

БОГУСЛАВ ЦАМБЕЛ — ЯН ЯРКОВСКИЙ — ЙОЗЕФ КРИШТИН\*

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВОГО МИКРОАНАЛИЗАТОРА

(Фиг. 1—15)

**Резюме:** В данной статье приводится заключение по исследованию сульфидов железа с помощью рентгенового микроанализатора. Главной целью приведенных исследований является положение микроэлементов в структурах пирита, пирротина и халькопирита (в пирите и пирротине особенно Ni и Co, в халькопирите особенно Ag, Zn, Bi, Sn). Авторы исследовали формы распределения этих элементов в рамках их изоморфного нахождения в структурах, особенно с точки зрения их равномерного рассеивания. В случае гетерогенного нахождения элементов в форме включений самостоятельных минеральных фаз, находящихся в вышеприведенных минералах, изучался характер включений с точки зрения их форм, величины а также генетического объяснения. Эти исследования были проведены с помощью халькографии, электронной микроскопии и рентгенового микроанализа. В статье проводятся авторами только некоторые примеры фотографической, графической оценки, а также объяснения с помощью таблиц. Весь материал приведенных исследований будет опубликован отдельной монографической работой в 1976 г.

**Abstract:** The paper represents summary of the authors' research of iron sulphides by X-ray microprobe. The main topic of the study was distribution of microelements in pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite (Ni and Co especially in pyrite and pyrrhotite, Ag, Zn, Bi and Sn in chalcopyrite). The authors studied forms of distribution of these elements and isomorphism on the basis of homogenous distribution. Heterogeneous occurrence of elements in the form of inclusions of different mineral phases occurring in the above mentioned minerals have been studied from the point of view of their form, size and genetical interpretation. The research was carried on by ore microscopy, electron microscopy and X-ray microprobe. The authors show only some examples of photographs, diagrams and tables. Whole material concerning to this topic will be published as monography in 1976.

Авторы этой работы занимаются уже более длительное время исследованиями сульфидов железа (пирита, пирротина и халькопирита) с помощью рентгенового микроанализатора. Так как раньше Б. Ц а м б е л и Я. Я р к о в с к и й (1967, 1969, 1974) изучали распределение элементов на основании количественных спектрохимических анализов отсепарированных сульфидов, то эти исследования на микрозонде как раз удачно дополняют спектрохимические исследования. Главной целью изучения рентгеновым микроанализатором является осветление формы нахождения и распределения микроэлементов в приведенных минералах, а также и определение их положения по отношению к структуре минералов. Были изучены главным образом те микроэлементы, которые можно было исходя из данного параметра прибора успешно анализировать (речь идет о приборе японской марки JEOI JXA-5 A). Лимит детекции рентгенового микроанализатора для отдельных элементов колеблется в размерах 50—100 ppm. Этим условиям в пирите и пирротине:

\* Акад. Проф. др. Б. Ц а м б е л, Др. геол. наук, Доц. др. Я. Я р к о в с к и й, канд. геол. наук, Кафедра геохимии, Университет им. Коменского, ул. Паулины-Тота 1, Братислава; др. Й. К р и ш т и н, канд. геол. наук, Лаборатория микрозонда, Хим.-технол. факультет Словачское высшее учеб. зав., Яска 1, Братислава.

соответствуют особенно никель и кобальт, прежде всего у пиритов и пирротинов из метаморфизованных руд или руд ликвационных, которые в общем имеют более высокое содержание никеля и кобальта и некоторых других элементов. У гидротермальных пиритов содержание кобальта и никеля часто колеблется ниже выше приведенного концентрационного лимита 50—100 ppm) и поэтому распределение никеля и кобальта в них не было возможно систематически изучать.

В халькопирите находятся более систематически выше приведенной концентрационной границы нижнего предела определмости следующие микроэлементы: Ag, Zn, Bi, Sn. У всех трех исследуемых сульфидов железа нельзя было исследовать содержание других микроэлементов, которые хотя и согласно спектрохимическим анализам, образуют состав этих кристаллов, но находятся ниже предела определмости метода. Речь идет о элементах Mn, Ti, V, Mo и др.

При условии более высоких концентраций этих и других элементов происходит возникновение гетерогенных включений и затем отдельные элементы имеют как изоморфное, так и гетерогенное положение в структуре минералов.

Заклучения этих исследований следующие:

1. Исследования микронзондом показали, что его применение дает большие возможности для разрешения вопросов однородности и неоднородности кристаллов и форм нахождения микроэлементов в них, благодаря широким возможностям использования приведенного прибора. Например с помощью так называемой композиции (скэна) получаем на основании отраженных электронов информации о минеральном составе образца. По топографии, на которой изображается рельеф минералов подчеркнута мы получаем информации о относительной твердости минералов и их когезивных (шлифовочных) и других характерных чертах. Площадная, линейная и точечная анализы предоставляют данные о распределении элементов в минералах в любом месте кристаллов, по размерам колеблющимся от 0,25 микронов до площади  $330 \times 330$  микронов. Для использования метода линейного анализа (профилирование) можно получить данные до 25 мм.

Новые и большие возможности, но пока недостаточно используемые, открываются при изучении относительно электрической проводимости минералов. Предоставляется также большая возможность менять условия измерений, что авторы наглядно доказали на исследовании структурных модификаций пирротина.

