

УДК 553.08:549.02

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛОГИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ  
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЖИЛ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОЕХА  
(ЯПОНИЯ, ХОККАЙДО)

*Андреева Е.Д., Шишканова К.О., Округин В.М., Философова Т.М.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

В сообщении приведены новые данные о химическом составе и особенностях внутреннего строения главных рудных минералов одного из самых известных полиметаллических месторождений Тихоокеанского региона - Тоеха. Это месторождение в течение многих лет было одним из главных источников индия. Детально изучены пирит, сфалерит и арсенопирит из образцов, отобранных авторами и любезно предоставленных профессором Х. Матсуеда, докторантами и студентами университета Саппоро (Япония).

*Ключевые слова:* индий, сурьма, мышьяк, жильная зона, пирит, сфалерит, арсенопирит.

Японские острова известны в мире рудной и экономической геологии своими многочисленными эпитермальными месторождениями золота, полиметаллов и олова. Тоеха - одно из самых крупных полиметаллических месторождений жильного типа Японии, разработка которого велась в течение 20 века. В начале нашего столетия оно входило в число ведущих производителей цветных металлов страны, выпуская ежегодно до 83 тыс. т цинка, 9 тыс. т свинца и 30 т индия.

В основу данного сообщения положены результаты исследований, которые были выполнены аспирантами под руководством и при участии сотрудников лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН.

Объекты исследований: образцы, собранные В.М. Округиным, Е.Д. Андреевой в 2000, 2001 и 2009 г.г. при посещении месторождения Тоеха (жильные зон Шинано, Изумо). Ряд оригинальных образцов был любезно передан профессором Х. Матсуеда, докторантами и студентами университета Саппоро (Япония).

Методы исследований: минералогический, минераграфический, рентгеноспектральный флуоресцентный и локальный микрозондовый анализы.

В административном отношении месторождение относится к префектуре о. Хоккайдо, находится в 40 км юго-западнее столицы этого самого северного острова - города Саппоро и располагается в вулканическом массиве зеленых туфов миоценового возраста (рис. 1, 2).

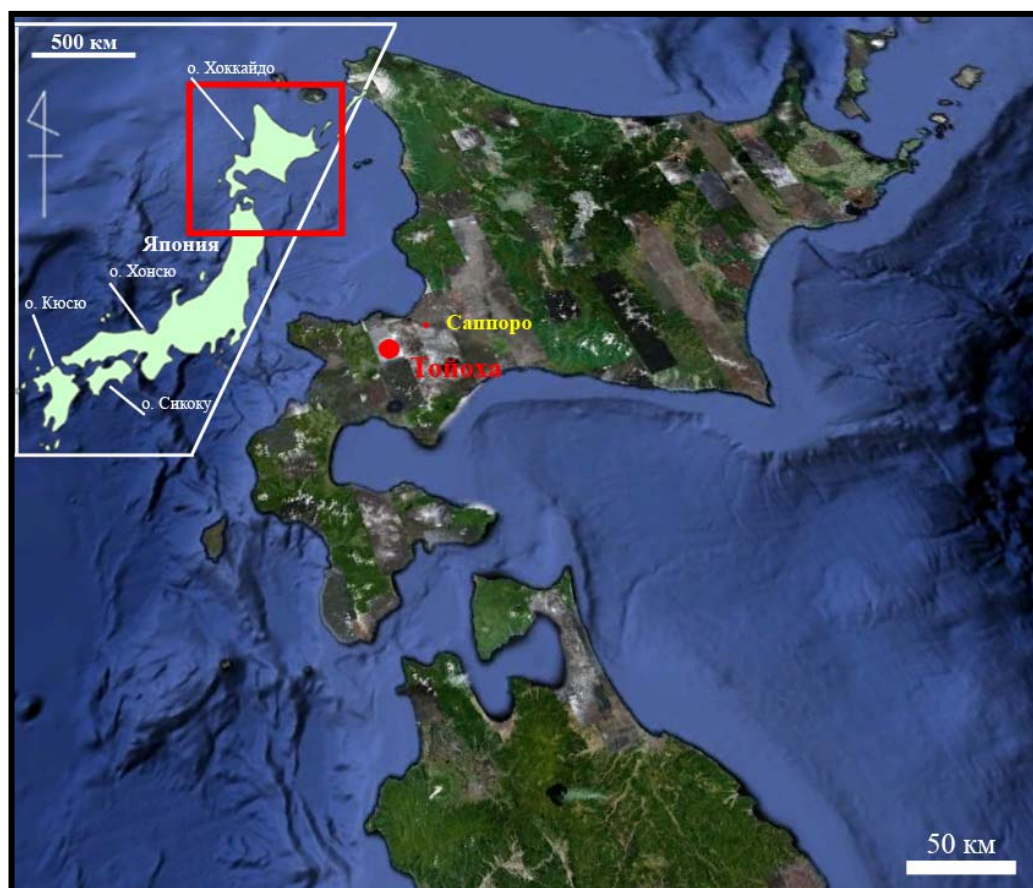


Рис. 1. Схематическая карта расположения месторождения Тоеха.

