимое количество этих элементов в перечисленных минералах обусловлено присутствием в них микровключений минералов висмута, золота и серебра.

Первые результаты (единичные определения) изучения изотопного состава серы в сульфидных минералах ( $\delta^{34}\text{S}$  в халькопирите – -0.5 ‰, в пирите – +0.8 ‰) из золотосодержащих *сульфидно-кварцевых* прожилков указывают на эндогенную природу источника гидротермальных растворов и могут косвенно подтверждать их генетическую связь с гранитоидными комплексами.

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Для оценки геохимических особенностей руд месторождения были использованы подходы и методические руководства, рекомендуемые С.В. Григоряном с соавторами и А.И. Бураго с соавторами [13–16]. Для создания геохимической модели месторождения были определены ассоциации элементов и вычислены коэффициенты линейной парной корреляции между всеми (проанализированными) химическими элементами для разных гипсометрических уровней зоны Меридиональной. Для этого были использованы результаты анализов 3450 керновых проб (опробование секциями длиной не более 1 метра) с шести буровых профилей, пройденных вкрест простирания рудных тел. Коэффициенты линейной парной корреляции между содержаниями химических элементов на Маглиновском месторождении приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты линейной парной корреляции между содержаниями химических элементов по первичным ореолам рассеяния на Малиновском месторождении (3450 проб).

	Au	Ag	Cu	Bi	As	Mo	Pb	Zn	Sb	Co	W	Mn	Cr	Ni	V	Sn	Sr	Ti	Ba
Au	1.00	0.87	0.82	0.69	0.83	0	0.64	0.65	0	0.83	0.68	0	-0.23	0	-0.38	0	0	-0.3	-0.15
Ag	0.87	1.00	0.95	0.93	0.97	0	0.89	0.67	0	0.51	0.92	0	0	0.1	-0.34	0	0.16	-0.29	-0.16
Cu	0.82	0.95	1.00	0.62	0.7	0	0.49	0.68	0	0.89	0.54	0	-0.21	0	-0.36	0	0	-0.28	-0.14
Bi	0.69	0.93	0.62	1.00	0.87	0	0.87	0.69	0	0.31	0.85	0	-0.15	0.13	-0.25	0	0.19	-0.25	-0.15
As	0.83	0.97	0.7	0.87	1.00	0	0.92	0.56	0.1	0.45	0.96	0	-0.22	0.1	-0.35	-0.12	0	-0.29	-0.14
Mo	0	0	0	0	0	1.00	0	0	-0.1	0	0	0.13	0.18	0.4	0	0.23	0.27	0.12	
Pb	0.64	0.89	0.49	0.87	0.92	0	1.00	0.54	0	0.22	0.95	0	0.1	0.17	-0.23	-0.11	0.28	-0.22	-0.1
Zn	0.65	0.67	0.68	0.69	0.56	0	0.54	1.00	0.1	0.55	0.49	0.15	0	0.1	-0.19	0	0	-0.17	-0.1
Sb	0	0	0	0	0.1	-0.1	0	0.1	1.00	0	0.1	-0.24	-0.18	0	0.22	0	-0.19	0	-0.19
Co	0.83	0.51	0.89	0.31	0.45	0	0.22	0.55	0	1.00	0.26	0.11	-0.14	0	-0.24	0	-0.15	-0.28	0.1
W	0.68	0.92	0.54	0.85	0.96	0	0.95	0.49	0.1	0.26	1.00	0	-0.18	0.13	-0.28	-0.12	0.23	-0.23	-0.12
Mn	0	0	0	0	0	0.13	0	0.15	-0.24	0.11	0	1.00	-0.1	0.1	0.1	0.21	0.31	-0.11	0.11
Cr	-0.23	0	-0.21	-0.15	-0.22	0.18	0.1	0.15	-0.18	-0.14	-0.18	-0.1	1.00	0.52	0	0.39	0.15	0.19	0
Ni	0	0.1	0	0.13	0.1	0.4	0.17	0.1	0	0	0.13	0.1	0.52	1.00	0	0.39	0.15	0.15	0
V	-0.38	-0.34	-0.36	-0.25	-0.35	0	-0.23	-0.19	0.22	-0.24	-0.28	0.1	0	0	1.00	0.1	-0.1	0.17	0.1
Sn	0	0	0	0	-0.12	0	-0.11	0	0	0	-0.12	0	0.21	0	0.1	1.00	0	0	0
Sr	0	0.16	0	0.19	0.2	0.23	0.28	0	-0.19	-0.15	0.23	0	0.31	0.39	-0.1	0	1.00	0.24	0.23
Ti	-0.3	-0.29	-0.28	-0.25	-0.29	0.27	-0.22	-0.17	0	-0.28	-0.23	-0.11	0.19	0.15	0.17	0	0.24	1.00	0.13
Ba	-0.15	-0.16	-0.14	-0.15	-0.14	0.12	-0.1	-0.1	-0.19	0.1	-0.12	0.11	0	0	0.1	0	0.23	0.13	1.00