Результаты можно на микронзонде фотографически документировать и с помощью записывателя можно в течении самого процесса исследования визуально наблюдать. Большой выгодой является также то, что исследования можно повторять, образец остается неповрежденным и его можно сохранить для дальнейших исследований или как сравнительный материал.

2. Исследования авторов указывают также на то, что изучение выступающих форм микроэлементов в рудных минералах можно с успехом проводить комбинированно на халькографическом и электронном микроскопе, а также на электронном микронзонде — прямым исследованием аншлифов или образцов отсепарированных как мономинеральная фракция — часть которых была спектрохимически или другими химическими методами анализированы.

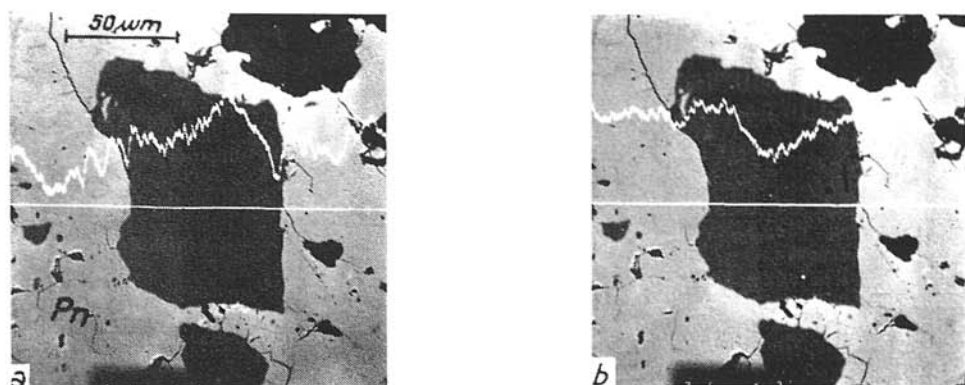
3. На электронном микрозонде предоставляется возможность относительно точно определять серу и железо в пирите, пирротине и халькопирите с использованием сравнительного стандарта гомогенного пирита. В нашей работе мы использовали пирит из Эльбы. При удачном приспособлении условий анализов оказалось, что содержание этих элементов можно определять и в гексагональном и моноклинном пирротине после предварительного их определения воздействием (травлением) различными реактивами (таб. 1).

4. Определение содержания микроэлементов в сульфидах железа можно проводить на микрозонде только в таком случае, если их содержание больше, чем 50—100 ppm. Поэтому авторы ограничились только количественным определением и оценкой содержания только Ni и Co в пирите, и в пирротине, Ag, Zn, Sn в халькопирите, которых содержание проявляется более систематически в этом минерале и превышает нижний предел определимости методом электронного микрозонда.

5. Для определения микроэлементов Ni и Co использовался в качестве сравнительного стандарта чистый металлический никель и кобальт, которые используются специально для этих целей. Но оказалось, что использованием элементарного металла как стандарта получаем систематическое отклонение результатов при их сравнении с результатами спектрохимического анализа. Поэтому авторы считают, что лучше и правильнее использовать естественный

Таблица 1. Таблица точечных анализов железа, серы, никеля и кобальта в структурных модификациях пирротина (гексагональной, моноклинной) на месторождении Гельпа (обр. 94/S), проведенных по двум профилям аншлифа после их определения с помощью травления (документационный материал др. Я. Кантора)

| % Fe      | % S     | Модиф. | % Ni   | % Co    | № точки измерений |
|-----------|---------|--------|--------|---------|-------------------|
| 59,99     | 39,20   | мон.   | 0,21   | 0,08    | 1                 |
| 60,15     | 39,17   | мон.   | 0,23   | 0,04    | 2                 |
| 60,27     | 39,40   | мон.   | 0,24   | —       | 3                 |
| 60,17     | 39,20   | мон.   | 0,26   | 0,05    | 4                 |
| 60,35     | 39,05   | мон.   | 0,27   | —       | 5                 |
| 60,02     | 38,98   | мон.   | 0,25   | 0,03    | 6                 |
| 60,15     | 39,12   | мон.   | 0,27   | 0,05    | 7                 |
| Ø 60,16/7 | 39,16/7 |        | 0,25/7 | 0,036/7 |                   |
| 60,30     | 38,79   | гекс.  | 0,20   | —       | 1                 |
| 60,75     | 38,76   | гекс.  | 0,19   | —       | 2                 |
| 60,53     | 38,90   | гекс.  | 0,20   | 0,02    | 3                 |
| 60,48     | 38,50   | гекс.  | 0,17   | —       | 4                 |
| 60,98     | 38,60   | гекс.  | 0,21   | —       | 5                 |
| 60,85     | 38,50   | гекс.  | 0,21   | —       | 6                 |
| 60,88     | 38,70   | гекс.  | 0,17   | —       | 7                 |
| 60,81     | 38,40   | гекс.  | 0,19   | —       | 8                 |
| 60,62     | 38,20   | гекс.  | 0,20   | 0,02    | 9                 |
| Ø 60,68/9 | 38,59/9 |        | 0,19/9 | 0,004/9 |                   |



Фиг. 1. Малые Карпаты, Пезинок, обр. 85, Пиритовая штольня, амфибольшульфидный тип руды.

