

ПИРИТ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОНГКОР (ИНДОНЕЗИЯ)

^{1,2}Яблокова Д.А., ^{1,2}Зобенько О.А., ³Тинтин Ю.Ю., ⁴Рионанда Х.

¹Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

г. Петропавловск-Камчатский

³ Университет Паджаджаран

³ Горнодобывающая компания "Антам"

Индонезия

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

Золото-серебряное месторождение Понгкор находится в провинции Западная Ява (100 км южнее от столицы – Джакарты). Месторождение типа low-sulfidation представлено четырьмя субпараллельными кварцадуляр-кальцитовыми жильными зонами с низкими содержаниями сульфидов. Основная масса золота связана с сульфидными минеральными ассоциациями. Авторами во время полевых работ отобраны образцы руд, обогащенные сульфидами. В работе приводятся результаты изучения типоморфных особенностей пирита по оригинальной методике, разработанной в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН. Получены новые данные о его размерах, оптических свойствах, морфологии, микроструктуре, микровключениях, химическом составе и химической неоднородности, обусловленной локальным обогащением отдельных зон мышьяком (до 5.33 %). Среди микровключений в пирите впервые диагностированы Ag-сульфосоли, содержащие германий и олово (аргиродит и канфильдит ?).

Ключевые слова: пирит, эпитеpmальное месторождение Понгкор, Индонезия, мышьяк, сульфосоли золота и серебра

ВВЕДЕНИЕ

28 октября 2014 года в г. Бандунг (Индонезия) прошла первая международная конференция «Геонауки в энергетике, минеральных ресурсах и окружающей среде». В ней приняла участие делегация студентов и научных сотрудников КамГУ им Витуса Беринга, ИВиС ДВО РАН составе Зобенько О.А., Кудаева Ш.С., Яблокова Д.А. (рис. 1). Они выступили с докладами на секции "Минеральные ресурсы", которые встречены с большим интересом и отмечены дипломами.



Рис. 1. Участники первой международной конференции. Слева направо: студентки III курса КамГУ - Зобенько О.А., Кудаева Ш.С., председатель секции "Минеральные ресурсы" - проф. Фатима М.Р., н.с. ИВиС ДВО РАН. - Яблокова Д.А.



Рис. 2. Полевые работы на месторождении Понгкор (октябрь 2014 г.): а - устье штольни; б - отбор каменного материала в штольне; в - коренной выход жилы Цимахпар.

По окончании конференции были проведены полевые работы на одном из крупнейших эпипермальных золото-серебряных месторождений Индонезии - Понгкор и действующем вулкане Тангкубан Параху (рис. 2 а).

Авторы статьи смогли ознакомиться с геологическим строением месторождения, посетить карьер, подземные горные выработки и отобрать представительный каменный материал для исследований (рис. 2 б, в).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОНГКОР

Золото-серебряное месторождение Понгкор - самое крупное эпитеpмальное месторождение острова Явы располагается в 100 км южнее столицы Джакарты (рис. 3). Запасы месторождения: золото - 98 т, серебро 1026 т [2].