Анализ результатов парной линейной корреляции элементов позволяет выделить несколько групп элементов.

**Первая группа: Au, Ag, Bi, Cu.** Эта основная группа элементов по всей вертикали рудно-магматической системы (РМС) имеют между собой сильные и достаточно устойчивые корреляционные связи (выше 0.7; табл. 2). Именно эти элементы являются рудообразующими для данного месторождения и присутствуют во всех разновидностях руд месторождения. Каждый из этих элементов на всех гипсометрических уровнях имеет устойчивые связи с другими элементами, образуя присущую только этому месторождению геохимическую ассоциацию. Особенно выделяются Bi и Ag, которые имеют обширнейшие (корреляция с разными элементами, в том числе не входящими в рассматриваемую геохимическую ассоциацию) устойчивые связи с различными элементами на всех горизонтах РМС, что обусловлено присутствием в рудах как многообразия минеральных форм, так и присутствием в них элементов-примесей.

**Вторая группа: As, Co.** Эти элементы имеют устойчивую сильную (со значением выше 0.7) связь между собой и, за редким исключением, на большинстве гипсометрических уровнях РМС имеют устойчивые линейные корреляционные связи с первой группой элементов. Это обусловлено: с одной стороны – наличием на месторождении сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков с арсенопирит-кварцевыми, арсенопирит-хлорит-кварцевыми, халькопирит-арсенопирит-кварцевыми рудами; с другой стороны – присутствием в рудах арсенопирита двух генераций (ранняя – с низкими содержаниями кобальта не более 1–2 мас. %, ассоциирует с шеелитом; поздняя – 6–9 мас. %, ассоциирует с халькопиритом, содержащим микрозерна глаукодота и кобальтина).

**Третья группа: Sb, Pb, Zn.** Элементы этой группы имеют устойчивые корреляционные связи между собой и с основной геохимической группой на некоторых частях гипсометрической колонны. Это может быть объяснено присутствием в рудах широкого спектра сульфосолей разного элементного состава: блеклые руды (тетраэдрит и теннантит), кобеллит, бурнонит, козалит, Sb-козалит и др. На большинстве уровней (особенно на верхних горизонтах РМС) сурьма имеет сильные корреляционные связи с золотом. Так, на горизонте +650–700 м устойчивые корреляционные связи сурьмы с золотом могут быть объяснены присутствием в рудах ауристобита; сурьмы со свинцом (имеют корреляционные связи на большинстве горизонтов) – присутствием кобеллита, Sb-козалита и др. Свинец с сурьмой, цинком и золотом ассоцииру-

ют лишь на горизонтах +500–550 и +650–700 метров. Цинк хорошо коррелируется со многими элементами первой и второй группы на различных горизонтах, однако, наиболее сильные корреляционные связи установлены на горизонтах +500–550 и +650–700 метров. Минеральная форма цинка в рудах месторождения представлена сфалеритом, который часто встречается в халькопирите в виде «звездчатых» вкрапленников (структуры распада твердого раствора) или образует самостоятельные зерна.