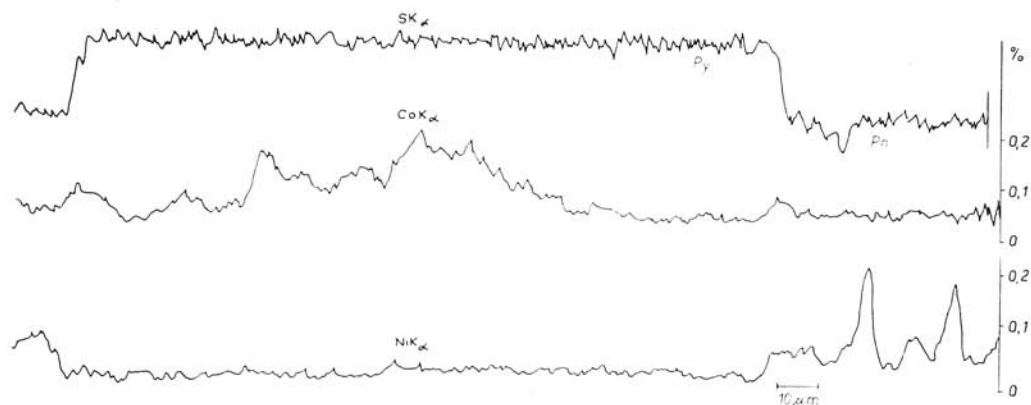
*a* — фотография композиции, показывающая вдавливание пирита (Py — темносерый), пирротинном (Pn — светлосерый) с линейной записью распределения никеля (NiKα). Увел 300 ×.

*b* — фотография композиции с линейной записью распределения кобальта (CoKα).

гомогенный пирит, пирротин, а также халькопирит, которые заранее были хорошо проанализированы стандартными методами на предмет определения вышеприведенных элементов, которые бы так послужили как естественные стандарты для анализа.

При исследовании средних результатов полученных спектрохимическим методом уже опубликованных Б. Цамбелом и Я. Ярковским (1967, 1969, 1974), а также при сравнении с многочисленными результатами анализов, опубликованных иностранными авторами, результаты, полученные на микрозонде являются как у Ni, так и у Co более или менее завышены. Но не такая картина получается у результатов Др. А. Шнайдер из Геттингена, который использовал в качестве стандарта естественный пирротин. Этот факт необходимо взять во внимание и проследивать в дальнейшем во время методическо-аналитических работ. Источником аналитических несогласий может быть также и то, что результаты не совсем хорошо сравниваются, в случае если мы сравниваем небольшое количество анализируемого вещества микрозондом (что вообще-то представляет собой весьма незаметную часть вещества) по сравнению с большим количеством вещества, которая была анализирована спектрохимическим методом. Дальнейшим фактором, способствующим различию в результатах анализов, может быть действительность, что стандарт металлического элемента (никеля и кобальта) не может полностью коррелировать с тем же элементом, находящемся в очень низких концентрациях (напр. в сотых долях %) в минералах, в которых измерения находятся под влиянием также и других элементов кристаллической структуры минерала.

6. Измерения микрозондом подтверждают исследования, проведенные до сих пор спектрохимически. Речь идет о следующих результатах: в пирите сосредотачиваются в условиях метаморфизма кобальт а в пирротине никель (фиг. 1). Никель и кобальт являются как правило изоморфными элементами



Фиг. 2. Кривая распределения серы ( $SK\alpha$ ), кобальта ( $CoK\alpha$ ) и никеля ( $NiK\alpha$ ) в пирите (Py) и в пирротине (Pn), зарегистрированная записывателем перпендикулярно на линию скэна на фиг. 1.

кристаллических структур пирротина и пирита, но их распределение не должно быть всегда равномерным. Иногда можно наблюдать зональное или неравномерное (фиг. 2) обогащение приведенных микроэлементов и кристаллах или в некоторых их частях (в центре или на окраине). Наблюдалась также и аккумуляция Ni-минерала в трещинах пирита (фиг. 3) и распад изоморфного никеля в пирротине (фиг. 4).

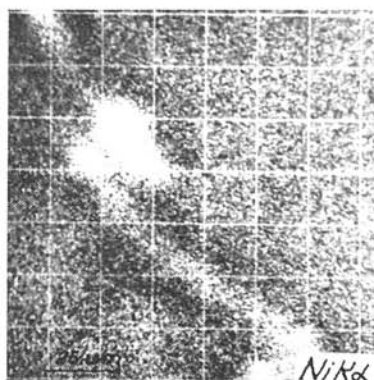
Фактические данные точечных анализов по содержанию Ni и Co показывают нам самую лучшую картину о различиях в концентрации этих элементов в отдельных частях кристаллов пирита и пирротина (таб. 2, фиг. 5, 6).

7. Относительно неравномерное распределение Sn, Ag, Zn и других микроэлементов проявляется в халькопиритах, у которых можно эти отклонения наблюдать и на основании точечных анализов дефокусным электронным лучом (возбужденная площадь несколько десятков микронов квадратных) (фиг. 7). Также распределение по площади рентгенового спектра данного элемента как и линейные записи или на сканирующем записывателе (скэн) или на записи с помощью записывателя (кривые концентрации), нам представляют информации о гомогенном или негетогенном нахождении элементов в кристаллических структурах исследуемых минералов. Особенно в халькопиритах (фиг. 8) при повышенном содержании образуют ультрамикроинклюдции с более высоким содержанием олова, или же серебра, цинка и так далее. Разрешение этого вопроса находится еще только в начальной стадии исследовательских возможностей (электронный парамагнетический резонанс).