В структуре месторождения принимают участие две системы разрывных нарушений: широтная (Восток-Запад) и диагональная (Северо-Запад - Юго-Восточная). Месторождение включает более чем 50 жил, а его размеры достигают почти 12 км<sup>2</sup> (4 000 м - в длину и до 3 000 м - в ширину).

В соответствии с пространственной ориентировкой и характером взаимоотношений все известные рудные тела подразделяются на две группы: раннюю и позднюю [9].

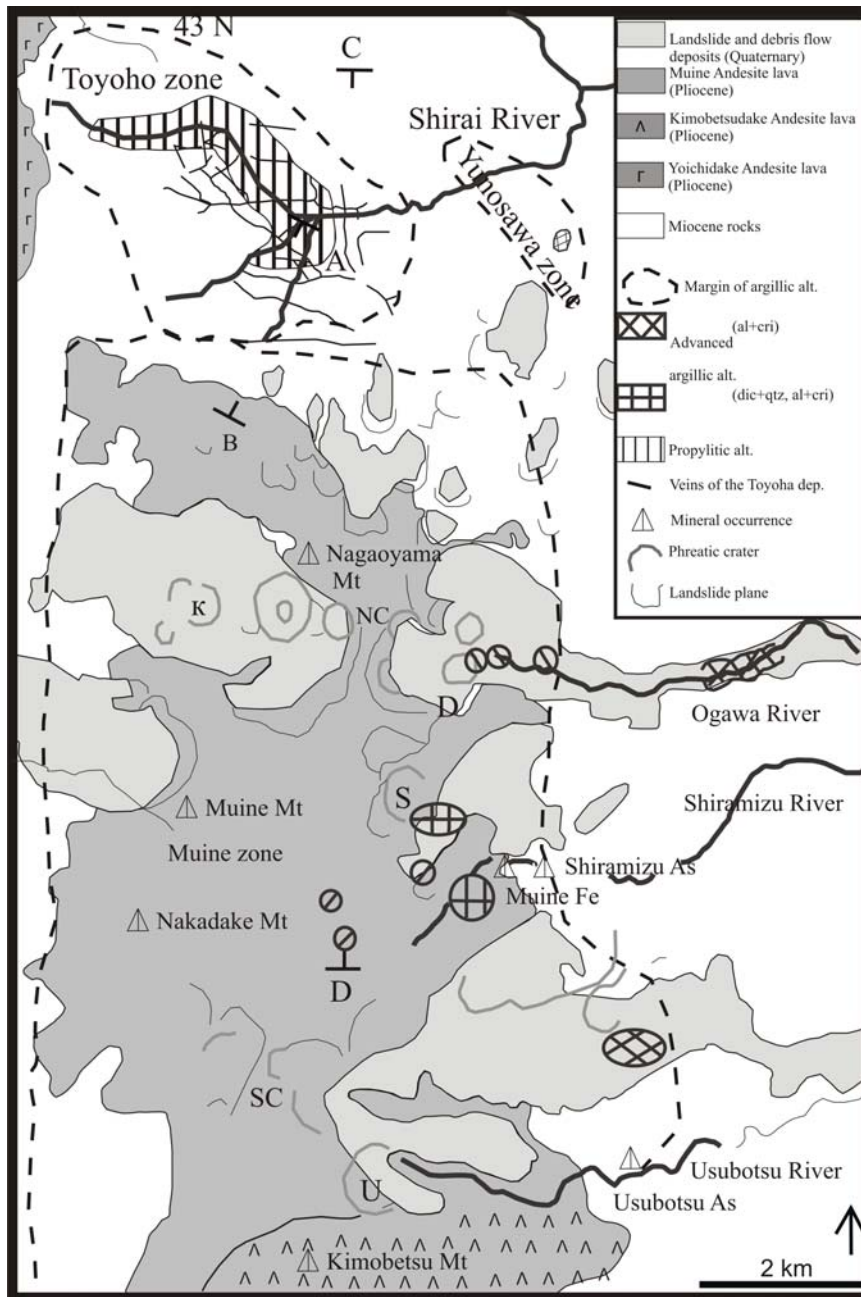


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Тоеха (по [9]).

Ранняя группа представлена жилами Тажима, Харима и занимает северную часть месторождения. Группа трещин поздней генерации, выполненных рудным материалом, располагается в южной части рудника и вмещает жилы Шинано, Изумо, Сорачи и Соя (рис. 3).

