

## Regularidades de la distribución y condiciones de formación de los yacimientos tipo "Lentes Piritosas" en el anticlinorio de Trinidad

A. E. Tolkunov, Y. A. Bolotin,  
R. Cabrera, A. Maximov y  
D. P. Zarianov

### Introducción

Los yacimientos que de ahora en adelante llamaremos tipo **lentes piritosas**, son conocidos en la literatura rusa como "colchedán" que no se puede traducir simplemente como piríticos, ya que indica un tipo específico que se caracteriza por sus condiciones de yacencia y composición. En la literatura inglesa se les conoce como **Cupryferous pyritic deposits**, en la alemana como **Kieslagerstätten** y en la francesa como **Amas pyriteux**.

Los yacimientos tipo lentes piritosas, generalmente, son cuerpos minerales que están representados en lo fundamental por sulfuros de hierro (pirita, marcasita, melnicovita, pirrotina) y menor cantidad de sulfuros de otros metales: cobre, zinc, plomo, etc. La zona mineral incluye además minerales no metálicos (cuarzo, carbonato, barita, sericita, clorita y yeso). Dentro de estos yacimientos se dividen varios tipos: piritosulfurosos (cuando los cuerpos minerales contienen sulfuros de hierro y los sulfuros de otros metales están ausentes o representan muy poca cantidad); cupro-piritosos; esfalerito-piritosos y polimetálico-piritosos, si en la mena se concentran cantidades elevadas de sulfuros de uno o varios metales. Con frecuencia de ellos se extraen, al mismo tiempo, oro, plata, plomo, bismuto, arsénico, cadmio, selenio, telurio, germanio, galio, barita y yeso.

Estos yacimientos, como regla, se distribuyen en las formaciones vulcanógenas, en el estadio temprano del desarrollo geosinclinal de las regiones minerales y se forman en relación directa con la actividad de los volcanes (Smirnov, 1968

y 1969). La forma de los cuerpos minerales y las particularidades de la estructura interna de los mismos corresponden al metamorfismo de las rocas encajantes. En las rocas poco metamorfizadas, los cuerpos minerales forman "stocks" de sulfuros con estructura colomórfica. En los esquistos estos cuerpos piritosos tienen forma de lentes y también de capas con sulfuros cristalinos (Smirnov, 1969).

Los yacimientos sulfurosos del anticlinorio Trinidad, que analizaremos más adelante, los asociamos al tipo de lentes piritosas, pero sus condiciones de formación los diferencian un poco de los típicos yacimientos de lentes piritosas. En la zona de desarrollo de estos yacimientos no hay manifestaciones de vulcanismo.

Los cuerpos minerales yacen en los esquistos carbonato-grafíticos y otros. Los cuerpos piritosos tienen forma de lentes concordantes, pero las menas están caracterizadas por una estructura colomórfica y se formaron a partir de soluciones hidrotermales con temperaturas de 340–110°. En relación con esto los yacimientos de pirita del anticlinorio Trinidad presentan un problema interesante.

Durante el prolongado proceso de los trabajos de exploración, explotación y estudio de estos yacimientos, se han reunido grandes cantidades de materiales, pero un trabajo más detallado aún de exploración se realizó por V.E. Gorielov y otros, (1964), Y. A. Bolotin, (1968, 1969), que hicieron estudios detallados en los principales yacimientos. A. A. Maximov y otros (1968), prepararon un mapa geológico para la zona de desarrollo de los yacimientos Carlota y

Guachinango. En el año 1967 se estudiaron las incógnitas sobre la geología y génesis de estos yacimientos por A. E. Tolkunov y R. Cabrera Ortega (1969-1972). El examen detallado de las menas y la determinación de la temperatura de formación de los minerales los hicieron I. B. Dubrova y I. G. Maximova. Muchas muestras de rocas y menas se analizaron en diferentes laboratorios del Instituto de Geología de los yacimientos minerales, petrografía, mineralogía y geoquímica (IGEM) de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética.

Los autores usaron y valoraron los datos de M. M. Storova, T. Tbalchrelidsia, A. P. Yikova (Bolotin, 1968), P. A. Hill, 1958 y otros.

