

УДК 549.32.33(571.66)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ РУД ЖИЛЬНОЙ ЗОНЫ  
ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ (ЮЖНЫЙ ФЛАНГ ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-  
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУТНОВСКОЕ)

*Мозжерина А.Ю.<sup>1</sup>, Шишканова К.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
г. Петропавловск-Камчатский

*Научный руководитель к. г.- м. н. Округин В.М.*

В сообщении приведены результаты исследований Южного фланга главной жильной зоны золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское - Определяющая, в которой сосредоточены основные запасы промышленно важных компонентов. Наибольшее внимание было уделено сфалериту - типоморфному минералу кайнозойских эпитермальных месторождений зоны перехода «континент-океан». Для этих целей применялся комплекс современных методов минералогических исследований (минералогический, минераграфический, рентгеноспектральный флуоресцентный, локальный микрозондовый анализы), который позволил выявить ряд особенностей состава и форм выделения этого минерала. Для сфалерита характерно зональное строение, обусловленное неравномерным распределением элементов-примесей, таких как: железо, марганец, кадмий, индий. Получены новые данные о поведении кадмия, химическом составе редких сульфосолей свинца, серебра, висмута.

*Ключевые слова: сфалерит, сульфоселениды, Мутновское месторождение железа, марганец, кадмий, индий, висмут.*

## ВВЕДЕНИЕ

Эпитермальные месторождения вошли в число ведущих источников золота и серебра во второй половине XX века [4]. Такие месторождения пользуются широким развитием в пределах Тихоокеанского Огненного кольца. На сегодняшний день Камчатский край входит в число одних из наиболее перспективных горнорудных районов России, и во многом, это связано с наличием эпитермальных золоторудных месторождений класса LS, локализованных в четырех разновозрастных вулканических поясах северо-западной части зоны перехода континент-океан и вулканических дугах Японии: от Охотско-Чукотского мел-палеогенового до Восточно-Камчатского плейстоцен-четвертичного [2,5,6,8].

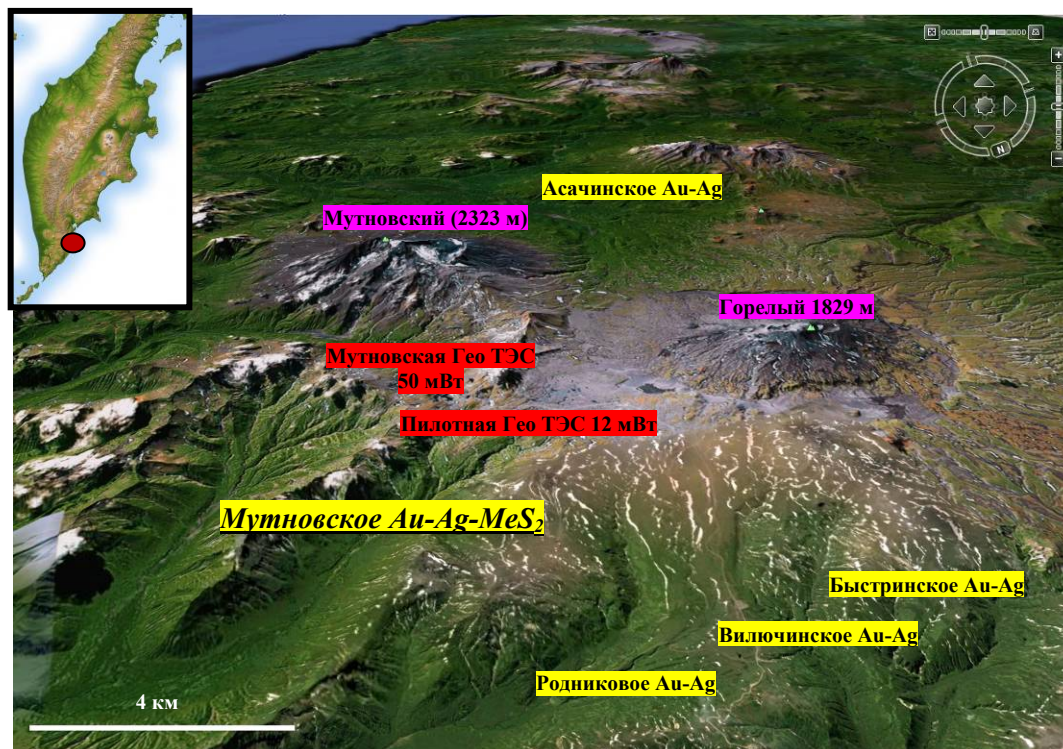


Рис. 1. Схема локализации золото-серебряных, золото-серебро-полиметаллических объектов Южной Камчатки.