**Четвертая группа: W (As, Cu, Bi, Au, Ag).** Вольфрам в комплексе с рядом элементов выделен в самостоятельную рудную ассоциацию. Основанием для этого послужило то, что на горизонте +500–550 м он имеет устойчивые сильные корреляционные связи с золотом, медью, серебром, висмутом, мышьяком, свинцом и цинком, а в верхней части РМС (горизонт +700–750) – устойчивые корреляционные связи с медью и золотом. Основная минеральная форма вольфрама на месторождении – шеелит, который нередко образует локально значительные концентрации до 1.64 %  $WO_3$  в сульфидно-кварцевых прожилках. Пространственно шеелит тяготеет к скоплениям арсенопирита, с которым он образует тесные сростания (идиоморфные зерна до 1 мм в поперечнике) или наблюдается в нем в виде пойкилитовых (менее 0.1 мм) зерен. Реже шеелит наблюдается в сростании с халькопиритом и висмутовыми минералами. В таких участках прожилков в прозрачных шлифах часто встречаются скопления идиоморфных зерен апатита.

**Пятая группа: Sn, Mo.** Элементы этой группы практически не имеют корреляционных связей с другими элементами на месторождении. Исключение составляет горизонт +550–600 м, где молибден слабо ассоциируется с вольфрамом и сурьмой. Минеральной формой молибдена на месторождении является молибденит, наблюдаемый иногда в виде реликтов околосильных грейзенов мусковитового состава среди хлоритизированных пород.

**Шестая группа: Ba, Ti, Sr, V, Cr, Ni, Mn.** Эти элементы, в большинстве своем, имеют слабые корреляционные связи между собой на разных горизонтах месторождения. Они не коррелируются с рудоносными элементами и часто имеют отрицательные корреляционные связи с элементами первых трех.

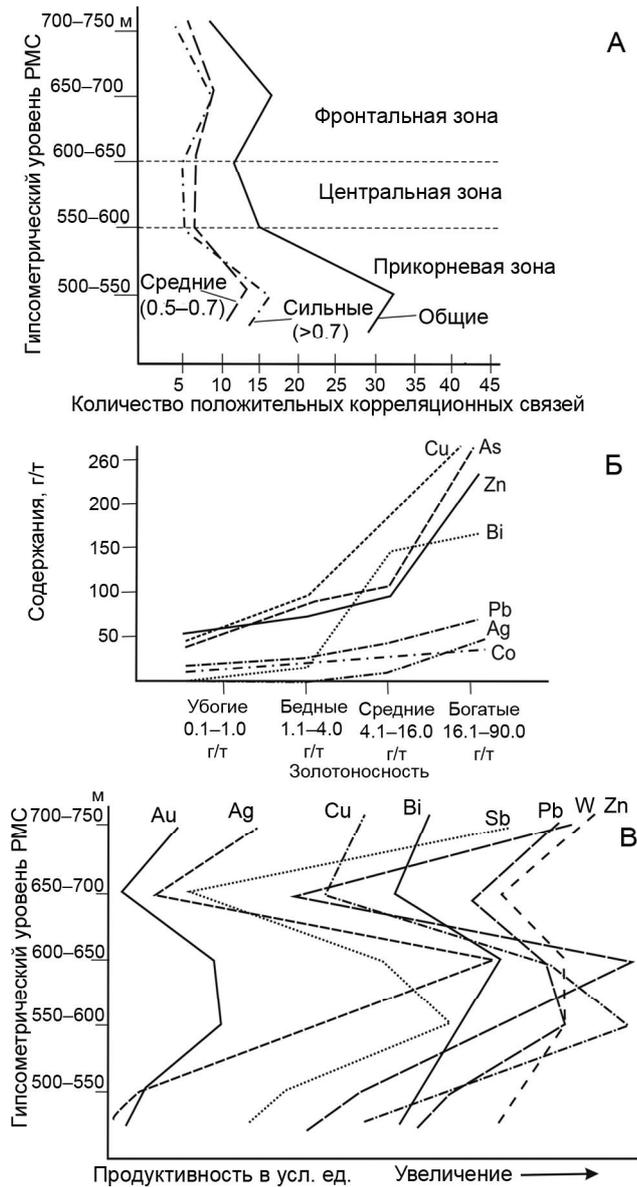
Анализ минералогических и геохимических данных позволяет предположить существование на Малиновском месторождении двух продуктивных на золото геохимических ассоциаций: золото-висмутовой (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) и золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As). Наиболее перспективной на золотое оруденение для этого типа месторождений (генетиче-

