

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ, ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И
ПАЛЕОГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МУТНОВСКОГО РУДНОГО
ПОЛЯ (КАМЧАТКА)

*И.Д. Петренко**, *Н.М. Большаков***, *В.А. Гуменюк****, *А.А. Полетаева*****

**Камчатприродресурс, г. Петропавловск-Камчатский*

*** ОАО Камгео, г. Петропавловск-Камчатский*

**** Дальневосточный научно-исследовательский институт минерального сырья, г. Хабаровск*

***** Камчатский территориальный гидроэкоцентр ГДП Камчатнедра, г. Петропавловск-Камчатский*

Рассматривается взаимосвязь минералогической и геохимической зональности золото-серебро-полиметаллической минерализации, приуроченной к палеовулканической постройке плиоцен-раннеплейстоценового возраста. На основе изучения газово-жидких включений и палеовулканического анализа выполнены реконструкции геоморфологической и гидрогеохимической обстановки в период рудообразования и сделаны выводы о ее генезисе, объясняющие причину описанной зональности.

Гидротермальная система формировалась после прекращения активного вулканизма. На первых стадиях параметры ее определялись температурным режимом остывающего близповерхностного периферического магматического очага, в результате формировались серебро-полиметаллические руды с отчетливо выраженной латеральной концентрической зональностью. По мере остывания очага на первый план стали выступать структурные факторы. Оруденение поздних стадий формируется уже в зонах крупных тектонических нарушений и по отношению к ранней зональной системе является секущим.

Ключевые слова: палеовулкан, геохимия, зональность, золото-серебро-полиметаллическая минерализация, Камчатка.

Мутновское рудное поле располагается в южном отрезке Центрально-Камчатского вулканического пояса и приурочено к Жировской палеовулканической постройке плиоцен-раннеплейстоценового возраста [1]. В пределах рудного поля проведен обширный комплекс тематических работ, включающий, кроме структурных исследований, изучение его минералогических и геохимических особенностей [2].

Жировской палеовулкан представляет собой дифференцированную палеовулканическую постройку, в которой состав вулканитов меняется от базальтов до риолитов. Его центральная часть сложена субвулканическими телами различного состава, эксплозивными брекчиями жерловой фации и интрузией габбро – габбродиоритов. Интрузия представляет собой многофазное магматическое тело, включающее, наряду с крупнозернистыми габбронритами, микрогаббро, габбродиоритовые порфириды, а в зоне эндоконтакта и стеклосодержащие (до 10–15%) разности. Рудная минерализация наложена на все самые молодые образования палеовулкана.

Рудное поле площадью около 25 км² охватывает днище, в меньшей степени – внутренние склоны

эрозионно-тектонической кальдеры. Современные абсолютные отметки днища кальдеры – 300–500 м (без учета голоценового эрозионного вреза), отметки водоразделов – 900–1300 м. Кварцевые, кварц-карбонатные и кварц-сульфидные жилы развиты в интервале абсолютных высот от 80 до 550 м, эпизодически встречаясь на отметках 550–675 м. Всего на рудном поле выявлено более 150 кварцевых, кварц-карбонатных и кварц-сульфидных жил и зон прожилкования, но почти 80% жильной массы сосредоточено в главной рудной зоне – зоне Определяющей, почти по центру пересекающей все рудное поле в субмеридиональном направлении. По минеральному составу оно относится к галенит-сфалерит-блеклорудному минеральному типу золото-серебряной формации.

В пределах рудного поля устанавливается достаточно четко выраженная концентрическая зональность распределения рудной минерализации (рис. 1а). Ядро этой структуры диаметром около 1,2 км представляет собой зону кварц-сульфидных жил с массивным полиметаллическим оруденением (зона I). Область максимального развития полиметаллического оруденения охватывает интрузию габбро-

диоритов, практически не выходя за ее пределы. Набор рудных минералов в жилах разнообразный, жильное выполнение – кварцевое.