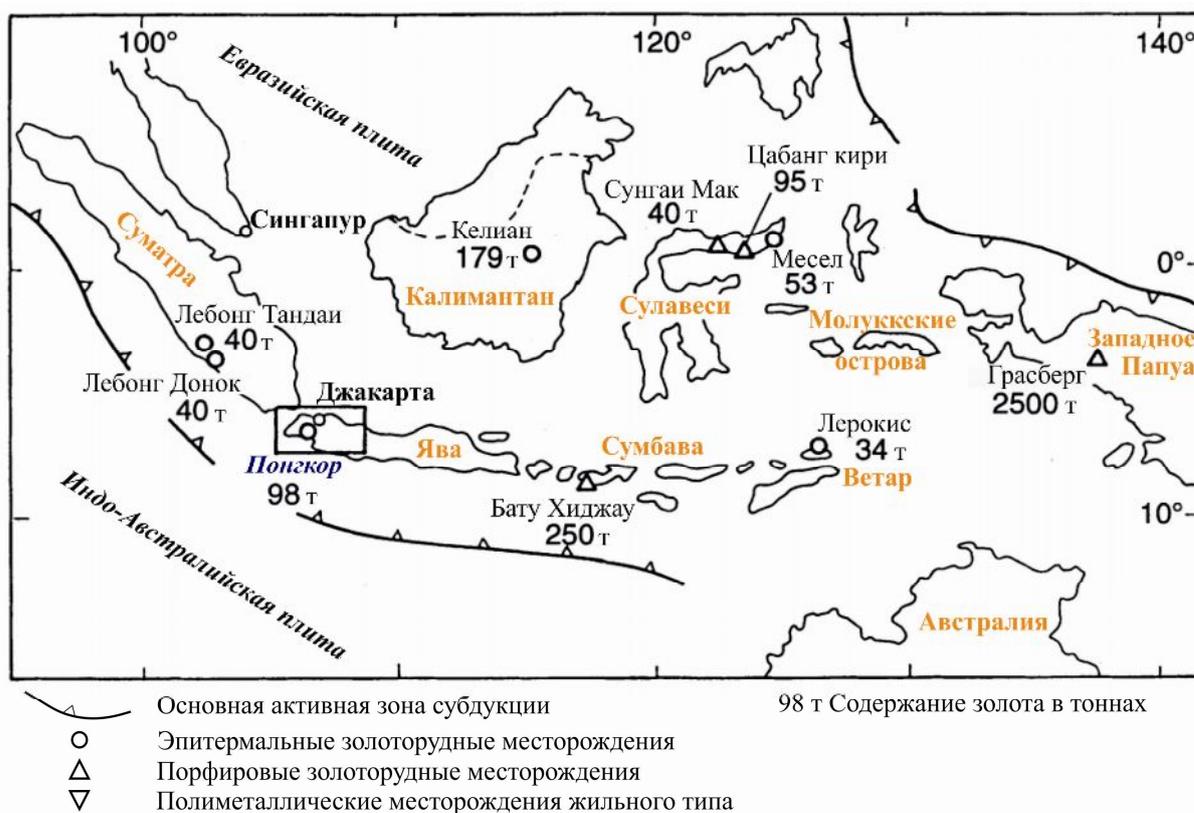


Рис. 3. Карта расположения золоторудных месторождений Индонезии [2].

Открытие месторождения Понгкор, как и других крупных золото-серебряных месторождений Индонезии таких как Грасберг (Западное Папуа), Келиан (Калимантан), Лерокис (о. Ветар) связано с золотой лихорадкой второй половины XX века (рис. 3). Месторождение Понгкор было обнаружено в 1988 г. государственной горнорудной компанией в результате проведения геохимического анализа донных отложений (которые выявили аномальные концентрации Au - 0.1-0.2 г/т при максимальных 0.9 г/т), гео-

физической съемки, проходки траншей и бурения скважин [1]. В апреле 1992 г. горнодобывающая компания PT Aneka Tambang (Antam) получила разрешение на проведение горных работ и уже в августе того же года начала добычу. За период более 20 лет на месторождении было произведено около 50 тонн золота. Добыча ведется как подземным, так и открытым способами.