ски связанных с гранитодным магматизмом) является золото-висмутовая ассоциация, с которой связаны основные ресурсы полезных компонентов в рудах.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам изучения вещественного состава руд несложно заметить, что разные минеральные типы прожилков должны иметь разную элементную специализацию, которая обусловлена их разным минеральным составом (основных и сопутствующих минералов). Так, *сульфидно-кварцевые* прожилки могут быть охарактеризованы такими элементами (в порядке значимости), как W, P, Mo, As, Fe, В (Cu, Bi, Au) – присутствуют апатит, молибденит, шеелит, арсенопирит и др.; *сульфидно-карбонатно-кварцевые* – В, As, Fe, Cu, (Sb, Co, Bi, Ag, Au) – присутствуют турмалин (в околосильных метасоматитах), арсенопирит, пирротин, халькопирит, минералы кобальта, свинцово-сурьмяно-висмутовые сульфосоли и др.; *сульфидные* – В, Fe, Cu, (Ni, Sb, Co, Bi, Au) – присутствуют турмалин, хлорит, пирротин, халькопирит, минералы никеля, сурьмы, кобальта и висмута.

По результатам изучения геохимических особенностей руд для общей характеристики гидротермальной колонны, продуцирующей золотое оруденение, были построены графики распределения корреляционных связей элементов по вертикали РМС: «сильные связи» – более 0.7; «средние связи» – 0.5–0.7; «общие» – суммированные (рис. 5 А). По форме графики «средних», «сильных» и «общих-суммированных» корреляционных связей в общих чертах повторяют друг друга. Среди них можно выделить три зоны с разным поведением элементов, которые отвечают разным уровням гидротермальной колонны: 1 – от +500 м до +600 м (прикорневая зона); 2 – от +600 м до +650 м (центральная зона); 3 – от +650 м до +750 м (фронтальная зона). Прикорневая зона характеризуется интенсивным ростом количества корреляционных связей (когда большое количество элементов коррелируют между собой с различной степенью интенсивности; в большинстве случаев это сильные корреляционные связи, но появляется множество слабых и средних связей между различными элементами, что может указывать на значительно большее количество минеральных форм в рудах). Центральная зона выделяется понижением количества связей и их умеренным количеством на всем протяжении зоны. Во фронтальной зоне отмечается заметный рост и значительное количество корреляционных связей. Следует отметить, что горизонты с наибольшим количеством положительных корреляционных связей предшествуют (уровни, находящиеся гипсометрически ниже) максимумам продуктивности основных рудообразу-



**Рис. 5.** Результаты изучения геохимических особенностей руд рудной зоны Меридиональной.

А – график распределения корреляционных связей элементов по вертикали РМС; Б – график распределения средних содержаний основных элементов в рудах в зависимости от содержания в них золота; В – график погоризонтной линейной продуктивности элементов.

ющих элементов (рис. 5 А, В). Такая закономерность может возникать на пути движения гидротермальных растворов и, по-видимому, косвенно свидетельствовать о начале их разгрузки.

Для изучения особенностей распределения основных рудных элементов в золотосодержащих рудах были выделены четыре группы проб с различным содержанием золота: убогие – Au 0.1–1 г/т (284 шт.); бедные – 1–4 г/т (161 шт.); средние – 1–16 г/т (94 шт.);

богатые – 16–90 г/т (59 шт.). Количество проб для выборок из средних и богатых по содержаниям руд определялись ограниченным количеством. Графики распределения средних содержаний некоторых элементов в рудах в зависимости от содержания в них золота показаны на рис. 5 Б. Из графика видно, что основные рудообразующие элементы из первой, второй и четвертой групп (Ag, Cu, Bi, As, Co, Pb, Zn, Sb,) прогнозируемо (учитывая минеральный состав проб и руд) характеризуются повышением содержаний перечисленных элементов с увеличением золотонности руд. Как правило, резкий скачок содержаний наблюдается при переходе от «средних» руд к «богатым». Исключение составляет висмут, содержание которого резко возрастает от «бедных» руд к «средним» и затем незначительно повышается при переходе к «богатым». Третья группа элементов (W, As, Cu, Bi, Au, Ag) отличается отсутствием какого-либо устойчивого повышения содержаний этих элементов при повышении в рудах содержаний золота. Такое поведение вольфрама можно объяснить тем, что этот элемент входит в самостоятельную геохимическую ассоциацию, которая мало распространена на месторождении, а его устойчивые корреляционные связи с другими элементами (Mo, As и др.) отмечаются только эпизодически на некоторых горизонтах.