8. Элементы Mn, Ti, V, Mo, и другие (Cu, Bi), которые постоянно присутствуют в количествах ниже лимита определяемости микрозондом, но которые более легко определяются спектрохимически, находятся в изучаемых минералах в виде некоторых возможных форм распределения, которые надо далее изучать. В процессе изучения микрозондом по сути не нашлось никаких постоянно находящихся микро- и субмикроинклюдций минералов этих элементов. Это дает возможность предполагать что форма нахождения этих



Фиг. 3. Малые Карпаты, Августин штольня, графит-кварц-сульфидный тип руды, обр. 89. Разделение никеля ( $NiK\alpha$ ) в пирите с инклюзией Ni-минерала скелетного вида, которая заполняет нарушения в кристалле пирита. Увел.  $200\times$



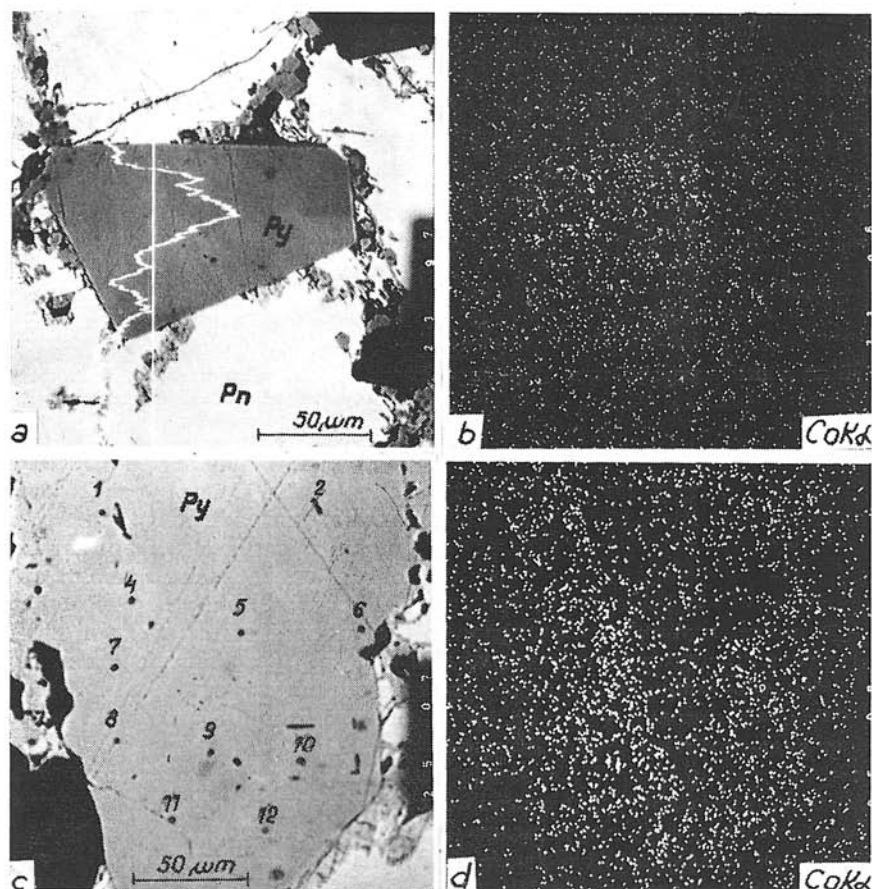
Фиг. 4. Малые Карпаты, Августин штольня, кварц-сульфидный тип руды, обр. 448. Разделение никеля в пирротине ( $NiK\alpha$ ). Объяснения: на фотографии можно видеть стадию отмишривания изоморфного никеля из структуры пирротина в гетерогенную фазу, т. е. во включения самостоятельного Ni-минерала. Темные обрамления вокруг возникающих включений — места с относительно низким содержанием никеля. Увел.  $400\times$ .

элементов гомогенна в сульфидах железа, так например, в различных до сих пор невыясненных формах распределения.

9. Авторы убедились, что структура минералов в природе не бывает идеальной и что понятие гомогенности минералов является понятием относительным, и что это зависит в большей мере от методов исследования и от

Таблица 2. Таблица точечных анализов железа, серы, кобальта и никеля, проведенных на 12 местах (точках) зерна пирита из месторождения Малые Карпаты (№ образца 132, тип руды: кварц-сульфидный) документированного на фиг. 5 с

| Точка измерения | % Fe  | % S   | % Ni | % Co |
|-----------------|-------|-------|------|------|
| 1               | 46,36 | 55,34 | 0,11 | 0,04 |
| 2               | 46,02 | 55,20 | 0,33 | 0,04 |
| 3               | 46,14 | 55,43 | 0,29 | 0,05 |
| 4               | 46,11 | 55,35 | 0,32 | 0,05 |
| 5               | 46,46 | 56,41 | 0,13 | 0,05 |
| 6               | 46,00 | 55,66 | 0,42 | 0,04 |
| 7               | 46,23 | 56,09 | 0,52 | 0,05 |
| 8               | 46,09 | 55,98 | 0,33 | 0,04 |
| 9               | 45,76 | 55,72 | 0,37 | 0,05 |
| 10              | 46,49 | 56,21 | 0,15 | 0,05 |
| 11              | 46,31 | 56,36 | 0,29 | 0,06 |
| 12              | 46,31 | 55,43 | 0,25 | 0,05 |
| Ø. 12           | 46,19 | 55,77 | 0,29 | 0,05 |



Фиг. 5. Малые Карпаты, Пезинок, компактная кварц-сульфидная руда, скважина около больницы, обр. 132.

