

## МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЗЁРНОЕ, КАРАЛЬВЕЕМСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЧУКОТКА

Н.Е.Савва,  
Е.Е.Колова

Северо-Восточный комплексный  
научно-исследовательский институт  
им. Н.А.Шило ДВО РАН,  
г. Магадан

*Выявлены признаки связи месторождения Озёрное с Пырканайским интрузивом. Отмечены повышенные содержания в рудах Mo, Bi, Sb, Cr, Ni, Co. Выделены два минеральных комплекса: золото-арсенопирит-пирит-галенит-сфалеритовый с Bi-содержащими минералами и молибденитом и пирротин-халькопирит-пирит-герсдорфит-кобальтиновый. Установлены бимодальный характер температур гомогенизации флюидных включений (ФВ) с пиками 270–280 и 144°C, низкие концентрации растворов (не более 3 мас. % экв. NaCl), заключённых в ФВ, наличие в их составе хлоридов Na, K и Mg. Проведён сравнительный анализ месторождений золото-кварцевой формации Каральвеевского рудного узла Озёрное, Каральвеем, Кекура с различной пространственной приуроченностью к гранитоидным интрузивам.*

*Ключевые слова: золотое оруденение, минералы Ni, Co, Bi, условия рудообразования, связь оруденения с магматизмом.*

В настоящее время заметно активизировалось развитие золотодобывающей промышленности в арктических странах [1], что служит стимулом для проведения более целенаправленных работ и в Арктическом секторе России, куда входит Чукотский автономный округ. Здесь разрабатываются золоторудные месторождения преимущественно золото-серебряной формации. Несмотря на богатство территории Чукотки россыпями, среди месторождений золото-кварцевой россыпеобразующей формации в промышленном освоении находятся только объекты Каральвеевского рудного района. Для открытия новых и освоения известных объектов (Кекура, Совиное, Ленотапское и др.) золото-кварцевого типа следует продолжить изучение различных вопросов структурного и генетического планов. Один из важных вопросов – связь золотого оруденения с гранитоидным магма-

тизмом [4, 6, 18, 19, 20, 27 и др.]. Подход к установлению подобной связи включает анализ пространственной приуроченности золоторудных месторождений к гранитоидам и единым с ними структурам, геохимической общности, зональности в расположении рудных скоплений вокруг интрузивов, смены минеральных парагенезисов во времени, особенностей флюидно-магматического режима формирования.

Детальное рассмотрение месторождения Озёрное, расположенного в Арктическом секторе, выбрано нами не случайно. Оно является сателлитом известного золоторудного месторождения Каральвеем, приурочено к относительно приподнятому тектоническому блоку верхнетриасовой толщи и пространственно сближено с гранитоидным интрузивом. Месторождение же Каральвеем вмещают силлы диабазов, прорывающие породы позднего триаса, и

о его связи с гранитоидным магматизмом можно судить лишь по косвенным признакам. Определение таких признаков на примере месторождения Озёрное – основная цель настоящей статьи.

Исследована коллекция образцов и штучных проб, отобранных авторами в полевой сезон 2012 г. Все аналитические работы проведены в СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан. Геохимические особенности изучались количественным спектральным анализом по методике ЭКСА (аналитик Т.П.Козырева), вещественный состав руд – в аншлифах на микроскопе Axioplan Imaging. Составы минеральных фаз определялись с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализатора Camebax с приставкой INCA Oxford Instruments (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Е.М.Горячева.) Диагностика фуксита выполнена на дифференциально-термической установке «Термоскан-2» с нагревом от комнатной температуры до 950°C со скоростью 20°C/мин (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Е.С.Санько). Микротермометрические исследования флюидных включений осуществлены Е.Е.Коловой с использованием измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG600 фирмы Linkam, микроскопа Motic, снабжённого длиннофокусным объективом 50x фирмы Olimpus, и видеокамеры Moticom 3,0 M.px в соответствии с методиками [10, 14, 22, 23]. Солевой состав растворов и их концентрация определялись методом криометрии согласно экспериментальным данным [2, 24, 26]. Плотность CO<sub>2</sub> и давление рассчитывались с помощью программы FLINCOR [24] по системе [26].

Территория, на которой находится месторождение Озёрное, входит в Каральвеевский рудный узел и относится к Анюйской складчатой зоне, приуроченной к Анюйскому субтеррейну Чукотского террейна – фрагмента позднепалеозойской – раннемезозойской пассивной окраины. История развития узла характеризуется тремя основными этапами. В течение первого этапа на рубеже перми и триаса по разломам палеозойского основания опустились блоки земной коры с образованием прогиба в виде Чукотской геосинклинали. На втором этапе в раннем триасе по этим же разломам внедрились магмы основного состава, представленные многочисленными согласными пластовыми и секущими телами базитов анюйского интрузивного ком-

плекса, впоследствии вмесившими жильное золото-кварцевое оруденение месторождения Каральвеем. На третьем этапе в раннемеловое время произошло коллизионное излияние лав с обширным интрузивным магматизмом и, как следствие, метаморфизм вмещающих пород с мобилизацией и концентрированием металлов [5, 18].

Месторождение Озёрное расположено в 30 км к северо-западу от объекта Каральвеем на продолжении геосинклинали, вытянутой в субширотном направлении, ограниченной крупными региональными разломами (рис. 1): в южной части – Эльвенеиским, в северной – Алярмаутским. Сдвиговые движения по разломам играли ведущую роль в формировании облика месторождений Озёрное и Каральвеем. В результате их сместились блоки пород, образовались диагональные и поперечные разломы, по которым происходили взбросы и открывались трещины с миграцией по ним металлоносных растворов. Соскладчатым разломам соответствуют и продольные зоны тектоно-магматической активизации с различным вскрытием интрузивных образований на современной поверхности [3]. Поскольку месторождение Озёрное приурочено к поднятому блоку пород, гранитоиды, предполагаемые под объектом Каральвеем, на северо-западном фланге месторождения выходят на поверхность (рис. 2; см. рис. 1).

Рудное поле сложено осадочными породами позднего триаса: нижней и верхней песчано-глинистой толщей карнийского яруса, глинистыми, песчано-глинистыми и углисто-глинистыми сланцами норийского яруса. В значительной степени они перекрыты сартанскими ледниковыми и современными аллювиальными четвертичными отложениями. Триасовые породы прорваны интрузией раннемеловых крупнозернистых гранитов (массив Пырканы), дайками лампрофиров, аплитов, альбитофиров, а также многочисленными дайками пострудных диоритов. Граниты крупнозернистой (порфировой) структуры состоят из кварца – 35–40%, плагиоклаза (олигоклаз-андезин) – >40% (размер фенокристаллов до 4 см), калинатрового полевого шпата – 10%, биотита и обыкновенной роговой обманки ~5–7%. Акцессорные минералы – циркон, апатит, единичные зёрна магнетита, мелкая рассеянная вкрапленность арсенопирита. По данным спектрального анализа гранит содержит