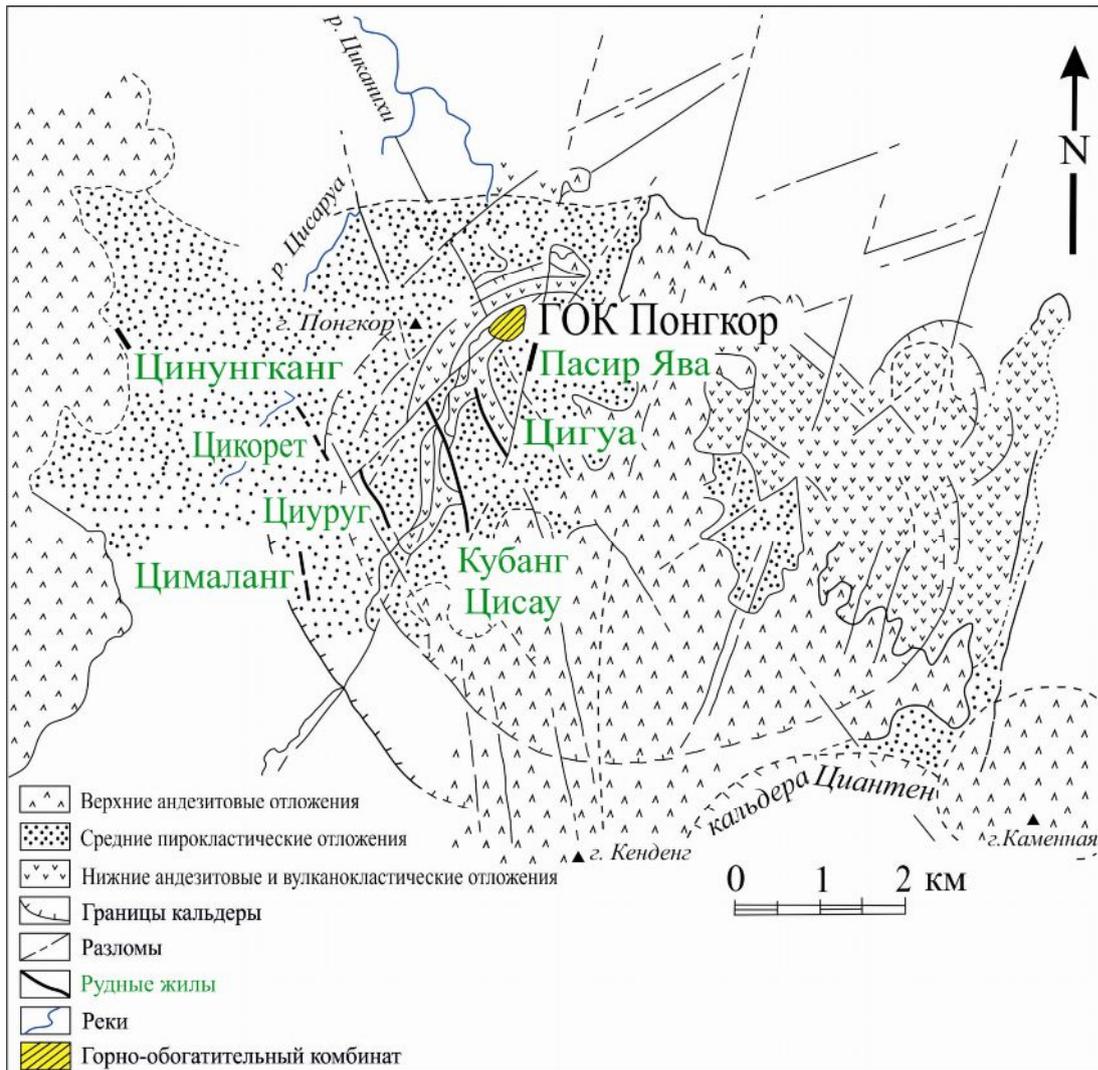


Рис. 4. Схематическая карта кальдеры Понгкор [2].

В структурном плане месторождение Понгкор представляет собой палеокальдеру диаметром 8x6 км [5]. Это месторождение типа low-sulfidation состоит из четырех субпараллельных кварц-адуляр-кальцитовых жильных зон, обогащенных в зонах окисления многочисленными оксидами марганца и железа (лимонит). При этом они обеднены сульфидами

(MeS_2 до 0.5%). Жилы средней мощностью 2 м с размерами по простиранию до 2 700 м локализованы в вулканогенно-осадочных отложениях миоцен-плиоценового возраста (рис. 4). Возраст оруденения по данным аргон-аргонового метода равен 2.05 - 2.7 млн. лет [2,3,4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ЛВР ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский), в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка).

Изучение типоморфных особенностей пирита месторождения Понгор осуществлялось по оригинальной методике, разработанной в лаборатории вулканогенного рудообразования. Суть ее заключается в сочетании широко известных методов классической минералогии и минераграфии с новейшими уникальными возможностями локального физико-химического анализа. При этом особое внимание уделяется специализированной пробоподготовке образцов для комплексных минералогическо-геохимических исследований. В первую очередь, необходимо изготовление безрельфных аншлифов на основе эпоксидного компаунда. Такие аншлифы должны отличаться максимальной степенью информативности и высоким качеством полировки. Для этого из первичного каменного материала изготавливаются полированные штуфы (пришлифовки). Они позволяют охарактеризовать текстурно-структурные особенности и выбирать объекты (отдельные зерна, срастания, микролинзы и т.д.), необходимые для дальнейших исследований. Эти участки "выбуриваются" с помощью алмазных микрокоронок, монтируются в пластиковые формы (шашки) с помощью эпоксидных смол и на алмазных пастах "доводятся" до необходимых кондиций. Изучение первичного каменного материала, текстурно-

структурных особенностей (полированные штуфы), микроморфологии, отбор монофракций и контроль за их качеством проводится с помощью стереомикроскопов Stemi 2000 C 2, Discovery.V12 (Carl Zeiss). Минераграфическое описание и фотодокументация выполнены на универсальных прецизионных микроскопах Axioskop 40, AxioPlan 2 imaging, Nikon eclipse LV 100 pol. Микроморфология, химический состав изучались методами локального физико-химического анализа, а именно электронно-зондовые - аналитическая сканирующая электронная микроскопия (Vega 3 Tescan с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 50) микроанализ (Camebax). Микрокомпонентный состав монофракций пирита определен масс-спектрометрией с индукционно связанной плазмой (ICP) в АСИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пирит месторождения Понгкор представляет собой как единичные кристаллы, так и многочисленные срастания агрегатов кубической, пентагондодекаэдрической форм, размеры которых достигают 1-2 мм (рис. 5).