#### **Rasgos principales de la Geología del anticlinorium Trinidad.**

El anticlinorium Trinidad representa una de las grandes estructuras de la parte central de la isla de Cuba y tiene una construcción geológica muy compleja (Puscharovskiy y otros, 1967). Dentro de sus límites se divide el núcleo constituido por rocas metamórficas supuestamente de edad Jurásico (Judoley, Krasnov y otros, 1963; Furrázola-Bermúdez, Judoley y otros, 1964) y una elevación limitada que bordea el núcleo por el noroeste y está representada por rocas vulcanógeno-sedimentarias más jóvenes.

Los yacimientos de pirita considerados se distribuyen en el paquete metamórfico del núcleo del anticlinorium Trinidad y por eso en lo adelante sólo describiremos sus características.

En el plano, el núcleo tiene forma cercana a una elipse alargada en dirección transversal y se extiende hasta casi 90 kilómetros. En un corte Norte-Sur, el núcleo forma un pliegue anticlinal de unos 30 kilómetros de largo. La estructura más compleja la tiene la parte central, y una bastante simple es la de los flancos, aunque en sus límites existen estructuras de pliegues ondulados y fallados. Los yacimientos de pirita se distribuyen fundamentalmente en el flanco norte del núcleo del anticlinorium Trinidad, que forma un monoclinial, el cual está

compuesto por diferentes esquistos metamórficos, con un espesor general de unos cuantos miles de metros. Se separan principalmente en dos paquetes: la capa inferior la forman diferentes esquistos (cloríticos, actinolíticos, cuarzo-moscovíticos, carbonáticos y otros) dentro de los cuales también hay calizas marmolizadas y mármoles con grafitos.

Estas rocas se distribuyen principalmente en la parte sur de los yacimientos de lentes de pirita; el paquete superior, en la región donde están los yacimientos, lo forman rocas carbonáticas, fundamentalmente esquistos carbonáticos, calizas marmolizadas, mármoles, esquistos cuarzo-micáceo-carbonáticos, cuarzo-moscovíticos y otros. En general las rocas carbonatadas tienen un espesor de cerca de 2 300 metros, que yacen en el paquete principal; los esquistos cuarzo-micáceo-carbonáticos y otros de la parte superior, tienen un espesor de 1 600 metros (Fig.1).

En medio de estas rocas se mapean muchos intrusivos de composición peridotítica, transformados en serpentinitas y también de gabrodioritas esquistas y alteradas y dioritas porfiritas. Frecuentemente tienen forma de "stocks" pequeños, diques y cuerpos complejos en forma de "sill", que se formaron, al parecer, en el Cretácico Superior. Las manifestaciones del magmatismo de edad más joven se han observado hasta ahora sólo en la parte norte del anticlinorium Trinidad, en los límites del llamado Sinclinorium Central Cubano. Los esquistos metamórficos y las rocas intrusivas concordantes, buzan generalmente al Norte con ángulos hasta 80°. En el fondo de estas regularidades de la inclinación, se observan pliegues locales cortantes y longitudinales.

En los límites del flanco norte del anticlinorium se desarrollan fallas tectónicas longitudinales (subparalelas) y transversales (submeridionales). Las primeras se desarrollan cerca y forman una zona única de falla grande, en cuyos límites se distribuyen los intrusivos del Cretácico Superior y los yacimientos minerales. Las dislocaciones tectónicas longitudinales se desarrollan a expensas de los diferentes hori-