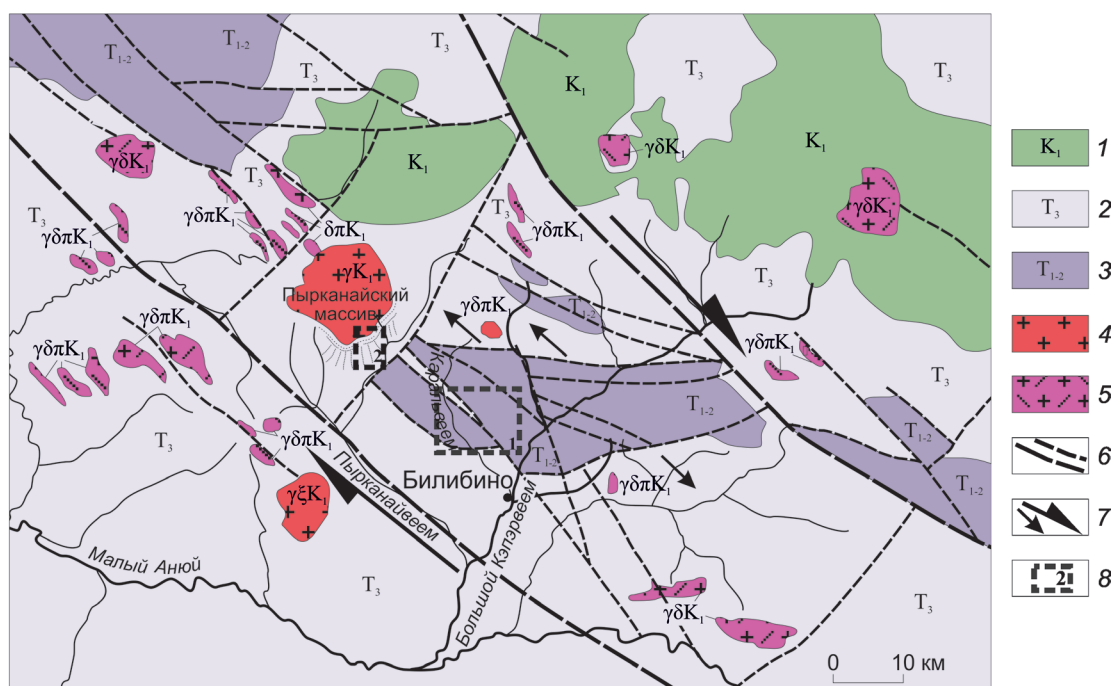


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Каральевовского рудного узла (составлена авторами с использованием государственных геологических карт R-58-XXXV, XXXVI, автор Г.М.Сосунов, редактор С.М.Тильман):

1 – меловая система: аркозовые песчаники, аргиллиты; триасовая система: 2 – глинистые и углисто-глинистые сланцы, кварцевые песчаники, песчано-глинистый флиш, 3 – полимиктовые и туфогенные песчаники, алевролиты, филлиты, глинистые сланцы, туфы диабазов; интрузивные образования: 4 – граниты, гранит-порфиры ( $\gamma K_1$ ), граносиениты, граносиенит-порфиры ( $\gamma \zeta K_1$ ), 5 – дайки диоритов ( $\gamma \delta K_1$ ), диоритовых и андезитовых порфиритов ( $\delta \lambda K_1$ ), гранодиорит-порфиры и трондьемиты ( $\gamma \delta \lambda K_1$ ); 6 – тектонические нарушения разных порядков; 7 – сдвиговые перемещения; 8 – контуры рудных полей (1 – Каральев, 2 – Озёрное)

повышенные концентрации W, Bi, Mo, Zr, Co, Cu, Cr, As, Fe, Ti. Предполагается, что часть этих примесей связана с взаимодействием гранитоидов на глубине с базитовыми силлами. В экзоконтакте гранитов в ореоле около 1 км породы превращены в кордиерит-биотитовые и андалузитовые роговики, на которые наложены кварц-серпичитовые метасоматические околорудные изменения.

Месторождение имеет блоковую структуру, в которой чётко выделяются две системы разломов различного простирания: протяжённые СВ 35–40° с серией оперяющих СВ 60–70°, являющихся сместителями рудных жил в северо-восточном направлении на 10–20 м, и менее протяжённые рудовмещающие СЗ 270–340°. Главными геолого-структурными особенностями месторождения являются околоинтрузивное

пространственное положение, сближение и совпадение по простиранию рудных жил с дайками лампрофиров, что обуславливает определённую специфику текстуры и вещественного состава руд. В крупноглыбовых развалах среди брекчий фиксируются различные взаимоотношения рудного кварца с материалом даек (дорудные и пострудные) (рис. 3, а–г), что позволяет определить с относительным возрастом золотого оруденения.

Рудные тела представляют собой кварц-сульфидные жилы различной ориентировки (по отношению к гранитоидной интрузии) – концентрические (субширотные) в ближнем экзоконтакте и радиальные (субмеридиональные) более удалённые от контакта. Азимут падения жил северный и северо-восточный под углами 55–65°, морфология сложная – часты раздувы и пе-

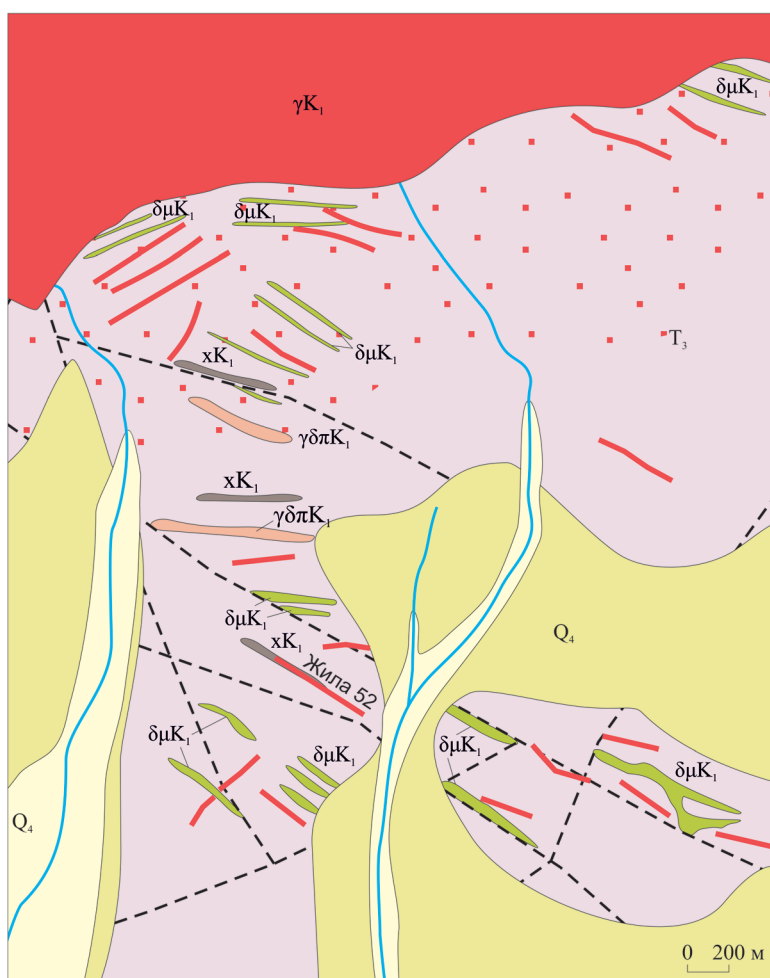
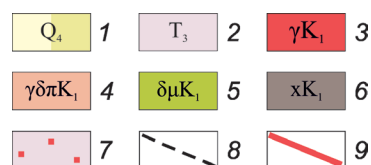


Рис. 2. Геологическая схема рудного поля месторождения Озёрное (составлена авторами с использованием геологической карты Каральвеевского рудного узла, м-б 1:50 000, составитель М.Е.Городинский, 1975):

1 – четвертичная система: аллювиально-пролювиальные отложения; 2 – триасовая система: глинистые и углисто-глинистые сланцы, кварцевые песчаники, песчано-глинистый флиш; раннемеловые интрузивные и субвулканические образования; 3 – граниты, гранит-порфиры, 4 – гранодиорит-порфиры, трондьемиты, 5 – диоритовые и андезитовые порфиры, 6 – дайки керсантитов и лампрофиров; 7 – контактово-метасоматические изменения; 8 – тектонические нарушения; 9 – рудные тела



режимы. В некоторых из них наблюдаются ксенолиты вмещающих пород. Мощность от 0,25 до 2,3 м, в среднем около 1,0 м, протяжённость от 100 до 600 м.