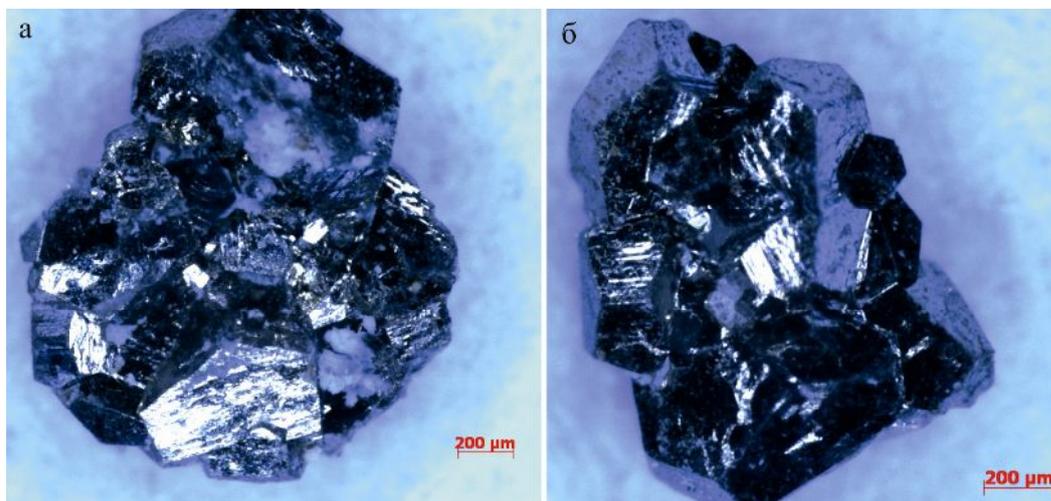


Рис. 5. Микроморфология пирита - срастание кубических и пентагондодекаэдрических кристаллов с взаимно ориентированной штриховкой под 90° на смежных гранях. Фото Stereo Discovery.V12 (Carl Zeiss).

Методом индукционно связанной плазмы (ICP) была исследована "монофракция" пирита. Масс-спектрометрический анализ с индукционно связанной плазмой производился на 65 химических элементов (от Na до

У). В таблице 1 представлены химические элементы, концентрации которых выше предела обнаружения. Высокие концентрации цинка и свинца находят свое отражение в таких минералах как сфалерит и галенит, серебро, селен, олово, медь, золото, мышьяк - сульфиды и сульфосоли серебра, сульфиды золота и серебра (табл. 1). Все вышеназванные минералы были диагностированы в пирите с помощью аналитической сканирующей электронной микроскопии.

Таблица 1. Химический состав монофракции пирита по данным масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой

Элемент	ПО, мкг/г	PG301410	Элемент	ПО, мкг/г	PG301410
Na	39	217	Cd	0,1	1,5
Al	26	299	Sn	0,4	1,9
S	189	670223	Sb	0,1	5,9
K	46	260	Te	0,3	1,1
Ca	43	789	Cs	0,02	0,33
Ti	5	109	Ba	0,4	0,64
Mn	1	55,0	La	0,1	1,3
Fe	31	605756	Ce	0,1	3,3
Co	1	101	Pr	0,02	0,45
Ni	3	25,2	Sm	0,02	0,49
Cu	2	89,9	Eu	0,02	0,070
Zn	3	305	Gd	0,03	0,21
Ga	0,3	< 0.5	Tb	0,03	0,068
As	0,4	1560	Au	0,1	< 0.2
Se	2	63,6	Tl	0,02	0,53
Y	0,2	3,4	Pb	0,2	108
Zr	0,4	3,9	Bi	0,1	1,5
Mo	0,1	2,4	Th	0,2	0,41
Ag	0,08	24,0			

Примечание: ПО - предел обнаружения

Благодаря сочетанию методов классической минералогии, минераграфии и физико-химического анализа было выделено четыре разновидности:

- пирит I разновидности представлен в виде идиоморфных изометричных кристаллов размером от 40 до 150 микрон, представлен как единичными кристаллами, так и их срастаниями. По химическому составу пирит I гене-

рации близок к стехиометричному, то есть не имеет каких либо элементов-примесей на уровне чувствительности микрозондового анализа (10^{-3} %).

