

УДК 553.41:552.12(571.651)

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СТРУКТУРА И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУПОЛ

*А. Н. Глухов*

*Общество с ограниченной ответственностью «Колымагео», г. Магадан  
E-mail: [gluhov76@list.ru](mailto:gluhov76@list.ru)*

Рассмотрены геологическое строение золото-серебряного месторождения Купол, вещественный состав руд, региональные и локальные факторы контроля оруденения. Охарактеризована минералого-геохимическая зональность оруденения. Показано, что месторождение Купол является эталонным объектом для изучения эпитермальных Au-Ag рудных систем.

**Ключевые слова:** золото-серебряное месторождение, вулканоструктура, глубинный разлом, рудное тело, текстурно-вещественные типы руд, зональность.

### ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Купол расположено в Анадырском районе Чукотского автономного округа, в 190 км на юго-восток от г. Билибино. Географические координаты месторождения: 66°45'48" – 66°48'39" с. ш., 169°31'21" – 169°35'52" в. д.

Золото-серебряная минерализация в верхнем течении р. Средний Кайемравеем, левого притока р. Мечкерева (басс. р. Анадырь), впервые была установлена В. П. Куклевым в 1966 г. Месторождение Купол открыто в 1995 г. В. В. Загоскиным в ходе опережающих литохимических поисков масштаба 1 : 200 000. В 1998–2002 гг. поисковые работы на месторождении проводило Анюйское государственное горно-геологическое предприятие; оценочные работы, разведку и подготовку месторождения к освоению выполняло в 2003–2007 гг. ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания» (совместное предприятие Администрации Чукотского автономного округа и канадской компании Kinross Gold). Средние содержания Au в рудных телах месторождения оцениваются в 10–25, Ag – в 80–270 г/т. Запасы и ресурсы месторождения, классифицированные в соответствии с международными стандартами, составляют 188 т Au и 2377 т Ag (данные компании Kinross Gold по состоянию на 01.10.2007 г.).

Рассмотрение геологического строения и минералого-геохимической зональности месторождения Купол весьма актуально по нескольким причинам: 1) это крупнейшее на Северо-Востоке Азии по запасам эпитермальное золото-серебряное месторождение; 2) оно практически не затронуто пострудным метаморфизмом; 3) рудные тела месторождения вскрыты по вертикали на глубину более 600 м. Таким образом, сведения о геологическо-структурных особенностях, вещественном составе

руд, закономерностях распределения золота, серебра и попутных элементов чрезвычайно важны для продвижения в понимании генезиса эпитермального оруденения.

Первая и наиболее полная на сегодня сводка по геологическому строению месторождения Купол содержится в отчете о результатах поисково-оценочных работ, подготовленном коллективом геологов ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания» (Григорьев, Филонов, 2005 г.). В открытой печати есть небольшое количество публикаций компилятивного характера, посвященных региональной геолого-структурной позиции месторождения (Кравцов и др., 2005; Стружков, Константинов, 2005; Волков и др., 2006; Белый и др., 2007; Сидоров и др., 2007). Исключением являются работы коллектива исследователей ЦНИГРИ (Варганян и др., 2005), а также А. П. Сергиевского (2006), в которых достаточно детально показано геологическое строение рудного узла (названного Кайемравеемским) и охарактеризован вещественный состав руд. Все перечисленные работы основаны на фактическом материале, полученном на ранней стадии изучения месторождения (1998–2001). В то же время при оценочных и разведочных работах на месторождении Купол был получен большой массив новых данных, позволяющих существенно дополнить и расширить существующие представления о его геологическом строении. В настоящей работе обобщены результаты исследований, проведенных автором в 2003–2006 гг. в процессе оценочных работ и разведки месторождения.

### ПОЛОЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Месторождение Купол располагается в северо-западной части Купольского рудного узла (рис. 1), приуроченного к северному флангу Мечкеревской

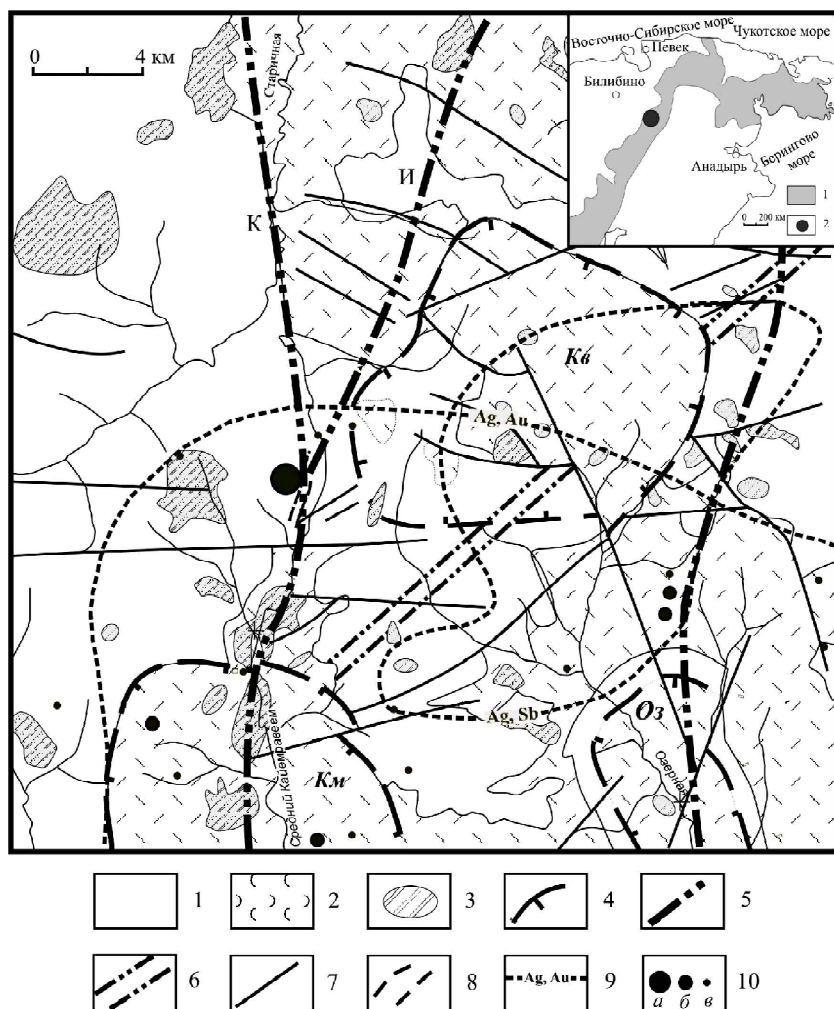


Рис. 1. Структурно-металлогеническая схема Купольского рудного узла: 1 – лавы и туфы андезитов и андезибазальтов вилковской толщи; 2 – игнимбриты, туфы и лавы риолитов еропольской толщи; 3 – интрузивные и субвулканические тела различного состава; 4 – границы палеокальдер (Кв – Коваленковской, Оз – Озернинской, Км – Кайемравеевской); 5 – осевые зоны региональных глубинных разломов (К – Средне-Кайемравеевского, И – Имравеевского); 6 – осевая зона Крестовско-Саламихинского трансрегионального глубинного разлома; 7 – прочие разрывные нарушения; 8 – дайки кислого состава; 9 – региональные геохимические аномалии в потоках рассеяния; 10 – золото-серебряное месторождение Купол (а), золото-серебряные рудопоявления (б) и пункты минерализации (в). На врезке: 1 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 2 – месторождение Купол