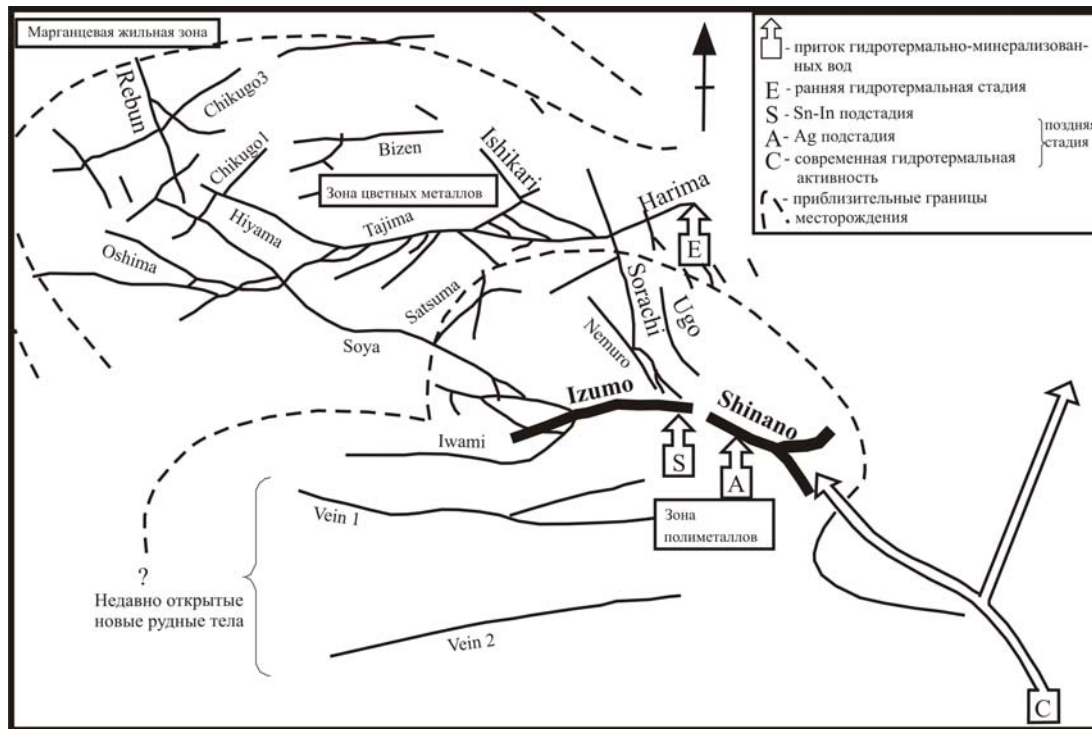


Рис. 3. Схематическая карта расположения рудных тел месторождения Тоеха (по [9]).

По текстурно-структурным особенностям, минеральному составу и структурной позиции выделено три типа рудной минерализации: редкометалльно-полиметаллическая, цветных металлов и марганцевая (рис. 3). Редкометалльно-полиметаллическая характеризуется наличием свинца, цинка и меди. Второстепенную роль играют: серебро, олово, индий, мышьяк, сурьма, кобальт, никель. Для зоны цветных металлов типичны: свинец, цинк, марганец и медь. Подчиненное значение приобретают серебро, сурьма и мышьяк. Марганцевая минерализация представлена многообразием минеральных форм этого химического элемента - от карбонатов до силикатов и оксидов.

Процесс минералообразования был длительным, сложным и распадается, как минимум, на два этапа - ранний и поздний (рис. 4). Минеральные ассоциации раннего этапа участвуют в строении жильных зон Тажима и Харима. Среди них наиболее представительными считаются три сле-

дующие ассоциации: 1. сфалерит+галенит+пиритовая; 2. гематит+минералы Mn+халькопиритовая; 3. касситерит+аргентит+кварцевая.