К настоящему времени штольнями и бурением разведано 15 жил на глубину до 300 м. Наиболее разведана жила 52. Центральная её часть залегает в теле дайки лампрофиров и выходит в осадочные породы со стороны её всякого бока. В жиле содержание Au на глубине 300 м составляет 121,4 г/т при мощности 0,7 м. В целом же по месторождению распределение золота неравномерное. В бонанцах его содержание достигает 857,9 г/т. Помимо жил, в осадочных породах рудного поля наблюдаются зоны тонкого кварц-карбонатного прожилкования мощностью 0,5–0,3 м, сопровождающие рудные жилы и имеющие близкое к ним простирание. В них встречается видимое золото.

Основные рудные образования имеют полосчатую текстуру, характеризующуюся чередованием слоёв (1–3 см) разнозернистого кварца, подчёркнутых тонкими (0,5–1,5 мм) реликтами слабосульфидизированных осадочных пород и трещиноватостью, параллельной зальбандам жил (см. рис. 3, д–з). К полосам обычно приурочена тонкая вкрапленность арсенопирита и самородного золота. Отмечаются также брекчиевые текстуры: кварц цементирует материал дайки лампрофиров и мелкие обломки осадочных пород (см. рис. 3, а–г). В богатых участках жил полосчатость выражена чередованием сульфидных минералов и кварца. Прожилковая текстура в зонах окварцевания отличается наличием тонких кварц-карбонатных просечек и прожилков в алевролите (см. рис. 3, з). В целом текстурные особенности свидетельствуют о спокойной тектонической обстановке при формировании руд.

В рудах месторождения обнаружено более 30 минералов, приведённых в табл. 1 по степени распространённости.

*Кварц* представлен тремя разновидностями. Кварц-1 – молочно-белый среднезернистый и скрытокристаллический с полосчатой текстурой, редкими включениями альбита, окрашенный на поверхности в бурые тона – это продуктивный золотоносный кварц. Он рассекает дайки лампрофиров и совместно с карбонатом цементирует их обломки. Кварц-2 представлен гранулированным агрегатом или сливным полупрозрачным в виде оплавленных по краям обломков размером 5–80 см в пострудных дайках диоритов (см. рис. 3, а, б). Кварц-3 образует тонкие (0,5–2,5 мм) прожилки в чёрных глинистых сланцах и алевролитах (см. рис. 3, в, г), тесно ассоциирует с метаморфогенным карбонатом (см. рис. 3, з).

*Хлорит* развит по биотиту в дайках лампрофиров совместно с фукситом и небольшим количеством гидрослюда как метасоматический минерал. Количество его может достигать 20% в изменённых породах.

*Фуксит* обычно слагает гнездовые скопления в лампрофирах. Диагностика минерала подтверждена дериватографией, с помощью которой были зафиксированы два эндотермических эффекта при температуре 761,2 и 800°C, что характерно для слюды с содержанием Cr >1%. При нагреве происходит дегидратация, сопровождающаяся вспучиванием остаточной части материала в тигле. Повторный нагрев этого же образца после остывания при температуре >100°C вызывает появление нового эндотермического пика в связи с тем, что часть конституционной воды была адсорбирована

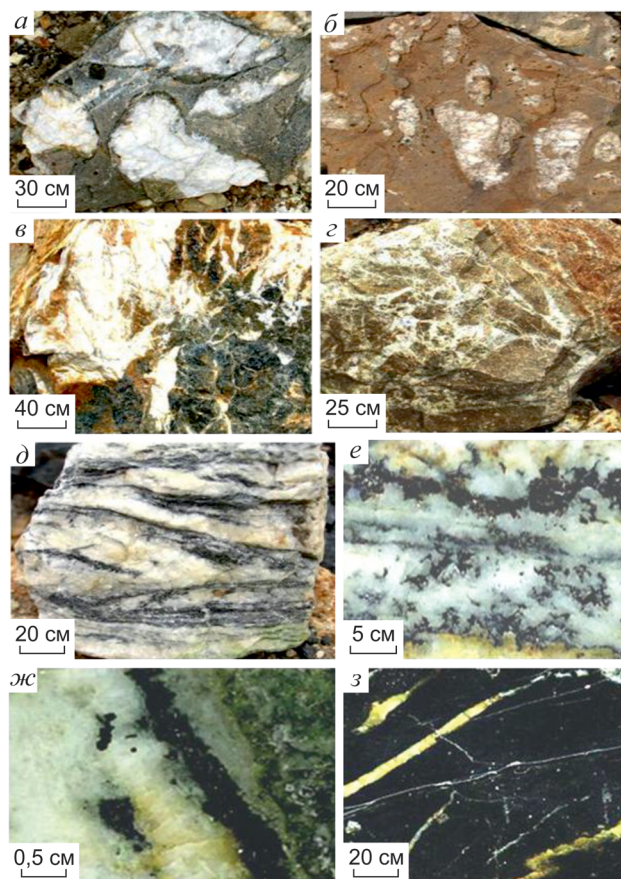


Рис. 3. Текстуры особенности руд месторождения Озёрное:

взаимоотношения рудного кварца с дайками разного состава: а, б – обломки кварца в цементе пострудной дайки диорита, в, г – кварц цементирует обломки дорудной дайки лампрофира; текстуры золотоносных жил: д–ж – полосчатая, обусловленная чередованием кварца и арсенопирита, содержащего включения алевролита, з – прожилковая (образцы из зон прожилкования, сопровождающих кварцевые жильные тела)

### 1. Минеральный состав руд месторождения Озёрное по степени распространённости

Классы минералов	Главные	Второстепенные	Редко встречающиеся
Метаморфогенные	Биотит	Андалузит, кордиерит	Тремолит, актинолит, рутил
Жильно-метасоматические	Кварц, хлорит	Карбонат, мусковит, фуксит, биотит	Апатит, альбит
Рудные	Арсенопирит, галенит	Пирротин, пирит, макинавит, сфалерит, халькопирит, Вит-жемсонит, самородное золото	Гематит, висмутин, буланжерит, молибденит, антимонит, герсдорфит
Гипергенные	Лимонит, скородит	Англезит, пиролюзит	Азурит