Для выявления закономерного изменения соотношений содержаний и корреляционных связей элементов, установления вертикальной зональности и определения уровня эрозионного среза была определена линейная продуктивность элементов для всех гипсометрических уровней РМС месторождения. Вычисление линейной продуктивности выполнялось на основе выборок по результатам кернового опробования участков одинакового интервала с каждого горизонта. Длина каждого из участков составляла 180.4 м, количество проб в выборке составляло не менее 172 штук. Вычисление линейной продуктивности элементов производилось по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (C_i - C_f),$$

где  $M$  – линейная продуктивность,  $m_i$  – длина интервалов опробования;  $C_i$  – содержание элементов в пробах;  $n$  – число проб, введенных в подсчет;  $C_f$  – среднефоновое содержание данного элемента.

Результаты погоризонтной линейной продуктивности элементов, приведенные на рис. 5 В, позволяют сделать следующие выводы.

Графики распределения основных рудообразующих элементов (Au, Ag, Cu, Bi) в рудных телах имеют схожий облик. Как правило, наблюдается два максимума: один – в интервале +550–650 м, а другой – в

интервале +700–750 м. Как уже отмечалось, максимумам предшествуют горизонты с максимальным количеством положительных корреляционных связей элементов. Наличие для золота двух максимумов на графиках погоризонтной линейной продуктивности элементов может быть объяснено присутствием в рудах месторождения двух геохимических ассоциаций. Максимум на горизонтах +550–650 м соответствует первой, наиболее распространенной и наиболее продуктивной золото-висмутовой (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) ассоциации. Рудные тела с рудами этой ассоциации обычно слабо эродированы, что значительно увеличивает их перспективы и месторождения в целом. Второй максимум соответствует золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) геохимической ассоциации, которая проявлена в рудных телах значительно эродированных. Подтверждением этого может быть рудное тело 2 (рис. 2) с высокими (около 1 %  $WO_3$ ) содержаниями вольфрама, которое на поверхности вскрыто канавами (горизонт +740), а в буровых скважинах (горизонт +700) практически выклинивается.

Совершенно иначе ведут себя графики погоризонтной линейной продуктивности мышьяка и кобальта. График кобальта лишь частично соотносится с графиками элементов золото-висмутовой ассоциации, имея максимум на горизонте +600–650 м. Однако на горизонте +700–750 м отмечается снижение продуктивности кобальта и увеличение продуктивности мышьяка. Это связано с тем, что здесь в рудах преобладают арсенипириты из золото-вольфрамовой геохимической ассоциации, в которых (по данным рентгеноспектрального микроанализа) не содержатся какие-либо значительные содержания кобальта в отличие от арсенипиритов основной золото-висмутовой продуктивной ассоциации. Максимумы значений мышьяка отмечаются на горизонтах +550–600 и +700–750 м, что в общих чертах совпадает с результатами минералогического изучения руд. Обращает на себя внимание тот факт, что при наличии высоких корреляционных связей между мышьяком и кобальтом, максимумы продуктивности этих элементов не всегда совпадают, что еще раз косвенно подтверждает наличие на месторождении нескольких генераций арсенипиритов, которые имеют разные типоморфные особенности и характерны для разных продуктивных на золото геохимических ассоциаций.

Расчет значений максимумов линейной продуктивности элементов позволил установить ряд вертикальной зональности Малиновского месторождения (табл. 3 А). В случае, когда значения максимумов линейной продуктивности для нескольких элементов были установлены на одном горизонте, для уточнения

их местоположения рассчитывался градиент продуктивности по формуле:

$$G = \sum_1^n \frac{D_{\max}}{D_i},$$

где  $G$  – градиент продуктивности;  $D_{\max}$  – максимальное значение показателя продуктивности элемента;  $D_i$  – значения показателя на данном горизонте;  $n$  – число горизонтов, не считая горизонта максимального накопления [14, 15]. На основании выполненных расчетов можно предложить следующий модельный ряд элементов вертикальной зональности, который рассчитывался по максимумам линейной продуктивности элементов на разных горизонтах: Be-Sn-Cr-Ba-Au-Cu-Mo-Pb-V-Ti-Co-W-Ag-Bi-Ni-Mn-Sr-Zn-Sb-As. Этот ряд элементов имеет большое сходство с рядом зональности, предложенным С.В. Григоряном для золоторудных месторождений средне- и высокотемпературных формаций [13–15].