*a* — Фотография композиции порфиробласта пирита (Py — темный) оттесненного пирротинном (Pn — светлый) с кривой центрации кобальта (CoKα). Объяснения: Скелетоподобные образования — марказит как продукт измененного пирротина. Увел. 300 ×.

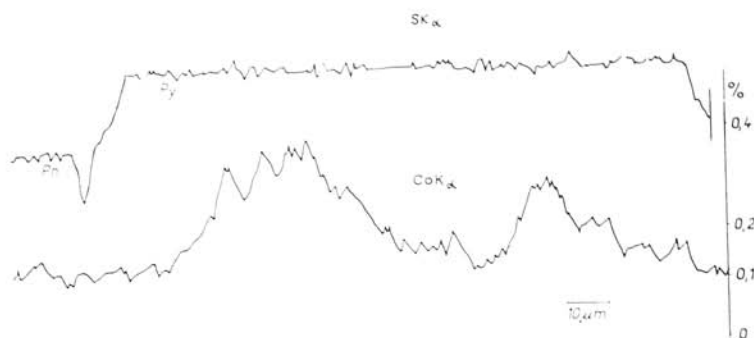
*b* — То же самое. Распределение кобальта (CoKα).

*c* — Фотография композиции пирита (Py) с обозначенными точками (1—12) где был проведен точечный количественный анализ (см. таб. 2). Увел. 300 ×.

*d* — То же самое. Распределение кобальта (CoKα). Увел. 300 ×.

совершенности приборов. Поэтому нельзя предполагать в абсолютном смысле слова гомогенность кристаллов. Авторы считают такой кристалл гомогенным, в котором даже при большом увеличении не обнаружены инклюзии или вращение других минеральных фаз.

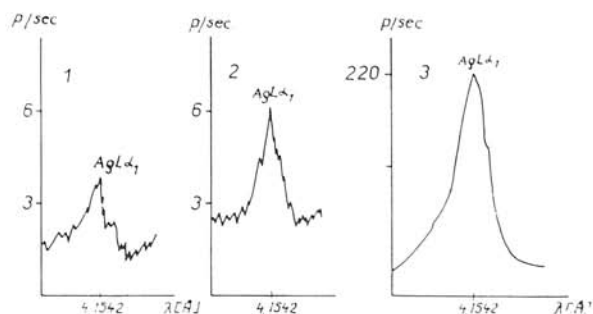
В процессе исследования было получено много примеров однородности и неоднородности кристаллов — или гомогенного или негомогенного нахождения элементов в структурах кристаллов. Изоморфность является более узкой кристаллохимически зависимой формой гомогенности кристаллов.



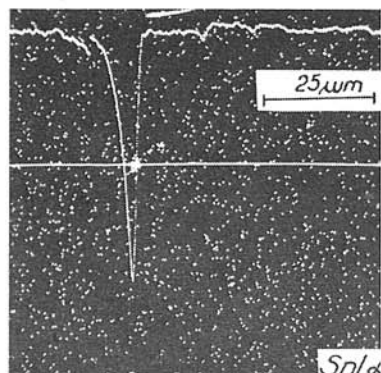
Фиг. 6 Кривая концентрации серы ( $SK\alpha$ ) и кобальта ( $CoK\alpha$ ) в пирите (Py) и пирротине (Pn), сделанная записывателем перпендикулярно на линию скана, обозначенную на фиг. 5 а.

Изоморфное замещение первоначальных составных компонентов структуры минералов другими компонентами не должна быть всегда равномерной. Кристаллохимическая зависимой формой нахождения элементов считаем такую форму, которая ведет в определенной мере и к количественным неравномерностям содержания определенного элемента в определенных частях кристаллов, например к возникновению зонального строения или способствует постепенному скоплению или понижению содержания заместителя в определенных частях кристаллов (фиг. 9). Существуют и постепенные переходы гомогенной структуры минерала до возникновения самостоятельной минеральной фазы. После этого, наряду с гомогенной формой возникает гетерогенное нахождение элементов в минерале (фиг. 4).

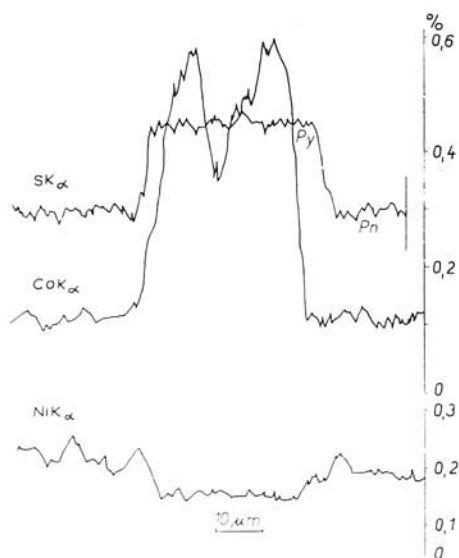
В природе можно наблюдать гомогенность макроскопически и такую которую можно определить только технически сложными приборами оптический микроскоп, электронный микроскоп, микрозонд). Авторы имеют в своем документационном материале много примеров форм существования гетеро-



Фиг. 7. Запись интенсивности серебра  $AgL\alpha$  с помощью записывателя в халькопирите из различных месторождений (1, 2, 3). Объяснения: На вертикальной оси показанное количество пульсов в секунду обозначает, что после отсчитывания фона можно определить относительное содержание серебра исходя из высоты пиков, которые прямо зависят от содержания этих элементов в халькопирите.