К числу перспективных комплексных золото-серебро-полиметаллических рудных объектов относится Мутновское вулканогенное гидротермальное жильное месторождение [2,5,6]. Его прогнозные ресурсы: свыше 10 т - золота, до 5 -10 тыс. т - серебра. Оно располагается на юге Камчатского полуострова, в среднем течении рек Мутновская и Гореловская, вблизи действующих вулканов - Мутновский, Горелый, между Родниковым эпитегрмальным золото-серебряным и Северо-Мутновским месторождением парогидротерм (рис. 1) [5,6,8].

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ

В геологическом строении месторождения участвуют кайнозойские вулканы трех структурных ярусов: дорудного (островодужные  $Pg_3 - N_1$ ), рудоносного ( $N_2 - Q_1$ ) и пострудного ( $Q_2 - Q_4$ ) (рис. 2).

Основная рудовмещающая структура месторождения - Жировской палеовулкан позднеплиоцен-раннеплейстоценового возраста располагается на пересечении субмеридионального отрезка Южно-Камчатской системы

рудоконтролирующих сбросов с Мутновским глубинным разломом северо-восточного простирания (рис. 2) [5,6].

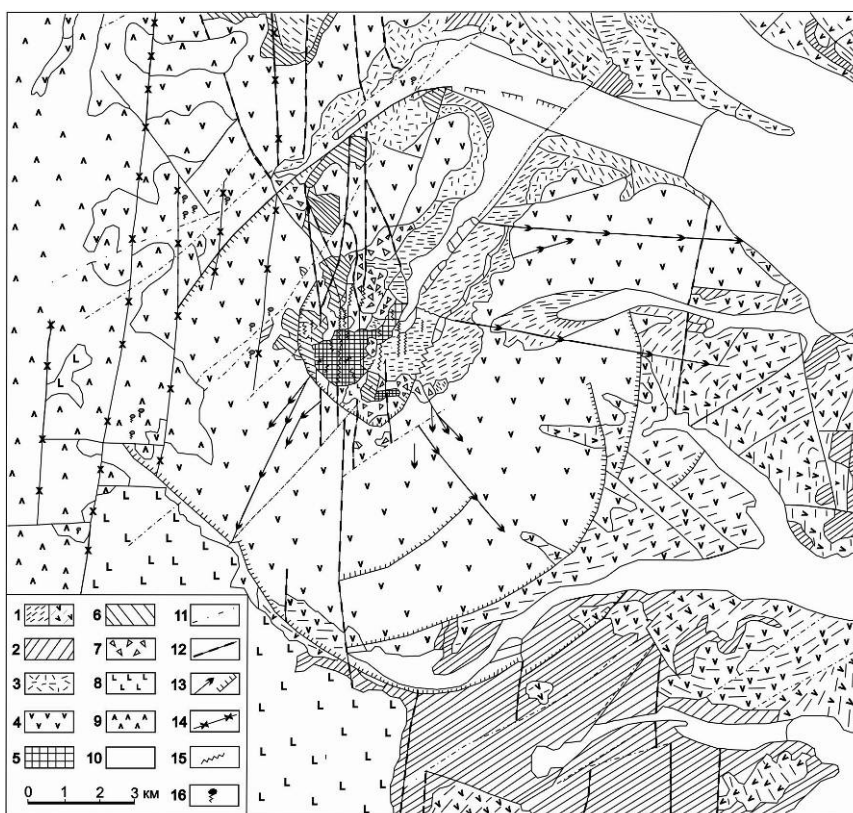


Рис. 2. Структурная схема золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское [6,8].