Для оценки уровня эрозионного среза зоны Меридиональной и месторождения в целом (опробование проводилось в интервале 250 м, на горизонтах от +500 м до +750 м – на данном этапе изучения не охватывает всю РМС) был принят коэффициент зональности, рассчитанный по формуле ( $K = Sb \times As \times Zn \times Mn / Be \times Sn \times Cr \times Cu$ ). В качестве коэффициента зональности принимаются отношения произведений среднегеометрических элементов, где в числитель помещаются элементы, концентрирующиеся в надрудных, а в знаменатель – преимущественно в центральных и подрудных частях первичного ореола, учитывающий модельный ряд элементов вертикальной зональности и особенности распределения отдельных элементов в рудных телах. Предлагаемые коэффициенты зональности могут быть уточнены при дальнейшем изучении более глубоких горизонтов рудных зон и месторождения в целом. Предлагаемые эталонные величины соответствия показателей коэффициента зональности и уровня эрозионного среза приведены в таблице 3 Б; расчетные для зоны Меридиональной – в таблице 3 В.

Из таблицы 3 видно, что зона Меридиональная в целом слабо эродирована и характеризуется высокими значениями коэффициента зональности, величина которого от горизонта +500 метров постепенно возрастает, достигая своего максимума на горизонте +600–650. Этот пик соответствует среднерудному-1 уровню эрозионного среза, характеризуя основную, золото-висмутовую (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) геохимическую ассоциацию. Однако на верхних горизонтах +700–750 м мы видим очередное повышение величины коэффициента зональности. Это повышение связано с проявлением здесь в некоторых (в значительной

Таблица 3. Оценка уровня эрозийного среза рудной зоны Меридиональной Малиновского месторождения. А – максимумы значений линейной продуктивности.

Гор.	Au	Ag	Cu	Bi	As	Co	W	Sb	Pb	Zn	Mo	Ni	Sr	Ba	Be	Sn
525–550	10	16	10021	187	3499	451	<b>1051</b>	161	503	2557	57	122	5045	2301	<b>198</b>	90
550–575	18	69	25969	558	5799	583	310	64	866	3784	108	678	5031	6329	138	<b>95</b>
575–600	<b>66</b>	84	52276	<b>2385</b>	25138	631	49	83	708	3994	120	450	5951	5004	104	48
600–625	23	58	16227	1054	12869	500	181	15	621	1583	157	526	<b>7127</b>	4660	22	63
625–650	62	<b>173</b>	<b>68419</b>	1219	8115	633	94	132	985	3740	148	548	6015	5639	71	23
650–675	27	100	15007	892	3183	601	43	80	985	2756	<b>373</b>	685	5922	<b>6816</b>	36	41
675–700	18	39	16278	658	8611	826	4	46	<b>2368</b>	5472	152	<b>833</b>	3790	6124	110	47
700–725	53	52	56446	1658	4522	1302	78	87	909	3328	154	649	4400	4253	124	57
725–750	30	83	31676	2275	<b>37436</b>	<b>1674</b>	407	<b>315</b>	1752	<b>20512</b>	301	631	3009	4150	140	55

Б – предлагаемые коэффициенты зональности для Малиновского месторождения (С.В. Григорян с соавторами, 1983).

В – расчетные коэффициенты зональности.

Величина коэффициента зональности	Уровень эрозийного среза		Принятый уровень эрозийного среза
	Горизонт, м	Величина коэффициента зональности	
>5 000		верхнерудный	2303
4000–4999	+ 700–750	среднерудный 1	2228
2000–3999	+ 650–700	среднерудный 2	4965
< 2000	+ 600–650	нижнерудный	3776
	+ 550–600		1444
	+ 500–550		

степени эродированных) рудных телах золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) ассоциации.