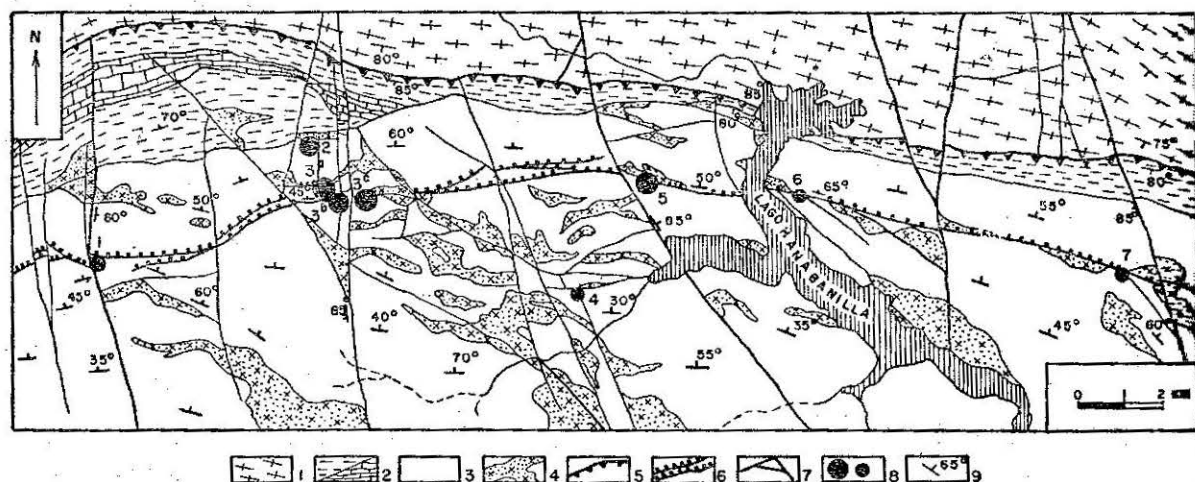


Figura 1

Esquema de la estructura geológica de la parte norte del anticlinorio Trinidad y posición de los yacimientos tipo lentes piritosas. 1) anfibolitas y esquistos cristalinos (epidoto-feldespato-hornbléndicos y otros) con intercalaciones de gneises moscovito-hornbléndicos; 2) esquistos cuarzo-carbonato-micáceos y calizas cristalinas esquistosas; 3) calizas esquistosas y marmolizadas, mármoles con intercalaciones de esquistos cuarzo-carbonato-micáceos con grafito; 4) intrusiones de dioritas y peridotitas intensamente alteradas; 5) falla regional que separa el complejo anfibolitas de los esquistos verdes; 6) falla principal, poco inclinada, controladora de la mineralización del anticlinorio de Trinidad; 7) fallas longitudinales de buzamiento suave y transversales abruptas; 8) yacimientos de lentes piritosas grandes y pequeños: 1-San Narciso, 2-Victoria, 3-Carlota (3<sup>a</sup> cuerpo No. 1, 3<sup>b</sup> cuerpo No. 3, 3<sup>c</sup> cuerpo No. 4), 4-Hanabanilla (La Batea), 5-Guachinango, 6-Siguanea, 7-Veguitas; 9) elementos de yacencia de las rocas, dirección y ángulo de inclinación de las fallas.

zontes de las rocas metamórficas y concordantes con las rocas encajantes buzcan hacia el Norte con ángulos de 30-80°.

Las dislocaciones transversales forman sistemas de fallas que buzcan abruptamente, casi verticales.

#### Particularidades de la estructura de las lentes piritosas

En los límites del flanco norte del sinclinorium de Trinidad ocurren tres grandes yacimientos (Carlota, Victoria, Guachinango) y unos cuantos más pequeños de menas piríticas, formando una zona mineral estrecha que se extiende Este-Oeste por más de 40 km (Fig. 1).

1. Posición geológica de los yacimientos. Todos los yacimientos están en una sola falla

grande (Fig. 1). En los límites de esta zona de falla, los yacimientos se distribuyen en sectores no muy grandes, donde se desarrollan dislocaciones tectónicas transversales, principalmente en las estructuras de pliegues y donde tiene lugar una alternación, por el perfil de horizontes de rocas, que se diferencian por sus condiciones físico-mecánicas y su composición petroquímica, en presencia de cuerpos de dolomitas y mármoles dolomitizados (Figs. 2-4, 6-8, 9, 10, 11).

Como demuestran los materiales reales, en la localización de la mineralización pirítica, tuvieron una gran influencia las estructuras de pliegues cortantes (Figs. 3, 7, 9). En los límites de las anomalías del paquete encajante, las lentes piritosas a menudo se localizan sólo donde existen pliegues ondulados longitudinales.