Ядро рудоносной структуры оконтуривается зоной развития кварцевых жил с прожилково-вкрапленным полиметаллическим оруденением шириной 0,1–1 км, пространственно тяготеющей к эндо- и экзоконтактам интрузии (зона II). Следующая зона шириной 0,1–1 км содержит кварцевые жилы с убоговкрапленным полиметаллическим оруденением (зона III). Она проявлена преимущественно в породах субвулканической и жерловой фаций, реже распространяется в образования эффузивно-пирокластических фаций. Еще далее от центра располагается зона кварц-карбонатных жил с пиритом и убогой полиметаллической минерализацией, шириной 0,2–0,9 км (зона IV). Она развита в эндоконтактах области интенсивного развития субвулканических тел и в примыкающих к ней образованиях эффузивно-пирокластических фаций, а на востоке – в вулканогенно-осадочных образованиях фундамента. Периферия этой структуры (зона V) представляет собой зону штокверкового карбонатного, цеолит-карбонатного прожилкования. На восточном фланге слабо проявлены лишь карбонатные прожилки.

В целом в этой зональной структуре от центра к флангам идет убывание количества сульфидов в жилах и смена кварца карбонатами. Относительно кварц-сульфидного ядра наблюдается асимметрия структуры: растянутость к востоку и сжатость к западу, что, видимо, объясняется характером рельефа палеокальдеры на период рудообразования. Результаты палеогеоморфологических и палеогидрохимических реконструкций свидетельствуют, что дно кальдеры было пологонаклонным и открытым на северо-восток, а западнее жильной зоны Определяющей начинался крутой склон внутреннего борта кальдеры.

В центре этой ядерной концентрически-зональной структуры располагается интрузия габбро-диоритов, наиболее позднее магматическое тело, по видимому, определяющее температурный режим гидротермальной системы и ее зональность на ранних стадиях формирования. В эту концентрическую зональность не вписываются жилы, содержащие золото-серебряное оруденение. В первую очередь – это северный фланг зоны Определяющей, представленный линейными рудоносными структурами, наложенными на концентрические зоны, и условно выделяемый в зону VI. Следовательно, заключительные этапы формирования гидротермальной системы подчинялись другим закономерностям.

Минералогическая зональность подтверждается и наличием зональности геохимической, также имеющей концентрическую структуру. Как в жиль-

ных образованиях, так и во вмещающих породах наблюдается постепенное изменение степени концентрации типоморфных химических элементов от центра к периферии. Наиболее контрастные геохимические ореолы тяготеют к центральной части рудного поля, причем максимумы их значений пространственно сближены и приурочены к узлу пересечения крупных разломов близмеридионального и северо-восточного простирания в районе южного фланга зоны Определяющей. К периферии концентрации всех рудных элементов уменьшаются до фоновых значений.

В пределах рудного поля можно выделить четыре ассоциации (рис. 1б, табл. 1).

Редкометалльная ассоциация (Bi, W, Mo) пространственно совпадает с центром концентрически зональной структуры, представленной многосульфидными жилами с массивным оруденением (кварц-сульфидное ядро). Характеризуется слабо контрастными ореолами редких металлов на фоне высококонтрастных ореолов всех рудных металлов. Площадь развития редкометалльной ассоциации существенно меньше площади кварц-сульфидного ядра и приурочена к узлу пересечения упомянутых разломов.

Полиметаллическая ассоциация (Cu, Pb, Zn, Cd) занимает существенно большую площадь и включает предыдущую, пространственно совпадая с площадью развития многосульфидных и умеренно-сульфидных жил с массивным оруденением. Ведущим направлением в концентрировании оруденения является зона крупного разлома северо-восточного простирания. Степень концентрации элементов уменьшается к периферии, где интенсивность их накопления в 2–3 раза ниже, чем в центральной редкометалльной ассоциации. Полиметаллическая ассоциация приурочена к апикальной части интрузии габбродиоритов.

