

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 551.24

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРУКТУРЫ ЛОГАМ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ВЬЕТНАМА

Чан Туан Ань*, И.В. Гаськов, Чан Чонг Хоа*, П.А. Неволько,
Фам Тхи Зунг*, Фам Нгок Кан*

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

** Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology,
84 Chua Lang, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

Pb-Zn месторождения, развитые на северо-востоке Вьетнама в структуре Логам, по запасам составляют более 80 % всех ресурсов Pb-Zn металлов Вьетнама. Все выявленные месторождения образуют четыре обособленных рудных района – Тай Нгуен, Чо Дон, Чо Диен, На Шон (Thai Nguyen, Cho Don, Cho Dien, Na Son), которые можно объединить в общую металлогеническую зону, протягивающуюся с юго-востока на северо-запад более 100 км. Pb-Zn месторождения во всех рудных районах характеризуются рядом общих признаков, которые сходны с месторождениями стратиформного типа (типа Миссисипи): приуроченность месторождений к карбонатным отложениям девонского возраста; локализация месторождений в узлах пересечения разноориентированных разломов; жильная и штокверковая (гнездово-прожилково-вкрапленная) морфология зон оруденения; наличие признаков гидротермально-метасоматического образования (мраморизация карбонатных пород, развитие кварц-карбонатных жил и др.); низкие и средние температуры рудообразования (< 250 °С). Вместе с тем отмечается ряд признаков, отличающих их от месторождений указанного стратиформного типа: широкое развитие магматических образований пермотриасового возраста на территории рассматриваемых рудных районов; отсутствие пластовой морфологии рудных тел, характерной для типичных стратиформных месторождений; широкий спектр элементов-примесей (In, Bi, Sb, Au, Ag, Cu, Cd), не характерный для стратиформных месторождений; эндогенный источник рудного вещества, о чем свидетельствуют изотопный состав серы ($\delta S^{34} = 2.68 \text{ ‰}$), близкий метеоритному, и набор элементов-примесей, имеющих в основном глубинную природу. Все это указывает на то, что изученные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах относятся к низко- и среднетемпературным гидротермально-метасоматическим образованиям, сформировавшимся в связи с активной магматической деятельностью, проявившейся в данном районе.

Выявленные различия в минеральном составе изученных месторождений, в спектре и содержании элементов-примесей в разных месторождениях явно свидетельствуют о сложном процессе рудообразования на этих месторождениях и о связи их с магматизмом разного состава. Простой минеральный состав и ограниченный набор элементов-примесей (Cd, Ag, Sb, As) месторождения Ланг Хич (Lang Hich) в большей степени отвечает стратиформным месторождениям. Здесь же практически отсутствуют магматические проявления. Напротив, необычайно высокие содержания (г/т) In (75.8), Sn (307.5), Cu (1080), Ag (157.7), Bi (99), As (13650) установлены для месторождений рудных районов Чо Дон и Чо Диен, характеризующихся широким развитием гранитоидного магматизма комплекса Пиа Биок (Phia Bios). Наличие редкоземельной минерализации (ортит) и повышенных содержаний Mo, Re и Rb на месторождениях района На Шон, возможно, обязано широкому развитию в этом районе стратифицированных вулканогенных пород щелочного ряда и их субвулканических аналогов, относящихся к комплексу Пла Ма ($\xi\gamma PZ_2pm$).

Свинцово-цинковые месторождения, стратиформные месторождения, структура Логам, Вьетнам.

COMPLEX DEPOSITS IN THE LO GAM STRUCTURE, NORTHEASTERN VIETNAM: MINERALOGY, GEOCHEMISTRY, AND FORMATION CONDITIONS

Tran Tuan Anh, I.V. Gas'kov, Tran Trong Hoa, P.A. Nevol'ko, Pham Thi Dung, and Pham Ngoc Can

The Pb–Zn deposits in the Lo Gam structure, northeastern Vietnam, account for >80% of all the Pb and Zn resources of Vietnam. All the deposits make up four isolated ore districts (Thai Nguyen, Cho Don, Cho Dien, Na Son), which can be combined in one metallogenic zone extending for >100 km from southeast to northwest. The Pb–Zn deposits in all the ore districts show some similarity to stratiform (Mississippi-type) deposits: confinement to Devonian carbonate sediments; localization at the intersection of faults of different orientations; vein and stockwork (pocket-vein-disseminated) morphology of the mineralized zones; evidence for hydrothermal-metasomatic formation (carbonate-rock marbleization, quartz–carbonate veins, etc.); and low and moderate mineralization temperatures (<250°C). On the other hand, some differences from stratiform deposits are observed: widespread occurrence of Permo-Triassic igneous rocks in the above ore districts; absent tabular orebodies, which are typical of stratiform deposits; large set of trace elements (In, Bi, Sb, Au, Ag, Cu, Cd) not typical of stratiform deposits; and an endogenic primary source, as evidenced by the isotope composition of sulfur ($\delta S^{34} = 2.68 \text{ ‰}$), which is close to the meteoritic one, and a set of trace elements, which are mainly of deep genesis. All this indicates that the above Pb–Zn deposits within the carbonate units are low- and moderate-temperature hydrothermal-metasomatic products associated with active magmatism which took place in this region in the Permo-Triassic.

The differences in the mineral composition of the deposits, as well as in the trace-element set and contents at different deposits, clearly indicate an intricate ore formation process and the relation of the deposits with magmatism of different compositions. The simple mineral composition and the limited set of trace elements (Cd, Ag, Sb, As) at the Lang Hich deposit are closer to the characteristics of stratiform deposits. Also, manifestations of magmatism are almost absent here. On the contrary, unusually high In (75.8), Sn (307.5), Cu (1080), Ag (157.7), Bi (99), and As (13,650) contents were observed at the deposits of the Cho Don and Cho Dien districts, with widespread granitoid magmatism in the Phia Bioc complex. Rare-earth mineralization (orthite) and high Mo, Re, and Rb contents at the deposits of the Na Son district are probably due to the widespread occurrence of stratified alkaline volcanics and their subvolcanic analogs, which belong to the Pla Ma complex ($\xi\gamma\text{PZ}_{\text{pm}}$).

Pb–Zn deposits, stratiform deposits, Lo Gam structure, Vietnam

ВВЕДЕНИЕ

На северо-востоке Вьетнама в складчатой структуре Логам преобладают существенно осадочные палеозойские отложения (рис. 1) [Довжиков и др., 1965]. Среди этих отложений широко развиты Pb–Zn месторождения и рудопоявления, составляющие более 80 % запасов Pb–Zn металлов Вьетнама, а также являющиеся перспективным источником многих редких элементов (In, Cd, Bi, Te и др.). Все выявленные месторождения образуют четыре обособленных рудных района Тай Нгуен (Thai Nguyen), Чо Дон (Cho Don), Чо Диен (Cho Dien) и На Шон (Na Son), которые можно объединить в общую металлогеническую зону, протягивающуюся с юго-востока на северо-запад более 100 км (см. рис. 1). Большая часть Pb–Zn месторождений локализуется в карбонатных отложениях ниже- и среднедевонского возраста с той или иной долей терригенной и вулканогенной составляющих в разрезе разных месторождений. Многие вьетнамские исследователи относят эти месторождения к стратиформному типу [Чан Ван Зыонг, 1990]. Месторождения этого типа широко распространены в мире — Сардана, Прибайкальский пояс (Россия) Миргалимсай и Шалкия (Казахстан), Седмочисленицы (Болгария), Окулын и Болеслав (Польша), Бляйберг (Австрия), Малин, Трев и Ларжательер (Франция), многие месторождения в Китае и в других странах. Особую известность имеет группа стратиформных месторождений типа Миссисипи—Миссури [Erickson, 1965; Тычинский и др, 1984; Werdon, 1997; Игнатов, 2000; Fu Shao-hong et al., 2004]. В классическом понимании, введенном в 1969 г. в Нью-Йорке, стратиформные месторождения характеризуются не только тесной связью с карбонатными толщами преимущественно палеозойского и мезозойского возраста, но четким стратиграфическим контролем оруденения, а также отсутствием в непосредственной близости магматических комплексов. Вместе с тем в пределах структуры Логам широко развиты магматические образования различного состава, включая весь ряд пород от кислых до ультраосновных и от известково-щелочных до щелочных [Ngo Thi Phuong et al., 2004; Nguen Trung Chi et al., 2003; Чан Чонг Хоа, 2007; Чан Чонг Хоа и др., 2008].

В представленной статье на основании детальных минералого-геохимических исследований мы попытаемся определить главные признаки этих месторождений, выявить черты сходства и отличия с широко развитыми в мире стратиформными месторождениями и установить их генетический тип.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РАЗНЫХ РУДНЫХ РАЙОНАХ

Складчатая структура Логам расположена в северо-восточной части Северного Вьетнама и прилегает с юго-запада к сдвиговой зоне Шонг Хонг. На северо-западе она граничит с метаморфическим выступом Шонг Чай Дом (Song Chay dome), представляющим собой выход докембрийского фундамента платформы Янцзы, а на северо-востоке и юго-востоке ее обрамляют мезозойские впадины Шонг Хиен (Song Hien) и Ан Чау (An Chau) (см. рис. 1). Она сложена в основном осадочно-метаморфическими образованиями раннего и среднего палеозоя. В составе этих толщ преобладают карбонатные отложения с горизонтами песчано-сланцевого состава и отдельными прослоями конгломератов и гравелитов. Лишь на севере этой структуры в рудном районе На Шон в составе разреза преобладают вулканогенные породы кислого состава, среди которых также достаточно широко развиты терригенно-осадочные отложения, включая карбонатные породы (рис. 2). На территории структуры Логам широко развиты магматические образования. Наибольшее распространение здесь имеют высокоглиноземистые биотитовые граниты комплекса Пиа Биок (Phia Bioc), которые слагают в центральной части структуры дугообразной формы массивы, согласные с общей дугообразной морфологией развития дизъюнктивных структур, обрамляющих палеозойские отложения и развитыми внутри их. С выходами этих гранитоидов отмечается пространственная связь Pb-Zn месторождений, особенно в рудных районах Чо Дон и Чо Диен. Кроме того, в этих районах проявлены небольшие массивы и дайки щелочных пород сиенитового состава (комплекс Чо Дон) и породы габбро-перидотитового состава комплекса Нуй Чуа (Nui Chua) с V-Ti оруденением и габбро-долериты комплекса Као Банг (Cao Bang). На юге этого региона в рудном районе Тай Нгуен установлены известково-щелочные граниты, гранодиориты и диориты комплекса Нуй Диенг (Nui Dieng), которые слагают небольшие массивы, вытянутые в северо-западном направлении. С этими массивами часто пространственно ассоциируют оловянные месторождения. В этом же районе распространены их эффузивные аналоги, представленные туфами, лавами и субвулканическими образованиями дацит-риолитового состава. На севере структуры Логам в рудном районе На Шон установлены небольшие тела граносиенитов, относимые к комплексу Пла Ма (Pla Ma) [Tran Trong Hoa, 1999, 2004]. Проведенные в последние годы исследования по возрастному датированию магматических образований структуры Логам и прилегающих территорий показали, что большая часть магматических пород данного региона сформировалась в пермотриасовый (233—251 млн лет) этап, проявленный в связи с развитием