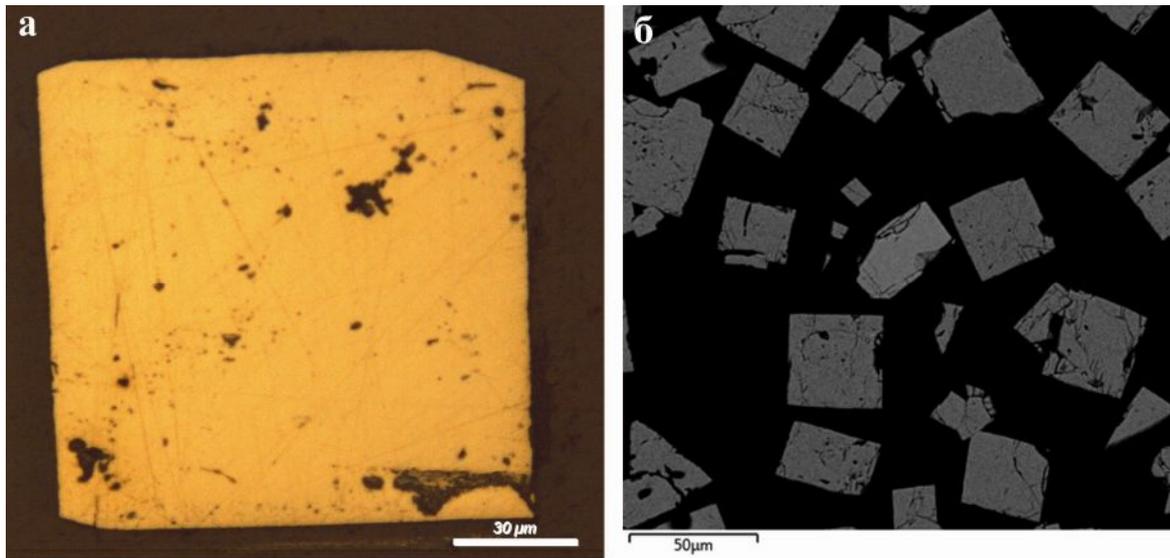


Рис. 6. Идиоморфные кристаллы пирита I разновидности. Фото а - отраженный свет, б - обратно рассеянные электроны (Vega 3 Tescan).

- пирит II разновидности характеризуется неоднородным химическим строением за счет концентрирования в отдельных зонах мышьяка, содержания которого по данным аналитической сканирующей электронной микроскопии достигают - 5.33 %, что нашло свое выражение в данных ИСР, где As = 1560 мкг/г (рис. 7, табл. 1).

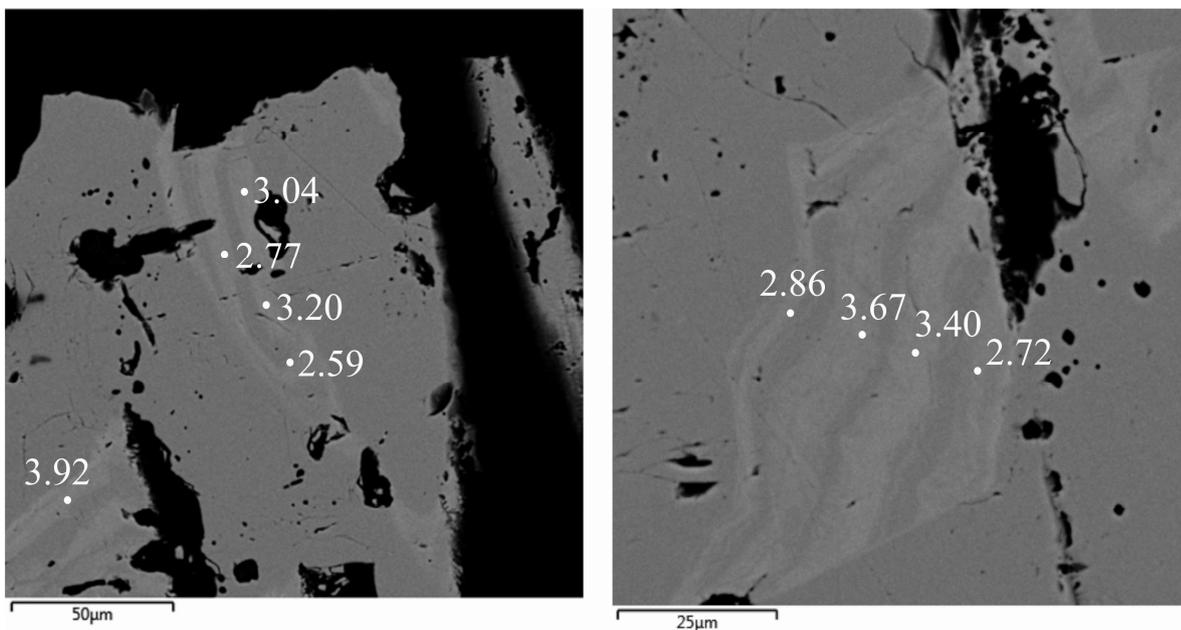


Рис. 7. Неоднородное строение агрегатов пирита II разновидности, выраженное локальным обогащением отдельных микроучастков мышьяком (белое). Цифрами показаны концентрации As в вес. %. Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