1-3 - дорудный комплекс: 1 - вулканогенно-осадочные и вулканогенные островодужные образования ( $Pg_3 - N_1$ ); 2 - интрузивные и субвулканические тела ( $Pg_3 - N_1$ ); 3 - туфы дацитов, риодацитов ( $N_2$ ); 4-7 - рудовмещающий комплекс Жировского палеовулкана ( $N_2 - Q_1$ ): 4 - эффузивно-пирокластические образования; 5 - интрузив габбро-габбродiorитов; 6 - субвулканические тела; 7 - эксплозивные брекчии жерловой фации; 8-9 - пострудный вулканогенный комплекс ( $Q_2 - Q_4$ ): 8 - базальты, андезибазальты; 9 - андезидациты, дациты, риолиты; 10 - рыхлые отложения ( $Q_3 - Q_4$ ); 11 - долгоживущие сбросы системы Мутновского глубинного разлома; 12 - разломы Южно-Камчатской системы рудоконтролирующих сбросов; 13 - радиальные и концентрические трещины Жировской ВТС; 14 - разломы Паратунско-Асачинской раздвиговой зоны; 15 - кварцевые и кварц-сульфидные жилы; 16 - современные термальные источники.

Рудные тела слагают штокверково-жильную зону с размерами 3x4 км, представляющую собой сочетание стволовой главной жилы субмеридионального простирания, с падениями близкими к вертикальным, с многочисленными оперяющими более мелкими по своим размерам жилами и прожилками. В этой главной жиле, получившей название «Определяю-

щая», сосредоточено до 80 % всех запасов месторождения. В свою очередь, она обладает сложным внутренним кулисообразным строением, сопровождается большим количеством апофиз, зонами дробления и оперяющими ее маломощными жилами, отходящими на 80-100 м. [5].

В пределах «Определяющей» выделяются два фланга - Южный и Северный, резко отличающихся минеральным составом руд (рис. 3).

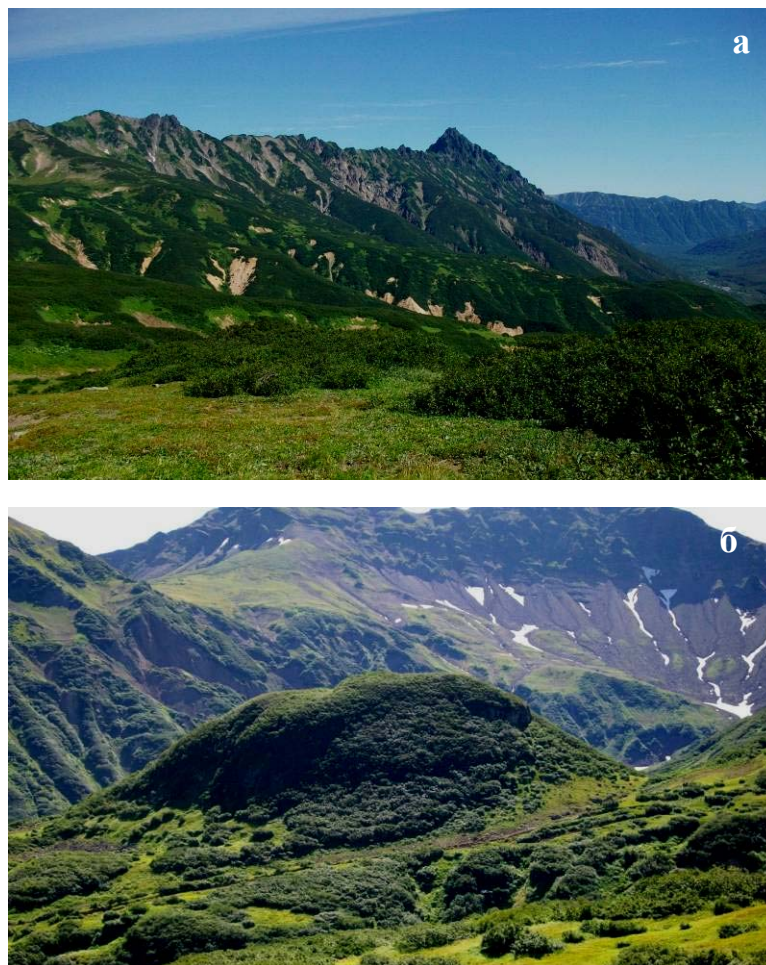


Рис. 3. Панорама Северного (а), Южного (на переднем плане голоценовая экстрезии Каска (б) флангов золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское.