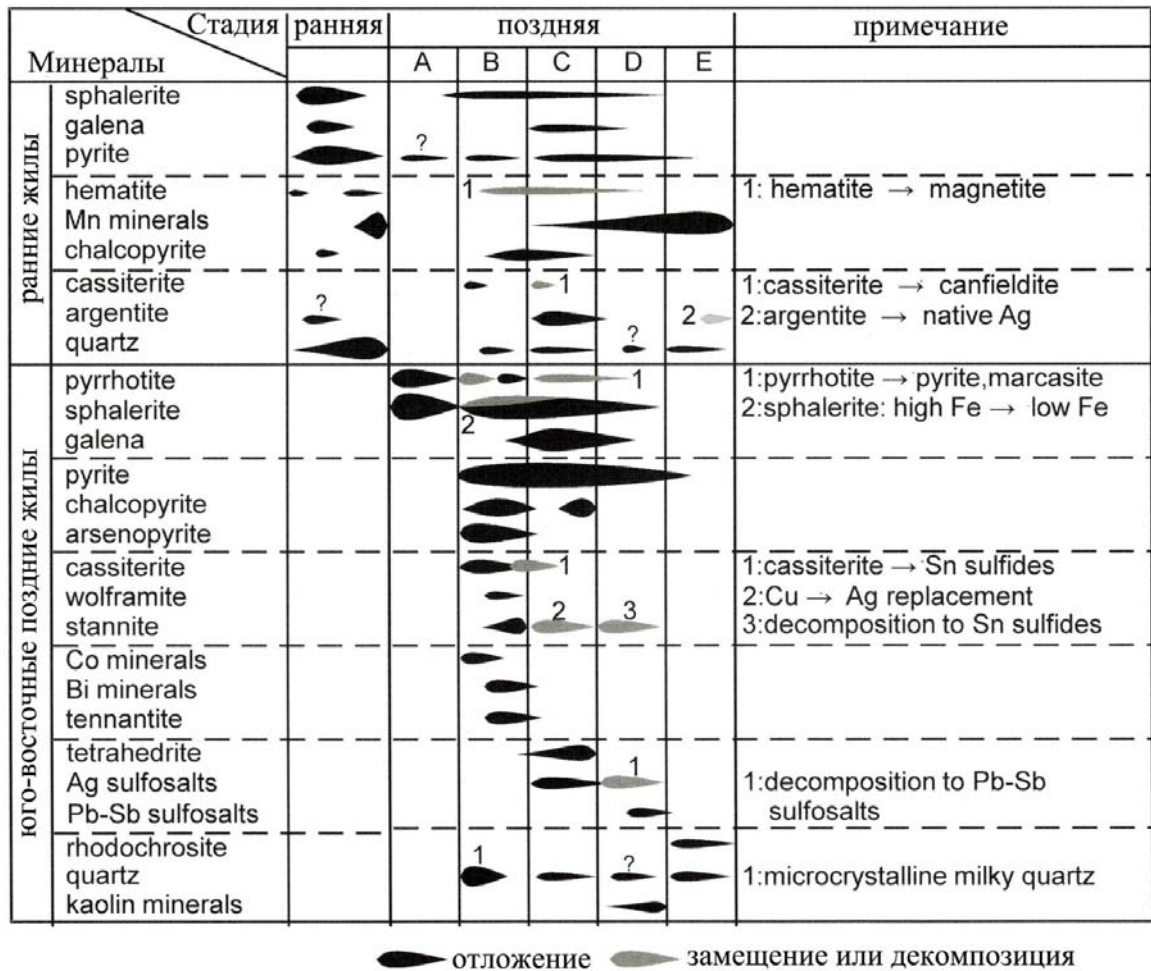


Рис. 4. Схема минералообразования на месторождении Тоеха. Примечание: ранние жилы - Тажима, Харима; юго-восточные поздние жилы: Шинано, Изумо, Сорачи, Соя (по [5]).

Поздний этап был наиболее сложным и полистадийным. Он подразделяется на пять стадий, которым отвечают шесть минеральных ассоциаций: 1. пирит+сфалерит+галенитовая; 2. пирит+халькопирит+арсенопиритная; 3. касситерит+вольфрамит+станнитовая; 4. минералы Со+минералы Вi+теннантитовая; 5. тетраэдрит+сульфосоли серебра+Pb-Sb сульфосолевая; 6. родохрозит+кварц+глинистые минералы (рис. 4) [5]. Эти ассоциации определяют современный облик жил Шинано, Изумо, Сорачи. Стадия "В" жилы Шинано отличается наиболее яркой изменчивостью минераль-

ных ассоциаций, в которых появляются минералы Sn, W, Co, Bi, и среди них идентифицирован тоехит ( $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ ) [11].

Пирит, сфалерит, галенит и халькопирит - четыре самых распространенных рудных минералов месторождения. Трудно определить - какой из них самый распространенный. Отдельные фрагменты жил Изумо и Шинано напоминают колчеданные залежи, другие - Куроко (черные свинцово-цинковые), третьи - Бейши (желтые халькопиритовые).

Пирит отличается наибольшим разнообразием форм выделения: от идеальных кубических до тонких игольчатых дендритов с размерами от 3.0-5.0 мм до 0.5-0.1мм (рис. 5). При исследовании с помощью микрозондового анализа был установлен пирит, имеющий зональное строение за счет обогащения отдельных зон мышьяком до 2.70 % масс.