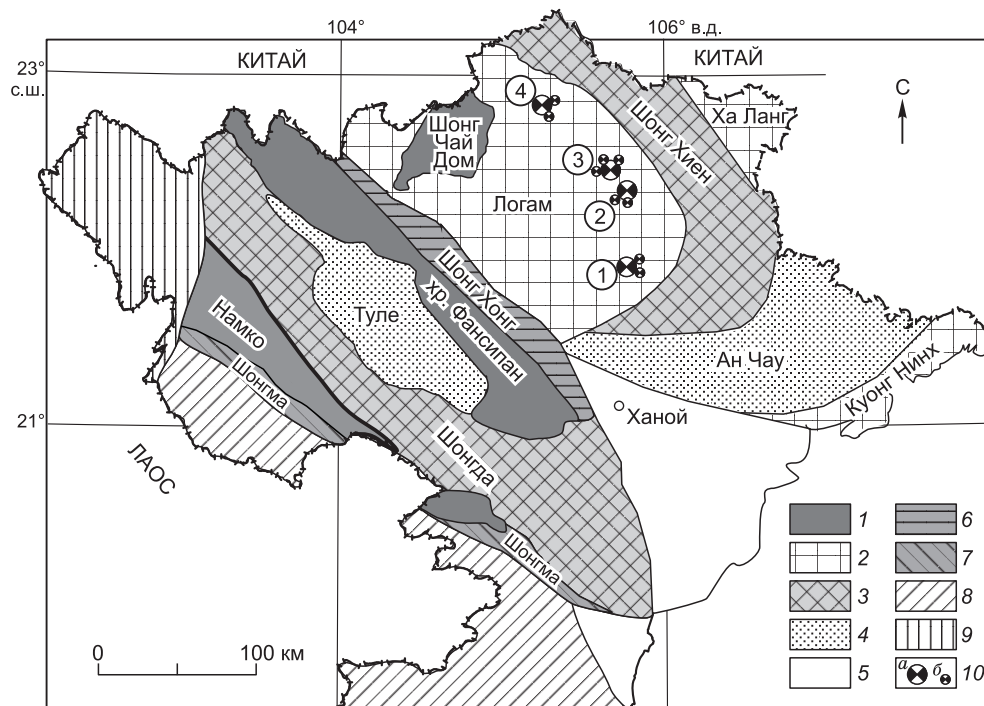


Рис. 1. Тектоническая схема Северного Вьетнама и расположение изученных рудных районов.

1 — протерозойский фундамент, 2 — раннесреднепалеозойские формации, 3 — пермотриасовые формации, 4 — юрско-меловые формации, 5 — четвертичные отложения, 6 — сдвиговая зона Шонг Хонг, 7 — сутура Шонг Ма, 8 — индосинийские террейны, 9 — террейн Сибумасу, 10 — месторождения (а) и рудопроявления (б) свинцово-цинковой формации. 1—4 — рудные районы: 1 — Тай Нгуен, 2 — Чо Дон, 3 — Чо Диен, 4 — На Шон.

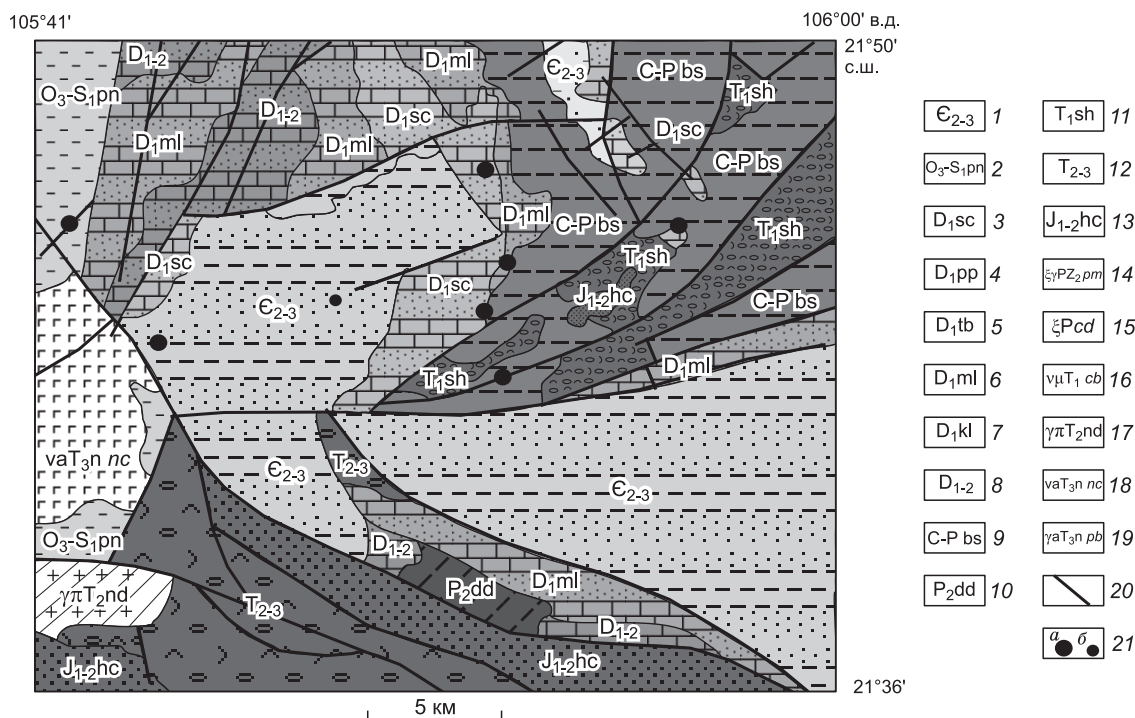


Рис. 2. Схема геологического строения рудного района Тай Нгуен.

1 — (E_{2-3}) — песчаники, алевролиты, слюдисто-глинистые сланцы с прослоями известняков; 2 — (O_3-S_1) — кварцевые песчаники, глинистые и кремнистые сланцы, роговики; 3 — (D_{1sc}) — конгломераты, песчаники, алевролиты, глинистые сланцы и известняки; 4 — (D_{1pp}) — кварцевые песчаники, глинисто-серицитовые и серицитовые сланцы, темные битуминозные алевролиты, филлиты и горизонты известняков; 5 — D_{1tb} — известняки, кремнисто-глинисто-серицитовые сланцы, кварцевые порфиры, фельзиты и трахиты; 6 — (D_{1ml}) — песчаники, глинистые песчаники, мергелистые и глинистые сланцы; 7 — $D_{1-2} kl$ — черные сланцы, известняки, доломиты, мраморы; 8 — D_{1-2} — мраморы, кремнистые сланцы, известняки; 9 — ($C-P bs$) — серые тонкослоистые и массивные известняки, оолитовые известняки; 10 — (P_{2dd}) — тонкослоистые известняки, оолитовые известняки; 11 — ($T_1 sh$) — мергелистые сланцы, известковистые песчаники; 12 — (T_{2-3}) — конгломераты, песчаники, глинистые сланцы, тонкие прослои и линзы известняков; 13 — ($J_{1-2}hc$) — конгломераты, песчаники, алевролиты; 14 — комплекс Пла Ма ($\xi\gamma PZ_2pm$) — граносиениты, щелочные граниты; 15 — комплекс Чо Дон (ξPcd) — граносиениты, биотит-пироксеновые сиениты; 16 — комплекс Као Банг ($\nu\mu T_1 cb$) — габбро, габбродиабазы; 17 — комплекс Нуй Динг ($\gamma\pi T_2nd$) — известково-щелочные граниты, гранодиориты и диориты; 18 — комплекс Нуй Чуа ($vaT_3n nc$) — породы габбро-перидотитового состава; 19 — комплекс Пиа Биок ($\gamma a T_3n pb$) — высокоглиноземистые биотитовые граниты; 20 — разломы; 21 — свинцово-цинковые месторождения (a), рудопроявления (b).

Эмейшаньского плюма [Nguyen Van Thanh et al., 2002; Phan Luru Anh et al., 2005; Изох и др., 2005; Чан Чонг Хоа и др., 2008; Поляков и др., 2009; Добрецов и др., 2010].

Рудный район Тай Нгуен расположен в юго-западной части структуры Логам (см. рис. 1). Здесь установлена группа Pb-Zn проявлений, локализующихся в основном в нижнедевонских терригенно-карбонатных отложениях. В меньшей мере эти образования проявляются в карбонатных горизонтах терригенно-осадочной кембрийской толщи (E_{2-3}), в массивных и оолитовых известняках верхнепалеозойского возраста ($C-P bs$). Промышленно значимым объектом в этом районе является месторождение Ланг Хич (Lang Nhon). Оно локализуется среди отложений нижнедевонского возраста (D_{1sc}) (см. рис. 2). В составе этой толщи преобладают карбонатные породы с прослоями конгломератов, песчаников и глинистых сланцев. Породы смяты в складки и разбиты серией разрывных нарушений разного направления. Месторождение включает три обособленных участка Бак Лау (Bak Lau), Мо Бо (Mo Bo), Метик (Metick), которые приурочены к узлам пересечения меридиональных структур со структурами северо-восточного направления. Зоны оруденения локализуются среди горизонтов темно-серых часто сильно углистых (участок Мо Бо) массивных известняков, переслаивающихся с горизонтами алевролитов, глинистых сланцев и песчаников. Состав рудовмещающих пород изменяется от светлых разностей массивных органических известняков с линзами кристаллического кальцита до серых и углистых карбонатных пород с крупнозернистой структурой и тонкими кварц-карбонатными прожилками. Полиметаллическое (свинцово-цинковое) оруденение слагает жилы мощностью от первых сантиметров до 2.5 м, а также небольшие тела гнездово-вкрапленного строения. По минеральному составу руды разделяются на существенно

цинковые (галенит-сфалеритовые), где содержание сфалерита достигает 90 %, и свинцовые (сфалерит-галенитовые) с преобладанием в составе сульфидного агрегата галенита до 50 % и более. Между этими типами руд наблюдаются взаимопереходы, где доли сфалерита и галенита изменяются от первых процентов до сплошного мономинерального агрегата. По текстурным признакам различают прожилково-вкрапленные и массивные разновидности (рис. 3, I). Прожилково-вкрапленные руды сложены прожилками, гнездами и вкраплениями размером от десятых долей миллиметра до 2.5 см крупнокристаллического агрегата галенит-сфалеритового состава с редкими включениями пирита, халькопирита, пирротина, блеклой руды и сульфосолей.