2. Химический состав рудных минералов месторождения Озёрное

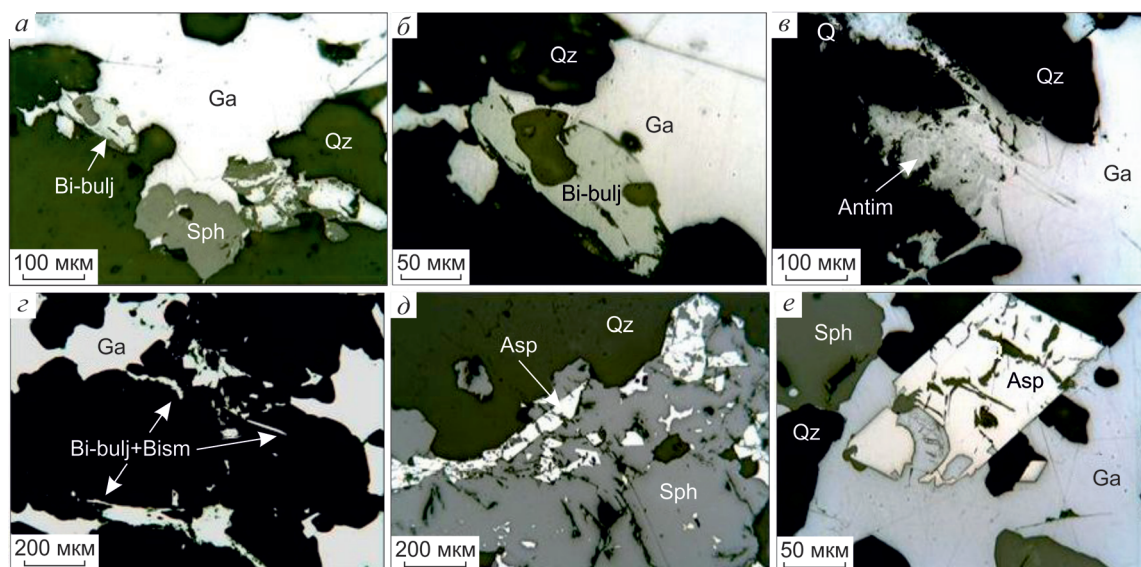
Минералы	Концентрация элементов, мас. %							Формульные коэффициенты					
	S	Co	Fe	Ni	Cu	As	Σ	S	Co	Fe	Ni	Cu	As
Герсдорфит (Ni, Co, Fe)AsS	19,98	15,57	10,46	10,11	0,06	39,19	95,48	1,06	0,45	0,32	0,29	0,00	0,89
	20,29	22,41	7,37	6,52	0,10	40,77	97,36	1,05	0,63	0,22	0,18	0,00	0,91
	20,37	24,86	6,10	8,03	0,20	39,09	98,47	1,04	0,69	0,18	0,22	0,01	0,86
	20,16	24,15	6,33	5,91	0,10	38,88	95,45	1,06	0,69	0,19	0,17	0,00	0,88
	20,18	21,17	10,18	8,67	0,00	37,24	98,46	1,04	0,59	0,30	0,24	0,00	0,82
	19,63	19,57	8,88	10,35	0,10	39,28	97,82	1,02	0,55	0,26	0,29	0,00	0,87
	20,55	22,49	7,20	7,13	0,00	43,60	100,9	1,04	0,62	0,21	0,20	0,00	0,94
	20,00	15,6	9,94	10,47	0,20	41,91	97,50	1,04	0,44	0,30	0,30	0,01	0,93
	20,15	26,03	5,69	4,95	0,00	41,66	98,49	1,04	0,73	0,17	0,14	0,00	0,92
Пирит FeS <sub>2</sub>	51,96	0,03	45,68	0,07	0,00	0,09	97,83	1,99	0,00	1,01	0,00	0,00	0,00
	52,51	0,09	46,11	0,02	0,00	0,30	99,02	1,99	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	51,97	0,05	45,34	0,15	0,02	0,00	97,53	2,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Халькопирит CuFeS <sub>2</sub>	34,71	0,08	29,46	0,00	33,54	0,00	97,78	2,03	0,00	0,99	0,00	0,99	0,00
Арсенопирит FeAsS	21,17	0,50	34,79	0,00	0,10	42,79	98,81	1,06	0,01	1,00	0,00	0,00	0,92
	20,69	0,30	33,70	0,00	0,00	43,29	97,71	1,06	0,01	0,99	0,00	0,00	0,95
	20,07	0,25	34,23	0,00	0,00	44,71	99,36	1,02	0,01	1,00	0,00	0,00	0,97
Буланжерит Bi-содержащий (Pb,Bi) <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	S	Sb	Pb	Bi	Σ	S	Sb	Pb	Bi				
	19,28	25,05	54,96	1,02	100,30	11,20	3,82	4,92	0,09				
	19,48	24,72	55,05	1,43	100,68	11,20	3,75	4,91	0,13				
	19,58	24,59	55,05	1,08	100,30	11,30	3,73	4,90	0,10				
	18,76	28,15	54,68	1,43	100,20	10,80	3,89	4,97	0,13				
	18,64	24,71	54,55	1,41	99,31	11,00	3,85	4,99	0,13				
	18,41	22,26	55,97	2,49	99,13	11,10	3,52	5,2	0,23				
	18,78	23,51	54,24	2,56	99,39	11,10	3,67	4,97	0,23				
	18,43	22,78	56,84	1,28	99,33	11,00	3,59	5,26	0,12				
19,22	24,40	54,30	2,19	100,12	11,20	3,74	4,89	0,20					
Висмутин (Bi, Sb) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	18,51	4,33	0,00	75,74	98,60	2,96	0,18	0,00	1,86				
	18,76	5,41	0,00	76,02	100,19	2,95	0,22	0,00	1,83				
Галенит Bi-содержащий PbS	13,76	0,00	83,21	1,53	98,50	1,02	0,00	0,96	0,02				
	13,39	0,00	83,48	1,17	99,05	1,01	0,00	0,98	0,01				
	13,67	0,00	84,51	1,43	99,31	1,01	0,00	0,97	0,02				
	13,70	0,00	83,88	1,09	98,67	1,02	0,00	0,97	0,01				
Антимонит Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	72,27	28,83	0,00	0,06	101,18	2,03	1,99	0,00	0,00				

Примечание. Сатебах, оператор Е.М.Горячева (ФГБУН СВКНИИ им. Н.А.Шило ДВО РАН).

оставшейся массой породы, а пики более высоких температур исчезают.

*Карбонат* – белый и кремовый кальцит, ассоциирующий с кварцевыми прожилками и кварцевым цементом в дайках лампрофиров. В продуктивных кварцевых жилах отмечаются

тонкие (не более 1 мм) просечки железистого карбоната, интенсивно окрашенного охрами железа в тёмно-бурые тона. В зонах тонкого прожилкования, сопровождающих рудные жилы, встречается метаморфогенный карбонат.



**Рис. 4. Срастания рудных минералов:**

*a, б* – галенита со сфалеритом и висмутистым буланжеритом, снято при различных увеличениях; *в* – антимонита с галенитом в кварце; *г* – игольчатые выделения висмутина и висмутистого буланжерита в кварце; *д* – включения арсенопирита в сфалерите; *е* – срастание катаклазированного арсенопирита с галенитом (галенит отложился позднее арсенопирита)

*Актинолит* и *тремолит*, связанные с метаморфическими и метасоматическими изменениями, отмечены преимущественно в роговиках, реже в лампрофирах в виде пучков игольчатых кристаллов размером до 2 мм по удлинению.

*Арсенопирит* широко распространён, встречается повсеместно в кварце и приурочен к реликтовым полосам осадочных пород. Нередко образует цепочки, состоящие из кристаллов и их обломков, а также скопления кристаллов до 4 мм. Кристаллы короткопризматические размером до 1,5 мм по удлинению (в основном 0,05–0,5 мм). Минерал катаклазирован и частично окислен. Ассоциирует с галенитом, самородным золотом и Pb-Sb сульфосолями (рис. 4, *е*). По составу близок к стехиометрическому, с незначительно повышенными концентрациями S (табл. 2).

*Галенит* образует интерстициальные выделения в кварце размером до 3 мм, срастается с джемсонитом, антимонитом, висмутином, сфалеритом и арсенопиритом. По отношению к арсенопириту галенит более поздний (см. рис. 4). Содержит примесь Bi от 1,09 до 1,53 мас. % (см. табл. 2).

*Сфалерит* присутствует в виде интерстициальных скоплений в кварце. Обычно это зернистые агрегаты размером до 1,5 мм; минерал не содержит эмульсионной вкрапленности халькопирита, срастается с арсенопиритом и галенитом (см. рис. 4).

*Игольчатые сульфосоли Pb-Sb* – по составу это висмутсодержащий буланжерит (Bi 1,02–2,56 мас. %), ассоциирующий с галенитом; отлагается по периферии его выделений с антимонитом и висмутином (см. рис. 4, табл. 2).

*Пирротин* образует скопления на контакте диорит-порфиров с обломками жильного кварца в виде гипидиоморфнозернистых агрегатов размером до 4 мм. Установлены его тесные срастания с пиритом, макинавитом, халькопиритом. Содержит включения сульфоарсенидов Co, Ni; встречены также переходные от пирротина к пириту со структурой «птичьего глаза» фазы (рис. 5).