Северный фланг жильной зоны с размерами до 1 100 м по простиранию сложен малосульфидным типом руд, в которых сосредоточены основные запасы золота. Южный фланг протяженностью более 1 700 м отличается преобладанием сульфидно-полиметаллического типа руд. Центральную часть месторождения занимает выведенный на дневную поверхность



периферический очаг Жировского палеовулкана. Это сложная комбинация магматических тел типа даек, ригелей, автомагматических брекчий от основного до среднего состава, интрузирующих стратифицированные отложения эффузивно-пирокластических фаций плиоцен-плейстоценового палеовулкана [5,6,8,9].

### ОБЪЕКТ, МЕТОДЫ, ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы - изучение типоморфных особенностей сфалерита, сульфосолей Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения. Методами минералогии, минераграфии, локального рентгеноспектрального с электронным зондом микроанализа были изучены представительные образцы полиметаллических руд Южного фланга жильной зоны Определяющая (коллекция В.М. Округина). Исследования проводились в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для руд Южного фланга жильной зоны Определяющая характерны комбинированные текстуры: сочетания массивной с брекчиевой, колломорфно-полосчатой, крустификационно-полосчатой, густо-вкрапленной до гнездово-вкрапленной (рис. 4). Наиболее распространена брекчиевая текстура с элементами колломорфной. Чаще всего обломки сложены гидротермально измененными породами, сцементированными сфалеритом (sp), блеклыми рудами (bn) (рис. 4 а, б, в).

Сфалерит - один из главных рудных минералов образует разнообразные по форме и размерам обособления: от единичных зерен до сложных агрегатов линзовидной и гнездообразной форм в брекчиевых с элементами массивной, полосчатой и прожилково-вкрапленной текстурах (рис. 4 г, д).

Крустификационно-полосчатая текстура представлена чередованием полос пирита, сфалерита, блеклых руд (рис. 4 д, е).