Массивные руды слагают в основном жилы выполнения и представлены преимущественно крупнокристаллическим сливным агрегатом сфалерита с вкрапленностью галенита, иногда пирита, халькопирита и блеклой руды. Структурные особенности рудных агрегатов в разных типах руды близки.

Рудный район Чо Дон находится на востоке структуры Логам в 50 км на север от рудного района Тай Нгуен. Серия Pb-Zn месторождений приурочена в основном к терригенно-осадочной толще нижнедевонского возраста (D_{1ml} - D_{1pp}) и лишь небольшие рудопроявления отмечаются в подстилающих осадочно-терригенных отложениях верхнего ордовика и нижнего силура (O_3 - S_{1pn}). Преобладают в разрезе этих толщ серицит-кварцевые и глинистые сланцы, мергели с горизонтами известняков, глинистых и окремненных известняков и прослоями кварцитов, туфов альбитофиров и туфопесчаников. Породы смяты в пологие брахискладки и разбиты серией разрывных нарушений разного направления. Pb-Zn оруденение, так же как и в предыдущем районе, локализуется непосредственно в карбонатных отложениях девона и приурочено к узлам пересечения меридиональных структур со структурами северо-восточного направления (рис. 4). Зоны оруденения локализуются среди горизонтов серых известняков, переслаивающихся с прослоями алевролитов, глинистых сланцев и песчаников. В составе рудного узла Чо Дон выявлены месторождения Ба Бо, Лунг Ванг, На Боп, На Тум, Пу Сап (Ba Bô, Lũng Vàng, Nà Bôp, Nà Tùm, Pù Sáp). Руды этих месторождений характеризуются в основном прожилково-вкрапленными текстурами, редко отмечаются массивные образования (см. рис. 3, II). Минеральный состав всех участков в целом однотипен. Главными минералами являются сфалерит и галенит с преобладанием галенита. Наряду с главными минералами в рудах постоянно отмечаются пирротин, пирит, арсенопирит и халькопирит. Реже встречаются тетраэдрит, станин, касситерит, самородный висмут, монацит.

Рудный район Чо Диен расположен в провинции Бак Кан (Bac Kan), в 20 км на север от рудного района Чо Дон (см. рис. 4). Он представляет собой группу пространственно сближенных свинцово-цинковых месторождений и рудопроявлений, в состав которой входят месторождения Лунг Най, Вин Чай, Бо Лунг, Дам Ван, До Ан, По Пен (Lũng Nài, Bình Chai, Bô Luông, Đâm Vạn, Đò An и Pò Pen). Все эти месторождения приурочены к существенно осадочной толще нижнего девона, сложенной глинистыми сланцами, черными битуминозными аргиллитами и мергелями, доломитистыми известняками и мраморами (D_{1pp} - D_{1ml}). Общая мощность этих пород составляет более 800 м. Расположение месторождений в целом контролируется тектоническими структурами северо-восточного и субмеридионального простирания и узлами их пересечения. Руды этих месторождений схожи между собой и представлены в основном прожилково-вкрапленными, редко массивными образованиями (см. рис. 3, III). Минеральный состав руд включает главные рудные минералы — сфалерит, пирит, арсенопирит, в меньшем количестве галенит, второстепенные минералы — пирротин, халькопирит и редкие — тетраэдрит, касситерит и аргентит. Окисленные руды сложены преимущественно смитсонитом, церусситом, сидеритом, родохрозитом и гидроксидами железа.

Рудный район На Шон занимает наиболее северную позицию в структуре Логам и расположен в провинции Бак Кан в 100 км на северо-запад от рудного района Чо Диен. Он включает два Pb-Zn месторождения (На Шон, Та Пан) и ряд небольших рудопроявлений, приуроченных к толще нижнего девона (D_{1tb} - D_{1ml}). Состав этой толщи существенно отличается от состава рассмотренных рудных районов (рис. 5). Здесь в разрезе толщи широко развиты вулканогенные породы, представленные кварцевыми порфирами и ортофирами, порфиристыми фельзитами и трахитами. Эти породы переслаиваются с кремнистыми сланцами и горизонтами известняков. Общая мощность составляет более 1000 м. Месторождения в большинстве своем приурочены к горизонтам карбонатных пород и четко контролируются тектоническими зонами северо-западного простирания (см. рис. 5). Руды этих месторождений сходны между собой и характеризуются в основном прожилково-вкрапленными, редко массивными текстурами (см. рис. 3, IV). Минеральный состав руд несколько отличен от руд предыдущих районов и представлен достаточно широким развитием наряду со сфалеритом и галенитом пирита, халькопирита и тетраэдрита, в меньших количествах установлен пирротин. Интересным фактом является наличие в рудах ортита.

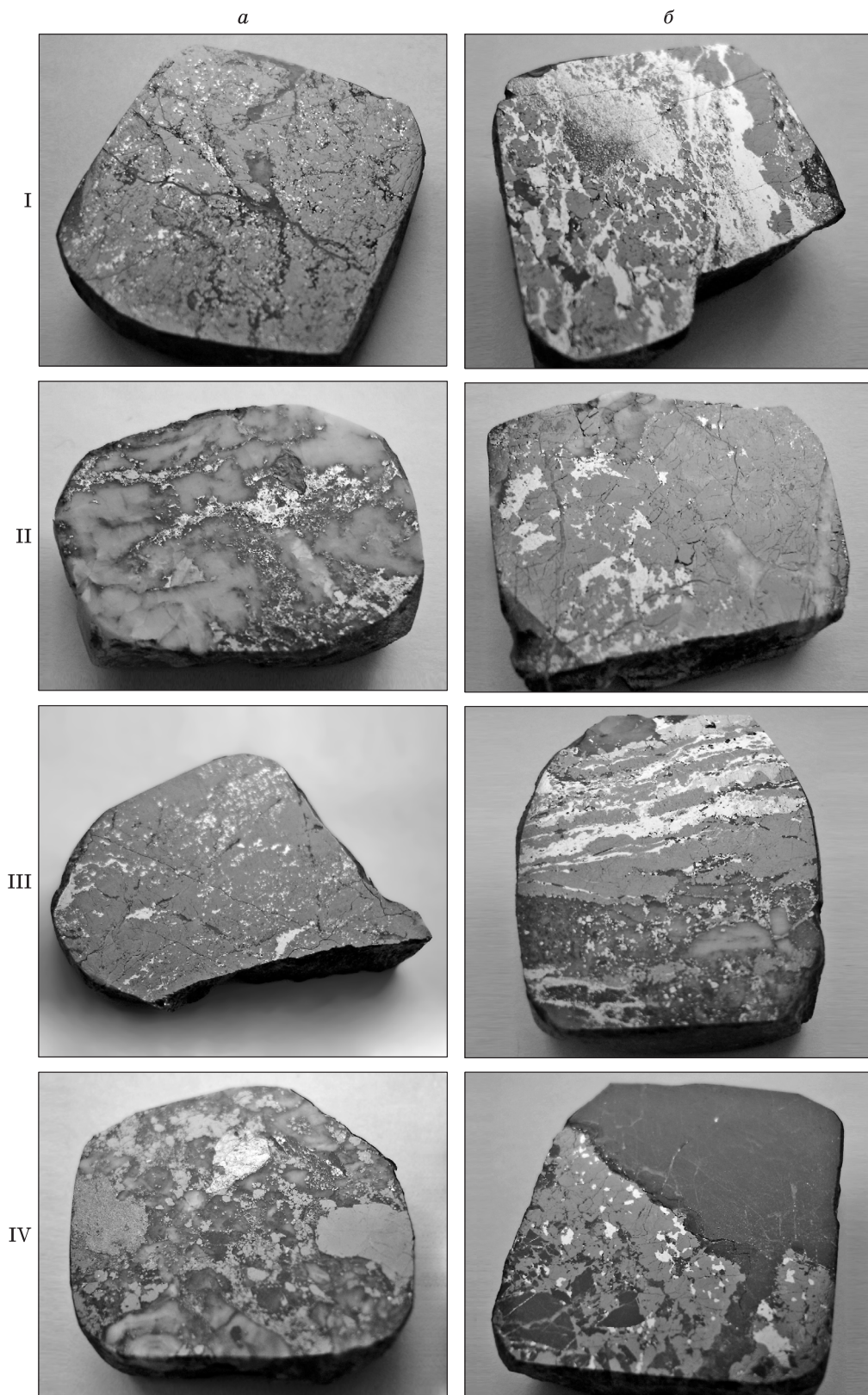


Рис. 3. Руды свинцово-цинковых месторождений структуры Логам.

I — рудный район Тай Нгуен: Ia — массивная существенно сфалеритовая руда; Ib — массивная сфалерит-галенитовая руда. II — рудный район Чо Дон: IIa — гнездово-вкрапленная галенитовая руда; IIб — массивная галенит-сфалеритовая руда. III — рудный район Чо Диен: IIIa — массивная галенит-сфалеритовая руда; IIIб — полосчатая пирит-галенит-сфалеритовая руда. IV — рудный район На Шон: IVa — гнездово-вкрапленная пирит-галенит-сфалеритовая руда; IVб — брекчиевидная галенит-сфалеритовая руда.