В целом, современный уровень эрозийного среза для зоны Меридиональной Малиновского месторождения определен как верхнерудный, что значительно увеличивает перспективы объекта. Косвенным геологическим признаком, подтверждающим этот вывод, является отсутствие значимых по объему россыпей в аллювии кл. Малая Чертова Лапа и р. Малиновки, которые дренируют верхнюю часть золотого оруденения на месторождении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. На месторождении можно выделить три основных минеральных типа прожилков, продуктивных на золотую минерализацию: *сульфидно-кварцевые, сульфидно-карбонатно-кварцевые и сульфидные*. Минералогической особенностью изученных прожилков и сопровождающих их околожилковых метасоматов является присутствие в них турмалина и отсутствие пересечений между прожилками разных типов (исключение – поздние кварц-кальцитовые, которые завершают рудный процесс на месторождении).

2. Разные минеральные типы прожилков имеют разную элементную специализацию: *сульфидно-кварцевые* – Р, Мо, W, As, Fe (Cu, Bi, Au); *сульфидно-карбонатно-кварцевые* – В, As, Fe, Cu, (Sb, Co, Bi, Ag, Au); *сульфидные* – В, Fe, Cu, (Ni, Sb, Co, Bi, Au), которая обусловлена их разным минеральным составом (основных и сопутствующих минералов).

3. Однотипные минералы из разных прожилков имеют разные типоморфные особенности: арсенопириты – более Со-содержащие в сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилках (до появления кобальтовых минералов – глаукодота и кобальтина); сфалериты – более железистые в сульфидных прожилках; в теллуридах и сульфотеллуридах сульфидных (более поздних) прожилков более высокие концентрации селена; наиболее низкопробное золото – в сульфидных прожилках, а наиболее высокопробное – в сульфидно-карбонатно-кварцевых.

4. По данным изучения геохимических особенностей руд можно выделить две продуктивные на золото геохимические ассоциации: золото-висмутовую (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) и золото-вольфрамовую (W-Au-Ag-Cu-Bi-As), а также построить модельный ряд элементов вертикальной зональности Be-Sn-Cr-Ba-Au-Cu-Mo-Pb-V-Ti-Co-W-Ag-Bi-Ni-Mn-Sr-Zn-Sb-As, который по распределению элементов характеризует руды золоторудных месторождений средне- и высокотемпературных формаций.

5. По геохимическим данным уровень эрозионного среза для рудной зоны Меридиональной определен как «верхнерудный».

6. По комплексу признаков (стадийность минералообразования, минеральный состав рудных жил и околожильных метасоматитов, типоморфные особенности минералов, геохимические особенности руд, изотопный состав минералов и др.) золотое оруденение Малиновского месторождения следует относить к умеренно-сульфидному промышленному типу, пространственно и генетически ассоциирующему с гранитоидным магматизмом, продуцирующим редкометалльную минерализацию [8, 9, 12].