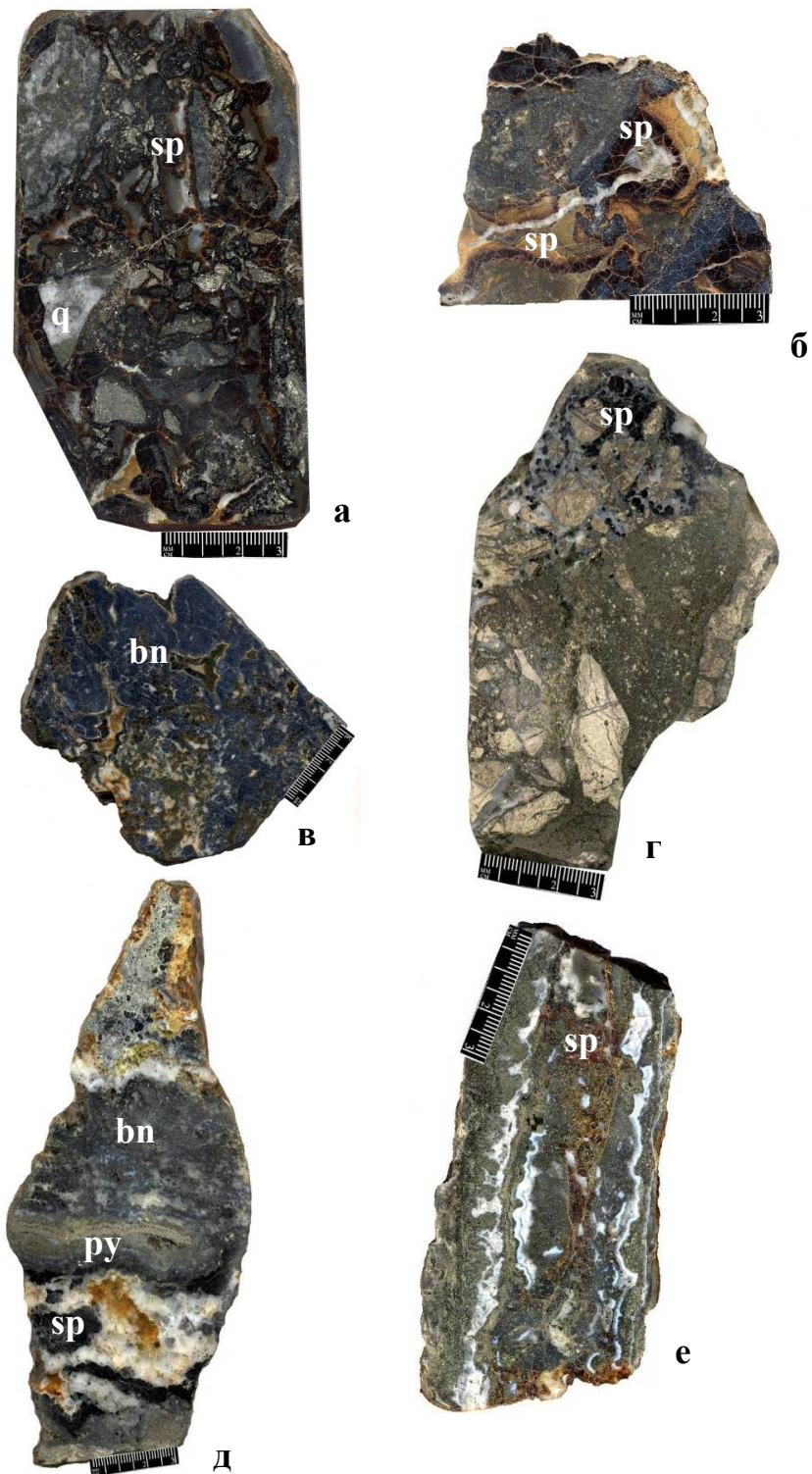


Рис. 4. Комбинированные текстуры руд золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское: а, б, в - брекчиевая с элементами колломорфной; г - брекчиевая с элементами гнездово-вкрапленной; д - полосчатая и прожилково-вкрапленная; е - крустификационно-полосчатая. Полированные штуфы. py-пирит, sp-сфалерит, bn-блеклые руды, q-кварц.

Минеральный состав руд отличается большим разнообразием (табл. 1). К главным рудным минералам относятся галенит, пирит, сфалерит; - второстепенным - халькопирит, блеклые руды (теннантит, тетраэдрит), алабандин, марказит. Нерудные минералы представлены кварцем, карбонатами, в том числе Mn-содержащими - манганокальцитом, доломитом, адуляром, хлоритом, серицитом, баритом, [4].

Таблица 1. Минеральный состав (по данным Округина В.М.).

Распространенность	Гипогенные		Гипергенные
	Рудные	Жильные	
Главные	галенит PbS пирит FeS <sub>2</sub> сфалерит ZnS	кварц SiO <sub>2</sub> кальцит CaCO <sub>3</sub>	халцедон 10 SiO <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O опал 4SiO <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O каолинит Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
Второстепенные	халькопирит CuFeS <sub>2</sub> тетраэдрит Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> теннантит Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> алабандин MnS марказит FeS <sub>2</sub>	родохрозит MnCO <sub>3</sub> манганокальцит MnCO <sub>3</sub> анкерит Ca(Mg, Fe) [CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>	монтмориллонит AlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> OH×2H <sub>2</sub> O хлорит (Mn,Al) <sub>6</sub> (OH) <sub>8</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> язозит KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> алуниит KAl <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> серицит KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> эпидот Ca <sub>2</sub> FeAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>12</sub> OH прениит Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Редкие	фрейбергит Ag <sub>10</sub> Zn <sub>2</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> голдфилдит Cu <sub>12</sub> SbTe <sub>3</sub> S <sub>13</sub> аргентит Ag <sub>2</sub> S штернбергит AgFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> прустит Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub> пираргирит Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub> стибиопирсеит - арсенполибазит энаргит Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> люционит Cu <sub>3</sub> (As,Sb)S <sub>4</sub> фаматинит SbS <sub>4</sub> Cu молибденит MoS <sub>2</sub> бурнонит CuPbSbS <sub>3</sub> колусит Cu <sub>13</sub> As <sub>4</sub> S <sub>16</sub> моусонит Cu <sub>6</sub> Fe <sub>2</sub> SnS <sub>8</sub> станноидит Cu <sub>8</sub> (Fe,Zn) <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>12</sub> канфильдит Ag <sub>3</sub> SnS <sub>6</sub> диафорит Ag <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub> Sb <sub>3</sub> S <sub>8</sub> овихиит Ag <sub>2</sub> Pb <sub>5</sub> Sb <sub>6</sub> S <sub>15</sub> киноварь HgS сильванит AgAuTe <sub>4</sub> теллуrowисмутит Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> тетрадимит Bi <sub>14</sub> Te <sub>13</sub> S <sub>8</sub> самородные: Au, Ag, Al, Fe, As сульфоселениды Bi	родонит (Mn,Fe,Mg,Ca)SiO <sub>3</sub> адуляр K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) альбит NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> флюорит CaF <sub>2</sub> доломит CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> магнезит MgCO <sub>3</sub> сидерит FeCO <sub>3</sub> барит BaSO <sub>4</sub> ангидрит CaSO <sub>4</sub> циркон ZrSiO <sub>4</sub> апатит Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F цеолиты	рутил TiO <sub>2</sub> магнетит FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> пиролозит MnO <sub>2</sub> якобсит MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> манганит MnOOH ковеллин CuS халькозин Cu <sub>2</sub> S гипс CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O брушит CaHPO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O пумпеллиит Ca <sub>2</sub> MgAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> ×2H <sub>2</sub> O