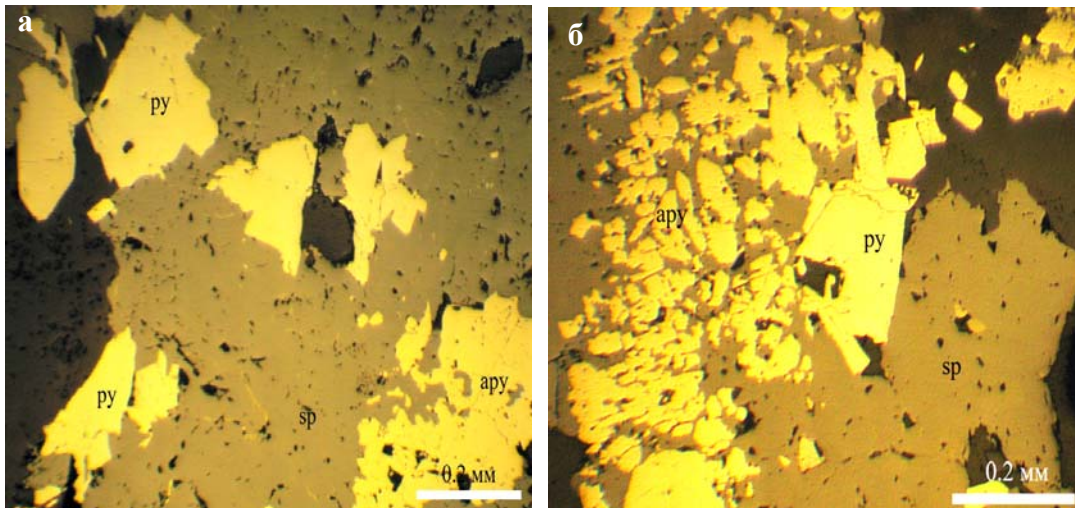


Рис. 5. Формы выделения и взаимоотношения агрегатов As-содержащего пирита жильной зоны Изумо. Микрофотографии в отраженном свете. py - пирит, апу - арсенопирит, sp - сфалерит.

Сфалерит относится к числу самых распространенных рудных минералов, определяющих экономическую ценность месторождения. Для него также характерно многообразие форм нахождения - от единичных кристаллов, тонкозернистых агрегатов до эмульсионной вкрапленности в галените и халькопирите при размерах от нескольких миллиметров до микронных частиц (рис. 6).

При исследованиях с помощью микрозонда "Камебакс" в режиме "обратно рассеянные электроны" выявлена неоднородная (зональная) структура этого минерала (рис. 7).

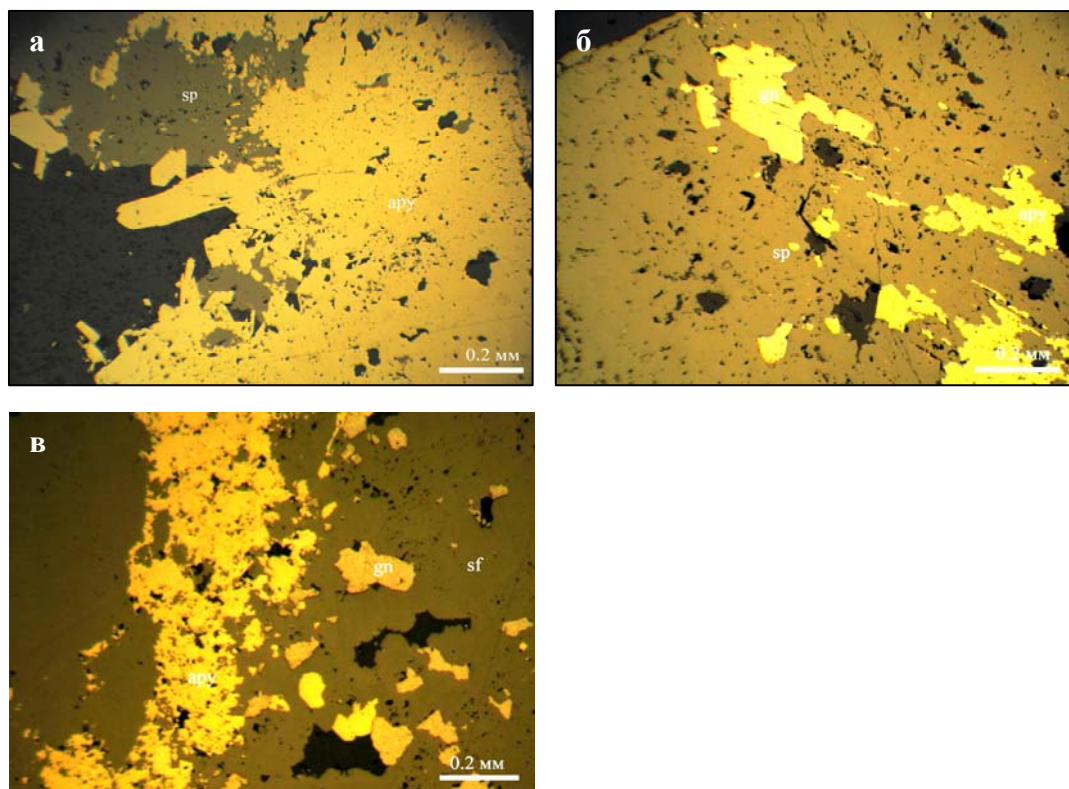


Рис. 6. Формы выделения и взаимоотношения агрегатов сфалерита жильных зон Изумо (а, б), Шинано (в). Микрофотографии в отраженном свете. sp - сфалерит, апу - арсенопирит, ру - пирит.

Она обусловлена вариациями концентраций индия - от 0.00-0.37% масс. (жильная зона Изумо) до 0.00-4.05 % масс. (жильная зона Шинано) при содержаниях железа до 8.53-12.63 и 3.61% масс., соответственно.

Такие аномальные количества индия в сфалерите - большая редкость. Более высокие концентрации индия (до 9.10% масс.) были обнаружены ранее В.М. Округиным только в сфалеритах Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения [4, 6].