*Пирит* образует тонкую (0,05 мм) вкрапленность <0,1% в рассланцованных триасовых алевролитах и наблюдается в более крупных (до 3 мм) гипидиоморфных выделениях в метасоматически изменённых дайках диоритов, где тесно ассоциирует с пирротинном. В пирите от-

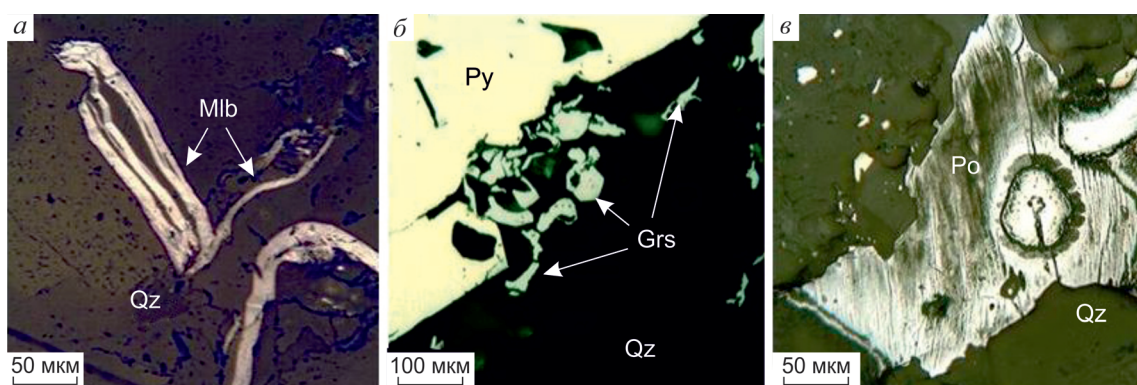


Рис. 5. Срастания герсдорфита и молибденита:

*а* – молибденит в кварце; *б* – выделения герсдорфита в кварце на периферии зерна пирита; *в* – пирротин в фазе перехода в пирит с характерной структурой «птичьего глаза»

мечаются округлые включения халькопирита, реже галенита.

Сульфоарсениды *Fe*, *Ni*, *Co* ассоциируют с пирротином и пиритом, образуя в них включения идиоморфных кристаллов псевдогексагональных очертаний, а также выделяются в виде изогнутых лентообразных скоплений вокруг зёрен пирротина (см. рис. 5). По составу это кобальтин-герсдорфит с содержанием *Co* от 15,5 до 26,3, *Ni* от 4,95 до 10,05, *Fe* от 5,69 до 10,46 мас. % (см. табл. 2).

Молибденит встречается относительно редко. Обычно образует выделения размером до 0,8 мм в кварце ксенолитов, заключённых в диоритовых дайках, чешуйки изогнуты (см. рис. 5). Кроме того, в продуктивном кварце фиксируются серые ореолы диаметром до 5 мм, насыщенные мелкочешуйчатым молибденитом.

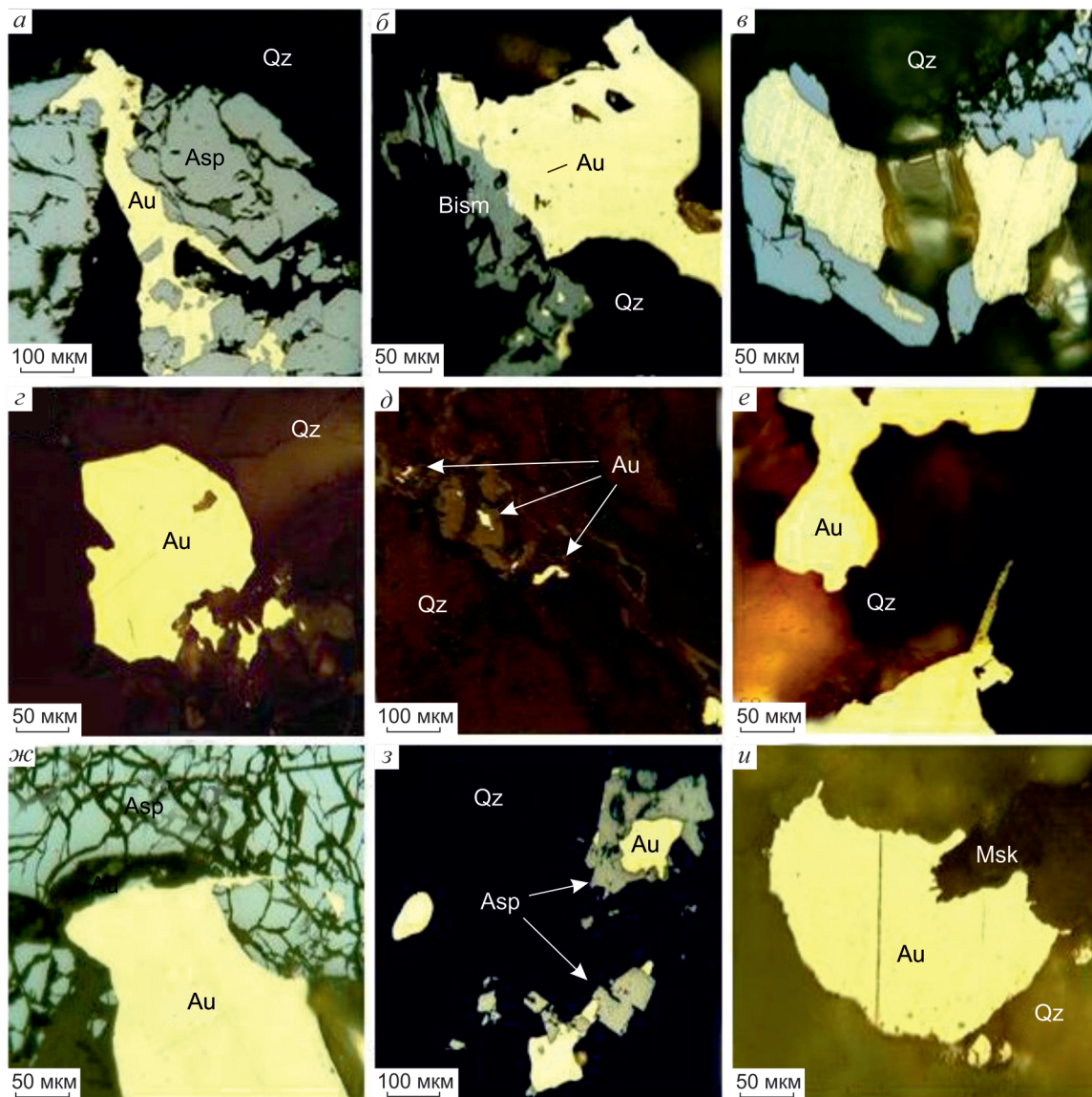
Самородное золото – главный промышленный минерал в рудах. Преобладающее его количество отлагается непосредственно в кварце. Примерно 30% находится в срастании с катаклазированным арсенопиритом (рис. 6), также выявлены единичные случаи срастания с висмутином. Форма частиц золота преимущественно ксеноморфная, реже гипидиоморфная. Размерность от 50 мкм до 0,7 мм. Основная часть золота размером 0,1–0,5 мм.

Пробность золота определена микрорентгеноспектральным и оптическим методами. Среднее значение по 48 измерениям 835%, максимальное 850%. Распределение пробности логнормальное, указывающее на одностадийность процесса. Неоднородность золота

по составу подтверждается структурным травлением  $HCl+CrO_3$ . В отдельных частицах золота обнаружены слабое раздвижение межзерновых границ, простые двойники и двойники прорастания. Изменения связаны с незначительным термометаморфизмом металла при внедрении пострудных даек.

По пространственно-временным отношениям минералов и минеральных ассоциаций составлена схема последовательности образования минералов (рис. 7). Модель формирования месторождения выглядит следующим образом: внедрение интрузии крупнозернистых гранитоидов → ороговикование вмещающих осадочных пород → интрузия сопровождается серией прорудных жильных интрузивных тел (даек лампрофиров) → метасоматоз → формирование золотоносных кварцевых жил → внедрение пострудных даек диоритов с частичным разрушением рудоносных жил и цементированием их фрагментов в местах пересечения → гипергенные процессы.