- пирит III разновидности отличается многочисленными микровключениями сульфидов (Se-содержащий галенит (до 1%), сфалерит (Fe до 3,11%, Cu до 1,5%)), сульфидов и сульфосолей серебра, сульфидов золота и серебра. Авторами были диагностированы в пирите такие минералы как Ag_4SeS - агвиларит, Ag_3AuS_2 - ютенбогардит, Ag_8SnS_6 - канфильдит, Ag_8GeS_6 - аргиродит (рис. 8, табл. 1). Два последних минерала - первые находки

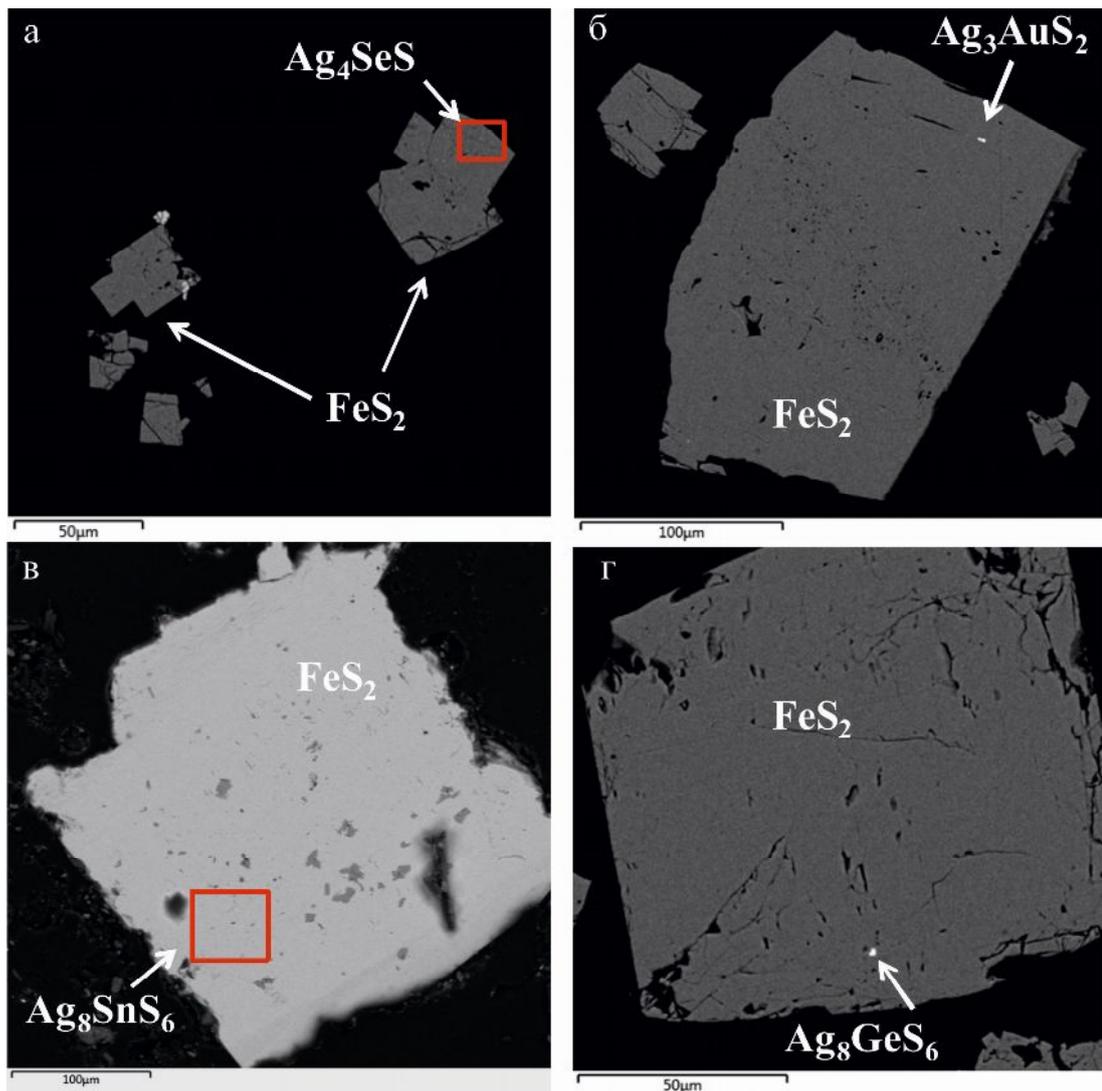


Рис. 8. Формы выделения пирита (FeS_2) с микровключениями: а - агвиларита (Ag_4SeS), б - ютенбогардита (Ag_3AuS_2), в - канфильдита (Ag_8SnS_6), г - аргиродита (Ag_8GeS_6). Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

- IV разновидность пирита представляет собою, так называемые сферолоиды. Это срастания кубических кристаллов пирита, образующих агрегаты, имеющие изометричную близкую к овальной и сферической формам

(рис. 9). Их размеры не превышают 200 микрон. Химический состав сферолоидов близок к стехиометрическому.

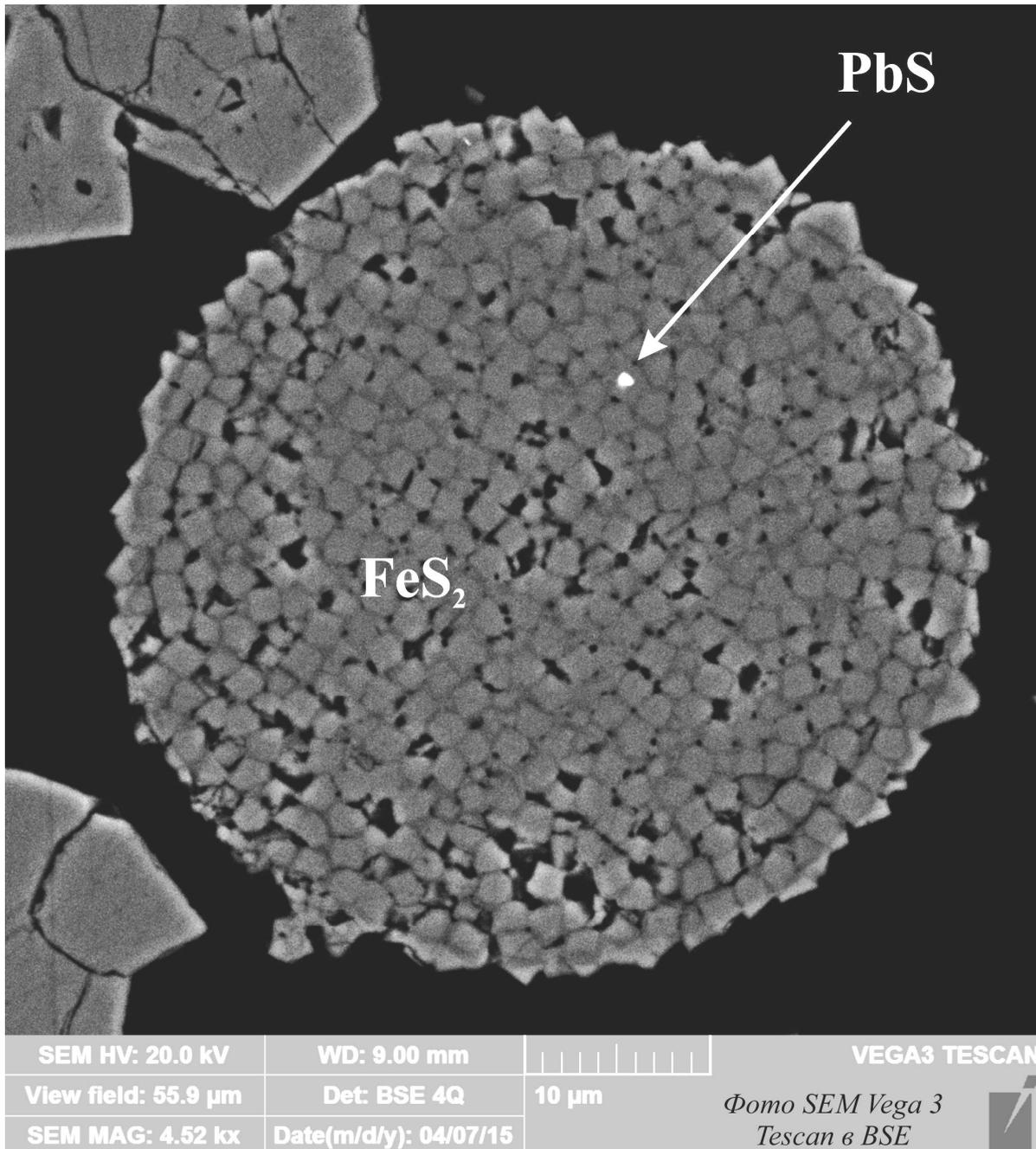


Рис. 9. Микростроение сферолоида пирита (FeS_2) с включением галенита (PbS). Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