При изучении минерального состава руд особое внимание было уделено сфалериту и диагностике редких фаз.

Сфалерит отличается разнообразными формами выделения. Он встречается в виде единичных кристаллов, скоплений разнозернистых агрегатов при размерах от нескольких микрон до нескольких миллиметров в сростании с блеклыми рудами, пиритом и галенитом. Довольно часто можно наблюдать структуру распада твердых растворов, представленную эмульсионной вкрапленностью халькопирита (рис. 5).

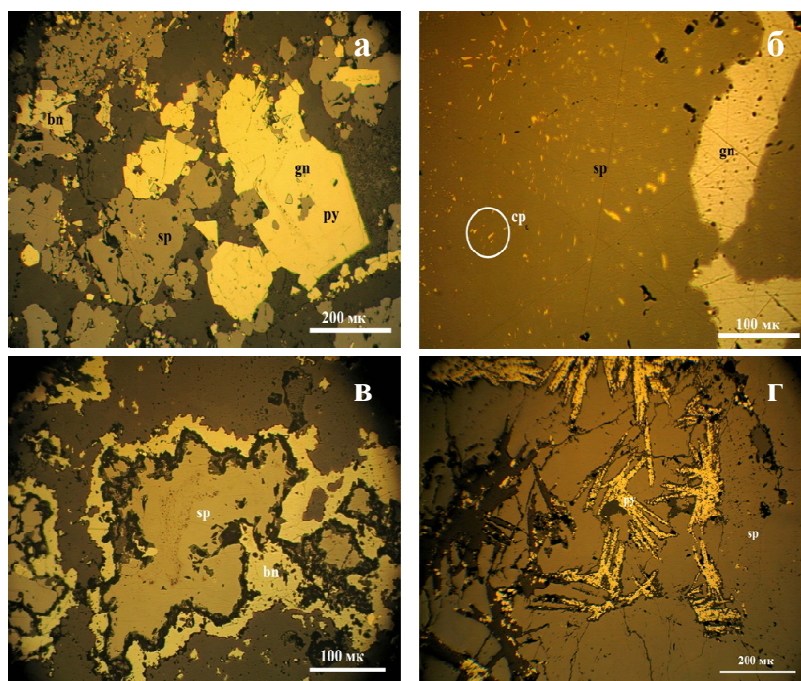


Рис. 5. Формы выделения сфалерита (sp) и его взаимоотношения с пиритом (py), халькопиритом (cp), галенитом (gn), блеклыми рудами (bn). Микрофотографии в отраженном свете.

Химический состав минерала характеризуется широким спектром элементов-примесей, таких как железо, марганец, кадмий, индий, германий, галлий, олово. В большинстве случаев они распределены в пределах зерен сфалерита неравномерно, образуя локальные зоны обогащенные: - железом до 11.26; - марганцем до 1.48; - кадмием до 3.75; индием до 2.80 % мас., соответственно (рис. 6). Остальные элементы-примеси встречаются в единичных случаях при концентрациях не превышающих 0,4-0,5% мас.