Арсенопирит относится к числу второстепенных и даже редких минералов. Он образует мономинеральные скопления и агрегаты метакристаллов игольчатой формы (рис. 8). Изучение внутреннего строения этого

минерала с помощью электронного микроанализатора позволило обнаружить срастания арсенопирита, отличающиеся неоднородным зональным строением.

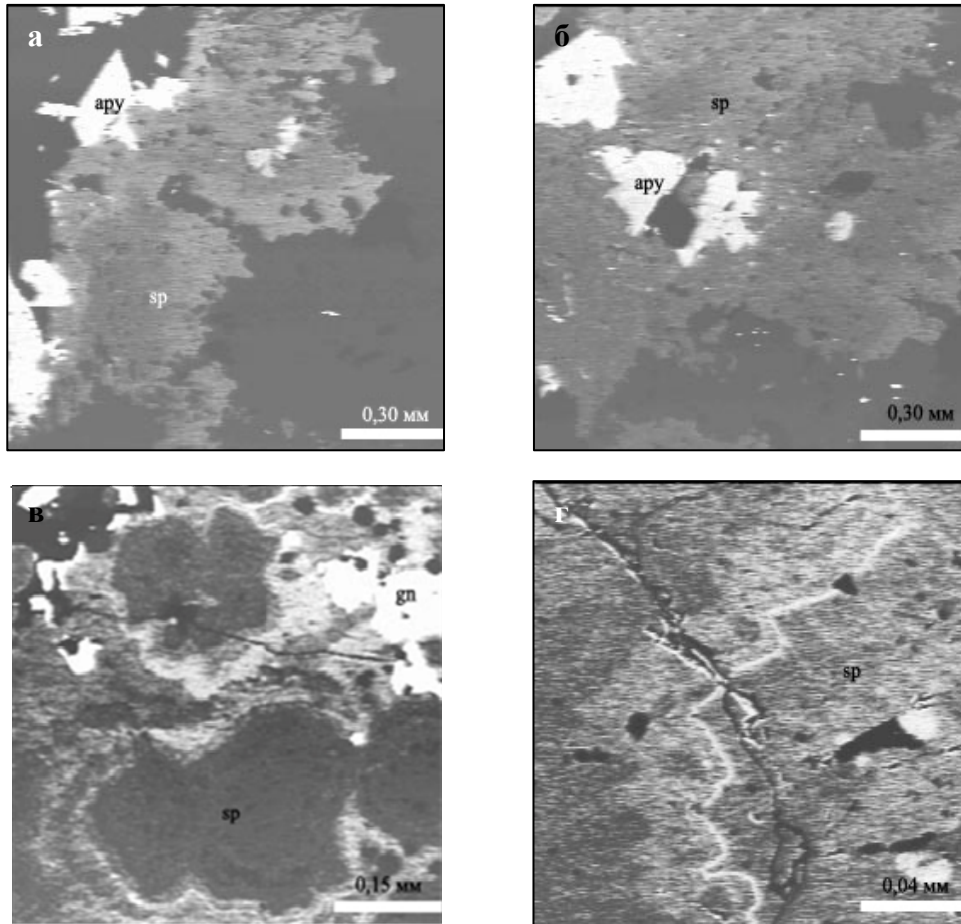


Рис. 7. Неоднородное зональное строение In-содержащего сфалерита жильных зон Изумо (а, б), Шинано (в, г). Микрофотографии в обратно рассеянных электронах; белое - зоны обогащенные индием; sp - сфалерит, ару - арсенопирит.

Такое неоднородное по своему химическому составу строение обусловлено появлением сурьмы, количество которой меняется в пределах одного и того же зерна, достигая 2.78 % масс. (жильная зона Изумо) и 9.11 % масс. (жильная зона Шинано). Это первая находка Sb-содержащего арсенопирита с таким высоким количеством сурьмы на месторождении Тоеха (рис. 8,9).

Близкие по своему строению и составу Sb -содержащие арсенопириты известны в рудах вулканогенных (эпитермальных) месторождений



Камчатки (Аметистовое, Мутновское), золоторудных объектах Якутии, Магаданской области [1, 2, 3].

В результате проведенных исследований получены новые данные о типоморфных особенностях таких рудных минералов вулканогенных гидротермальных месторождений как пирит, сфалерит, арсенопирит, которые расширяют наши представления о минералогии и геохимии эндогенного рудообразования.