Работа выполнена при частичной поддержке Гос. бюджета, гранта ДВО № 15-1-2-0030, гранта РФФИ № 16-05-00283.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аленичева А.А., Сахно В.Г., Салтыкова Т.Е. U-Pb и Rb-Sr изотопное датирование гранитоидов Татибинской серии плутонического пояса Центрального Сихотэ-Алиня // Докл. АН. 2008. Т. 420, № 1. С. 70–75.
- Архипов Г.И. Минеральные ресурсы Приморского края: состояние и перспективы. (<http://cyberleninka.ru/n/article/mineralnye-resursy-primorskogo-kрая-sostoyanie-i-perspektivy>).
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Горячев Н.А., Вознесенский С.Д., Алышевский А.В., Чернова А.Д. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 1. С. 3–31.
- Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н.Е., Смильгин С.В., Трубкин Н.В., Алексеев В.Ю. Месторождение золота в Бутарном гранитоидном штоке (Северо-восток России): геологическое строение, минералогия и условия формирования руд // Геология руд. месторождений. 2013. Т. 55, №. 3. С. 214–237.
- Волков В.А., Сидоров А.А., Савва Н.В., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е. Перспективы открытия на Северо-востоке России богатых золото-редкометалльных месторождений // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 4. С. 16–27.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Золото-редкометалльное оруденение Северо-Востока России // Тихоокеан. геология. 1998. № 3. С. 88–94.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г., Колисниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золото-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 196 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572.
- Гвоздев В.И., Горячев Н.А., Вах А.С., Федосеев Д.Г., Семьян Б.И. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 6. С. 40–51.
- Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н., Вах А.С., Горячев Н.А., Степанов В.А., Федосеев Д.Г. Малиновское месторождение – новый тип золоторудной минерализации в Приморском крае, Россия (геология, минералогия, генезис) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 1. С. 35–53.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
- Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. С. 50–62.
- Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений // Сов. геология. 1973. № 1. С. 15–34.
- Григорян С.В., Соловов А.П., Кузин М.Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, Мин-во геологии СССР. 1983. 191 с.
- Григорян С.В., Овчинников Л.Н. Единая геохимическая зональность первичных ореолов сульфидосодержащих месторождений и ее практическое значение // Проблемы прикладной геохимии. Новосибирск: Наука, 1983. С. 46–50.
- Калягин А.Н., Бураго А.И. Прогнозная оценка геохимических аномалий // Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: Дальнаука, 1979. С. 46–55.
- Кузьмин М.И., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М., Амузинский В.А., Борисенко А.С., Митрофанов Г.Л., Поляков Г.В., Сотников В.И. Основные типы золоторудных месторождений Сибири (состав, генезис, проблемы освоения) // Цв. металлы. 2000. № 8. С. 4–9.
- Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
- Сахно В.Г., Степанов В.А., Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н. Малиновская золоторудная магматическая система Центрального Сихотэ-Алиня: геохронология, петро-геохимический состав и изотопная характеристика магматических комплексов (Приморье, Россия) // Докл. АН. 2013. Т. 452, № 1. С. 1–8.
- Сидоров А.А., Волков А.В. О золоторудных месторождениях в гранитоидах // Докл. АН. 2000. Т. 375, № 6. С. 807–811.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2006. 291 с.
- Степанов В.А., Бельченко Е.Л., Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И. Малиновское золоторудное месторождение, Приморский край // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 26–33.
- Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Новосибирск: Наука, 1985. 220 с.
- Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
- Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
- Шило Н.А., Желнин С.Г., Сидоров А.А. Основные закономерности размещения коренных месторождений золота и связь с ними россыпей на Северо-Востоке СССР // Актуальные проблемы геологии золота на Северо-Востоке СССР. Магадан: СВКНИИ, 1972. Вып. 44. С. 23–34.
- Hart C.J.R. Reduced intrusion-related gold systems // Mineral

- deposits of Canada: A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods // Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division, Spec. Publ. 2007. N 5. P. 95–112.
28. Lamier D., Puchlik K. Pogo gold mine- new deposits, updated exploration model, and current thoughts // Alaska Miners Assoc. Annual Convention Abstr. 2011. P. 63–64.
29. Thompson J.F.H., Sillitoe R.H., Baker T. et al. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Mineral Deposits. 1999. V. 34. P. 323–334.

*Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком*

*K.N. Dobroshevsky, V.I. Gvozdev, S.A. Shlykov, V.A. Stepanov, D.G. Fedoseev*

**Matter composition and geochemical peculiarities of the rocks of the Malinovsky gold-ore deposit, Primorsky Krai, Russia**

Mineral composition and geochemical features of ores from the Malinovsky gold-ore deposit were studied based on the mine working (earth trenches, clearing and boreholes). It was established that ore-magmatic system of the deposit formed in several mineralization stages that characterize two different-aged magmatic stages. By geological-structural position of the deposit, matter composition and geochemical features of ores, this deposit is related to gold-tourmaline type of mineralization which is spatially and genetically associated with “rare metal” granitoid magmatism, previously not known in Primorye. The investigation of matter composition and geochemical features of ores permitted the correlation links between the elements and the reasons for their origination to be determined and by analogy with other gold-ore objects of the Far Eastern region to work out a mineralogo-geochemical model of the deposit (a model element series of vertical zonation: Be-Sn-Cr-Ba-Au-Cu-Mo-Pb-V-Ti-Co-W-Ag-Bi-Ni-Mn-Sr-Zn-Sb-As) enabling to estimate the level of the erosive section of ore bodies and their availabilities. It has been established that the most productive associations in the deposit are gold-bismuth (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) and less productive gold-tungsten (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) geochemical associations.

***Key words:* gold deposit, mineralogy and geochemistry of ores, tourmaline type of mineralization, Primorsky Krai, Far East of Russia.**