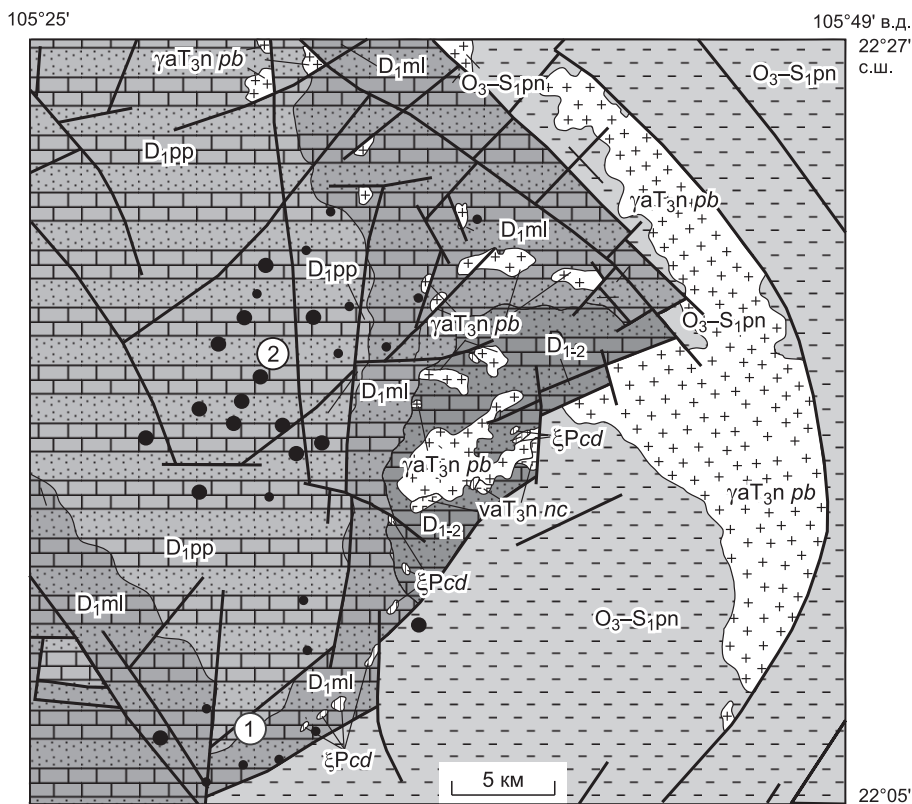


Рис. 4. Схема геологического строения рудных районов Чо Дон (1) и Чо Диен (2).

Усл. обозн. см. на рис. 2.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД, ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУД И ГЛАВНЫХ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Как показывает мировой опыт исследований, стратиформные Pb-Zn месторождения характеризуются ограниченным спектром и небольшими содержаниями элементов-примесей. Главными рудными компонентами таких месторождений являются цинк и свинец, в небольших количествах присутствуют кадмий, мышьяк, иногда теллур [Виноградов, 1972; Сечевица, 1987; Сечевица и др., 1990]. В то же время изучение руд Pb-Zn месторождений разных рудных районов структуры Логам выявило широкие вариации в них разных элементов-примесей, что отличает их от типичных стратиформных месторождений и указывает на специфические условия их образования. Повышенные концентрации редких элементов могут представлять практическую значимость при промышленном освоении этих месторождений [Song et al., 1994]. С этой целью нами проведено детальное изучение распределения элементов-примесей в разных типах руд, в продуктах их переработки — Pb и Zn концентратах, «хвостах» флотационного обогащения на месторождениях изученных рудных районов. Руды были исследованы методами ISP MS в лаборатории LTD (Онтарио, Канада) и атомно-абсорбционным методом в Аналитическом центре Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Россия) на 58 элементов In, Sn, Cd, Zn, Pb, Cu, Fe, Au, Ag, Mo, Ga, Ge, Sb, Bi, Se, Te, As, Mn, Mg, Li, V, Cr, Ni, Be, Cs, Co, Sc, Al, Ca, Na, K, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Hf, Nb, Ta, W, Re, Tl, Th, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Eu, Gd. Состав минералов и содержание элементов-примесей в них определены с помощью сканирующего электронного микроскопа и рентгеноспектрального метода на микроанализаторе Camebax-Micro.

Проведенные исследования показывают, что содержания редкоземельных и радиоактивных элементов лишь в рудах месторождений рудного района На Шон имеют значения, превышающие кларковые. На кларковом уровне или ниже порога чувствительности анализа установлены в рудах и содержания некоторых редких элементов. Поэтому в дальнейшем при геохимической характеристике руд мы будем использовать спектр элементов, устойчиво фиксируемых описанными методами анализов, которые приведены в таблицах 1, 2.

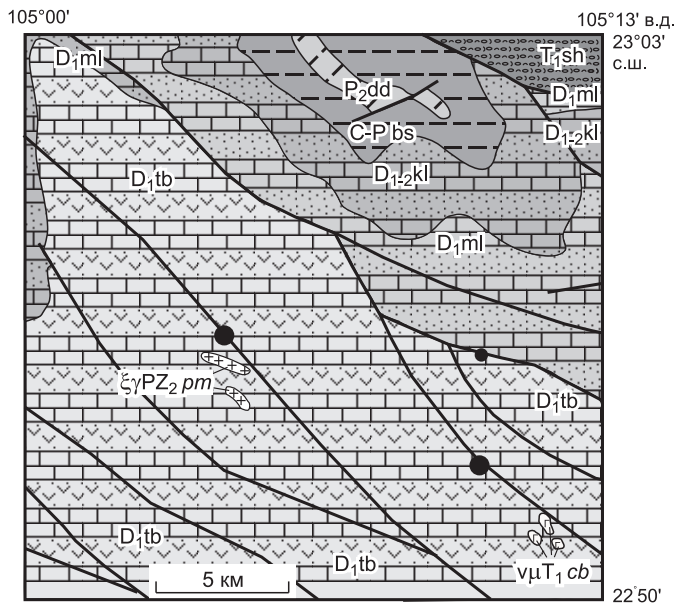


Рис. 5. Схема геологического строения рудного района На Шон.

Усл. обозн. см. на рис. 2.

Так как руды изученных нами месторождений имеют невыдержанный состав, изменяющийся по содержанию сульфидов от бедных вкрапленных руд до сплошных массивных галенитовых или сфалеритовых агрегатов, поэтому для геохимической характеристики руд были использованы усредненные пробы, отобранные на обогатительных фабриках после дробления и перемешивания поступающих из карьера первичных руд.

Изучение Pb-Zn месторождений рудного района Тай Нгуен проводилось на примере самого крупного в этом районе месторождения Ланг Хич. Анализ усредненных руд этого месторождения показывает, что помимо

главных рудных компонентов (Zn, Pb) выявлены повышенные содержания Cd, Cu, Ag, Sb и As (см. табл. 1). Более наглядная картина по содержанию элементов-примесей установлена в рудных концентратах — галенитовом (Pb-33 мас. %) и сфалеритовом (Zn-40 мас. %). В свинцовом концентрате, помимо существенной примеси цинка (среднее 7.41 мас. %), отмечается резкое увеличение по сравнению с рудами содержания Cu, Sb и As и практически на порядок возрастают содержания (г/т) Bi (3.23), Re (0.03) и Tl (17.35), фиксируемые в рудах на грани чувствительности анализа. В цинковом концентрате отмечается существенная примесь свинца (среднее 5.37 мас. %), а также повышенные концентрации элементов, характерных для руд — Cd, Cu, Ag, Sb и As. Кроме того, по сравнению с рудами здесь резко повышаются содержания (г/т) In (0.32), Ga (7.58), Ge (7.34), Se (16.73). В «хвостах» флотационного обогащения фабрики фиксируются лишь некоторые потери главных рудных компонентов, которые в среднем составляют по Zn — 2.47 мас. % и по Pb — 1.48 мас. %, а также отдельных элементов, тесно связанных с главными рудными минералами — Cd — 184.6 г/т и As — 235.1 г/т.

Содержания же редкоземельных и радиоактивных элементов в рудах и продуктах их технологической переработки не превышают кларковые величины (см. табл. 2).

Как видно, повышенные концентрации элементов-примесей, характерные для руд, резко возрастают в промышленных концентратах руд, что явно указывает на связь этих элементов с главными сульфидными минералами — сфалеритом и галенитом. Минераграфическими исследованиями с использованием сканирующего электронного микроскопа был установлен ограниченный спектр самостоятельных минеральных фаз. Прежде всего — это главные рудные минералы — сфалерит (ZnS) и галенит (PbS) и ряд второстепенных минералов: пирит (FeS₂), халькопирит (CuFeS₂), тетраэдрит (CuAgZn)₃ (SbAs)₃S₃, бурнонит (PbCu)SbAsS₃ и пирротин (FeS). Поэтому для выявления распределения установленных элементов-примесей по минеральным фазам, было проведено изучение их содержаний в большинстве рудных минералов месторождения с помощью микроанализатора Camebax-Micro. К сожалению, ограниченная чувствительность микроанализатора (0.0n %) не позволила выявить это распределение на микроуровне. В целом на уровне чувствительности рентгеноспектрального (микронзондового) анализа главных рудных минералов — сфалерита, галенита и второстепенных — пирита, тетраэдрита и бурнонита позволило выявить следующие их геохимические особенности.

Сфалерит на месторождении представлен клейофановой разновидностью, что и характеризует его низкую железистость (0.28 мас. %) (табл. 3). Также низкие, практически за пределами чувствительности анализа, отмечаются в сфалерите содержания других характерных для этого минерала элементов — Mn, Ge, In, Ag. Устойчивые повышенные концентрации в сфалерите образует Cd (0.36 мас. %), который изоморфно входит в сфалерит, замещая часть цинка.

Галенит на данном месторождении является носителем довольно ограниченного спектра элементов-примесей (табл. 4). На пределе чувствительности анализа в нем выявлены (мас. %) Ag, (0.05), Sb (0.13) и Te (0.01). Кроме того, в отдельных пробах отмечаются небольшие содержания Bi и Sn.

Блеклые руды на месторождении имеют второстепенное развитие и представлены исключительно сурьмяной разновидностью — тетраэдритом, в котором содержания As вообще не фиксируются данным методом анализа. Главными катионами тетраэдрита являются (мас. %) Cu (24.1), Ag (18.43), Zn (6.67) и

небольшая примесь Fe (0.2) и Pb (0.14) (табл. 5). Других элементов-примесей в тетраэдрите не установлено.

Бурнонит относится к редким минералам на данном месторождении и связан в основном с выделениями галенита. В отличие от блеклой руды, он характеризуется мышьяково-сурьмяным составом, но с резким преобладанием сурьмы (Sb — 18.45, As — 3.36 мас. %). Главными катионами этого минерала являются Pb — 42.44 и Cu — 16.6 (табл. 6).

Пирит в рудах месторождения имеет второстепенное развитие. Он характеризуется простым составом, отвечающим стехиометрии. Из элементов-примесей в нем установлены (%) Cu (0.04), Ni (0.13) и Co (0.02) (табл. 7).

Анализ руд месторождений рудного района Чо Дон показывает, что помимо главных рудных компонентов (Zn, Pb) они обогащены In, Sn, Cd, Cu, Ag, Bi, Sb и As. В свинцовом концентрате наряду с основными элементами Pb (20.7) и Zn (2.0 мас. %) установлены (г/т) Cu (4300), Ag (140), Sb (388), Bi (831) и As (8340) (см. табл. 1). Цинковый концентрат (Zn — 39.5 мас. %) содержит Pb (0.7 мас. %), а также In (588 г/т), Sn (1457), Cd (1270), Cu (5658), Ag (178), Ga (83), Se (19), As (2000 г/т) (см. табл. 6).