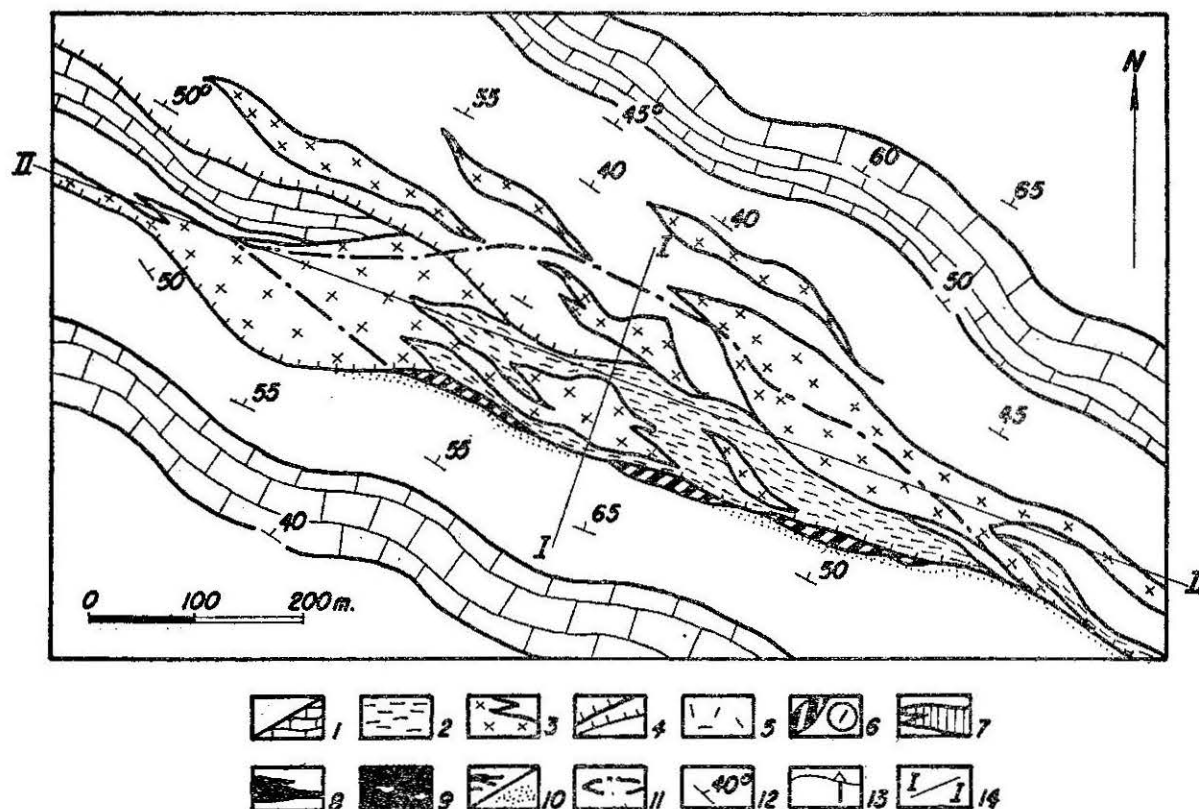


Figura 2

Esquema de la estructura geológica del yacimiento Guachinango. Plano. 1 — Calizas marmolizadas y esquistos, dolomita y mármol con grafito; 2 — Esquistos carbonato-micáceos con grafito y cuarzo-dioríticos; 3 — Intrusivos de dioritas, dioritas porfiritas y peridotitas intensamente alteradas y esquistadas; 4 — Dislocaciones tectónicas; 5 — Alteración hidrotermal; principalmente rocas dolomitizadas y cuarcificadas; 6 — Sombrero de hierro; 7-8 — Menas piritosas masivas y estratificadas: 7 — Piritosulfurosas con contenido bajo de cobre, zinc y otros metales; 8 — Menas de cobre-zinc; 9 — Restos de rocas no reemplazadas; 10 — Zonas de vetillas e impregnaciones; 11 — Proyección del cuerpo mineral en el plano horizontal; 12 — Elementos de yacencia de las rocas; 13 — Pozos de perforación y su número; 14 — Línea de perfil.