Fig. 1. Schematized structure and metallogeny of the Kupol Mineral Area: 1 – Vilkov andesite and andesitic basalt lava and tuff rocks; 2 – Yeropol ignimbrite and rhyolite tuff and lava; 3 – different intrusions and subvolcanic bodies; 4 – paleocalderas (Кв – Kovalenkovskaya, Оз – Ozyorninskaya, Км – Kayemraveem); 5 – the axial areas of regional deep faults (К – Sredne-Kayemraveem, И – Iemraveem); 6 – the axial area of the Krestovsko-Salamikhinsky Regional Deep Fault; 7 – other faults; 8 – felsic dikes; 9 – regional stream and soil anomalies; 10 – Kupol Lode (а), gold-silver ores (б), and mineralization areas (в). The inset map: 1 – Okhotian-Chukotian Volcanic Belt; 2 – Kupol Lode

вулканоструктуры Анадырского сектора Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Вулканоструктура имеет диаметр около 100 км и выполнена, по И. Н. Котляру (1986), вулканическими породами формации амфиболовых и пироксеновых андезитов-андезибазальтов (вилковская

толща, верхний мел) и контрастной риолит-андезибазальтовой формации (еропольская толща, верхний мел); общая мощность вулканических накоплений составляет 1200–1600 м (Котляр, 1986). Эффузивы прорваны малыми интрузиями, субвулканическими телами и дайками различного состава, приуроченными к краевым частям Мечкеревской вулканоструктуры. Локальные вулканоструктуры представлены Коваленковской, Озернинской и Кайемравеевской палеокальдерами обрушения (Куклев и др., 1967 г.), выполненными эффузивами еропольской толщи. Они характеризуются изометричными очертаниями с размерами в плане 7–15 км.

Пространственное положение Купольского рудного узла контролируется пересечением Мечкеревской вулканоструктуры зонами влияния двух трансрегиональных глубинных разломов (Умитбаев, 1986; Металлогеническая..., 1994): Крестовско-Саламихинского (Анадырского по Р. Б. Умитбаеву, 1986) и Южно-Анхойского. Структурой более низкого порядка является Средне-Кайемравеевский разлом субмеридионального простирания, выраженный цепочками даек и субвулканических тел, зонами интенсивной трещиноватости и брекчирования. К участкам его сопряжения с Имравеевским разломом северо-восточного простирания и кольцевыми разрывами, ограничивающими палеокальдеры, приурочены поля гидротермально измененных пород, сопровождающихся геохимическими аномалиями Au, Ag, Hg, Sb, и связанная с ними золото-серебряная минерализация.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РУДНОГО ПОЛЯ

Стратифицированные образования в рудном поле месторождения Купол представлены главным образом покровами андезитов, андезибазаль-

тов и их туфов вилковской толщи (рис. 2). На севере они перекрываются туфами и игнимбритами риолитов еропольской толщи. В рудовмещающем разрезе абсолютно доминируют эффузивы вилковской толщи (рис. 3), залегающие наклонно с падением на запад под углами 20–25°. Андези-

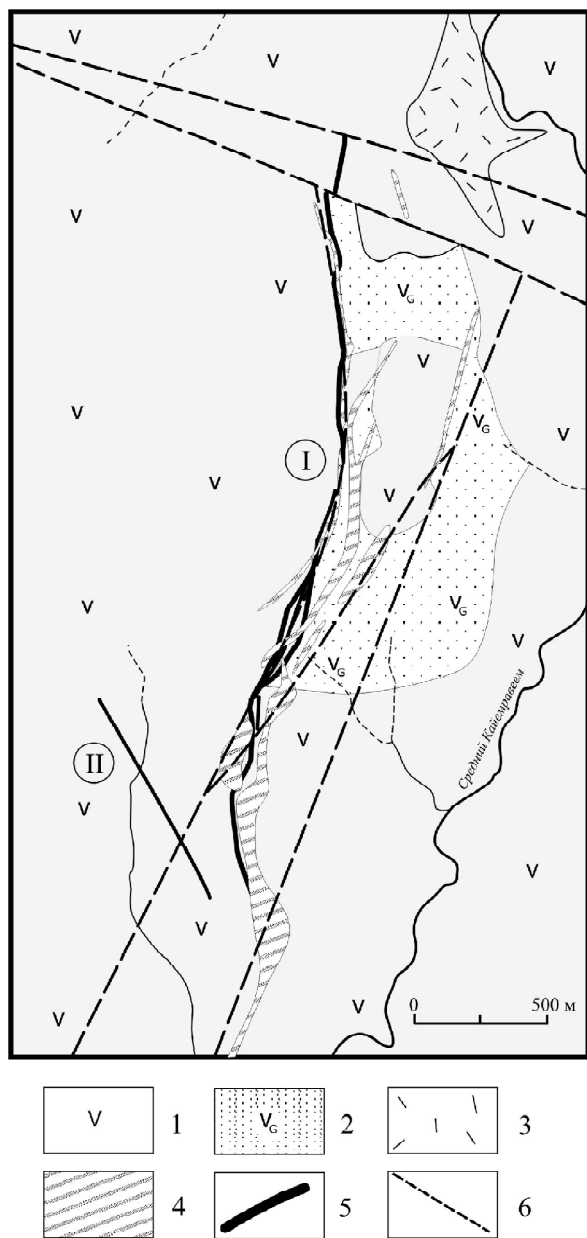


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Купол: 1, 2 – лавы (1) и грубообломочные туфы (2) андезитов и андезибазальтов вилковской толщи; 3 – игнимбриты и туфы риолитов еропольской толщи; 4 – дайки поздне меловых риолитов; 5 – рудные тела; 6 – разломы. Римские цифры: I – Главная рудная зона, II – Вторая рудная зона

Fig. 2. Schematized geologic map of Kupol Lode; 1, 2 – lava (1) and coarse tuff (2) of Vilkov andesite and andesitic basalt; 3 – Yeropol ignimbrite and rhyolite tuff; 4 – late Cretaceous rhyolite dikes; 5 – ore bodies; 6 – faults. Roman numerals: I – the main ore zone (Glavnaya), II – the second ore zone (Vtoraya)

ты и андезибазальты порфировые; вкрапленники, главным образом плагиоклаз, реже пироксен и амфибол, составляют 30–60% от общего объема породы. Основная масса тонкозернистая до афанитовой, как правило, замещена серицит-хлорит-карбонатным агрегатом. По составу (табл. 1) породы соответствуют андезитам и андезибазальтам нормального петрохимического ряда известково-щелочной серии, отличаясь от них несколько пониженной глиноземистостью и повышенной щелочностью при заметной роли калия среди щелочей, что характерно для всего Анадырского сектора ОЧВП (Умитбаев, 1986). Геохимической спе-