В «хвостах» флотационного обогащения руд фиксируются лишь незначительные потери главных рудных компонентов, которые в среднем составляют (мас. %) по Zn — 0.7, Pb — 0.9 и As — 1.3.

Содержания же редкоземельных и радиоактивных элементов в рудах и продуктах их технологической переработки не превышают кларковые величины.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что наряду с основными рудными компонентами (Zn и Pb) в рудах и продуктах их обогащения — Pb- и Zn-концентратах месторождений рудного района Чо Дон постоянно фиксируются повышенные концентрации достаточно широкого спектра элементов-примесей Cu, Ag, Cd, In, Sn, Ga, Bi, Se, As, Sb, часть из которых (In, Cd, Ag, Ga, Bi) представляют интерес для промышленного извлечения.

Преимущественное накопление отдельных элементов-примесей в свинцовом или цинковом концентратах явно указывает на их связь с главными рудными минералами — сфалеритом или галенитом. Часть элементов могут входить изоморфно в состав главных минералов, часть образовывать самостоятельные минеральные фазы, тесно ассоциирующие с тем или другим главным минералом. Минераграфическими исследованиями с использованием сканирующего электронного микроскопа был установлен довольно широкий спектр самостоятельных рудных минеральных фаз — сфалерит (ZnS), галенит (PbS), пирит (FeS₂), арсенопирит (FeAsS), халькопирит (CuFeS₂), пирротин (FeS), тетраэдрит (Cu,Zn,Ag)₃(Sb,As)S₃, станнин (Cu₂FeSnS₄), касситерит (SnO₂), самородный висмут (Bi).

Как видно из минерального состава руд, самостоятельных минеральных фаз не образуют лишь Cd, In, Ga. Исследование химического состава рудных минералов на микрозонде Camebax-Micro и на сканирующем электронном микроскопе показывают их следующие особенности.

Сфалерит характеризуется высокой железистостью (содержание Fe, по данным микрозондового анализа, изменяется в диапазоне от 5 до 11.5 мас. %, составляя в среднем по 210 определениям 9.2 мас. %). Помимо железа в сфалерите в том или ином количестве содержатся следующие элементы-примеси (среднее, мас. %): Cd — 0.18, Ga — 0.01, In — 0.08, Bi — 0.01, Mn — 0.23, Sn — 0.08, Cu — 0.34. Следует отметить, что распределение элементов-примесей очень неравномерное (см. табл. 3). В некоторых зернах содержание In достигало 1.25 мас. %, а в других вообще не фиксируется. Между примесными элементами не обнаруживается корреляционной связи, что может указывать на изоморфное их вхождение в кристаллическую решетку, занимая позиции Zn. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что в пределах одного зерна содержание элементов-примесей не изменяется. Повышенные содержания Sn в сфалерите и в сфалеритовом концентрате связано, по-видимому, с развитием мелких включений станнина в сфалерите.

Галенит содержит в повышенных концентрациях более ограниченный спектр элементов (среднее, мас. %): Bi — 0.1, Sb — 0.07, Ag — 0.2. Содержания этих элементов очень неравномерны и могут изменяться от следовых значений до первых процентов. Так, содержания Ag и Bi в отдельных пробах достигают значений 2.14 и 3.62 мас. % соответственно. Анализ корреляционных связей Bi, Ag и Sb в галенитах показывает положительную парную корреляцию Ag-Sb и Ag-Bi (рис. 6), что может свидетельствовать о наличии двух фаз концентратов серебра — Ag-тетраэдрит (фрейбергит) и шапбахит (AgBiS₂), которые, по данным П. Рамдора [1962], могут находиться в галените в виде твердого раствора. Содержание других элементов-примесей составляет ниже или на уровне чувствительности аналитического метода (см. табл. 4).

Пирит, по данным рентгеноспектрального анализа, содержит в своем составе до 5.20 мас. % As и на уровне чувствительности этого анализа Co, Ni, Cu. Сходные содержания этих элементов установлены в халькопирите и пирротине (см. табл. 6—8). Кроме того, в халькопирите и пирротине на уровне следов установлены содержания Mo, равные соответственно — 0.05 и 0.06 мас. % и Au (0.01 мас. %). Анализ блеклой руды показал, что она относится к сурьмяной разновидности — *тетраэдриту*. В качестве глав-

ных катионов в ней установлены Ag до 18.3 мас. %. Fe до 7.42 мас. % и на уровне десятых долей процента зафиксированы Pb и Zn (см. табл. 5).

Анализ руд месторождений рудного района Чо Диен также показывает их обогащение рядом элементов-примесей. Наиболее высокие концентрации имеют Cd и As и несколько меньшие величины установлены для In, Cu, Ag, Sb (см. табл. 1). Более отчетливо картина по содержанию и распределению элементов выявлена в рудных концентратах. Так, цинковый концентрат с содержанием основных элементов Zn — 42.7 мас. % и Pb — 0.6 мас. % резко обогащен Cd (2204 г/т), In (82.88 г/т) и Se (21.02 г/т), также повышенные содержания здесь имеют Cu (0.15 мас. %), Ag (108 г/т) и As (895 г/т). В свинцовом концентрате, помимо основных элементов Pb (14.3 мас. %) и Zn (5.45 мас. %) наиболее высокие содержания имеют As (3542 г/т), Sb (185 г/т) и Bi (196.4 г/т), также повышенные содержания в нем установлены по Cd (340 г/т), Cu (0.6 мас. %) и Ag (148 г/т).

В «хвостах» флотационного обогащения руд содержится относительно небольшое количество Zn — 0.7 мас. %, Pb — 0.3 мас. % и отдельных элементов-примесей, что связано с потерей рудных компонентов в виде мелких включений в нерудных минералах.

Содержания же редкоземельных и радиоактивных элементов в рудах и продуктах их технологической переработки не превышают кларковые величины (см. табл. 2).

Как видно из приведенных данных, основная масса элементов-примесей руд (Cd, In, Se, Cu, Ag, As, Sb, Bi) резко увеличивается в рудных концентратах, что указывает на их связь с основными рудными минералами — сфалеритом и галенитом. Часть этих элементов входит изоморфно в состав главных минералов, часть образует самостоятельные минеральные фазы, тесно ассоциирующие с главными минералами. Минераграфическими исследованиями с использованием сканирующего электронного микроскопа был установлен довольно широкий спектр самостоятельных рудных минеральных фаз — сфалерит (ZnS), галенит (PbS), пирит (FeS₂), арсенопирит (FeAsS), халькопирит (CuFeS₂), пирротин (FeS), тетраэдрит (Cu,Zn,Ag)₃ (Sb,As)S₃, касситерит (SnO₂), аргентит (Ag₂S). Изучение состава наиболее распространенных минералов с помощью микрозондового анализа позволили выявить их следующие особенности.

Сфалерит рудного района Чо Диен характеризуется повышенной железистостью (6.45 мас. %). Помимо железа в сфалерите в том или ином количестве содержатся (мас. %) Cd — 0.28, Ga — 0.17, Bi — 0.01, Mn — 0.09 (см. табл. 3). Лишь в отдельных пробах содержание In достигает 0.30 мас. %. Все эти элементы не образуют самостоятельных минеральных фаз и, вероятно, входят в состав сфалерита в виде изоморфных примесей, занимая позиции Zn в кристаллической структуре. В пользу этого свидетельствует тот факт, что в пределах одного зерна содержания этих элементов имеют равномерное распределение.

Галенит содержит устойчивые повышенные концентрации Bi (0.26 мас. %) и Ag (0.33 мас. %). В отдельных случаях концентрации Ag и Bi достигают соответственно 1.95 и 2.32 мас. %. Ряд элементов (Sb, Cd, Ga, In) фиксируются в галените на уровне чувствительности анализа (см. табл. 4). В этих галенитах отмечается такая же прямая корреляционная связь концентраций Ag с Bi и Sb, как и в галенитах месторождений рудного района Чо Дон (см. рис. 6), что свидетельствует о наличии двух фаз — концентратов серебра — Ag-тетраэдрита (фрейбергит) и шапбахита.

Пирит в отдельных пробах содержит до 2.85 мас. % Cu и на уровне чувствительности анализа Co, Ni, As, Se и Mo. Также на уровне чувствительности анализа установлены Ag, Au, Co, Sn и Se в арсенопирите и пирротине (см. табл. 6—8). Анализ тетраэдрита показал, что главными катионами в нем являются Ag (28.43 мас. %), Cu (17.46 мас. %), Fe (6.14 мас. %) и на уровне десятых долей процента — Zn и Pb (см. табл. 5).

В рудах месторождений рудного района На Шон выявлен несколько иной спектр элементов-примесей по сравнению с вышерассмотренными районами. В усредненных пробах руд этих месторождений помимо главных рудных компонентов (Zn, Pb) установлены высокие содержания Cd, Cu, Ag, Mo, Sb и отмечается повышенный фон Se, Re и Rb (см. табл. 1). Кроме того, установлены повышенные содержания легких РЗЭ (Ce, La, Nd) и радиоактивных элементов (U и Th) (см. табл. 2). Анализ рудных концентратов выявил в цинковом концентрате с содержанием основных элементов Zn — 28.1 и Pb — 6.5 мас. % повышенные содержания Cd (1633 г/т), Cu (1.14 мас. %), Ag (169 г/т), Mo (901 г/т), Re (0.75 г/т) (см. табл. 1). В свинцовом концентрате, помимо основных элементов Pb (22.6 мас. %) и Zn (6.7 мас. %) установлены Cd (474 г/т), Cu (1.4 мас. %), Ag (106 г/т), Mo (507 г/т), Sb (572 г/т), Re (0.75 г/т). В отличие от руд, содержания редкоземельных элементов и урана в обоих типах концентратов резко уменьшается. Напротив, в «хвостах» флотационного обогащения руд установлены максимальные концентрации РЗЭ, что обусловлено вхождением основной массы РЗЭ (La, Ce) в ортит, который при флотации уходит в «хвосты». Также в «хвостах» в основном концентрируется торий. Небольшие количества Zn — 0.3 %, Pb — 0.4 % и отдельных редких элементов, установленные в «хвостах», связаны с потерей рудных минералов в тонких сростках с нерудными минералами.