Золото-серебряная ассоциация, перекрывает и выходит за пределы вышеописанных, пространственно совпадая с зоной развития золото-серебряных и малосульфидных жил. В морфологии ореолов Au и Ag преобладающим направлением является субмеридиональное при подчиненном северо-восточном. К периферии отмечается понижение концентраций, при увеличении площади аномалий серебра. На северном продолжении зоны Определяющей интенсивность накопления Au больше, чем Ag, и, в целом, концентрации Au и Ag здесь в несколько раз выше, чем в жилах восточного обрамления, что свидетельствует о наложенном характере золото-серебряной ассоциации. Полиметаллическое оруденение в этой зоне присутствует, но степень концентрации металлов уменьшается на порядок по сравнению

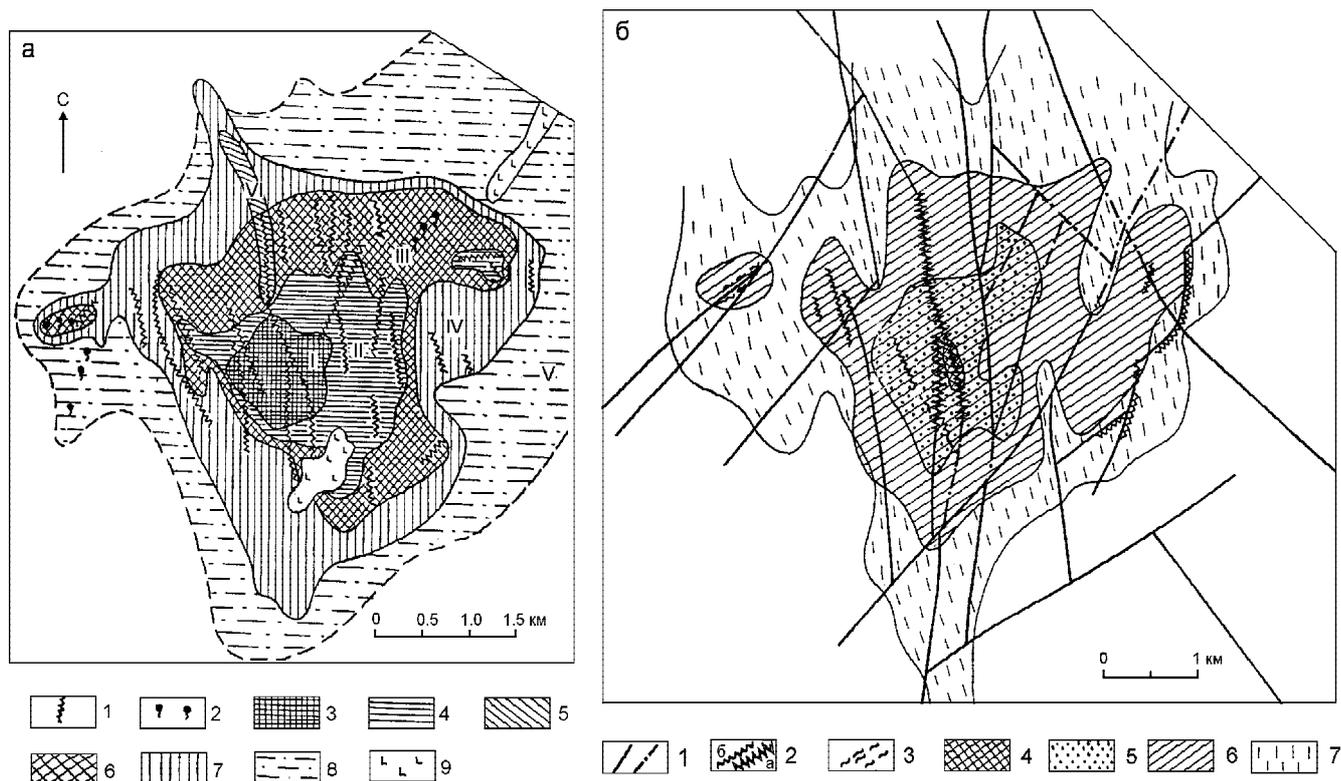


Рис. 1. Минералогическая (а) и геохимическая (б) зональность Мутновского рудного поля.