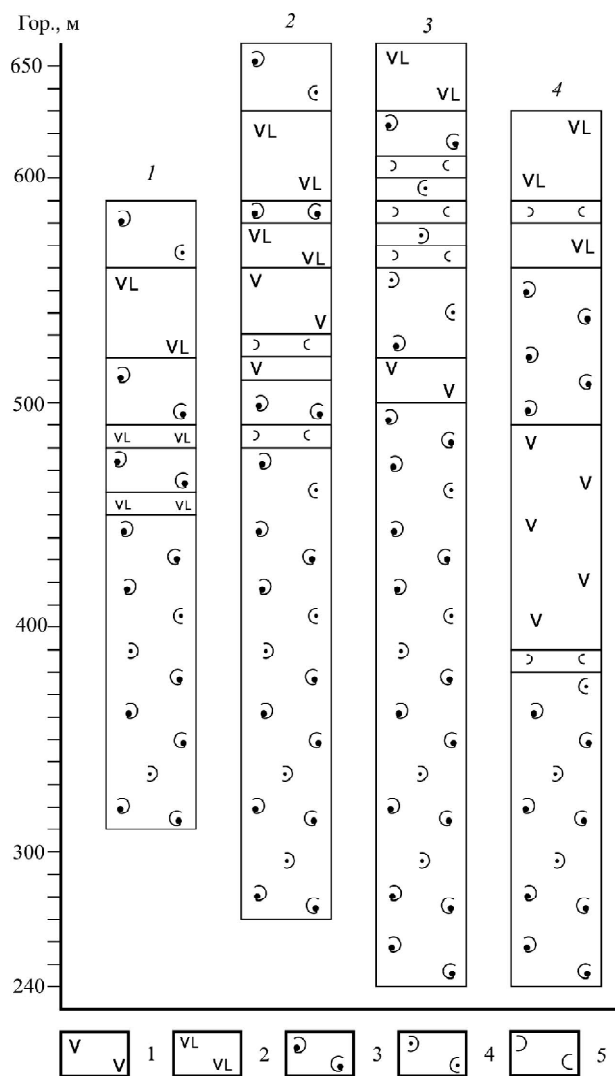


Рис. 3. Петрографический состав рудовмещающих пород месторождения Купол: 1 – андезиты; 2 – андезибазальты; 3–5 – туфы андезитов: 3 – агломератовые, 4 – лапиллиевые, 5 – пепловые. Цифрами обозначены участки месторождения: 1 – Южный, 2 – Флексурный, 3 – Центральный, 4 – Северный

Fig. 3. Petrographic composition of host rocks at Kupol Lode: 1 – andesite; 2 – andesitic basalt; 3–5 – andesite tuff rocks: 3 – agglomerate, 4 – lapilli, 5 – ash. The lode areas are shown by figures: 1 – Yuzhny, 2 – Fleksurny, 3 – Tsentralny, 4 – Severny

Таблица 1. Химический состав горных пород месторождения Купол

Table 1. Chemical composition of rocks at Kupol Lode

Оксиды, % и элементы, г/т	4-А	8-А	9-А	13-А	16-А	10-А	11-А	1-А	2-А
SiO <sub>2</sub>	63,23	63,40	62,38	63,19	59,51	74,47	75,33	78,74	75,05
TiO <sub>2</sub>	0,55	0,57	0,72	0,59	0,69	0,27	0,21	0,05	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,73	16,84	16,45	16,02	16,08	13,53	14,10	12,08	12,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	4,36	4,91	5,99	5,13	5,94	0,53	0,50	1,00	1,89
MnO	0,10	0,11	0,10	0,09	0,13	0,01	0,01	0,04	0,07
MgO	1,56	0,70	2,41	2,34	2,39	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,61
CaO	3,08	3,16	5,01	4,03	2,79	0,15	0,90	0,34	0,86
Na <sub>2</sub> O	3,04	4,30	2,91	3,07	0,60	1,32	4,22	3,14	1,57
K <sub>2</sub> O	4,21	2,82	2,79	3,24	8,24	8,33	3,97	4,07	4,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,24	0,16	0,12	0,17	0,01	0,01	Не обн.	0,01
Ba	644	899	594	652	665	626	946	640	746
Cr	6	Не обн.	23	13	20	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Ni	15	12	Не обн.	11	Не обн.	29	46	37	35
п.п.п.	2,01	2,94	1,08	2,17	3,46	1,40	0,73	0,54	2,98
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	100,00	100,00

Примечание. 4-А, 8-А, 9-А, 13-А, 16-А – андезиты, вилковская толща; 10-А, 11-А – риолиты, еропольская толща; 1-А, 2-А – позднемеловые дайки риолитов. Рентгеноспектральный анализ выполнен в СВКНИИ ДВО РАН, аналитик В. И. Мануилова.

цифкой являются высокие концентрации Ва и существенно пониженные Cr и Ni, что, по И. Н. Котляру (1986), свойственно андезитам золотоносных вулканоструктур. Абсолютный возраст андезитов вилковской толщи в рудном поле, по данным К-Аг датирования, составляет 89±4 млн лет, риолитов – 81±3 млн лет (Леонова и др., 2007), что согласуется с новейшими результатами Ar-Ar датирования верхнемеловых вулканитов рассматриваемого района (Тихомиров и др., 2006).

Интрузивные образования выполнены позднемеловыми дайками риолитов и базальтов. Дайки риолитов играют важную роль в структуре рудного поля, пространственно ассоциируя с рудными телами, прорывая и смещая их (см. рис. 3). Можно выделить две фазы внедрения риолитов: первая – массивные редкопорфировые породы, вторая – афировые, с флюидалной и брекчиевыми текстурами, интенсивно насыщенными ксенолитами вмещающих пород. Порфировые вкрапленники составляют 2–5% от объема породы и представлены калиевым полевым шпатом, реже плагиоклазом и кварцем. Абсолютный возраст риолитов первой фазы, по данным К-Аг датирования, составляет 82±1 млн лет, второй фазы – 76±2 млн лет (Леонова и др., 2007). По химическому составу (табл. 2) риолиты соответствуют породам нормального ряда известково-щелочной серии. По содержаниям Ва, Cr и Ni риолиты близки к андезитам и андезибазальтам, что может отражать их генетическую общность как продуктов дифференциации единого магматического очага (Котляр, 1986). С дайками пространственно ассоциируют мелкие (диаметр 1–10 м) изометричные

тела взрывных брекчий, сложенных обломками андезитов и риолитов, сцементированных тонкозернистым кварц-серицитовым агрегатом. Вблизи рудных тел они насыщены обломками жильного кварца и содержат повышенные количества Au и Ag.

Редкие дайки базальтов вскрыты скважинами в северной и центральной частях рудного поля на глубине 50–150 м от поверхности. Они прорывают как покровы вилковской толщи, так и рудные тела и дайки риолитов. Базальты имеют порфировую, иногда миндалекаменную текстуру с вкрапленниками основного плагиоклаза, пироксена, оливина в стекловатой основной массе.

Пространственное положение месторождения Купол контролируется зоной сочленения дуговых разрывов, обрамляющих Коваленковскую палеокальдеру, со Средне-Кайемравеемским и Имравеемским разломами. Сочетание и взаимное наложение этих структур обусловило развитие интенсивной трещиноватости, которая явилась вмещающей средой для Au-Ag минерализации.

Структуру рудного поля определяют три системы разрывных нарушений: 1) дорудная субмеридиональная (350–360 и 0–10°); 2) син- и пострудная северо-восточная (30–40°); 3) пострудная северо-западная (300–320°). Разрывы сопровождаются зонами трещиноватости и дробления, падение их вертикальное и крутое (70–85°).