Следует отметить, что месторождение Понгкор имеет определенные сходства с такими месторождениями Южной Камчатки как Родниковое, Мутновское, Асачинское, а именно: - возраст оруденения; - минеральный состав руд (типоморфные минералы - агвиларит, ютенбогартит, канфильдит, аргиродит), и, что особенно интересно - As-содержащий пирит. Все

это позволяет высказать предположение, что запасы отдельных месторождений Южной Камчатки (золото - не более 20 тонн) в значительной мере недооценены. Они, подобно запасам эпитермального месторождения Понгкор (98 тонн) могут достигать 100 и более тонн. При этом некоторые из них могут рассматриваться как значительный источник попутного серебра (резервы серебра в Понгкоре - 1026 тонн). Такими перспективными объектами могут стать Мутновское золото-серебро-полиметаллическое, Асачинское золото-серебряное месторождения.

ВЫВОДЫ

1. Выделено 4 разновидности пирита:

I – стехиометричный;

II – As-содержащий (первая находка);

III – с микровключениями сульфидов серебра, сульфосолей;

IV – сферолоиды.

2. Впервые диагностированы:

- As-содержащий пирит (до 5,33 %);

- среди микровключений Ag-сульфосоли, содержащие германий и олово (аргиродит и канфильдит).

3. Типоморфные особенности пирита могут использоваться в качестве поискового признака и прогностического критерия для уточнения перспектив золото-серебряной минерализации Южно-Камчатского горно-рудного района

Авторы выражают благодарность Чубарову М.В. и Карандашеву В.К. за возможность проведения аналитических работ и своевременное выполнение анализов; В.Ф. Лунькову, В.В. Куликову, А.А. Платонову за обработку каменного материала; ректору КамГУ им. В.Беринга Ильинской Н.Г., руководству горнодобывающей компании Антам и университету Паджаджаран (Индонезия) за всестороннюю помощь в организации полевых работ на месторождении Понгкор. И лично профессору Фатима Мега

Розана (ун-т Паджаджаран, Индонезия) за приглашение для участия в конференции и полевых работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Basuki, A., Suparka, E., Sunarya, Ya. Gold deposit in the Cikidang area, West Java, Indonesia // CEOSEA '98 Proceedings, CeoL. Soc. Malasia, bull. 45, December 1999, pp. 251-259
2. Milesi, J.P., Marcoux, E., Sitorus, T., Simandjuntak, M., Leroy, J., and Baily, L. Pongkor (West Java, Indonesia): A Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag- (Mn) deposit // Mineralium Deposita, Vol. 34, 1999, pp. 131-149
3. Tintin, E.Yu., Matsueda, H., Fatimah, M.R. Epithermal Gold-Silver Deposits in Western Java, Indonesia: Gold-Silver Selenide-Telluride Mineralization // Indonesian Journal on Geoscience, Vol. 1 No. 2 August 2014, pp. 71-81
4. Warmada, I.W., Lehmann, B. Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia // The Canadian Mineralogist Vol. 41, 2003, pp. 185-200
5. Warmada, I.W., Lehmann, B., Simandjuntak, M., and Hemes, H.S. Fluid inclusion, REE and stable isotope study of carbonate minerals from the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia // Resource Geology, Vol. 57, 2007, pp. 124-135

PYRITE OF THE EPITHERMAL GOLD-SILVER DEPOSITS PONGKOR (INDONESIA)

Yablokova D.A., Zobenko O.A., Tintin Eu.Yu., Rionanda H.

Pongkor gold – silver deposit is located at West Java (100 km south of the capital - Jakarta). The Deposit is low-sulfidation type and consists of 9 sub-parallel quartz-adularia-calcite veins with low content of sulfides. The association of sulfides is the main gold carrier (Warmada et al., 2003). Therefore, mineralogical, chemical and physico-chemical methods were used to study the topography of pyrite (size, color, morphology, microstructure, chemical composition, chemical heterogeneity, micro inclusions) ores and host rocks by the authors

Keywords: Pyrite, epithermal deposits Pongkor, Indonesia, arsenic, Ag-Au sulfosalts, Indonesia.