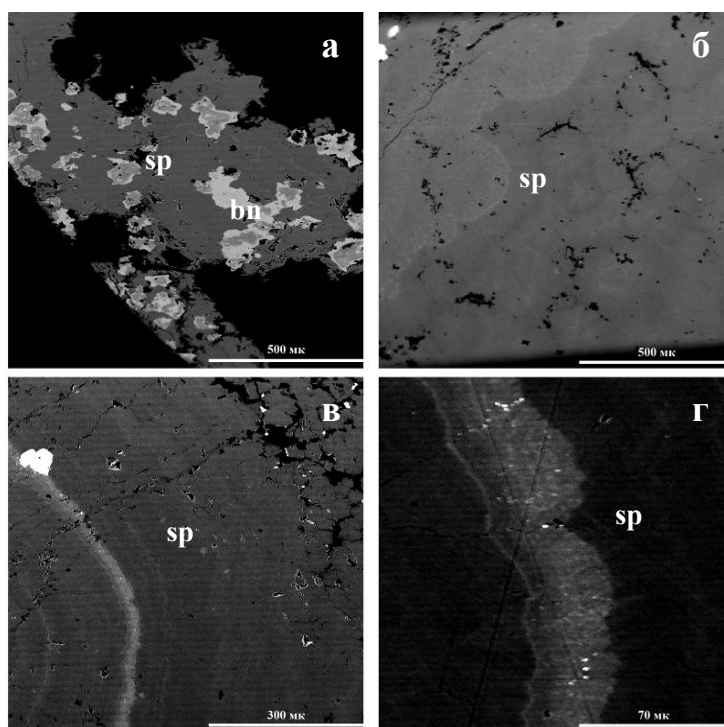


Рис. 6. Неоднородное строение сфалерита. Светлые зоны обогащены кадмием, индием, медью. Микрофотографии в обратно рассеянных электронах.

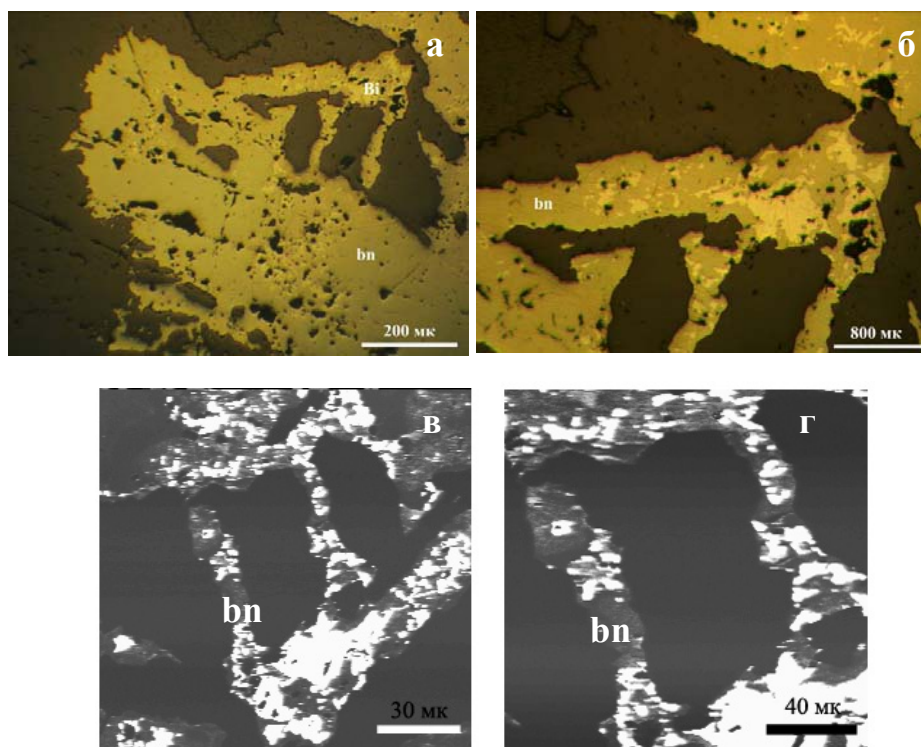


Рис. 7. Дендритовидное и неоднородное строение сульфосалей типа берриита и голдфилдита. Микрофотографии в отраженном свете (а, б), в обратно рассеянных электронах (в, г).