Главная рудовмещающая структура на месторождении – это взброс субмеридиональной ориентировки, по которому восточное крыло поднято относительно западного. Структура имеет изогнутые в плане очертания с флексуроподобными

Таблица 2. Средние содержания элементов по участкам и горизонтам месторождения Купол

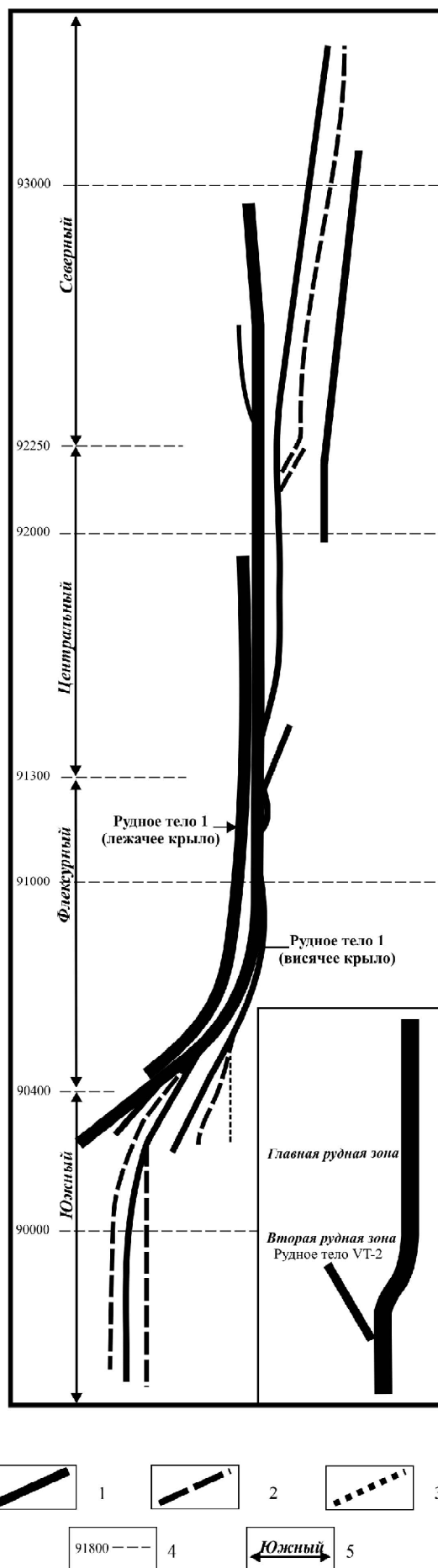
Table 2. Average geochemical contents for zones and levels of Kupol Lode

Элемент	Участки			
	Южный, Флексурный, Центральный		Северный	
	Интервалы глубин, м		Интервалы глубин, м	
	0–50	200–350	0–50	200–350
Al, %	<u>0,17</u> 1,95	<u>0,14</u> 2,60	<u>0,26</u> 1,69	<u>0,10</u> 2,09
K, %	<u>0,17</u> 2,08	<u>0,03</u> 2,40	<u>0,04</u> 3,12	<u>0,02</u> 1,83
Ca, %	<u>0,08</u> 3,45	<u>0,30</u> 9,23	<u>0,21</u> 4,96	<u>0,62</u> 6,05
Fe, %	<u>1,84</u> 1,56	<u>1,56</u> 2,09	<u>1,46</u> 1,43	<u>2,07</u> 2,06
Mg, %	<u>0,02</u> 1,99	<u>0,09</u> 9,52	<u>0,09</u> 3,96	<u>0,18</u> 5,43
Mn, г/т	<u>108,36</u> 2,14	<u>252,54</u> 6,14	<u>468,22</u> 2,86	<u>1451,90</u> 4,04
Ag, г/т	<u>112,08</u> 1,91	<u>83,58</u> 1,90	<u>103,33</u> 1,84	<u>127,39</u> 1,74
As, г/т	<u>1026,19</u> 3,24	<u>473,42</u> 5,64	<u>200,87</u> 2,41	<u>78,63</u> 4,24
Bi, г/т	<u>3,69</u> 1,31	<u>3,21</u> 1,19	<u>3,26</u> 1,21	<u>3,15</u> 1,28
Co, г/т	<u>2,90</u> 1,82	<u>2,77</u> 3,12	<u>4,98</u> 1,66	<u>5,78</u> 3,13
Cu, г/т	<u>50,72</u> 2,99	<u>69,50</u> 3,21	<u>53,48</u> 2,81	<u>37,74</u> 2,99
Mo, г/т	<u>10,37</u> 2,78	<u>5,22</u> 2,50	<u>9,89</u> 3,29	<u>4,52</u> 2,14
Ni, г/т	<u>9,52</u> 1,62	<u>11,05</u> 1,50	<u>13,19</u> 1,34	<u>13,60</u> 1,84
Pb, г/т	<u>67,92</u> 3,27	<u>64,40</u> 3,57	<u>40,74</u> 3,61	<u>26,00</u> 2,91
Sb, г/т	<u>59,80</u> 2,70	<u>40,94</u> 2,64	<u>39,23</u> 2,80	<u>46,67</u> 2,66
W, г/т	<u>5,33</u> 1,32	<u>5,88</u> 1,54	<u>5,14</u> 1,15	<u>5,00</u> 1,00
Zn, г/т	<u>35,79</u> 2,85	<u>150,45</u> 3,03	<u>94,72</u> 2,04	<u>127,12</u> 2,03

Примечание. Над чертой – среднее геометрическое, под чертой – стандартный множитель логарифмически нормального распределения.

Рис. 4. Схема расположения рудных тел месторождения Купол: 1 – главные рудные тела; 2 – апофизы 1-го порядка; 3 – апофизы 2-го порядка; 4 – разведочные профили и их номера; 5 – участки месторождения и их названия

Fig. 4. Ore body locations at Kupol Lode: 1 – main ore bodies; 2 – the first-order apophyses; 3 – the second-order apophyses; 4 – prospecting sections and their numbers; 5 – zones



перегибами, к которым приурочены участки с богатой минерализацией. Пострудные северо-западные разломы представляют собой правосторонние сдвиги и сдвиго-сбросы с амплитудой смещения по латерали до 40 м, а по вертикали до 120 м.

К настоящему времени на месторождении известно 16 рудных тел, выполненных кварцевыми, адуляр-кварцевыми, реже карбонат-кварцевыми малосульфидными жилами. Большинство рудных тел (15 из 16), вмещающих свыше 95% запасов, сосредоточено в пределах Главной рудной зоны (рис. 4). Простираение зоны субмеридиональное, протяженность более 3800 м, мощность до 100,0 м. Рудные тела имеют крутое ( $65-80^\circ$ ) падение, протяженность от 130 до 2700 м; их мощность варьирует от 0,8 до 6,2 м; по падению они прослежены до глубины 875 м. По простираению Главной рудной зоны месторождения с юга на север выделяются участки, характеризующиеся особенностями морфологии и условий залегания рудных тел. В пределах Южного участка рудные тела расщепляются на многочисленные апофизы, многократно пересекаясь и смещаясь дайками риолитов. Флексурный участок приурочен к коленообразному изгибу рудовмещающей структуры. Строение рудной зоны здесь осложнено дайкой риолитов, которая прорывает и смещает рудные тела по серии северо-северо-западных и северо-северо-восточных лево- и правосторонних сдвигов. Рудные тела в пределах Центрального участка имеют

сравнительно простую плитообразную морфологию. На большем протяжении Северного участка рудные тела смещены по разлому вниз по падению и не выходят на поверхность.