Фиг. 8. Смоляник, халькопирит, обр. 46, распределение олова ( $\text{SnL}\alpha$ ) в халькопирите с линией олова. Увел. 600  $\times$ .



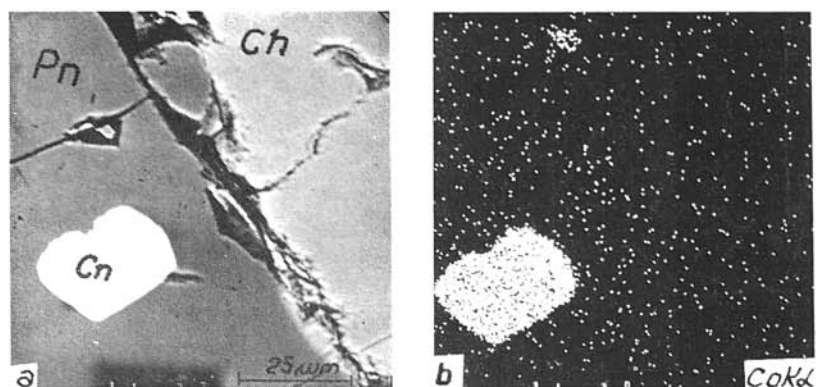
Фиг. 9. Гельпа, зап. месторождение, контакт руды со слюдяными сланцами, обр. 213. Линейная запись распределения никеля ( $\text{NiK}\alpha$ ), кобальта ( $\text{CoK}\alpha$ ) и серы ( $\text{SK}\alpha$ ) в пирите (Py) и пирротине (Pn). Пример зонального распределения кобальта в пирите.

генного нахождения минералов в результате многочисленных инклюзий чужеродных минералов (фиг. 10).

10. Авторы также изучали и ультрамикроструктуры минералов, которые выражаются в нарушении строения кристалла, в чередовании блокового, т. е. механического, физически более гомогенного строения со строением нарушенного и расчлененного на частицы, доходящего до коллоидных размеров.

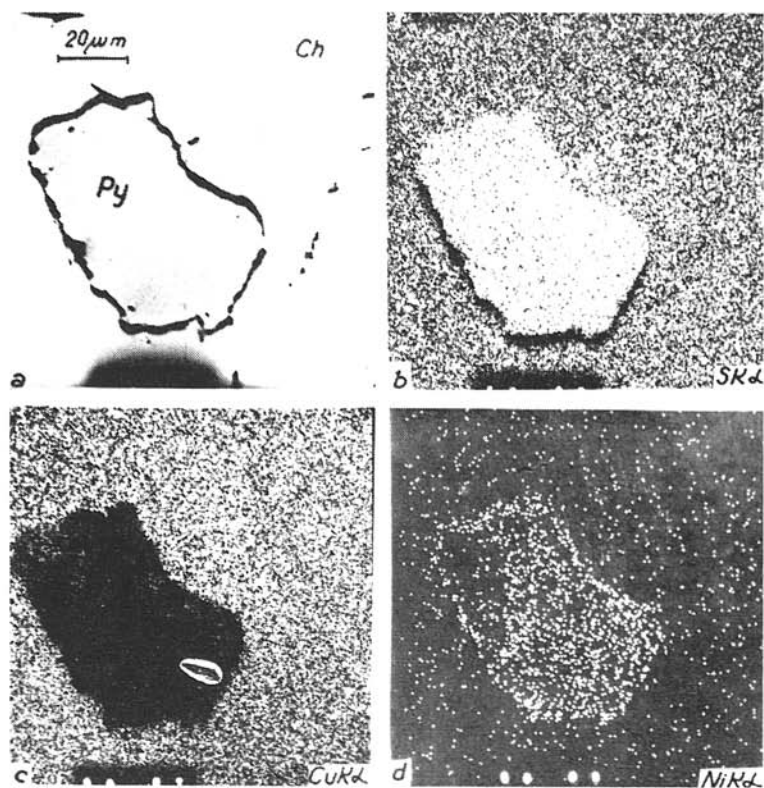
Кристаллы содержат разные нарушения, пустоты, включения первоначальных старых структур, коллоидных, глобулярных и т. д. Эти микро- до ультрамикроструктуры дают возможность захватывать различные элементы, молекулы их соединений или даже их кристаллические фрагменты минеральных фаз внутри кристаллических зерн. Поэтому кристаллы полны самых различных примесей всяких элементов, которые в естественном кристалле находятся — более менее равномерно, но не образуют самостоятельную минеральную фазу. Мы здесь говорим о гомогенной форме распределения элементов, без возможностей более точного определения способа и характера их захватывания кристаллической структурой данного минерала.