Naturalmente, no todos estos sectores están mineralizados, es necesario que se conjuguen los factores favorables. Junto a esto es importante la existencia de pantallas masivas, que están representadas por capas de esquistos o por cuerpos en forma de "sill", de las rocas intrusivas. A lo largo del contacto de estas rocas, con frecuencia se desarrollan dislocaciones tectónicas con suturas arcillosas que también, por lo visto, limitan la influencia de las soluciones mineralizantes. Si en el perfil existen varias pan-

tallas, a veces se desarrollan varios horizontes con mineralización piritica (Figs. 7, 8).

Las lentes piritosas frecuentemente se forman sólo donde, además de todos los factores favorables señalados, hay dolomita o caliza dolomitizada y mármoles cuarcificados (Figs. 2-4).

2. Rocas encajantes. Los yacimientos piriticos del anticlinorio Trinidad tienen una estructura geológica muy semejante (Figs. 2-4, 6-8, 10, 11). Están principalmente en calizas mar-



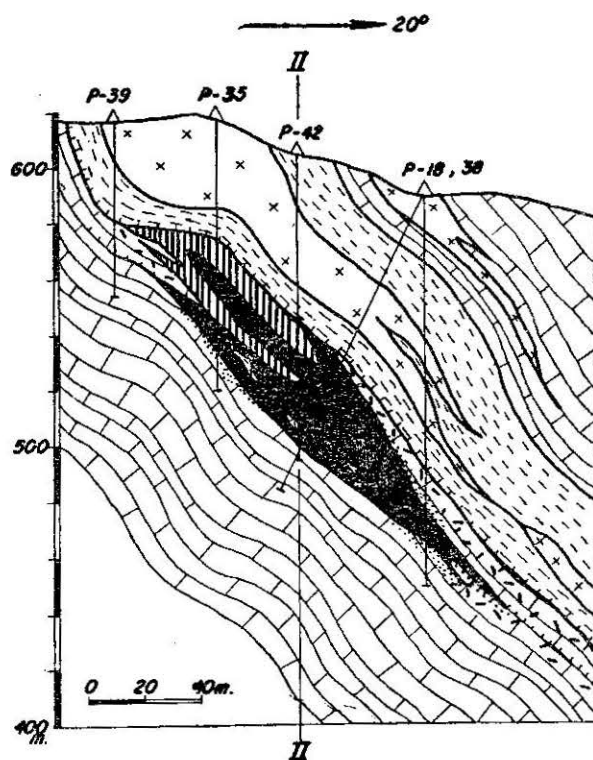


Figura 3

Perfil transversal (línea I-I). La leyenda es la misma de la figura 2.

molizadas y mármoles con grafito, menos en los esquistos carbonato-micáceos que contienen grafito, clorita y cuarzo. Entre ellos se mapean pequeños intrusivos muy alterados, y en lugares esquistosos de peridotitas, gabrodioritas y al parecer de dioritas porfiritas. Las calizas marmolizadas y los mármoles, a menudo son esquistosos, tienen una estructura granoblástica de grano medio y contienen hasta el 10% de sustancia carbonosa, o finas capas de grafito. En ellos se destacan aislados granos de cuarzo y escamas de moscovita. El grafito y la sustancia carbonosa se dispersan bastante uniformemente en toda la masa rocosa o se distribuyen por el límite de los granos de calcita. En algunos lugares estas rocas son esquistosas, y cerca de las dislocaciones tectónicas están alteradas y transformadas en esquistos.