Вторая рудная зона располагается в юго-западной части месторождения и имеет северо-западное простираение, протяженность до 1000 м. Она включает рудное тело VT-2 – маломощную (0,2–1 м) крутопадающую малосульфидную адуляр-карбонат-кварцевую жилу, и несколько более мелких его сателлитов.

Распределение золота (рис. 5) и серебра в рудных телах Главной зоны неравномерное; коэффициенты вариации содержаний золота 110%, серебра – 120%. Пространственное размещение обогащенных участков (бананцев) контролируется главным образом структурными факторами и лишь в незначительной степени зависит от состава рудовмещающих вулканитов. Наиболее ярким примером является Флексурный участок – крупный бананец площадью около 100 тыс. м<sup>2</sup>, локализация которого обусловлена изменением простираения рудоносной структуры с северо-восточного на меридиональное.

Гидротермально-метасоматическими изменениями затронуты практически все породы в рудном поле. Дорудные изменения представлены повсеместно проявленной площадной низкотемпературной пропилитизацией. Она выражена в псевдоморфном замещении плагиоклаза, пироксенов

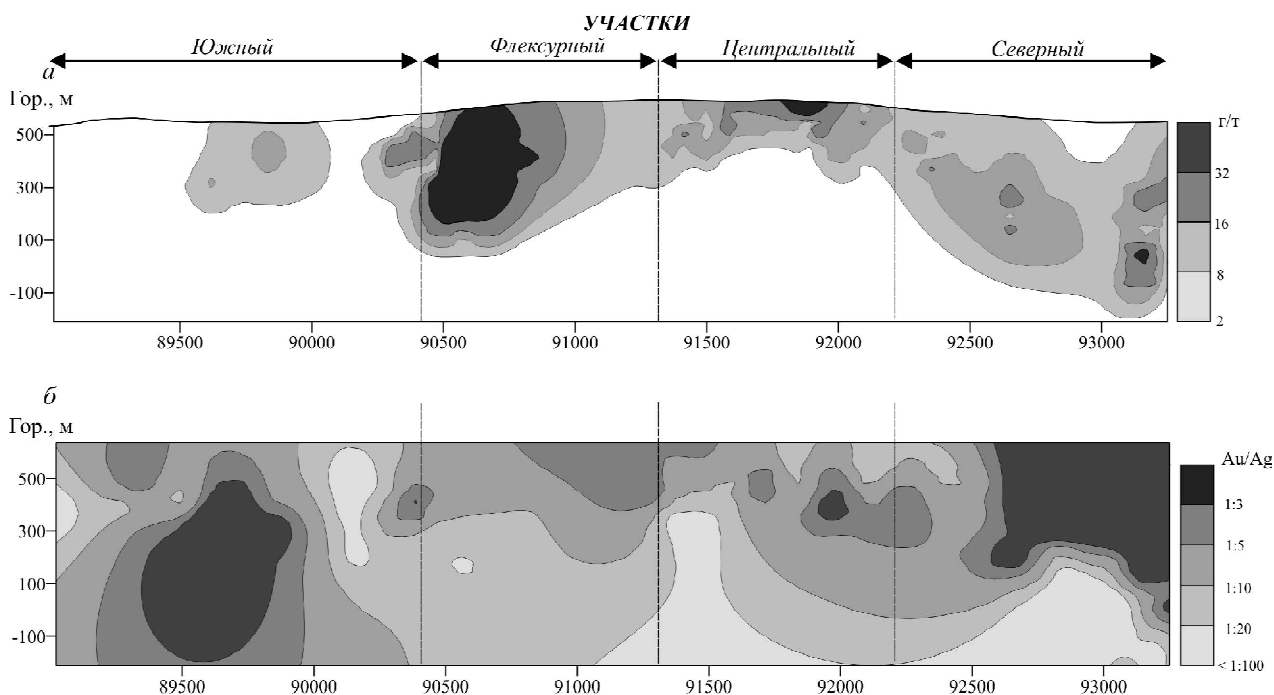


Рис. 5. Распределение содержаний золота (а) и значений золото-серебряного отношения (б) в пределах Главной рудной зоны месторождения Купол в проекции на продольную вертикальную плоскость

Fig. 5. A vertical-profile distribution of gold grades (a) and the Au/Ag ratio (b) over the Glavnaya ore zone of Kupol Lode



и амфибола хлоритом, карбонатом, эпидотом, реже серицитом. Синрудный цикл изменений выразился в образовании околотрещинных метасоматитов, наложенных на пропилиты. Они сложены адуляром, гидрослюдами, кварцем в различных количественных соотношениях и охватывают рудовмещающую структуру месторождения. На верхних горизонтах месторождения локально развиты аргиллизиты, состоящие из гидрослюд, каолинита, кварца, пирита и фиксирующие надрудную зону приповерхностной конденсации газопаровой фазы гидротерм (Гончаров, Сидоров, 1979).

### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Основными жильными минералами руд месторождения являются кварц, адуляр, гидрослюды, серицит, хлорит; рудными – пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, акантит, сульфосоли серебра и меди. Содержание рудных минералов составляет в среднем менее 1%, редко достигая 10%. Главную промышленную ценность представляют самородное золото и электрум. Золото характеризуется широкой дисперсией размеров выделений и преобладанием тонкого и тонкодисперсного (менее 0,074 мм) классов. Серебряная минерализация выражена разнообразными минеральными видами: мышьяковистыми и сурьмянистыми сульфосолями серебра (стефанит, полибазит, пирсеит, пираргирит) и меди (фрейбергит), селенидами (агвиларит, науманнит), акантитом (Вартянян и др., 2005). Руды характеризуются типичными для эпitherмального оруденения текстурами: колломорфно-полосчатой, каркасно-пластинчатой, брекчиевой, кокардовой, друзовой, крустификационной, массивной. Вниз по падению рудных тел намечается закономерная смена текстур: колломорфно-полосчатые и каркасно-пластинчатые (горизонт +450 м) → брекчиевые, кокардовые, концентрически-зональные (горизонты +300... +450 м) → массивные и симметрично-друзовые (горизонт -300 м).