Таблица 1. Средние содержания элементов-примесей в рудах и продуктах их переработки Pb-Zn месторождений разных рудных районов Северного Вьетнама

Элемент	Чувствит. анализа	Рудный район Тай Нгуен				Рудный район Чо Дон				Рудный район Чо Диен				Рудный район На Шон			
		Усредн. руды (13)	Концентрат		«Хвосты» (6)	Усредн. руды (8)	Концентрат		«Хвосты» (4)	Усредн. руды (11)	Концентрат		«Хвосты» (4)	Усредн. руды (13)	Концентрат		«Хвосты» (3)
		Pb (5)	Zn (5)		Pb (4)	Zn (5)		Pb (5)	Zn (4)		Pb (6)	Zn (4)		Pb (6)	Zn (4)		
In	0.1	0.1	0.32	0.1	44.78	588.4	14.98	7.30	82.88	15.38	7.30	82.88	0.33	1.40	5.40	0.17	
Sn	1	1	4.0	3.67	321.5	1457.2	67.25	57.00	64.40	21.75	57.00	64.40	12.67	3.75	6.67	12.67	
Cd	0.1	794.25	3250.00	184.60	90.43	1270	27.30	340.40	2204.00	527.00	340.40	2204.00	76.03	474.75	1633.33	19.80	
Zn	0.2	1.11	7.42	2.47	2.07	39.52	0.69	5.45	42.74	8.58	5.45	42.74	1.19	6.69	28.10	0.35	
Pb	1	2.68	33.00	1.48	20.73	0.73	0.90	14.30	0.67	1.27	14.30	0.67	4.93	22.65	6.53	0.45	
Cu	0.2	0.018	0.29	0.011	0.43	0.56	0.039	0.046	0.16	0.046	0.62	0.16	0.19	1.42	1.13	0.036	
Fe	0.01	1.15	4.96	1.20	7.46	13.14	22.78	11.40	8.73	11.33	11.40	8.73	2.48	2.61	4.68	2.31	
Ag	0.05	51.60	100.60	13.46	140	178.8	33.55	148.20	108.16	52.13	148.20	108.16	65.30	106.70	169.33	8.43	
Mo	0.1	1.13	3.20	1.63	2.1	1	1.68	2.05	1.54	2.05	8.66	1.54	152.13	507.75	901.00	76.90	
Ga	0.1	3.90	1.74	4.38	5.23	83.08	10.40	1.54	5.24	4.48	1.54	5.24	33.40	3.58	16.53	37.57	
Ge	0.1	0.85	1.12	0.23	0.1	0.14	0.25	0.14	0.10	0.18	0.14	0.10	0.73	0.17	0.40	0.87	
Sb	0.1	33.13	2551.40	37.90	388.48	38.78	48.93	185.48	25.02	43.88	185.48	25.02	51.37	572.25	165.43	32.87	
Bi	0.02	0.15	3.23	0.92	831.75	55.3	44.25	196.40	20.77	10.48	196.40	20.77	0.79	8.21	3.31	0.20	
Se	0.1	5.23	6.48	2.28	2.93	19.44	0.90	6.56	21.02	5.30	6.56	21.02	2.53	3.45	12.27	2.10	
Te	0.1	0.10	0.10	0.13	0.1	<0.1	0.50	<0.1	0.10	<0.1	0.10	0.10	0.35	0.10	0.20	0.50	
As	0.1	184.75	3092.00	235.10	8342.5	2020	13112.5	7012.50	895.00	8737.50	3542.00	895.00	45.03	150.58	77.90	21.17	
Mn	1	740.50	62.80	1015.00	609.5	1730	17635.0	9892.50	1650.00	11750.0	1301.40	1650.00	1326.67	163.00	738.00	1416.67	
Rb	0.2	36.70	6.64	52.32	2.45	3.84	62.33	45.60	8.42	64.05	9.82	8.42	186.67	21.95	85.70	165.33	
Sr	0.2	148.00	4.04	204.17	1.58	3.3	86.63	116.25	13.60	141.50	9.06	13.60	17.30	1.08	3.83	18.90	
Ba	1	140.75	5.67	161.50	<1	3	33.50	48.50	10.80	117.50	<1	10.80	261.00	3.00	1.00	284.00	
Re	0.001	0.003	0.027	0.008	0.01	0	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.18	0.75	0.75	0.07	
Tl	0.005	0.75	17.35	1.84	2.28	0.2	0.51	1.20	0.28	1.20	1.04	0.28	0.69	0.37	0.47	0.72	

Примечание. Содержание Fe, Zn, Pb, Cu даны в мас. %, остальных элементов — в г/т. Чувствительность анализа приведена в г/т. Цифры в скобках — количество проб.

Таблица 2. Средние содержания РЗЭ и радиоактивных элементов (г/т) в рудах и продуктах их переработки Pb-Zn месторождений разных рудных районов Северного Вьетнама

Элемент	Чувств. анализ	Рудный район Тай Нгуен				Рудный район Чо Дон				Рудный район Чо Диен				Рудный район На Шон			
		Ус-редн. Руды (13)	Концентрат		«Хвосты» (6)	Ус-редн. Руды (8)	Концентрат		«Хвосты» (4)	Ус-редн. Руды (11)	Концентрат		«Хвосты» (4)	Ус-редн. Руды (13)	Концентрат		«Хвосты» (3)
			Pb (5)	Zn (5)			Pb (4)	Zn (5)			Pb (5)	Zn (5)			Pb (6)	Zn (4)	
La	0.1	7.51	7.51	7.51	7.51	22.83	3.50	6.34	25.00	9.80	5.38	1.92	13.93	190.00	39.73	106.80	189.00
Ce	0.1	17.94	17.94	17.94	17.94	35.55	6.43	9.88	40.23	18.80	11.44	3.58	26.55	407.67	79.95	248.30	412.33
Pr	0.1	1.63	1.63	1.63	1.63	4.50	0.78	1.22	4.83	2.13	1.28	0.38	3.03	40.43	8.78	30.17	41.27
Nd	0.1	5.69	5.69	5.69	5.69	14.10	2.45	3.74	15.28	6.95	4.16	1.26	9.95	137.33	29.80	104.17	140.67
Sm	0.1	1.04	1.04	1.04	1.04	2.15	0.35	0.52	2.25	1.33	0.76	0.24	1.85	24.30	5.60	19.07	25.17
Eu	0.05	0.21	0.21	0.21	0.21	0.67	0.08	0.09	0.79	0.41	0.15	0.09	0.57	2.47	0.75	2.53	2.56
Gd	0.1	1.01	1.01	1.01	1.01	1.48	0.25	0.32	1.65	1.13	0.58	0.18	1.53	21.30	5.43	18.23	21.10
Tb	0.1	0.18	<0.1	0.18	0.18	0.20	0.10	0.10	0.20	0.20	0.10	0.10	0.20	3.27	0.88	2.77	3.13
Dy	0.1	1.03	1.03	<0.1	1.03	1.03	0.18	0.12	1.10	0.98	0.50	0.16	1.23	19.70	5.18	14.87	18.97
Ho	0.1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.10	0.10	0.23	0.20	0.10	0.10	0.25	3.87	1.08	3.17	3.80
Er	0.1	0.69	0.69	0.69	0.69	0.65	0.10	0.10	0.70	0.50	0.28	0.10	0.65	10.67	3.05	8.53	10.47
Tm	0.1	<0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.50	0.43	1.13	1.53
Yb	0.1	0.69	0.69	<0.1	0.69	0.55	0.10	0.10	0.63	0.50	0.28	0.10	0.63	8.57	2.48	6.47	8.90
Lu	0.1	<0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.20	0.33	0.83	1.27	
LREE	—	34.01	34.01	<0.1	34.01	79.80	13.58	21.79	88.37	39.41	23.17	7.47	55.87	802.20	164.60	511.03	810.99
HREE	—	3.99	3.99	3.99	3.99	4.30	1.03	1.04	4.70	3.70	1.94	0.94	4.68	70.07	18.83	56.00	69.17
R ₂ O ₃	—	38.01	38.01	38.01	38.01	84.10	14.61	22.83	93.07	43.11	25.11	8.41	60.55	872.27	183.43	567.03	880.16
U	0.1	2.35	3.52	1.74	3.08	1.23	0.55	0.54	1.63	3.07	1.60	0.62	1.75	38.40	3.00	7.43	9.70
Th	0.1	1.40	1.26	1.0	2.47	1.70	0.33	0.44	2.85	1.35	3.14	1.04	4.37	11.63	9.93	27.83	37.70

Примечание. Чувствительность анализа приведена в г/т; цифры в скобках — количество проб.

Таблица 3. Состав сфалерита из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудный район	Zn	Fe	S	Cd	Ga	In	Bi	Cu	Sn	Ag	Mn
Тай Нгуен (18)	64.50–67.16 66.09	0.00–1.7 0.28	32.46–32.97 32.71	0.00–0.78 0.36	0.00	0.00–0.01 0.00	0.00–0.01 0.00	0.00	0.00	0.00–0.15 0.02	0.00–0.01 0.00
Чо Дон (37)	53.15–60.64 55.92	4.97–11.48 9.19	32.73–35.23 33.51	0.36–0.26 0.18	0.00–0.02 0.01	0.00–0.66 0.08	0.00–0.04 0.01	0.02–0.65 0.34	0.00–0.38 0.08	0.00	0.04–0.29 0.23
Чо Диен (27)	55.64–65.52 60.00	1.89–10.60 6.45	32.83–33.77 33.28	0.20–0.34 0.29	0.16–0.19 0.17	0.00–0.01 0.00	0.01–0.02 0.01	0.00	0.00	0.00	0.02–0.19 0.09
На Шон (20)	62.24–66.01 64.63	0.15–4.81 1.84	32.45–33.97 33.04	0.10–0.50 0.32	0.00–0.04 0.01	0.00–0.02 0.00	0.00–0.04 0.01	0.00	0.00	0.00	0.00–0.06 0.02

Примечание. Здесь и далее: цифры в скобках — число проб, числа над чертой — минимальные и максимальные значения, под чертой — средние.

Проведенные исследования показывают, что основная масса элементов-примесей руд (Cd, Mo, Cu, Ag, As, Sb, Re) резко увеличивается в рудных концентратах, что указывает на их связь с основными рудными минералами руд — сфалеритом и галенитом. Часть элементов входит изоморфно в состав главных минералов, часть может образовывать самостоятельные минеральные фазы, тесно ассоциирующие с главными минералами. Минераграфическими исследованиями с использованием сканирующего электронного микроскопа был установлен довольно широкий спектр самостоятельных рудных минеральных фаз — сфалерит (ZnS), галенит (PbS), пирит (FeS₂), арсенопирит (FeAsS), халькопирит (CuFeS₂), пирротин (FeS), тетраэдрит (Cu,Zn,Ag)₃ (Sb,As)S₃, касситерит (SnO₂), аргентит (Ag₂S), молибденит (MoS). Изучение состава наиболее распространенных минералов с помощью микросондового анализа позволило выявить их следующие особенности.