Впервые в рудах с помощью электронного микроанализатора диагностирован минерал из группы сульфосалей, содержащий висмут селен и

серебро. Изучение агрегатных сростаний сульфосолей показало, что они обладают неоднородным зональным строением (рис. 7). Светлые зоны представлены фазой близкой к беррииту ? ( $Ag_{1,5}Cu_{3,5}Pb_3Bi_7S_{16}$ ) с высокими содержаниями селена (до 4.00 % мас.); темные - Те-содержащей блеклой рудой (голдфилдитом), в которой концентрации теллура достигают 15.77; при содержаниях серебра - 1.06; висмута - 1.93 % мас., соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Руды характеризуются разнообразием текстур, с преобладанием комбинированных: сочетания брекчиевой, колломорфной, вкрапленной, гнездово-вкрапленной, прожилково-вкрапленной, крустификационно-полосчатой;
2. минеральный состав руд месторождения отличается удивительно широким спектром при значительных вариациях химического за счет неравномерного распределения элементов-примесей;
3. сфалерит и некоторые сульфосоли обладают неоднородным, как правило, сложным, зональным строением (внутренней химической неоднородностью) за счет обогащения отдельных зон железом, марганцем, кадмием, индием, висмутом при максимальных концентрациях железа - 11.26, марганца - 1.48, кадмия - 3.75, индия - 2.80; сульфосолях - селена до 4.00, теллура 15.77 % мас., соответственно;
4. значительное сходство типоморфных особенностей сфалерита Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения с таковым из крупнейшего комплексного жильного свинцово-цинкового (мирового лидера добычи индия) месторождения Тоеха (о. Хоккайдо, Япония), из руд которого добыто не менее 2 350 т серебра, более 10 т золота, до 413 000 т свинца и около 1230 000 т цинка, свидетельствует о высокой перспективности рудных месторождений Камчатского края и возможности их комплексного освоения.

Авторы выражают искреннюю признательность научному руководителю заведующему лабораторией вулканогенного рудообразования к. г.-м. н. Округину В.М. за сотрудничество и полезные рекомендации на всех этапах выполнения исследований; ст.н.с. Чубарову В.М., н.с. Москалевой С.В., Философовой Т.М., обеспечивших своевременное выполнение микронзондовых анализов; вед. инженерам Полушину С.В, Лунькову В.Ф., инженеру Куликову В.В., а также Куликовой Р.Н. за помощь в обработке каменного материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е.Д., Ким А.У., Шишканова К.О., Мозжерина А.Ю. О дендритах в рудах вулканогенных месторождений Курило-Камчатской островной дуги // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12-13 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2011. С. 5-14.
2. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1: 500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых // Главные редакторы: Литвинов А.Ф., Патока М.Г. (Камчатгеолком), Марковский Б.А. (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: Изд-во СП КФ ВСЕГЕИ, 1999, 560 с.
3. Минчева-Стефанова Й. Типоморфизм сфалерита // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980, с. 255-267.
4. Округин В.М. Удивительное в минералогии эпитермальных месторождений Камчатки // Современный вулканизм и связанные с ним процессы. Доклады юбилейной сессии Ученого совета Института вулканологии ДВО РАН, посвященной 275-летию Российской Академии наук. П-К, 1999.
5. Округин В.М. Мутновское серебро - полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006, кн. 1. С. 712-716.
6. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1999, 116 с.
7. Рамдор П. Рудные и минералы и их сростания. Издательство иностранной литературы. М., 1962, 1132 с.
8. Okrugin V.M., Zelensky M.E. Miocene to quaternary center of volcanic, hydrothermal and ore forming activity in the Southern Kamchatka // Metallogeny of the Pacific Northwest, 2004. VI-k, P. 147-174.
9. Takahashi R., Matsueda H., Okrugin Victor M., Shuji Ono. Polimetallic and Au-Ag mineralization at the Mutnovskoe deposit in South Kamchatka // Resource Geology, vol. 56, no. 2, 2006. P. 141-156.

ORE MINERALOGY OF THE VEIN ZONE OPREDELYAYUSHCHAYA  
(SOUTH FLANK, AU-AG-POLIMETALLIC MUTNOVSKOE DEPOSIT)**Mozzherina A. Yu.<sup>1</sup>, Shishkanova K.O.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> *Vitus Bering Kamchatka State University*<sup>2</sup> *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

The basic stock of industrially impotent components of the Au-Ag- polymetallic Mutnovskoe are concentrated in the southern flank of vein zone. Sphalerite is a major ore mineral in the whole Mutnovskoe deposit. The present research was aimed to show properties of structure chemical composition of sphalerite, Bi-, Pb, Ag-sulphosalts. These minerals are marked by variety impurities of Fe, Mn, Cd, In, Pb, Ag, Bi.

*Keywords: sphalerite, sulphosaltes of Se, Mutnovskoe deposit, iron, manganese, cadmium, indium, bismuthine.*