Кварц из жилы 52 месторождения Озёрное характеризуется высокой, неравномерной насыщенностью флюидными включениями. Для изучения ФВ использовано пять образцов. Преобладающий размер ФВ от 10 до 45 мкм. Для исследований подбирались первичные включения размером 8–42 мкм, с равновесными формами. Вторичные ФВ в выбранных образцах представлены в меньшинстве, имеют сравнительно малый размер (1–5 мкм), округлую или вытянутую форму, группируются в шлейфы вдоль трещин. При комнатной температуре



**Рис. 6. Формы выделений и типы сростаний самородного золота месторождения Озёрное:**

сростания самородного золота с арсенопиритом (а, в), висмутином (б), кварцем и мусковитом (и); выделения гипидиоморфное в кварце (z, e), мелкого золота в кварце (д), ксеноморфное в катаклазированном арсенопирите, золото заполняет трещинку в арсенопирите (ж); включение золота в арсенопирите (з)

идентифицированы два типа первичных ФВ, отличающихся по фазовому составу: L-тип, газо-жидкие и LC-тип, содержащие фазы водного раствора и газообразной  $\text{CO}_2$ . Объёмная доля  $\text{CO}_2$  во включениях LC-типа составляет примерно 40–60% (рис. 8). Наиболее распространены ФВ LC-типа. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Температурный интервал гомогенизации ФВ 296–142°C при средней температуре 243°C, что

довольно близко к температурам формирования руд месторождения Каральвеем ( $T_{\text{гом.}}=310\text{--}181^\circ\text{C}$ , средняя  $T_{\text{гом.}}=256^\circ\text{C}$ ) [8, 11]. Флюидные включения LC-типа полностью гомогенизируются при температуре 296–251°C, L-типа – 144–142°C. Распределение температур гомогенизации имеет бимодальный характер с пиками 270–280 и 144°C. Измерение температур эвтектики ( $T_{\text{эвт.}}=-30\text{...}-23,3^\circ\text{C}$ ) определило в растворах, заключённых в ФВ, присутствие хлоридов Na, K и

3. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце золото-сульфидно-кварцевой жильной зоны 52 месторождения Озёрное\*

Типы ФВ	Температура фазовых переходов, °С						С солей, мас. % экв. NaCl	Плотность CO <sub>2</sub> , г/см <sup>3</sup>
	T <sub>гом. (Ж-Г)</sub>	T <sub>эвт.</sub>	T <sub>пл. льда</sub>	T <sub>пл. ГГ</sub>	T <sub>пл. CO<sub>2</sub></sub>	T <sub>гом. CO<sub>2</sub></sub>		
LC (n=11)	296...251	-30...-23,3	-3...-9,4	9,1	-58,9...-57,8	20...26 (Г)	1,84	0,19...0,23
L (n=9)	144...142	-27	-1,6...-0,9	н	н	н	2,74...1,57	н

\* Каждая строка характеризует группу включений с близкими РТХ-параметрами, присутствующих в одном или нескольких образцах; н – соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; LC – углекислотно-водные, L – двухфазовые газовой-жидкие; Г – гомогенизация углекислоты в газовую фазу; n – число изученных индивидуальных флюидных включений.

Минералы	ЭТАП			
	Контактово-метаморфический	Гидротермально-метасоматический	Пострудное внедрение даек диоритов	Гипергенный
Андалузит	=====			
Кордиерит	=====			
Бiotит	=====			
Тремолит	=====			
Актинолит	=====			
Кварц		=====		
Хлорит		=====		
Мусковит		=====		
Апатит		=====		
Фуксит		=====		
Альбит			=====	
Карбонат			=====	=====
Гематит		=====		
Гр. пирротина-макинавита	=====		=====	
Пирит	=====		=====	
Арсенопирит		=====		
Галенит		=====		
Сфалерит		=====	=====	
Халькопирит		=====		
Золото самородное			=====	
Герсдорфит		=====		
Гр. буланжерита-джермонита			=====	
Антимонит			=====	
Молибденит		=====		
Гидроксиды Fe				=====
Скородит				=====
Пирролюзит				=====
Англезит				=====
Азурит				=====
Температуры образования по минералам-индикаторам и гомогенизации флюидных включений	Не ниже 400°С (андалузит, кордиерит, актинолит)	296–142°С (гомогенизация ФВ в кварце)	200–220°С (герсдорфит)	+10–30°С (температура окружающей среды)

Рис. 7. Парагенетическая схема последовательности образования минералов месторождения Озёрное:

толщина линий соответствует степени распространённости минерала; Гр. – группа

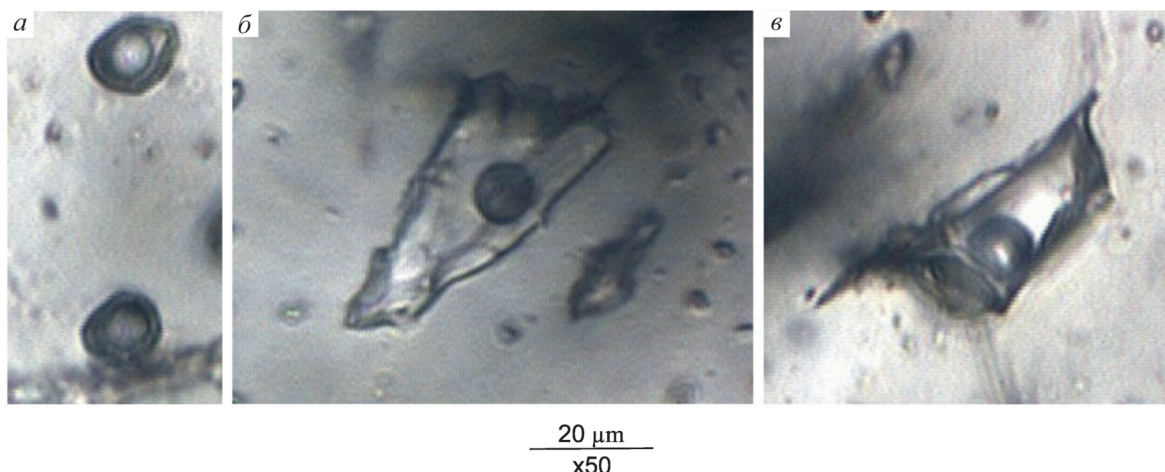


Рис. 8. Типы флюидных включений в кварце из жилы 52 месторождения Озёрное:

*а* – LC-тип (водно-солевой раствор+газообразная  $\text{CO}_2$ ):  $T_{\text{гом.}}=274^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{гом. CO}_2}=23,7^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{пл. CO}_2}=-57,8^\circ\text{C}$ ; *б, в* – L-тип (водно-солевой раствор): *б* –  $T_{\text{гом.}}=144^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{эвт.}}=-27,7^\circ\text{C}$ ,  $C$  2,74 мас. % экв. NaCl, *в* –  $T_{\text{гом.}}=142^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{эвт.}}=-27,8^\circ\text{C}$ ,  $C$  1,57 мас. % экв. NaCl

Mg. Это сопоставимо с криометрическими характеристиками первичных ФВ в золотоносном кварце месторождения Каральвеем ( $T_{\text{эвт.}}=-21...-37^\circ\text{C}$ ), подтверждёнными анализом водных вытяжек, выявившем следующий состав: (0,87Na, 0,07K, 0,03Mg, 0,03Ca)/(0,03Cl, 0,06 $\text{SO}_4$ , 0,91 $\text{HCO}_3$ ) [9].