а: 1 – гидротермальные жилы, 2 – современные термальные источники, 3–8 – зоны с различным характером жильного выполнения: 3 – многосульфидные жилы (кварц-сульфидное ядро), 4 – умеренно-сульфидные жилы, 5 – золото-серебряные, 6 – малосульфидные жилы, 7 – кварцевые жилы с пиритом, 8 – карбонатные и карбонат-цеолитовые жилы и прожилки, 9 – четвертичные базальты. I–VI – номера зон в тексте.

б: 1 – разрывные нарушения, 2 – жилы : а – Определяющая, б – прочие, 3 – зоны прожилкования, 4–7 – геохимические ассоциации: 4 – редкометалльная, 5 – полиметаллическая, 6 – золото-серебряная, 7 – мышьяково-сурьмяная.

Таблица 1. Геохимическая характеристика жильных образований Мутновского рудного поля, мг/кг.

Геохимические зоны	Местонахождение жил	n	Параметры	Au	Ag	As	Sb	Cd	Pb	Zn	Cu	Sn	Bi
Редкометалльная	южный фланг зоны Определяющей	40	С	0.64	46	854	96	66	1390	3040	510	13	2.5
			Кк	338	920	237	192	132	77	63	8.6	4.7	18
Полиметаллическая	восточный фланг	10	С	0.3	17	587	55	29	710	1220	210	3	3.7
			Кк	194	336	163	110	57	40	25	3.5	1.3	26
Золото-серебряная	северный фланг зоны Определяющей	62	С	0.39	12	294	44	7	122	177	10	2.7	1.7
			Кк	244	230	81	20	14	6.8	3.7	1	1	12
Золото-серебряная	восточный фланг	70	С	0.06	5	416	18	7	94	284	95	3.5	1.8
			Кк	37.5	100	115	36	14	5.2	6	1.6	1.3	12.8
Мышьяково-сурьмяная	периферийная группа жил	14	С	0.01	0.5	175			28	71	56	4	
			Кк	8.8	10	49			1.5	1.5	0.9	1.5	
Местный геохимический фон				0.006	0.05	3.6	0.5	0.5	18	48	60	2.7	0.14

n – количество проб; параметры: С – среднегеометрическое содержание; Кк – коэффициент концентрации в единицах местного фона

с редкометалльной и в 3–6 раз по сравнению с полиметаллической ассоциацией.

Мышьяково-сурьмяная ассоциация наиболее обширная, проявлена как совместно с предыдущими, так и за их пределами, и соответствует области развития кварцевых жил с пиритом, карбонатных и карбонат-цеолитовых жил и прожилков. Для As и Sb максимальные концентрации отмечаются в зоне развития редкометалльной ассоциации; к периферии их содержания снижаются, но и за пределами рудного поля остаются высокоаномальными. Интенсивность накопления ведущих рудных металлов в этой ассоциации в сравнении с предыдущими уменьшена в десятки раз.

Характерной особенностью всех вышеперечисленных зон является активный вынос металлов сидерофильной группы: Cr, Sr, V, Co, Ni, Sc и Ti, причем наиболее обеднены ими аргиллизированные породы и околожилные метасоматиты.

Выявленная геохимическая зональность отражает стадийную эволюцию рудного поля. Значительная обогащенность всеми металлами центральной зоны (южного фланга зоны Определяющей) может свидетельствовать о близости ее к главному очагу (интрузии габбродиоритов), где длительное время существовал повышенный температурный режим. Морфология наиболее контрастных ореолов Au и

Ag свидетельствует о наложенном характере золото-серебряной минерализации, которая является секущей по отношению к остальным изометрично зональным ассоциациям.

Для определения физико-химической природы рудной зональности было проведено изучение газо-жидких включений (ГЖВ) в кварцах, пиритах и карбонатах рудных жил. Состав ГЖВ приведен в табл. 2.

По результатам изучения температур образования и состава ГЖВ в кварце, карбонатах и пирите предполагается следующая палеогеоморфологическая и палеогидрогеохимическая обстановка рудообразования (рис. 2).