Среднее значение отношения Au/Ag для рудных тел Главной зоны составляет 1 : 6, а значения, рассчитанные по частным пересечениям по всем классам содержаний, близки – 1 : 5 – 1 : 8. Помимо Au и Ag, руды содержат высокие концентрации As, Sb, Se, Sn (см. табл. 2; 3), несколько меньшие – Zn, Cu, Pb. Анализ корреляционных зависимостей (табл. 4) показывает наличие в рудах трех геохимических ассоциаций. Первая – Au-Ag-As-Sb-(Se)-Pb-Cu-Zn-W – связана с минералами продуктивного парагенезиса: самородным золотом, электрумом, акантитом, сурьмянистыми и мышьяковистыми сульфосолями и сульфоселе-

Таблица 3. Содержание химических элементов в рудах месторождения Купол по данным рентгенофлуоресцентного анализа, г/т  
Table 3. Chemical element contents of ore from Kupol Lode, by XRF data, ppm

Проба	Состав руд	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Sb	Sn	Cd	Ag
n1	1	< 6	< 12	< 6	33	< 22	< 12	1295	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	2814	< 90	283	176	< 39	< 16	84
n2	1	< 6	< 12	10	30	32	48	93	< 16	38	< 52	< 165	< 1000	461	< 90	< 200	736	145	28	1296
n3	2	< 6	64	50	142	< 22	< 12	83	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	5070	< 90	< 200	148	< 39	< 16	< 18
n4	2	< 6	122	86	146	< 22	< 12	59	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	5913	< 90	< 200	132	69	< 16	< 18
n5	2	< 6	33	16	23	22	16	42	< 16	< 46	54	< 165	< 1000	3342	< 90	< 200	254	< 39	< 16	152
n05/2	1	< 6	< 12	16	< 8	365	29	160	< 16	< 46	50	< 165	< 1000	2558	< 90	710	714	64	< 16	336
n7	4	< 6	91	474	93	< 22	< 12	3615	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	45163	< 90	< 200	344	147	< 16	< 18
n8	4	< 6	18	39	40	< 22	< 12	61	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	1646	< 90	< 200	241	< 39	< 16	< 18
n16	2	< 6	< 12	20	21	42	< 12	3713	< 16	108	< 52	< 165	< 1000	28313	372	< 200	346	< 39	< 16	292
n38	1	< 6	< 12	13	8	465	113	295	< 16	772	321	< 165	< 1000	2711	< 90	525	674	112	< 16	2582

<i>Глубина 222 м</i>																					
кр04/262	3	10	< 12	71	7	< 22	< 12	1488	< 16	60	76	< 165	< 1000	6420	< 90	< 200	101	< 39	< 16	< 18	
<b>Флексурный участок</b>																					
<i>Поверхность</i>																					
k1	1	< 6	< 12	111	330	4598	6466	18938	2053	612	1521	< 165	< 1000	40917	< 90	< 200	12513	120	< 16	26394	
k2	1	< 6	< 12	19	101	481	55	825	< 16	69	90	< 165	< 1000	15916	< 90	< 200	1226	288	45	2414	
4	1	< 6	< 12	14	7	88	108	166	< 16	73	296	< 165	< 1000	1626	< 90	< 200	837	< 39	< 16	2451	
5	1	< 6	< 12	13	18	80	< 12	118	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	1785	< 90	< 200	799	135	27	450	
6	1	< 6	< 12	25	11	< 22	< 12	26488	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	65520	< 90	< 200	908	242	< 16	74	
n29	1	< 6	< 12	16	13	1045	404	184	17	< 46	< 52	< 165	< 1000	1443	< 90	< 200	248	120	< 16	1797	
n31	1	< 6	< 12	14	33	1189	194	1196	< 16	51	120	< 165	< 1000	6486	< 90	< 200	1059	268	< 16	3380	
<i>Глубина 35 м</i>																					
кр04/273	1	< 6	< 12	42	79	2624	2168	1957	443	190	334	< 165	< 1000	22291	< 90	< 200	8007	576	< 16	18037	
<i>Глубина 220 м</i>																					
k3	1	< 6	< 12	72	200	1408	38	300	< 16	3473	1161	< 165	< 1000	5329	< 90	< 200	612	< 39	62	1069	
<b>Южный участок</b>																					
<i>Поверхность</i>																					
n18	4	< 6	69	23	40	< 22	< 12	57	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	4882	< 90	< 200	< 75	< 39	< 16	< 18	
n19	3	< 6	< 12	12	< 8	35	< 12	208	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	4113	< 90	< 200	149	< 39	< 16	38	
n20	1	< 6	12	13	27	94	< 12	153	< 16	< 46	57	< 165	< 1000	1257	< 90	< 200	239	< 39	< 16	52	
n21	2	< 6	< 12	18	24	< 22	< 12	114	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	2382	< 90	< 200	132	< 39	< 16	< 18	
n22	2	30	< 12	22	19	97	< 12	3301	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	5756	< 90	< 200	784	< 39	< 16	228	
n23	2	< 6	73	139	122	< 22	< 12	928	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	10825	< 90	< 200	160	91	< 16	24	
n24	2	< 6	< 12	64	7	< 22	< 12	29	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	1523	< 90	< 200	195	< 39	< 16	< 18	
n25	2	< 6	< 12	36	29	126	< 12	363	< 16	88	< 52	< 165	< 1000	12469	< 90	< 200	484	150	< 16	653	
<b>Вторая рудная зона</b>																					
<i>Поверхность</i>																					
n14	2	< 6	27	17	45	703	< 12	167	< 16	136	384	< 165	< 1000	1195	< 90	< 200	622	102	< 16	721	
n13	2	< 6	< 12	27	< 8	< 22	< 12	1186	< 16	< 46	< 52	< 165	< 1000	1559	< 90	< 200	284	< 39	< 16	< 18	

*Примечание.* Рентгенофлуоресцентные анализы выполнены на анализаторе Niton XL 700 в компании FMES (СПА), аналитик А. Н. Глухов. Цифровые обозначения состава руд: 1 – колломорфно-полосчатая жила; 2 – брекчиевая жила; 3 – массивная жила; 4 – метасоматит.



Таблица 4. Коэффициенты корреляции элементов в рудах ( $r_{кр} = 0,3$ )

Table 4. Correlation matrix for minor chemical elements

Элемент	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	Co	Mo	W	Bi	As
Ag	0,81											
Pb	0,05	0,11										
Zn	0,07	0,13	0,55									
Cu	-0,03	-0,05	0,62	0,20								
Cr	0,05	0,02	0,21	0,02	0,16							
Ni	0,17	0,06	0,09	0,20	0,03	0,18						
Co	-0,14	-0,20	-0,11	-0,09	-0,10	-0,06	-0,09					
Mo	0,10	0,02	-0,02	0,13	-0,05	0,05	0,51	0,09				
W	0,31	0,13	0,07	0,06	0,02	-0,03	-0,11	0,48	0,06			
Bi	0,17	0,25	0,19	-0,01	0,01	-0,05	-0,25	0,24	0,16	0,53		
As	0,14	0,21	0,03	0,08	-0,03	-0,05	0,10	0,23	0,30	-0,13	0,00	
Sb	0,29	0,39	0,19	0,11	-0,06	-0,06	0,14	-0,10	0,09	-0,11	0,19	0,45

нидами серебра. Вторая – Cu-Zn-Pb – отражает существование полисульфидного минерального парагенезиса. Примечательно наличие «гранитофильной» геохимической ассоциации As-Mo-Bi-Co, которое наряду с повышенными содержаниями Sn в рудах отражает сиалический геохимический профиль руд (Хомич и др., 1989). Рудным телам присуща зональность, контрастно проявленная как по вертикали, так и по латерали (см. табл. 2, 3). Отношение Au/Ag в Главной рудной зоне плавно снижается вниз по падению – до 1 : 10 на глубине 250–400 м и до 1 : 100 на глубине более 450 м от поверхности (рис. 6, б). В составе руд на глубоких горизонтах существенную роль играют хлорит и карбонаты, галенит, сфалерит и халькопирит. В геохимических ореолах зональность выражается в возрастании с юга на север и сверху вниз содержаний Zn, Ag, Sb и в снижении As, Pb, Sn, Hg. Распределение петрогенных элементов в рудных телах характеризуется возрастанием в том же направлении концентраций K, Mg и Mn и снижением K. Исключением является Al, содержания которого максимальны на верхних горизонтах Северного участка. Это отражает минеральную зональность гидротермалитов, характеризующуюся развитием на верхнем, надрудном уровне каолинита и гипса, а на глубоких горизонтах кальцита и Fe-Mg карбонатов.