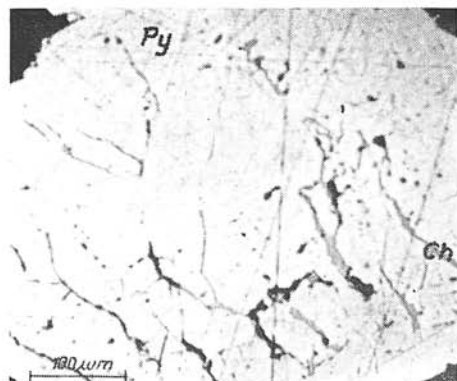
Авторы попытались определить предел концентрации до которого элемент: еще играют какую-то роль в структурах кристаллов без нарушения их однородности или же при какой концентрации уже начинают образовывать самостоятельную фазу. Обнаружили, что у элементов Ni и Co которые представляют собой участки структуры пирита, пирротина но и халькопирита,



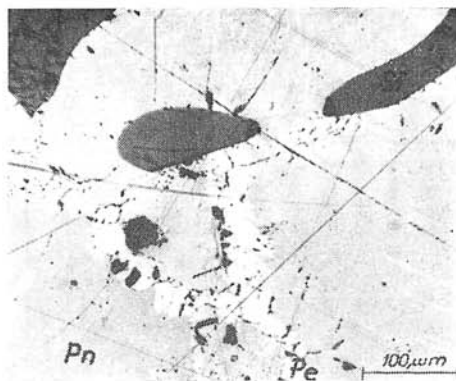
Фиг. 10. Садберри, ликвационный тип руды, обр. 22

*a* — Фотография композиции пирротина (Pn — темносерый) и халькопирита (Ch — светло-серый). В пирротине находится включение вероятно кобальтина (Cn — белый). Увел. 600 $\times$ .  
*b* — То же самое. Распределение кобальта (CoK $\alpha$ ) в кобальтине (?), пирротине и халькопирите.





Фиг. 12. Смолик, Колхоз. Халькографическая фотография пирита (Py) с прожилками халькопирита (темносерые), параллельно никелю, увел 160  $\times$ .



Фиг. 13. Садбери, Гарди Майн. Халькографический снимок пирротина (Pn) с пентландитом (Pe — светлосерый) в виде пластинок и пламевидных включений; сфалерит (Sf — темносерый); параллельные никели, увел. 160  $\times$ .

может быть разнообразие нахождения этих элементов в структуре минералов. Поэтому нельзя всегда с уверенностью, в каждом случае определить форму их нахождения в кристаллах. Например, в отдельных случаях в рамках одного кристалла пирротина может никель иметь частично изоморфное положение, частично неизоморфное положение (фиг. 4).

11. Результаты показали, что микроэлементы никогда не находятся в равновесии с макрокомпонентом в структурах минералов. Это значит, в таком случае, что взаимоотношение содержания микроэлементов и макроэлементов изменчиво и от случая к случаю специфично, могут также обнаруживаться различные аномальные содержания изоморфно представленного микроэлемента. Например, большинство гидротермальных пиритов имеет низкую концентрацию изоморфных Ni и Co (п.  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  %), эти содержания большей частью бывают ниже лимита их определяемости на рентгеновом микроанализаторе. Но все же и между гидротермальными пиритами нашлось несколько примеров, где было обнаружено повышенное содержание никеля и кобальта, или хотя бы одного из этих элементов, или и других элементов (например As, Cu). Примеры этих более менее исключительных случаев в этой статье на фиг. 11. То же самое мы можем сказать и о Zn, Co, Ni, Cd, Sn в халькопиритах. Эти исключительные примеры заставляют думать, что

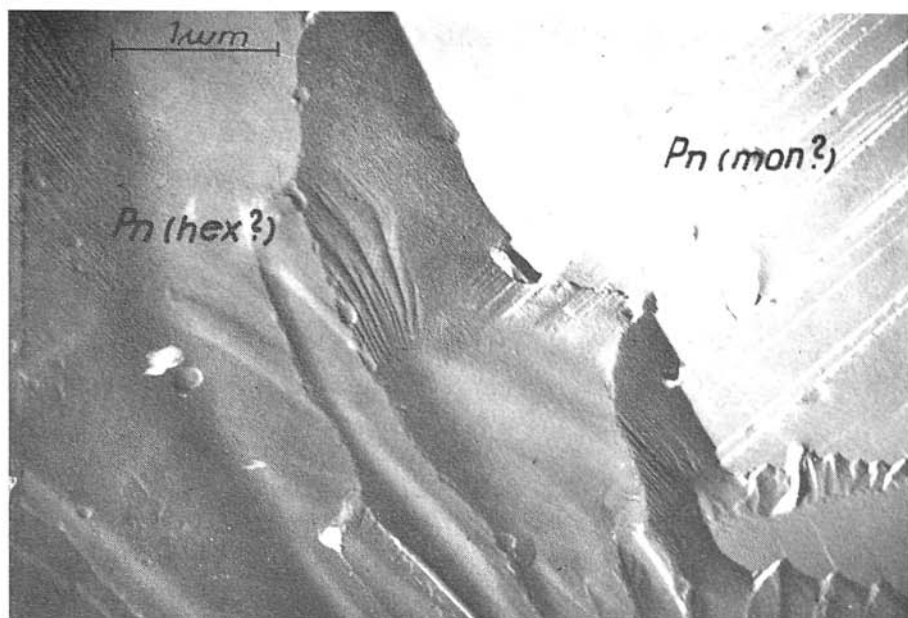
Фиг. 11. Миттерберг (Австрия), гидротермальный халькопирит с включениями пирита. обр. 413.

a — Фотография композиции пирита (Py) в халькопирите (Ch), Увел 600  $\times$ .

b — То же самое. Распределение серы (SK $\alpha$ ) в халькопирите и пирите.

c — То же самое. Распределение меди (CuK $\alpha$ ) в халькопирите и пирите.