En las zonas esquistosas diferenciadas se puede observar una alteración de capitas finas de calcita y de otros minerales que se diferencian por el tamaño del grano. El grafito forma en ellas cadenas y lentes orientadas concordantemente con la esquistosidad. En los esquistos, las maclas de los granos de calcita están deformadas y se observa una extinción

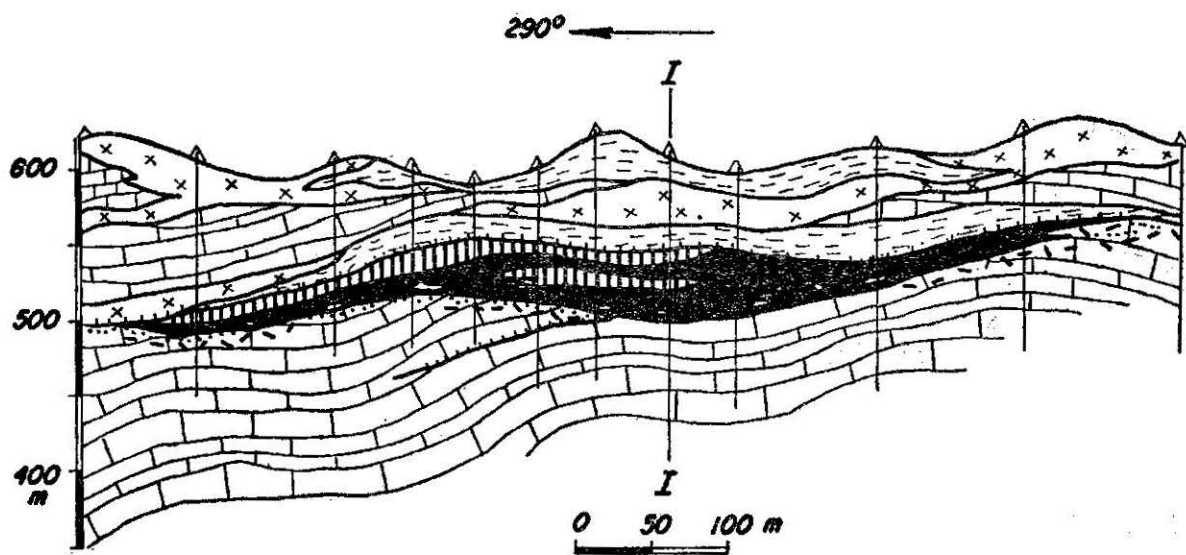


Figura 4

Perfil longitudinal (línea II-II). La leyenda es la misma de la figura 2.