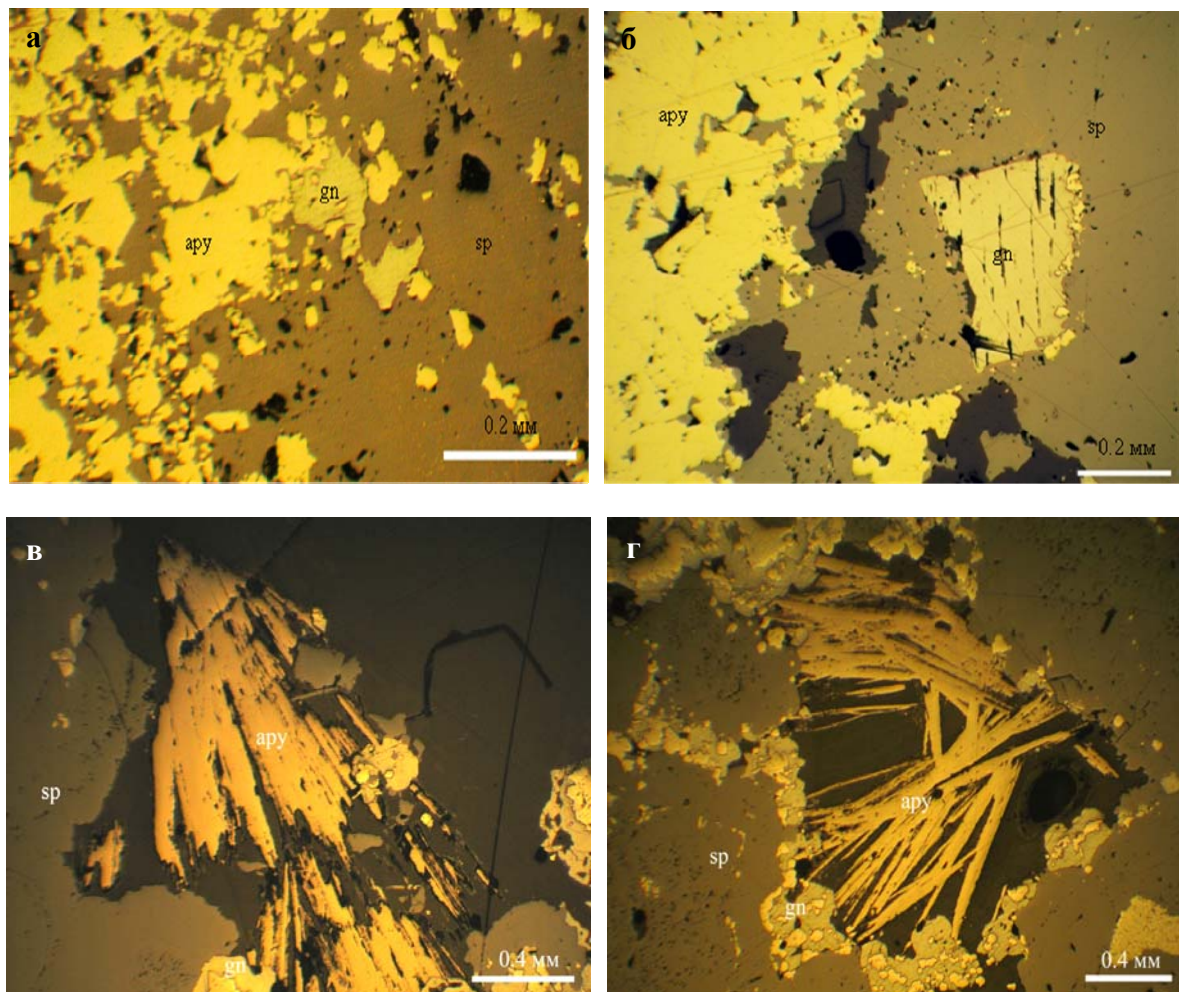


Рис. 8. Формы выделения и взаимоотношения агрегатов арсенопирита жильных зон Изумо (а, б), Шинано (в). Микрофотографии в отраженном свете; sp - сфалерит, ару - арсенопирит, ру - пирит, gn - галенит.