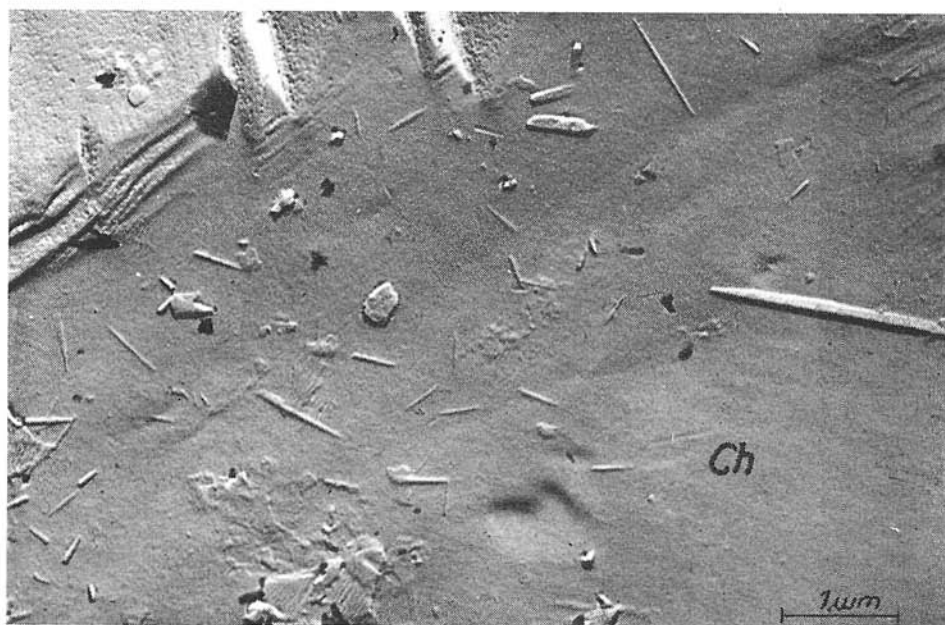
d — То же самое. Частичное зональное распределение никеля (NiK $\alpha$ ) по краям пиритовых зерен.



Фиг. 14. Пекло около Гары (Чехия), обр. 130. Электронная микрофотография пирротина. Вероятно, показан «контакт» гексагонального пирротина (темная часть) с пирротинном моно-клинным (светлая часть), где на нарушениях и трещинах сосредоточены микроинкклюзии другого минерала, вероятно петландита, как это было обнаружено микрозондом.

при определенных специфических физикально-химических условиях и особенно при повышенной концентрации приведенных элементов в растворах (что доказано парагенезисом минералов в руде) может в структуру минералов попасть особенно высокое содержание различных микроэлементов путем одной из форм гомогенного рассеивания элементов, т. е. без образования инклюзий и форм вставания самостоятельных фаз в материнском минерале.

12. Приведенные исследования предоставляют большую возможность диагностики путем обогащения или же получения и использования некоторых микроэлементов из пирита, пирротина и халькопирита, что может иметь практическое значение при комплексном использовании руд из полученных концентратов отдельных минеральных фракций. С этой точки зрения также важно определить, имеет ли микроэлемент гомогенную или негомогенную форму нахождения в минералах. В случае негомогенной (гетерогенной) формы нахождения, т. е. в форме инклюзий, вставаний и перерастаний различных минеральных фаз авторы определяли также формы, величину и общий характер микроинклюзий под электронным микроскопом на площадках излома кристаллов или на электролитически травленных аншлифах, а также и при использовании их определения с помощью халькографического микроскопа. Комбинацией этих методов с методами исследования на микрозонде (площадной, линейный и точечный анализы) приводит к относительно положительным результатам. Примером использования этих дополнительных методов могут служить фиг. 12, 13, 14, 15.



Фиг. 15. Злате Горы, Модра штольная, обр. 168. Электронная микрофотография халькопирита с микроинклюзиями неизвестного минерала игольчатой формы (двухступенчатая Au + Pd-реплика), увел. 15 000  $\times$ .

Перевод О. ЧОРНОЙ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- CAMBEL, B. — JARKOVSKÝ, J. 1967: *Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei*, Bratislava, Vydavateľstvo Slov. akad. vied, 493 p.  
CAMBEL, B. — JARKOVSKÝ, J. 1969: *Geochemistry of pyrrhotite of various genetic types*, Bratislava, Univerzita Komenského, 333 p.  
CAMBEL, B. — JARKOVSKÝ, J. 1974: *Geochemistry of chalcopyrite*, Acta geol. geogr. Univ. Comen. (Bratislava), 27, p. 5—165.

Рецензия И. РОЙКОВИЧА.