Месторождение формировалось на заключительной стадии деятельности Жировского палеовулкана, представляющего собой стратовулкан с глубокой кальдерой в центре. В ее центральной части располагалось горячее озеро, окруженное фумарольными полями (зона I). Вулканическая постройка представляла собой термическую аномалию и характеризовалась развитием перегретых вод практически во всем объеме вулкана, за исключением внешнего предгорного обрамления. Серноокислые воды озера с глубиной сменялись более восстановленными сульфатно-бисульфидными. Изменение режима вод пульсационное, что отражалось как на составе вод, так и

Таблица 2. Химический состав водных вытяжек из кварцевых жил Мутновского рудного поля.

№№ проб	№№ зон	Характер жильного материала	Формула Курлова
901/1	I	Брекчиевый кварц с сульфидами	$M_{1,781} \frac{SO_4 100}{K 80 Mg 17 Na 3} H_4SiO_4 19,8$
902/2	I	"-	$M_{0,736} \frac{SO_4 74 Cl 13 HCO_3 13}{K 31 Ca 30 Mg 30 Na 9} H_4SiO_4 3,1$
75	II	Серый допродуктивный кварц	$M_{0,561} \frac{SO_4 63 HCO_3 28 Cl 7 F 2}{K 65 Mg 20 Ca 13 Na 2} H_4SiO_4 10,9$
119	II	Полисульфидная жила	$M_{1,532} \frac{Cl 58 SO_4 37 HCO_3 5}{K 65 Ca 23 Na 12} H_4SiO_4 18,9$
908/1	II	Кварц-родохрозитовая жила с сульфидами	$M_{1,247} \frac{Cl 73 SO_4 24 HCO_3 2 F 1}{K 52 Ca 22 Mg 21 Na 5} H_4SiO_4 15,1$
323/1	III	Малосульфидная кварцевая жила	$M_{0,309} \frac{HCO_3 70 SO_4 23 Cl 7}{K 80 Ca 15 Mg 2 Na 2} H_4SiO_4 0,24$
323/2	III	"-	$M_{0,579} \frac{HCO_3 61 Cl 27 SO_4 9 F 3}{Mg 39 K 37 Ca 16 Na 8} H_4SiO_4 1,3$
899/1	IV	Полисульфидная жила	$M_{0,745} \frac{Cl 64 SO_4 18 HCO_3 18}{K 58 Ca 31 Na 6 Mg 5} H_4SiO_4 36,3$
899/2	IV	Кварц пластинчатый безрудный	$M_{0,701} \frac{Cl 78 HCO_3 13 SO_4 7 F 1}{K 45 Ca 36 Mg 12 Na 7} H_4SiO_4 25,9$
909	IV	Полисульфидная жила	$M_{0,851} \frac{Cl 65 SO_4 17 HCO_3 17 F 2}{K 72 Ca 18 Mg 6 Na 4} H_4SiO_4 3,2$
7	IV	Кварц с пиритом	$M_{0,840} \frac{HCO_3 48 SO_4 35 Cl 17}{K 44 Mg 28 Ca 24 Na 4} H_4SiO_4 22,6$
888	VI	Кварц золото-серебряной стадии	$M_{0,343} \frac{HCO_3 77 Cl 11 SO_4 11 F 1}{K 78 Ca 16 Na 6} H_4SiO_4 3,6$
892	VI	Кварц с сульфидами	$M_{0,990} \frac{Cl 59 HCO_3 34 SO_4 5 F 2}{K 34 Ca 18 Mg 6 Na 4} H_4SiO_4 20,7$