Таблица 4. Состав галенита из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудный район	Pb	S	Cd	Ga	In	Bi	As	Sb	Sn	Ag	Te
Тай Нгуен (24)	83.78—87.40 86.12	12.84—13.59 13.33	0.00	0.00	0.00	0.00—0.01 0.00	0.00	0.00—0.90 0.13	0.00—0.01 0.00	0.00—0.16 0.05	0.00—0.03 0.01
Чо Дон (39)	83.97—87.64 86.28	13.04—13.55 13.35	0.03—0.09 0.06	0.00—0.02 0.01	0.00—0.02 0.01	0.00—1.86 0.1	0.00—0.02 0.00	0.00—0.32 0.07	0.00—0.08 0.01	0.00—1.31 0.21	0.00
Чо Диен (13)	82.61—86.72 85.54	13.11—13.55 13.29	0.05—0.06 0.05	0.00—0.02 0.01	0.00—0.03 0.01	0.00—1.87 0.26	0.00—0.02 0.00	0.00—0.23 0.07	0.00—0.02 0.00	0.04—1.34 0.33	0.00
На Шон (14)	85.11—88.16 86.93	12.89—13.47 13.27	0.00	0.00	0.00	0.00—0.02 0.00	0.00	0.00—0.04 0.01	0.00—0.03 0.01	0.00—0.12 0.05	0.00

Таблица 5. Состав тетраэдрита из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудный район	Cu	Ag	Zn	Fe	Pb	Sb	S	As	Se	Te
Тай Нгуен (6)	23.24—24.50 24.10	17.81—20.04 18.43	6.51—6.77 6.67	0.18—0.23 0.20	0.11—0.16 0.14	26.28—26.79 26.48	22.63—23.02 22.92	0.00	0.00	0.00
Чо Дон (4)	24.29—24.53 24.38	17.68—18.30 17.91	0.13—0.15 0.14	6.28—7.42 6.71	0.08—0.15 0.12	26.01—26.97 26.51	22.80—23.18 23.01	0.00	0.00	0.00
Чо Диен (4)	16.28—18.06 17.46	27.44—30.31 28.43	0.72—0.80 0.77	6.07—6.24 6.14	0.06—0.40 0.17	25.77—26.23 26.02	21.14—21.72 21.45	0.00	0.00	0.00
На Шон (11)	27.15—38.61 34.26	0.42—14.40 5.08	4.72—7.36 6.07	0.22—2.58 1.23	0.00—0.09 0.04	25.36—28.48 26.91	23.23—25.99 24.76	0.00—2.49 0.60	0.00	0.00—0.06 0.02

Таблица 6. Состав второстепенных рудных минералов из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудный район	Fe	Cu	Pb	S	As	Sb	Ni	Co	Mo	Ag	Au	Se
Халькопирит												
Чо Дон (4)	30.04—30.68 30.34	31.95—34.37 33.67	0.00	34.08—34.97 34.73	0.00—1.74 0.44	0.00	0.01—0.02 0.01	0.00—0.01 0.01	0.04—0.06 0.05	0.00	0.00—0.02 0.01	0.00
На Шон (4)	30.06—30.34 30.19	34.72—34.91 34.83	0.00	34.78—34.98 34.90	—	0.00	0.00—0.02 0.02	0.00—0.01 0.01	0.00—0.05 0.04	0.00	0.00—0.01 0.01	0.00
Арсенопирит												
Чо Диен (4)	33.67—33.92 33.80	0.00—0.01 0.01	0.00	20.71—21.09 20.87	44.67—45.32 44.99	0.00	0.00—0.01 0.01	0.04—0.05 0.04	0.00	0.02—0.04 0.03	0.01—0.05 0.03	0.15—0.21 0.18
Бурнонит												
Тай Нгуен (2)	0.00	16.40—16.90 16.60	41.7—43.2 42.44	0.00	2.87—3.85 3.36	17.24—19.66 18.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблица 7.

Состав пирита из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудные районы	Fe	S	Ni	Co	Cu	As	Se	Mo
Тай Нгуен (1)	45.86	53.47	0.13	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00
Чо Дон (7)	<u>42.76—59.71</u> 47.10	<u>40.22—53.30</u> 47.25	<u>0.01—0.04</u> 0.03	<u>0.00—0.03</u> 0.01	<u>0.01—0.05</u> 0.03	<u>0.00—14.84</u> 5.67	<u>0.00—0.04</u> 0.02	0.00
Чо Диен (14)	<u>42.38—49.23</u> 46.29	<u>44.98—54.32</u> 51.98	<u>0.01—0.13</u> 0.02	<u>0.00—0.03</u> 0.02	<u>0.00—2.85</u> 0.37	<u>0.00—16.87</u> 2.44	<u>0.00—0.04</u> 0.01	<u>0.00—0.10</u> 0.01
На Шон (7)	<u>46.02—46.94</u> 46.45	<u>52.17—53.91</u> 52.83	<u>0.02—0.17</u> 0.08	<u>0.03—0.46</u> 0.13	<u>0.00—0.07</u> 0.03	<u>0.00—0.03</u> 0.01	0.00	<u>0.00—0.08</u> 0.01

Таблица 8.

Состав пирротина из свинцово-цинковых месторождений изученных рудных районов структуры Логам (мас. %)

Рудные районы	Fe	S	Ni	Co	Cu	As	Se	Mo	Ag	Sn	Au
Чо Дон (6)	<u>60.15—60.67</u> 60.41	<u>39.44—40.00</u> 39.77	<u>0.01—0.03</u> 0.02	<u>0.01—0.06</u> 0.02	<u>0.00—0.06</u> 0.04	<u>0.01—0.01</u> 0.01	<u>0.01—0.01</u> 0.01	<u>0.04—0.08</u> 0.06	<u>0.01—0.01</u> 0.01	<u>0.01—0.01</u> 0.01	<u>0.00—0.03</u> 0.01
Чо Диен (5)	<u>60.33—60.75</u> 60.52	<u>39.19—39.98</u> 39.49	<u>0.00—0.02</u> 0.01	<u>0.02—0.06</u> 0.05	<u>0.00—0.01</u> 0.01	<u>0.01—0.03</u> 0.02	<u>0.01—0.02</u> 0.01	0.00	<u>0.02—0.04</u> 0.03	<u>0.01—0.01</u> 0.01	<u>0.01—0.04</u> 0.03
На Шон (1)	61.17	39.35	0.04	0.02	0.05	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01

Сфалерит месторождений рудного района На Шон характеризуется ограниченным содержанием элементов-примесей, среди которых можно отметить лишь относительно невысокое содержание железа (1.8 мас. %) и повышенное количество кадмия (0.316 мас. %) (см. табл. 3). Также беден элементами-примесями и *галенит*, в котором установлено лишь серебро (0.05 мас. %). Максимальное содержание Ag составляют 0.12 мас. % (см. табл. 4).

В *пирите*, *халькопирите* и *пирротине* на уровне чувствительности анализа установлены Ni и Co, Mo, а в последних двух еще и Au (см. табл. 6—8). Главными катионами *тетраэдрита* являются Cu (34.26 мас. %), Ag (5.08 мас. %) и Fe (1.23 мас. %). На уровне чувствительности анализа дополнительно в нем выявлены As, Te, Pb (см. табл. 5).

Как видно из приведенных данных, основным минералом-носителем кадмия является сфалерит, поэтому он накапливается в цинковом концентрате. Кадмий изоморфно входит в структуру сфалерита, замещая цинк. Серебро и сурьма входят в состав тетраэдрита, который образует тесные срастания с галенитом, часть серебра образует самостоятельный минерал — *аргентит*, ассоциирующий в основном со сфалеритом. Повышенные концентрации молибдена и рения, который постоянно обнаруживает изоморфизм с молибденом, связаны с тонкими включениями молибденита в рудных минералах, выявленных на сканирующем микроскопе.

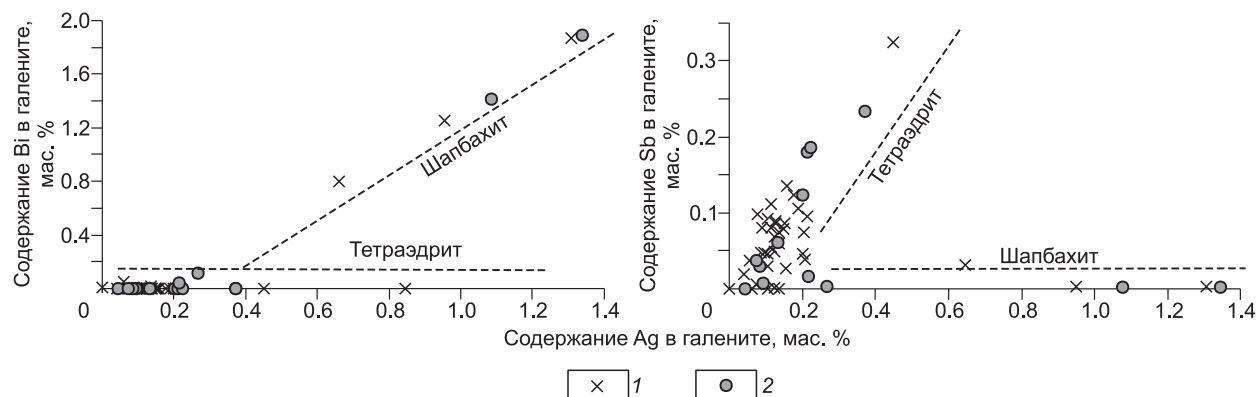


Рис. 6. Прямая корреляционная связь Ag с Sb и Bi в галенитах месторождений Чо Дон (1) и Чо Диен (2), свидетельствующая о наличии двух фаз концентраторов серебра — Ag-тетраэдрита (фрейбергит) и шапбахита (AgBiS_2), в виде твердого раствора.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные данные по полиметаллическим месторождениям разных рудных районов структуры Логам показывают, что Pb-Zn месторождения во всех рудных районах характеризуются рядом общих признаков, которые сходны с месторождениями стратиформного типа (типа Миссисипи). В целом к ним можно отнести:

- приуроченность месторождений к карбонатным отложениям девонского возраста;
- локализация месторождений в узлах пересечения разноориентированных разломов;
- жильная и штокверковая (гнездово-прожилково-вкрапленная) морфология зон оруденения;
- наличие признаков гидротермально-метасоматического образования (мраморизация карбонатных пород, развитие кварц-карбонатных жил и др.);
- близкий состав руд, представленный главным образом галенит-сфалеритовым агрегатом с различными соотношениями галенита и сфалерита;
- низкие и средние температуры рудообразования (< 250 °C).