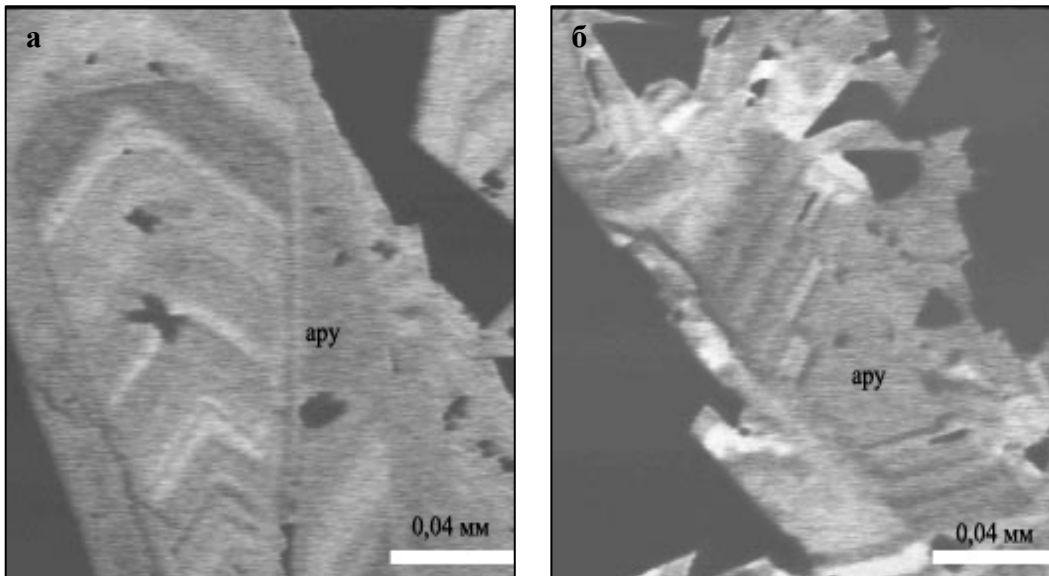


Рис. 9. Неоднородное строение зональных Sb-содержащих игольчатых агрегатов арсенопирита жильных зон Изумо (а), Шинано (б). Микрофотографии в обратно рассеянных электронах; белое - участки с повышенным содержанием сурьмы; ару - арсенопирит.

Удивительное сходство этих минералов рудных месторождений Камчатки (Мутновское, Аметистовое) с аналогами такого авторитетного гиганта, как месторождение Тоеха, из руд которого добыто не менее 2 350 т серебра, более 10 т золота и до 413 000 т свинца с 1 230 000 т цинка, мирового производителя индия свидетельствует об исключительно высокой перспективности золото-полиметаллических месторождений Камчатского края и возможности их комплексного использования.

Авторы выражают благодарность профессору Х. Матсуеда, студентам и докторантам университета г. Саппоро (Япония) позволивших воспользоваться коллекцией руд, коллегам лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН за помощь и дружеское участие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гамянин Г.Н. Малоуглубинное оруденение, связанное с внутриконтинентальным вулканизмом Верхояно-Колымских мезозоид // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009, Т. 2., Петропавловск-Камчатский, 2009, стр. 725-728.
2. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Типоморфизм арсенопирита месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Материалы Всероссийской конференции "Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований", Москва, ИГЕМ, 29-31 марта 2010 г, Т. 1, Москва, 2010 (<http://www.econf.info/Samorodnoe-zoloto-Petrovskaya-100/Vol1/43.html>).
3. Горячев Н.А., Сидоров А.А., Волков А.В., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009 г., Т. 1., Петропавловск-Камчатский, 2009, стр. 11-15.
4. Округин В.М. Мутновское серебро-полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм, металлогения Востока России, кн. 1. Под ред. Ханчука А.И. Владивосток: Дальнаука, 2006. стр. 712-716.
5. Цусима Н., Матсуеда Х., Исаями Д., Матсубая О. Генезис полиметаллического жильного месторождения Тоеха, юго-западный Хоккайдо, Япония // Минерало-рудообразование в вулcano-гидротермальных системах островных дуг (Камчатка, Курильские и Японские о-ва). Материалы Российско-Японского полевого семинара: "Минерало-рудообразование в вулcano-гидротермальных системах островных дуг: от модели к эксплуатации. Петропавловск-Камчатский, Россия, 25 июля - 2 августа, 1998. г. Петропавловск-Камчатский, 1998.
6. Okrugin V.M., Okrugina A.M., Matsueda H., Takahashi R., Ono S. Geology and genesis of the Mutnovskoe volcanic ore field (Southern Kamchatka) // Tectonics and metallogeny of the Circum-North Pacific and Eastern Asia. Proceedings of the Leonid Parfenov memorial conference Khabarovsk, June 11-16 2007, Khabarovsk, 2007, p. 518.
7. Ohta E. Occurrence and chemistry of indium-containing minerals from the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. Mining Geology, 1991, vol. 39, p. 355-372.
8. Ohta E. Polymetallic mineralization at the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. Mining Geology, 1991, vol. 41, p. 279-295.
9. Ohta, E. Common features and genesis of tin-polymetallic veins. Resource Geology. Sp. Issue, 1995, 18, 187-195.
10. Shikazono N. Mineralization and chemical environment of the Toyoha lead-zinc vein-type deposits, Hokkaido, Japan // Economic Geology, July 1975, vol. 70, No. 4., p. 694-705.
11. Yajima Y., Ohta E., Kanazava Y. Toyohaite,  $Ag_2FeSn_3S_8$ , a new mineral // Mineralogical journal, January 1991, vol. 15, No 5, p. 222-232.

NEW DATA ABOUT MINERALOGY VOLCANOGENIC OF  
POLYMETALLIC VEINS OF TOYOHA MINE  
(JAPAN, HOKKAIDO)

*Andreeva E.D., Sheshkanova K.O., Okrugin V.M., Filosofova T.M.*

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

The current mineralogical study of Toyoha mine shows new data about mode of occurrence, chemical composition and internal texture of major vein minerals. Toyoha mine is the largest silver-polymetallic deposit in Pacific Ocean region. For long history of exploration the mine was biggest producer of indium in the world. The present study is based on the representative ore sample collected at the mine area by authors and, also, some unique sample were given by Professor Matsueda Hirohary and his students

*Keywords:* indium, stibium, arsenic, vein zone, pyrite, sphalerite, arsenopyrite.