Существенно отличается вещественный состав рудного тела VT-2. Преобладают здесь минералы полисульфидной ассоциации – халькопирит, галенит, сфалерит, в то время как сульфосоли Ag и акантит распространены локально. Среди жильных минералов в составе руд и околорудных метасоматитов главными являются кварц, кальцит и анкерит при подчиненном значении адуляра, каолинита и гидрослюд. Геохимия руд характеризуется повышенными концентрациями Cu и Zn, пониженными Se и Sn (см. табл. 3). Распреде-

ние отношения Au/Ag в рудном теле VT-2 не столь закономерно и менее контрастно, чем в Главной рудной зоне, а участки с высоким (более 1 : 5) его значением совпадают с контурами бонанцев.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Главным фактором, контролирующим пространственное положение Купольского рудного узла, является пересечение крупной отрицательной вулканоструктуры зонами трансрегиональных глубинных разломов. Внутри рудного узла размещение минерализации контроли-

руется участками пересечения региональных разломов более низкого порядка с концентрическими разрывами, ограничивающими палеокальдеру, выполненные продуктами завершающей фазы вулканизма. Подобная структурная позиция характерна для многих Au-Ag месторождений: Джульетта, Карамкен (Многофакторные..., 1992), Хаканджа (Хомич, 1999), Асачинское (Петренко, 1999), Айванхоэ (Wallace, 2003), Тускарора (Castor et al., 2003) и др. Р. Б. Умитбаев обособил подобный тип рудовмещающих структур под названием «рудноносных очаговых структур карамкенского типа» (1986, С. 201).

Петролого-геохимические особенности вмещающих месторождение Купол вулканических формаций отвечают критериям рудоносности, разработанным И. Н. Котляром (1986). Открытие месторождения Купол, таким образом, явилось прямым подтверждением прогнозной оценки рудоносности Мечкеревской вулканоструктуры, сделанной тем же автором с петрологических позиций (Котляр, 1979).

Важнейшими геохимическими характеристиками Au-Ag оруденения Главной зоны месторождения Купол служат состав элементов продуктивной ассоциации (Au, Ag, As, Sb, Se) и отношение Au/Ag (в среднем 1 : 5 – 1 : 8). Эти индикаторные признаки позволяют в соответствии с существующими систематиками (Сидоров, 1978; Гончаров, Сидоров, 1979; Фатьянов, Хомич, 1985; Гончаров и др., 2006) отнести его к золото-сульфосолюному типу Au-Ag формации. Элементный состав продуктивной геохимической ассоциации (Au, Ag, Zn, Cu), набор жильных минералов (преобладание карбонатов над адуляром) и низкое отношение Au/Ag (1 : 20 – 1 : 100) сближают оруденение Второй зоны, а также глубоких горизонтов Главной зоны с золото-галенит-сфалеритовым типом. Подобная картина вписывается в существующие представ-

ления о характере зональности Au-Ag оруденения (Петровская и др., 1974; Петренко, 1999; Сидоров, 1978; Фатьянов, Хомич, 1985).

Полученные нами результаты не позволяют принять интерпретацию геологической структуры рудного узла и месторождения, содержащуюся в работах А. А. Сидорова, А. В. Волкова, В. Ф. Белого с соавторами (Белый и др., 2007; Сидоров и др., 2007). По нашему мнению, нет никакой необходимости выделять новую вулканоструктуру (палеовулкан) с экзотическим наименованием. Данная структура – Коваленковская палеокальдера – детально описана В. П. Куклевым, В. П. Воробьевым и Л. В. Долининым в 1967 г. Не подтверждается точка зрения, что риолитовые экструзии образуют здесь самостоятельный комплекс, завершающий эволюцию магматизма. Как достоверно установлено при изучении горных выработок и керн скважин, риолитовые экструзии тесно ассоциируют как с субвулканическими телами и дайками, так и с покровами риолитов и связаны с ними многочисленными взаимными переходами. Не соответствует действительности утверждение о приуроченности месторождения Купол к субвулканическому телу диорит-порфириров (Белый и др., 2007; Сидоров и др., 2007); как было показано, рудное поле месторождения сложено покровными фациями вулканитов вилковской и еропольской толщ.

Особенностью региональной геолого-структурной позиции месторождения Купол, как уже отмечалось ранее (Кравцов и др., 2005), является его локализация вблизи границы двух секторов ОЧВП – Анадырского и Центрально-Чукотского, различающихся характером и составом вулканоплутонических ассоциаций, обусловленным составом пород фундамента (Белый, 1994). В первом случае он сложен фемическими комплексами Олойского и Березовского островодужных и Южно-Ануйского океанического террейнов, а во втором – шельфовыми отложениями Чукотского террейна пассивной континентальной окраины (Шпикерман, 1998). Считается, что и золото-серебряное оруденение Анадырского сектора наследует региональную геохимическую специализацию, в частности, Cu-Mo специфику Олойского террейна (Гончаров и др., 2006), а рудам присущ фемический геохимический профиль, выраженный в повышенном значении отношения Au/Ag (Стружков, Константинов, 2005; Леонова и др., 2007). Фактические данные по месторождению Купол не подтверждают данную точку зрения. Отношение Au/Ag на Куполе типично и для месторождений тех секторов ОЧВП, которые развиты на сиалическом цоколе (Карамкен, Валунистое); руды содержат геохимическую ассоциацию As-Mo-Bi-Co и характеризуются высокими концентрациями Se и Sn. Для Au-Ag оруденения, раз-

витого среди комплексов фемического (либо натрового) состава, характерны отношение Au/Ag, близкое к 1 : 1, и повышенные содержания Те. Примерами служат месторождения Агинское, Озерновское (Петренко, 1999), Весеннее (Сидоров, Волков, 2006), Кубака (Степанов, 1994; Вашилов и др., 2000), Эмперор (Некрасов, 1988), Айванхоэ (Wallace, 2003). В то же время наследование гидротермальным оруденением геохимических особенностей вмещающих комплексов является фундаментальной металлогенической закономерностью и не вызывает сомнений (Критерии..., 1978; Сидоров, 1987; Радкевич, 1987). Полученные данные о геохимическом профиле руд Купола позволяют высказать предположение о существенно сиалическом составе фундамента Анадырского сектора ОЧВП на рассматриваемом его отрезке. Это согласуется с представлениями И. И. Подгорного с соавторами (2003), которые рассматривают Южно-Ануйский террейн как пакет тектонических пластин, аллохтоном для которых служат палеозойско-мезозойские шельфовые комплексы Чукотского террейна. На продольную магматическую и металлогеническую неоднородность Анадырского сектора ОЧВП ранее указывал Р. Б. Умитбаев (1986).