Концентрации растворов, оценённые по температурам плавления последнего кристаллика льда ( $T_{\text{пл. льда}}$ ) и плавления газгидратов ( $T_{\text{пл. гг}}$ ), стабильны и охватывают интервал от 2,74 до 1,57 мас. % экв. NaCl (см. табл. 3), что не значительно, но ниже, чем в ФВ в кварце месторождения Каральвеем ( $C$  2,35–5,86 мас. % экв. NaCl) и, возможно, связано с большим разбавлением гидротермального флюида. Углекислота, содержащаяся в ФВ LC-типа, гомогенизируется в жидкость при температурах от 20 до 26 $^\circ\text{C}$ , имеет плотность 0,19–0,23 г/см $^3$ . Плавление углекислоты происходит в интервале температур от -58,9 до -57,8 $^\circ\text{C}$ , что говорит о присутствии примеси низкокипящих газов, также выявленных химическим анализом газовой фазы ФВ в рудном кварце месторождения Каральвеем [8]:  $\text{CO}_2$  74,2,  $\text{N}_2$  19,1,  $\text{CH}_4$  1,1,  $\text{H}_2$  5,6%.

Изученные руды месторождения Озёрное представлены тремя минеральными комплексами: I – *продуктивный* – включает: молибденит → пирротин+халькопирит+пирит+Co-Ni герсдорфит+арсенопирит → галенит+сфалерит → Pb, Sb, Bi сульфосоли → самородное золото, связан

с гранитоидами и предрудными дайками лампрофиров; II – *постпродуктивный* – пирротин+пирит+халькопирит, связан с пострудными дайками диоритов; III – *гипергенный* – преимущественно гидроксиды Fe+скородит. Золотое оруденение сосредоточено в кварцевых жилах и прожилках. Главный промышленный компонент руд – самородное золото, образующее легкоизвлекаемые свободные формы сростаний с кварцем и катаклазированным арсенопиритом. Крупность золота по отобраным пробам колеблется от 0,05 до 1 мм с преобладанием фракции 0,1–0,5 мм, составляющей 75% всего объёма самородного золота. Среднее значение пробности Au 835‰, максимальное 850‰. Распределение Au в жилах бананцевое (>100 г/т) на фоне рядовых руд с содержаниями 10–15 г/т. Слабое развитие текстур катаклаза указывает на относительно спокойный характер рудоотложения. Сульфидность руд и метасоматитов не превышает 1%.

Месторождение пространственно тяготеет к экзоконтакту гранитоидного массива Пырканай и генетически тесно с ним связано. Это доказывают геохимическая специализация массива (Mo, Bi, Cr) и присутствие тех же элементов в минералах золотоносных жил – Cr-содержащей слюды фуксита, молибденита, висмутина, Bi-содержащих галенита и буланжерита. Источником золота могли быть осадочные породы триаса,

4. Сравнительный анализ месторождений золото-кварцевой формации Каральвеемского рудного узла

Характеристика месторождений	Озёрное	Каральвеем	Кекура
Пространственное положение по отношению к интрузиву	Околоинтрузивное	Надынтрузивное	Внутриинтрузивное
Вмещающие породы	Осадочные породы верхнего триаса: нижней и верхней толщ карнийского яруса, 230–216 млн лет	Габбродиабазы позднего триаса, изотопный возраст которых 231 млн лет (Rb-Sr анализ)	Гранитоиды массива Кекура? (112–109 млн лет)
Возраст оруденения	105–107 млн лет	104–123 млн лет	Нет данных
Тип метасоматитов	Кварц-гидрослюдистые	Кварц-хлорит-гидрослюдистые	Кварц-гидрослюдистые
Тип рудных тел	Жильно-прожилковый	Жильный и зоны вкрапленного оруденения	Жильно-прожилковый
Малые интрузии (дайки)	Предрудные лампрофиры, пострудные диориты	Дорудные или синрудные гранодиорит-порфиры, пострудные риолиты	Предрудные лампрофиры
Геохимическая специализация	Au, Ag, Sb, Mo, W, Bi	Au, Ag, Mo, W, Be, Bi	Au, Ag, Mo, W, Bi, Te
Минеральные парагенезисы	Золото-кварц-арсенопиритовый, золото-Bi галенит-Bi буланжерит-антимонитовый, пирротин-пирит-герсдорфитовый	Золото-кварц-арсенопиритовый, золото-галенит-самородный Bi, золото-пирит-арсенопиритовый	Золото-кварц-арсенопиритовый, золото-кварц-теллуридно-висмутитовый
Типы ФВ	LC, L	LC, L	LC, L
$T_{гом.}, ^\circ C$	296...142	310...181	290...230
$T_{звт.}, ^\circ C$	-30...-23,3	-37...-21	-12,5...-7
Солёность растворов, мас. % экв. NaCl	2,74...1,57	2,35...5,86	9,7...3,7
$T_{пл. CO_2}, ^\circ C$	-58,9...-57,8	-59,2...-57,7	-58...-56

Примечание. В таблице использованы данные авторов, а также [7, 11–13, 21].

прорванные гранитоидной интрузией, что не противоречит построениям [4] о мобилизации металла из осадочных пород, особенно «чёрных» глинистых сланцев, обогащённых органическим веществом, под воздействием процессов регионального или контактового метаморфизма. Мобилизация вещества в гранитоиды массива из верхнетриасовых осадков подтверждается и высокой насыщенностью гранитоидов акцессорным апатитом (до 0,5–1,0%) и коррелирует с высокой фосфоритонностью триасовых осадочных пород. На связь оруденения с гранитоидами массива указывают и его жильные производные – постгранитные (предрудные) дайки лампрофиров, которые

рассекаются продуктивными жилами кварца (см. рис. 3, а–г). Подобные дайки выявлены и на месторождении Кекура, локализованном в многофазном гранитоидном массиве. Им придают особое значение Н.Н.Шатагин и А.Д.Чернова [21], считая своего рода «промежуточными коллекторами» накопления золота. По их мнению, на завершающей стадии магматического этапа такие дайки сначала накапливают, а при снижении температур отдают расплывенное в них золото, выпадающее в осадок в виде укрупнённых золотин совместно с кварцем. Это подтверждается на месторождении Озёрное, где на участках пересечения жил с дорудными дайками лампрофиров возникают бо-

нанцы с содержаниями Au до 857,9 г/т (жила 52).

Признаки связи золото-кварцевого оруденения в Анюйской складчатой зоне с гранитоидными интрузиями можно обнаружить не только на месторождении Озёрное, но и на объектах Каральвеем и Кекура (табл. 4). Главный признак – наличие сквозных для руд всех месторождений индикаторных элементов Bi, Mo, W, однако различное пространственное положение месторождений по отношению к интрузивам обуславливает их минералого-геохимическую специфику. В приподнятом блоке пород на более высоком гипсометрическом уровне (около-интрузивное месторождение Озёрное) в рудах в заметных количествах появляются минералы Sb – антимонит и Pb-Sb сульфосоли и отмечаются относительно пониженные температуры гомогенизации (296–142°C). В опущенном блоке (надынтрузивное месторождение Каральвеем) интенсивнее проявлен вольфрам и появляется бериллий, интервал температур гомогенизации возрастает (310–181°C). Непосредственно в теле интрузива (Кекура) наряду с висмутом установлен теллур, температура рудообразования более стабильна (см. табл. 4).

Важное значение имеет возраст оруденения, определённый в результате проведённых исследований. Рудная минерализация на месторождении Озёрное по геологическим данным и текстурному анализу формировалась в период между двумя интрузивными событиями – после внедрения даек лампрофиров и до внедрения даек диоритов. Это время устанавливается также с высокой степенью достоверности по изотопной датировке пород дайкового комплекса 105–107 млн лет, U-Pb (SHRIMP)-датированию [12] и сопоставимо с возрастом золотого оруденения на объекте Каральвеем, но с меньшим разбросом – 104–123 млн лет (K-Ar) по мусковиту [7].