Вместе с тем отмечается ряд признаков, отличающих их от месторождений указанного стратиформного типа:

- широкое развитие магматических образований пермотриасового возраста на территории рассматриваемых рудных районов;
- отсутствие пластовой морфологии рудных тел, характерной для типичных стратиформных месторождений;
- широкий спектр элементов-примесей (In, Bi, Sb, Au, Ag, Cu, Cd), не характерный для стратиформных месторождений;
- эндогенный источник рудного вещества, о чем свидетельствуют средний (11 проб) изотопный состав серы ($\delta S^{34} = 2.68$ ‰), близкий метеоритному, и набор элементов-примесей (In, Bi, Sb, Cu), имеющих глубинную природу, в отличие от стратиформных месторождений, для которых источником рудного вещества служат вмещающие и подстилающие толщи.

Кроме того, выявлен ряд минералого-геохимических признаков месторождений, которые по-разному проявляются в разных рудных районах, прежде всего это:

- неоднородность состава руд по количеству и составу второстепенных и редких минералов;
- различие руд и рудных минералов по спектру элементов-примесей и их содержаниям.

Все вышесказанное указывает на то, что изученные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах относятся к низко- и среднетемпературным гидротермально-метасоматическим образованиям, сформировавшимся в связи с активной магматической деятельностью, проявившейся в данном районе в пермотриасовое время.

С развитием в это время разнообразных по составу магматических пород, характеризующихся различной металлогенической направленностью, связано формирование в этой структуре разного состава оруденения (свинцово-цинкового, олово-сульфидно-силикатного, редкоземельного) [Trần Trọng Hòa et al., 2004, 2007]. Многообразие магматических проявлений (биотитовые граниты комплекса Пиа Биок, известково-щелочные гранодиориты комплекса Нуй Диенг и щелочные породы сиенитового состава) и специфика их развития в каждом рудном районе, вероятно, также оказали влияние на неоднородный минералого-геохимический состав свинцово-цинкового оруденения. Выявленные различия в минеральном составе изученных месторождений, в спектре и содержании элементов-примесей в разных месторождениях явно свидетельствуют о сложном процессе рудообразования на этих месторождениях и о связи их с магматизмом разного состава. Простой минеральный состав и ограниченный набор элементов-примесей (Cd, Ag, Sb, As) месторождения Ланг Хич рудного района Тай Нгуен наиболее близки стратиформным месторождениям. Это, возможно, связано с ограниченным развитием магматизма в этом районе, представленного лишь небольшими массивами гранодиоритов комплекса Нуй Диенг, что и выразилось в незначительном влиянии его геохимических особенностей на состав оруденения. Напротив, необычайно высокие содержания (г/т) In (75.8), Sn (307.5), Cu (1080), Ag (157.7), Bi (99), As (13650) установлены для месторождений рудных районов Чо Дон и Чо Диен, которые тесно ассоциируют с гранитами комплекса Пиа Биок, широко развитыми в этих районах. На месторождениях района На Шон наличие редкоземельной минерализации (ортит) и повышенных содержаний Mo, Re и Rb, возможно, обязано широкому развитию в этом районе стратифицированных кислых вулканогенных пород щелочного ряда и их субвулканических аналогов, относящихся к комплексу Пла Ма ($\xi\gamma PZ_2pm$), характеризующихся повышенными содержаниями РЗЭ. Поэтому при оценке перспектив какого-либо участка в пределах структуры Логам на выявление Pb-Zn месторождений необходимо учитывать следующие факторы в исследуемом районе:

- широкое развитие в регионе карбонатных и карбонатно-терригенных отложений, являющихся хорошей вмещающей средой для Pb-Zn оруденения;

- развитие в этих толщах пликативных и дизъюнктивных структур, выполняющих роль рудоподводящих и рудовмещающих структур;

- пространственную совмещенность карбонатных и карбонатно-терригенных отложений с развитием разного типа магматических образований и, в первую очередь, гранитоидного магматизма комплекса Пиа Биок и пород щелочного ряда комплекса Пла Ма (ξγPZ₂pm).

Как показано, развитые в палеозойских карбонатных отложениях структуры Логам свинцово-цинковые месторождения, различаются геохимическими особенностями руд, что, очевидно, связано с проявлением разного типа магматизма в этих районах, который накладывает свою специфику на геохимию руд. Для установления конкретного влияния разного типа магматических образований на геохимический состав оруденения необходима постановка работ по изучению детальных геохимических признаков всех магматических пород этого региона.

Статья подготовлена при поддержке государственного научного проекта Вьетнама № КС 08.24/06-10.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов В.Н. Промышленная оценка рассеянных элементов в комплексных рудах. М., Недра, 1972, 151 с.

Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изох А.Э., Жмодик С.М. Термохимическая модель пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления закономерностей формирования и прогноза медно-никелевых, благородно- и редкометалльных месторождений // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (9), с. 1159—1187.

Довжиков А.Е., Буй Фу Ми, Василевская Е.Д., Жамойда А.И., Иванов Г.В., Изох Э.П., Ле Динь Хну, Маречев А.Н., Нгуен Ван Тиен, Нгуен Тьонг Три, Тран Дык Лыонг, Фам Ван Куанг, Фам Динь Лонг. Геология Северного Вьетнама. Ханой, Наука и Техника, 1965, 668 с.

Игнатов П.А. О генетических типах стратиформных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка, 2000, № 1, с. 153—156.

Изох А.Э., Поляков Г.В., Чан Чонг Хоа, Балыкин П.А., Нго Тхи Фьонг. Пермотриасовый ультрамафит-мафитовый магматизм Северного Вьетнама и Южного Китая как проявление плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (9), с. 942—951.

Поляков Г.В., Шелепаев Р.А., Чан Чонг Хоа, Изох А.Э., Балыкин П.А., Нго Тхи Фьонг, Чан Куок Хунг, Буй Ан Ньен. Расслоенный перидотит-габбровый плутон Нуйчуа как проявление пермско-триасового мантийного плюма на севере Вьетнама // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (6), с. 653—669.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962, 1132 с.

Сечевица А.М. Геолого-промышленная оценка попутных полезных ископаемых в комплексных рудных месторождениях. М., Недра, 1987, 129 с.

Сечевица А.М., Иванов В.В., Иванов В.Н., Данилова Н.П., Кондрашова О.В., Кувшинов В.П., Цибизова А.Н. Разведка и оценка комплексных месторождений цветных металлов. М., Недра, 1990, 116 с.

Тычинский А.А., Акульшина Е.П., Баулина М.В., Гибшер Н.А., Писарева Г.М., Шипилов Л.Д. Прибайкальский полиметаллический рудный пояс. Новосибирск, Наука, 1984, 134 с.

Чан Ван Зьонг. Геологическое строение и условия формирования полиметаллических рудных полей Северо-Восточного Вьетнама: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Баку, 1990, 21 с.

Чан Чонг Хоа. Внутриплитный магматизм Северного Вьетнама и его металлогения: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Новосибирск, 2007, 48 с.

Чан Чонг Хоа, Изох А.Э., Поляков Г.В., Борисенко А.С., Чан Туан Ань, Балыкин П.А., Нго Тхи Фьонг, Руднев С.Н., Ву Ван Ван, Буй Ан Ньен. Пермотриасовый магматизм и металлогения Северного Вьетнама в связи с Эмейшаньским плюмом // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (7), с. 637—651.

Erickson A.J. Temperatures of a calcite deposition in the Upper Mississippi Valley lead-zinc districts // Econ. Geol., 1965, v. 60, № 3, p. 506—528.

Fu Shao-hong, Gu Xue-xiang, Wang Qian, Li Fa-Yuan. Zhang Ming Kuangwu yanshi diqiu huaxue tongbao // Bull. Miner. Petrol. Geochem., 2004, v. 23, № 2, p. 105—108.

Ngo Thi Phuong, Tran Trong Hoa, Tran Tuan Anh, Tran Viet Anh, Pham Thi Dung. Mineralogy of rock-forming minerals in gabbro-syenite intrusions of Cho Don area, Northeast Vietnam // J. Geol., Series B, 2004, № 23, p. 65—78.

Nguyen Trung Chi. Petrology and metallogeny of alkaline formations of North Vietnam. Rep. Proj. Research Institute of Geology and Mineral Resources, 2003, 600 p (in Vietnames).

Nguyen Van Thanh, Ngo Phu An, Phung Van Duan, Pham Huy Hoc, Vuong Manh Son. New data on the Rb-Sr isotopic age of granitoids from Song Mien complex // J. Geol., Series B, 2002, № 19—20, p. 103—107.

Phan Luu Anh, Hoàng Việt Hằng. The Late Permian age of S-granite from Tam Tao massif // J. Sci. Earth, 2005, p. 115—124 (in Vietnames).

Song Xuexin, Xu Qingsheng, Zhang Jingkai. Trace element geochemistry of some VMS deposits in NW China. 9th Symp. Int. Assoc. Genes. Ore Deposits, Beijing, Aug. 12—18, 1994, Abstr. Beijing, 1994, v. 2, c. 671—672 (in Vietnames).

Trần Trọng Hòa, Trần Tuấn Anh, Phan Luu Anh, Ngô Thị Phượng, Nguyễn Văn Thế, Nguyễn Đức Thắng. Classification and correlation of mafic-ultramafic intrusives of Luc Yen Chau // Geol. Miner. Res., 1999, v. III, p. 103—116.

Tran Trong Hoa, Hoang Huu Thanh, Ngo Thi Phuong, Vu Van Van, Bui An Nien, Hoang Viet Hang, Tran Tuan Anh, Pham Thi Dung, Tran Hong Lam, Tran Viet Anh, Phan Luu Anh. The accompany metals in Pb-Zn and Cu deposits in North Vietnam // Report of VAST Proj. for 2002—2004. 2004 (in Vietnames).

Trần Trọng Hòa, Trần Tuấn Anh, Ngô Thị Phượng, Phạm Thị Dung, Trần Việt Anh, Izokh A.E. Mesozoic-Cenozoic igneous rocks of the Phansipan — Song Hong Uplift, NW Vietnam // Red-River Fault: geodynamics, metallogeny and natural hazards. Pub. KH&KT, 2007, p. 297—372 (in Vietnames).

Werdon Melanie B. Geologic setting of Mississippian vein-breccias at the Kady Zn-Pb-Cu-Ag prospect: Plumbing system for a failed sedex deposit // US Geol. Surv. Prof. Pap., 1997, № 1614, p. 5—34.

*Рекомендована к печати 31 мая 2011 г.
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию
1 февраля 2011 г.*