## ВЫВОДЫ

1. Золото-серебряное месторождение Купол локализуется в периферической части вулканотектонической депрессии, выполненной поздне-меловыми андезит-андезибазальтовой и контрастной риолит-андезибазальтовой формациями. Пространственное положение месторождения контролируется пересечением регионального разлома с кольцевыми разрывами, оконтуривающими локальную вулканотектоническую просадку.

2. Среди локальных рудоконтролирующих факторов на месторождении доминирует структурный. Влияние петрографического состава вмещающих пород на размещение и продуктивность рудных тел практически не проявлено.

3. Оруденение относится к двум минералого-геохимическим типам золото-серебряной формации: золото-сульфосольному и золото-галенит-сфалеритовому. Месторождение характеризуется хорошо выраженной зональностью, проявленной в закономерном изменении минералого-геохимического типа руд по вертикали и латерали.

Автор благодарит ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания» за содействие в проведении полевых работ и предоставленные материалы.

## ЛИТЕРАТУРА

Белый В. Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 76 с.

Белый В. Ф., Сидоров А. А., Волков А. А., Ващилов Ю. Я. Палеовулканогеологическая реконструкция уникального золоторудного района Чукотки // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2007. – № 4. – С. 40–47.

Вартянян С. С., Лоренц Д. А., Сергиевский А. П., Щепотьев Ю. М. Золото-серебряные руды Кайемравеемского узла Чукотского автономного округа // Отеч. геология. – 2005. – № 4. – С. 10–16.

Ващилов Ю. Я., Кабак И. Б., Котляр И. Н. и др. О связи золотого оруденения с приподнятыми гранитными и гнейсовыми блоками Омолонского срединного массива // Тр. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 4–6 сент. 1997 г. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – Т. 1. – С. 95–106.

Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А. Месторождения золота и серебра Чукотки. – М. : ИГЕМ РАН ; Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2006. – 221 с.

Гончаров В. И., Сидоров А. А. Термобарогеохимия вулканогенного рудообразования. – М. : Наука, 1979. – 208 с.

Гончаров В. И., Гамянин Г. Н., Савва Н. Е. и др. Золото-серебряные месторождения Северо-Востока Азии: типы, минералого-геохимические особенности и перспективы их рационального освоения // Золоторудные месторождения Востока России : Тр. III Всерос. симп. «Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология» (Улан-Удэ, 21–25 сент. 2004 г.). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 5–31.

Котляр И. Н. Петрологические признаки рудоносных вулкано-тектонических структур // Магматические и метаморфические комплексы Северо-Востока СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 39–50.

Котляр И. Н. Золото-серебряная рудоносность вулканоструктур Охотско-Чукотского пояса. – М. : Наука, 1986. – 264 с.

Кравцов В. С., Белый В. Ф., Волков А. В., Алексеев В. Ю. Региональная геолого-структурная позиция золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка) // Докл. РАН. – 2005. – Т. 404, № 2. – С. 216–219.

Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / под ред. Д. В. Рундквиста. – Л. : Недра, 1978. – 607 с.

Леонова В. В., Акинин В. В., Гельман М. Л., Глухов А. Н. Характерные особенности петрографии рудовмещающего комплекса золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка), новое определение возраста // Чтения памяти академика К. В. Симакова : тез. докл. Всерос. науч. конф. (Магадан, 27–29 ноября 2007 г.). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2007. – С. 94–95.

Металлогеническая карта Магаданской области и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 1 500 000 / гл. ред. О. Х. Цопанов. – СПб., 1994.

Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России. – М. : Комитет по геологии и использованию недр Российской Федерации; Северо-Восточный геологический комитет, 1992. – 140 с.

Некрасов Е. М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М. : Недра, 1988. – 286 с.

Петренко И. Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. – 116 с.

Петровская Н. В., Тимофеевский Д. А., Бородаевский Н. И. Эндогенная зональность золоторудных полей месторождений // Зональность гидротермальных рудных месторождений. – Л. : Наука, 1974. – С. 86–122.

Подгорный И. И., Бондаренко Г. Е., Лейер П. и др. Тектоническая интерпретация комплексов Южно-Аннуйской сутуры (Северо-Восток России) по данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики : в 3-х т. : Материалы Всерос. совещ., посвящ. 90-летию акад. Н. А. Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного отделения ВМО) (Магадан, 3–6 июня 2003 г.). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 1. – С. 121–123.

Радкевич Е. А. Региональная металлогения. – М. : Недра, 1987. – 256 с.

Сергиевский А. П. Геология Кайемравеемского рудного узла и условия локализации золото-серебряного оруденения : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 2006. – 27 с.

Сидоров А. А. Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1978. – 370 с.

Сидоров А. А. Рудные формации фанерозойских провинций. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1987. – 85 с.

Сидоров А. А., Белый В. Ф., Волков А. В. и др. Геология и условия образования уникального золото-серебряного месторождения на Чукотке // Докл. РАН. – 2007. – Т. 412, № 2. – С. 234–239.

Степанов В. А. Золото-серебряное месторождение Кубака (Северо-Восток России) // Геология рудн. месторожд. – 1994. – Т. 36, № 4. – С. 362–369.

Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М. : Науч. мир, 2005. – 320 с.

Тихомиров П. Л., Акинин В. В., Исполатов В. О. и др. Возраст северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: новые данные Ar-Ar и U-Pb геохронологии // Стратиграфия, геологическая корреляция. – 2006. – Т. 14, № 5. – С. 81–95.

Умитбаев Р. Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция (строение, рудоносность, аналоги). – М. : Наука, 1986. – 273 с.

Хомич В. Г. Геолого-геофизическая характеристика Хаканджинского рудного поля (Охотско-Чукотский вулканический пояс) // Проблемы геологии, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых ДВ. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 1999. – С. 97–105. – (Тр. ДВГТУ ; вып. 121 ; сер. 4).

Хомич В. Г., Иванов В. В., Фатьянов В. В. Типизация золото-серебряного оруденения. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – 289 с.

Шпикерман В. И. Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 333 с.

*Castor S. B., Boden D. R., Henry C. D. et al.* The Tuscarora Au-Ag district : Eocene Volcanic-Hosted Epithermal Deposit in the Carlin Gold Region, Nevada // *Economic Geology*. – 2003. – Vol. 98. – P. 339–366.

*Wallace A. R.* Geology of the Ivanhoe Hg-Au District, Northern Nevada: Influence of Miocene Volcanism, Lakes, and Active Faulting on Epithermal Mineralization // *Ibid.* – P. 409–424.

*Поступила в редакцию 19.02.2008 г.*

## **KUPOL Au-Ag DEPOSIT: ITS REGIONAL GEOLOGIC SETTING, STRUCTURE AND ORE ZONING (THE CHUKCHI AUTONOMOUS AREA)**

*A. N. Glukhov*

The Kupol gold-silver deposit is examined in terms of its geologic structure, mineral composition and different ore controls. Its mineralogic and geochemical zones are described. The Kupol Lode is shown to be a standard representing Au-Ag epithermal systems.

**Key words:** gold-silver lode, volcanic structure, deep fault, ore body, ore texture, ore zoning.