Проведённые термо- и криометрические исследования позволяют говорить о формировании жильного кварца месторождения Озёрное в сравнительно спокойных условиях в полуоткрытой системе [15] из низкоконцентрированного гидротермального флюида, насыщенного углекислотой, низкокипящими газами, ионами Na, K и Mg, при температурной регрессии от 296 до 142°C и давлении <1 Кбар. Сопоставление полученных характеристик условий формирова-

ния продуктивного кварца (жила 52) месторождения Озёрное с аналогичными параметрами образования рудных тел объекта Каральвеем (см. табл. 4) выявило сходство составов рудообразующих гидротермальных флюидов, что предполагает их единый источник, но указывает на различия динамических обстановок.

В целом оруденение месторождений Озёрное, Каральвеем и Кекура мало отличается. Основные минералы в рудах – арсенопирит, галенит, сфалерит, самородное золото. Кроме того, довольно отчётливо проявлен спектр минералов, подчёркивающих связь оруденения с гранитоидным магматизмом: висмутин, молибденит, висмутистый галенит, Bi-содержащие Pb-Sb сульфосоли. Приподнятое положение блока и слабый эрозионный срез золотого оруденения маркируются широким развитием минералов сурьмы. Самородное золото имеет пробность 835‰, содержание Au в рудах от первых грамм до 850 г/т.

В Анюйской складчатой зоне по аналогии с оруденением месторождения Кекура, которое локализовано непосредственно в гранитоидном массиве, можно прогнозировать выявление золото-кварцевого (золото-редкометального) оруденения и в Пырканийском интрузиве. Учитывая развитие прерудных даек лампрофиров, наличие антимонита и Pb-Sb сульфосолей, можно считать, что на месторождении Озёрное верхнерудный уровень золотого оруденения, и предполагать его значительный вертикальный размах.

Авторы выражают благодарность главному геологу предприятия «Рудник Каральвеем» В.В.Гаштольду за оказанное содействие в полевых исследованиях в 2012 г.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, проект № 14-17-00170 и гранта ДВО РАН (программа Дальний Восток) № 15-1-2-038.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктические ресурсы золота в глобальной перспективе / Н.С.Бортников, К.В.Лобанов, А.В.Волков и др. // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4 (16). С. 28–37.
2. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.

3. Волков А.В., Гончаров В.И., Сидоров А.А. Месторождения золота и серебра Чукотки. – М.: ИГЕМ РАН; Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006.
4. Ворошин С.В., Мельник В.Г., Тюкова Е.Э. Региональный баланс золота при прогрессивном метаморфизме в терригенных толщах Верхне-Колымского региона // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т. 2. Рудная минерализация и петрогенезис (Тр. Всерос. совещ. Магадан, 4–6 сентября 1997 г.). Магадан, 2000. С. 175–186.
5. Геология СССР. Т. 30. Кн. 1. / Гл. ред. А.В.Сидоренко. – М.: Недра, 1970.
6. Гончаров В.И. Флюидный режим формирования золотого оруденения в складчатых комплексах Северо-Востока России // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т. 2. Рудная минерализация и петрогенезис (Тр. Всерос. совещ. Магадан, 4–6 сентября 1997 г.). Магадан, 2000. С. 80–106.
7. Давиденко Н.М. Абсолютный геологический возраст золотого оруденения территории мезозойского Мало-Аньюйского бассейна (Западная Чукотка) // Геология и геофизика. 1969. № 7. С. 125–127.
8. Давиденко Н.М. Минеральные ассоциации и условия формирования золотоносных кварцевых жил Мало-Аньюйского района Западной Чукотки. – Новосибирск: Наука, 1975.
9. Двуреченская С.С., Кряжев С.Г., Нургалиев Г.Н., Елманов А.А. Минералогические особенности золоторудного месторождения Кекура (Чукотка) // Минералогические исследования и минерально-сырьевые ресурсы России (Мат-лы годичной сессии Российского минералогического общества). М., 2007. С. 92–93.
10. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
11. Золоторудное месторождение Каральвеем: новые данные о геологии, минералогии и условиях формирования / Н.А.Горячев, В.В.Гаштольд, Н.Е.Савва и др. // Мат-лы Всерос. науч. конф. (Магадан, 26–28 ноября 2013 г.). Магадан, 2013. С. 94–96.
12. Катков С.М., Стрикленд А., Миллер Э.Л., Торо Дж. О возрасте гранитных интрузий Аньюйско-Чукотской складчатой системы // ДАН. 2007. Т. 414. № 2. С. 219–222.
13. Кряжев С.Г., Двуреченская С.С., Уютов В.И. Формирование золоторудного месторождения Кекура // Мат-лы Всерос. конф. (с междунар. участием), посвящённой 100-летию Н.А.Шило, «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». М., 2013. С. 89.
14. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М.: Акад. Проект, 2008.
15. Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН, 2000.
16. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М.: Мир, 1987.
17. Садовский А.И., Гельман М.Л. Геологическая карта СССР 1:200 000. Сер. Аньюйская-Чаунская. Лист R-58-XXVIII. – Л.: ВСЕГЕИ, 1970.
18. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Летунов С.П., Прокофьев В.Ю. Флюидный режим процесса рудообразования Балеийской золоторудно-магматической системы (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 10. С. 1413–1422.
19. Физико-химическое моделирование процессов минералообразования Бадранского золоторудного месторождения (Якутия) / А.А.Оболенский, Л.В.Гущина, Г.С.Анисимова и др. // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 373–392.
20. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Структурная позиция крупных золоторудных районов Центрально-Алданского (Якутия) и Аргунского (Забайкалье) супертеррейнов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 6. С. 849–862.
21. Шатагин Н.Н., Чернова А.Д. Температурный режим формирования кварц-золоторудного месторождения Кекура (Восточная Чукотка) // Тез. XV Всерос. конф. по термобарогеохимии. М., 2012. С. 92–93.
22. Bodnar R.J. Reequilibration of fluid inclusions // Fluid inclusions: Analysis and interpretation. 2003. Vol. 32. P. 213–230.
23. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Pontignano-Siena, 1994. P. 117–130.
24. Brown P.E. FLINCOR; a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusions da-

- ta // American Mineralogist. 1989. Vol. 74. № 11–12. P. 1390–1393.
25. *Brown P.E., Lamb W.M.* P-V-T properties of fluids in the system  $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$ : New graphical presentations and implications for fluid inclusions studies // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. Vol. 53. № 6. P. 1209–1221.
26. *Darling R.S.* An extended equation to calculate NaCl contents from final clathrate melting temperatures in  $H_2O$ - $CO_2$ -NaCl fluid inclusions: Implications for P-T isochore location // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. Vol. 55. № 12. P. 3869–3871.
27. *Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, Northeast Russia, based on  $40Ar/39Ar$  and trace element geochemistry / P.W.Layer, R.Newberry, K.Fujita et al.* // *Geology*. 2001. № 9. P. 167–170.

*Савва Наталья Евгеньевна,*  
доктор геолого-минералогических наук  
savva@neisri.ru

*Колова Елена Евгеньевна,*  
кандидат геолого-минералогических наук  
kolova@neisri.ru

### MINERALOGY AND FORMATION CONDITIONS OF THE OZYORNOYE GOLD DEPOSIT, KARALVEEMSKY ORE CLUSTER, CHUKOTKA

N.E.Savva,  
E.E.Kolova

*The Ozyornoye gold deposit is found to be related to Pырkanai Intrusion. High Mo, Bi, Sb, Cr, Ni and Co contents of its ore are reported. It has two mineral assemblages: native gold-arsenopyrite-pyrite-galena-sphalerite with Bi minerals and molybdenite, and pyrrhotite-chalcopyrite-pyrite-cobaltite-gersdorffite. It was found that homogenization temperatures of fluid inclusions (FI) are bimodal by their character and have peaks of 270–280 and 144°C, low concentrations of solutions are contained in FI, Na, K and Mg chlorides are present in solutions. A comparative study of Ozyornoye, Karalveem and Kekura Au-quartz deposits, which differ by their spatial relationships to granitoid intrusions within the district, is made.*

*Key words: gold mineralization, Ni, Co, Bi minerals, formation conditions, magmatism/mineralization relationship.*