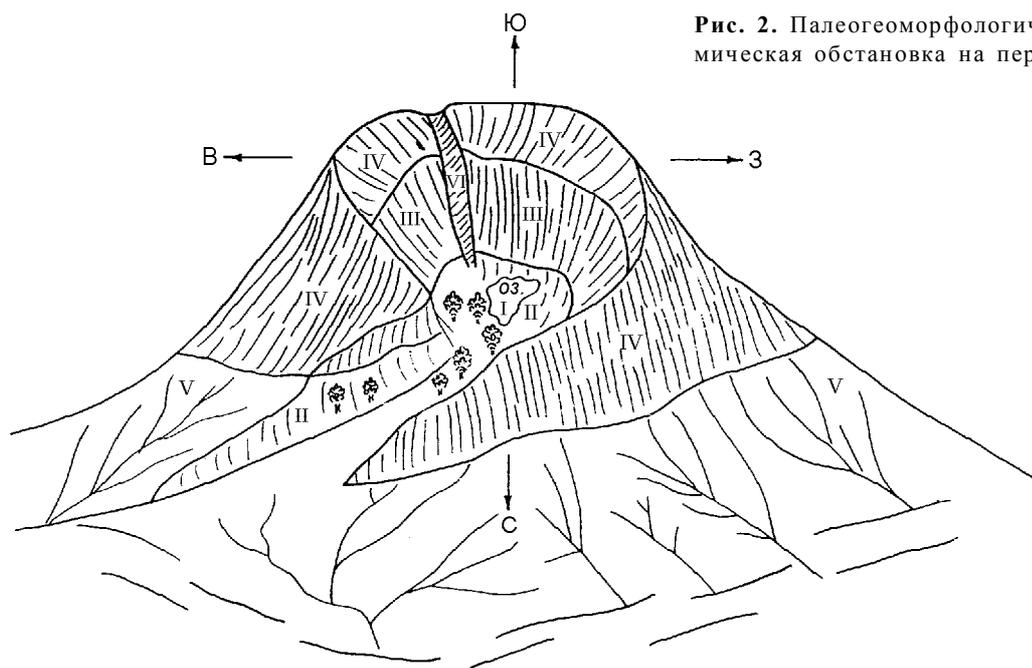


Рис. 2. Палеогеоморфологическая и палеогидрогеохимическая обстановка на период рудообразования.

температуре и газонасыщенности. Вокруг озера (ближе к периферии термального поля) состав вод изменялся за счет примеси бикарбонат-иона и хлора, поступающих в процессе склоновой миграции (зона II). В сульфатной среде центральной зоны на поверхности формировались кварциты, а ниже – кварцевые жилы с сульфидами. Привнос кремнезема и калия был максимальным в центре постройки и понижался к ее периферии.

На внутренних склонах кальдеры (зона III) за счет разгрузки холодных метеорных пресных вод содержания бикарбонат-иона в водах резко возросло, в связи с чем растворимость халькофильных элементов увеличивалась, а золота, напротив, падала, в результате чего оно осаждалось вместе с кварцем и калиевым полевым шпатом. Перечисленные зоны отличались в целом окисленным составом газов ($K_o = 0,62-0,94$) и высоким содержанием газов в водногазовой смеси ($K_r = 0,1-0,4$). Высокая степень окисленности обусловлена для первых двух зон близостью к поверхности, а третьей – подтоком метеорных вод и боковой миграцией кислорода. Эти же зоны отличаются максимальным содержанием азота. Сульфиды в этих зонах отлагались при резко пониженной окисленности по сравнению с кварцем, то есть их образование связано с прорывом восстановленных вод в более окисленную среду и наложением сульфидов на ранее отложенный кварц.

Следующая зона (IV) располагалась под водоразделами, обрамляющими кальдеру. По-видимому многочисленными потоками лав с большой общей мощностью играли роль экрана, вследствие чего здесь отмечается некоторое повышение температуры

(основной пик декрипитации 330°), уменьшение концентрации HCO_3^- -иона с увеличением роли хлора. Соотношение ювенильных и метеорных вод колебалось в зависимости от конкретной структурной обстановки, соответственно в этой зоне формировались либо слабопродуктивные кварцсульфидные жилы (пробы 899/1, 909), либо непродуктивные кварц-карбонатные жилы с убогой вкрапленностью пирита (пробы 7, 899/2).

На периферии вулканической постройки (зона V) ввиду ослабления привноса ювенильного вещества, резкого преобладания метеорных вод хлоридно-бикарбонатного состава и низких температур осаждение кварца, калиевого полевого шпата и золота ограничено, здесь формировались в основном лишь прожилки карбонат-цеолитового состава.