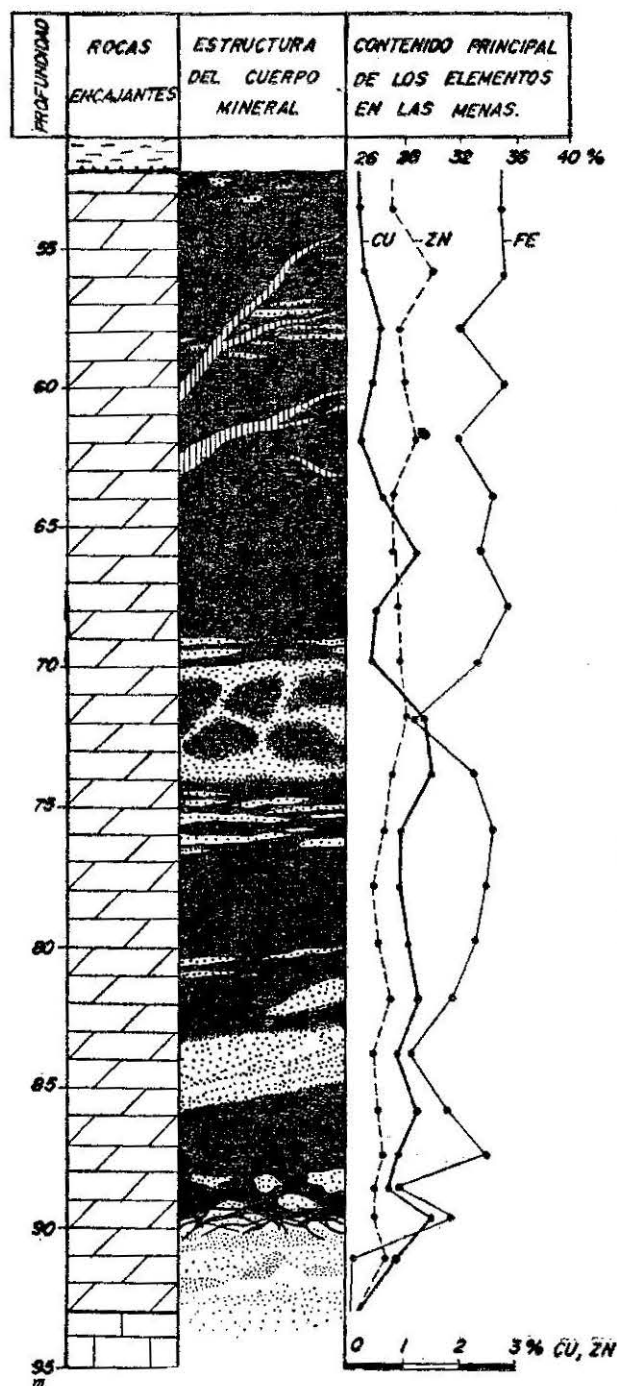


Figura 5

Estructura del cuerpo mineral del yacimiento Guachinango y cambio del contenido de los principales elementos en la mena con la profundidad (pozo 45, parte central del yacimiento).

- 1 — Posición de la perforación en el cuerpo mineral;
- 2 — Esquistos cuarzo-carbonatocálcicos con grafito;
- 3 — Dolomita;
- 4 — Calizas marmorizadas y mármol;
- 5 — Dislocaciones tectónicas;
- 6 — Menas piríticas masivas;
- 7 — Menas estratificadas;
- 8 — Menas moteadas;
- 9 — Vetillas;
- 10 — Menas diseminadas;
- 11 — Vetas y vetillas tardías de calcita y cuarzo con pirita y otros sulfuros;
- 12 — Restos de dolomita no sustituida.