Особыми условиями формирования отличались кварц-карбонатные жилы с золото-серебряной минерализацией (зона VI). Они отлагались в наиболее активных трещинах, секущих зоны II–III. Для этих трещин была характерна резкая и многократная смена температур и состава вод и газов. Состав растворов был существенно хлоридно-бикарбонатным с переменным содержанием SO_4^- -иона, с преобладанием калия над всеми компонентами и кальция над натрием и магнием. Отложение золота происходило при температурах порядка 200° , во время опускания гидрогеохимической границы между бикарбонатными и хлоридными водами и остыванием гидротермальной системы. Наложенный характер золото-серебряной минерализации отчетливо виден на примере северного фланга зоны Определяющей по составу проб 888 и 892, характеризующих разные ста-

дии минералообразования. Проба 892 отобрана из кварца ранней слабопродуктивной кварц-полиметаллической стадии и близка по своим характеристикам к кварцам зон II–III. Проба 888 характеризует кварц золото-серебряной продуктивной стадии и отличается резким преобладанием HCO_3^- -иона над другими составляющими.

Таким образом, генезис месторождения в результате проведенных исследований представляется следующим. Рудная минерализация формировалась после прекращения активного вулканизма в процессе гидротермальной деятельности, завершающей становление магматогенно-гидротермальной системы. На первых стадиях параметры гидротермальной системы определялись температурным режимом остывающего близповерхностного периферического магматического очага, в результате образовались серебро-полиметаллические руды с отчетливо выраженной латеральной концентрической зональностью. Центр этой зональной структуры определяется Жировской интрузией, представляющей собой верхнюю часть периферического очага. По мере остывания очага увеличивалась глубина отделения гидротерм и на первый план стали выступать структурные факторы. Оруденение поздних стадий формируется уже в зонах крупных тектонических нарушений и по

отношению к ранней зональной системе является секущим. Одновременно меняется состав гидротерм, с уменьшением количества SO_4^- иона приобретают существенно хлоридно-бикарбонатный состав, что приводит и к смене характера рудной минерализации с существенно полиметаллической на золото-серебряную.

На примере Мутновского рудного поля видно, что комплексный подход к изучению минералогических и геохимических особенностей месторождения с реконструкцией палеогидрогеохимической обстановки на период рудообразования дает важные данные о его генезисе. Кроме того, в условиях закрытых территорий, когда главным критерием перспективности площадей является лишь степень и характер гидротермального изменения пород, такой подход представляет несомненный практический интерес с точки зрения выделения первоочередных участков для детального изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко И.Д., Большаков Н.М. Структурная позиция и возраст золото-серебряного оруденения Южной Камчатки на примере Мутновского месторождения // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 100–111.
2. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. СПб.: КФ ВСЕГЕИ, 1999. 118 с.

Поступила в редакцию 10 января 2001 г.

Рекомендована к печати К.Ф. Сергеевым

I.D. Petrenko, N.M. Bolshakov, V.A. Gumenyuk, and A.A. Poletaeva

Mineralogical, geochemical and paleohydrogeochemical zoning of the Mutnovskaya ore field (Kamchatka)

The interrelationships between mineralogical and geochemical zoning of gold-and-silver polymetallic mineralization are considered. It is associated with the Pliocene-Early Pleistocene paleovolcanic structure. Basing on the study of gas-liquid inclusions and a paleovolcanic analysis, reconstructions of the geomorphological and hydrogeochemical setting during ore formation have been performed, and conclusions have been made on its genesis, which explain the reason for the referred zoning.

The hydrothermal system formed after cessation of active volcanism. At the initial stages its parameters were determined by the temperature regime of the cooling near-surface peripheral magmatic chamber; as a result, silver-polymetallic ores were forming with a distinct lateral concentric zoning. As the chamber was cooling, structural factors were brought to the forefront; late-stage mineralization is formed in the zones of substantial dislocations, and is cross-cutting with respect to the early zonal system.

Ю.Ф. Малышев