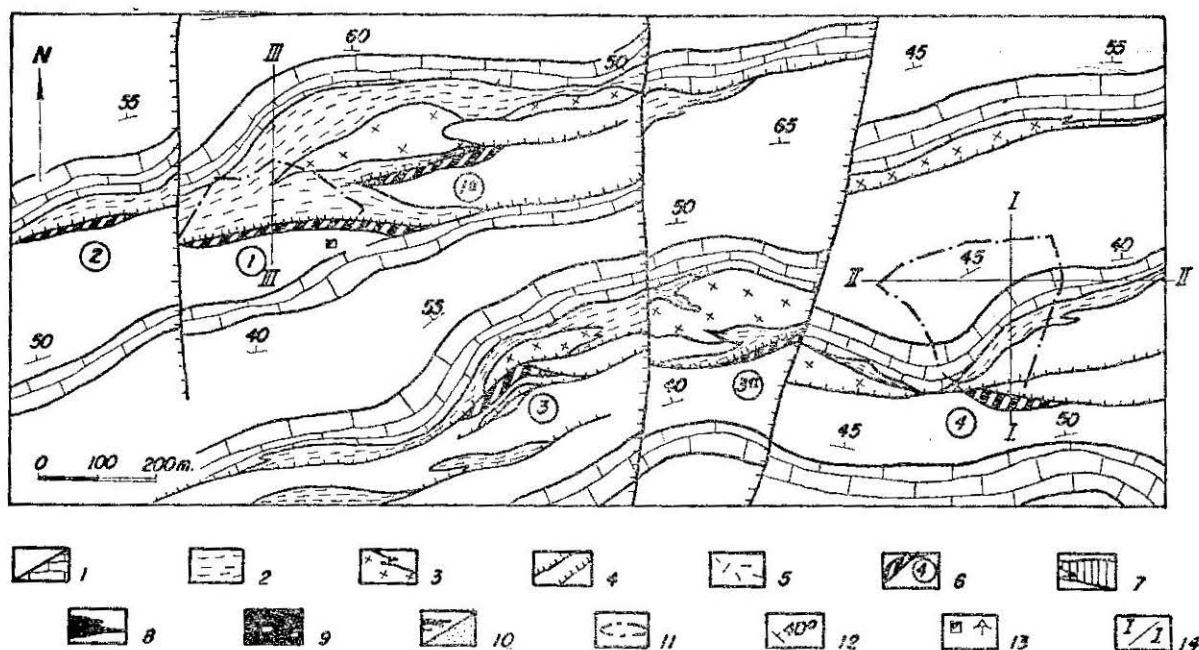


Figura 6

Esquema de la estructura geológica del yacimiento Carlota. Plano. 1 — Calizas marmorizadas y esquistosas, mármol con grafito; 2 — Esquistos carbonato-micáceos con grafitos, clorita y cuarzo; 3 — Intrusivos intensamente alterados y esquistados de dioritas, peridotitas y dioritas porfiríticas; 4 — Dislocaciones tectónicas; 5 — Alteración hidrotermal: principalmente rocas dolomitizadas y cuarzificadas; 6 — Sombreros de hierro y su número; 7-8 — Principalmente menas piríticas masivas y estratificadas: 7 — Pirito-sulfurosas con un contenido no muy alto de cobre, zinc y otros metales; 8 — Menas de cobre-zinc; 9 — Restos de rocas no sustituidas; 10 — Zona de impregnación y vetillas de sulfuros; 11 — Proyección del cuerpo mineral en la superficie horizontal; 12 — Elementos de yacencia de las rocas; 13 — Pozos, perforaciones y sus números; 14 — Línea del perfil.

ondulada. Los esquistos contienen una cantidad pequeña de cuarzo, moscovita, sericita, clorita, pirita y dolomita. Según los minerales predominantes, dentro de estas rocas se pueden separar esquistos grafito-cuarzo-carbonáticos, grafito-cuarzo-moscovito-carbonáticos, cuarzo-carbonáticos y otros, (Figs. 5-7).

Los pequeños intrusivos, en forma de "sill" de peridotita, convertidos en serpentinitas a menudo también están esquistosos. Su masa básica contiene antigorita, sobre la cual se desarrolla anfíbol decolorado de la serie actinolita-tremolita, dolomita e incluye relictos de lisardita y cromoespinelita. Estas rocas se des-

arrollan ampliamente al Oeste de la zona mineral, cerca de los yacimientos Victoria y Carlota.

Los intrusivos intraformacionales de gabro-diorita y probablemente dioritas-porfiríticas, están convertidos en esquistos verdes de plagioclasa y clorita (ortoesquistos). Al microscopio se ve que ellos están formados principalmente por albíta, actinolita y clorita. A veces, dentro de estas rocas se encuentran anfíbolitas epidoto-albíticas y epidoto-oligoclásticas, que tienen hornblenda (hasta 50%), albíta u oligoclasa (hasta 40%), epidota (hasta 15%), carbonato (hasta 7%), clorita (hasta 30%) y aisla-

dos granos de cuarzo-pirita y otros minerales. Cerca de los cuerpos minerales, a menudo están intensamente cloritizadas y transformadas en esquistos cloríticos. Los intrusivos de gabro-dioritas y dioritas porfiritas alteradas, se desarrollan principalmente en la parte este de la zona mineral, cerca de los yacimientos Guachinango, Siguaná y otros.

En los límites de cada yacimiento considerado (Figs. 2, 6, 10), se observan solamente diferencias en el espesor de los horizontes de esquistos y en la intensidad del desarrollo de los intrusivos de rocas básicas y ultrabásicas (Figs. 8-10).

3. Estructuras de pliegues y dislocaciones tectónicas. Las rocas metamórficas encajantes, conjuntamente con el monoclinal, buzcan al Norte (Norte, Noroeste, Noreste). El ángulo de buzamiento cambia de  $30^\circ$  hasta  $70^\circ$ . Esta regularidad general de la yacencia de las rocas metamórficas varía en los pliegues locales transversales y longitudinales (Figs. 2-4, 6-8, 10, 11).

Las rocas que componen estos yacimientos están divididas por dislocaciones tectónicas en pequeños bloques tectónicos, en los límites de los cuales se manifiesta indistintamente el magmatismo intrusivo y la mineralización pirítica

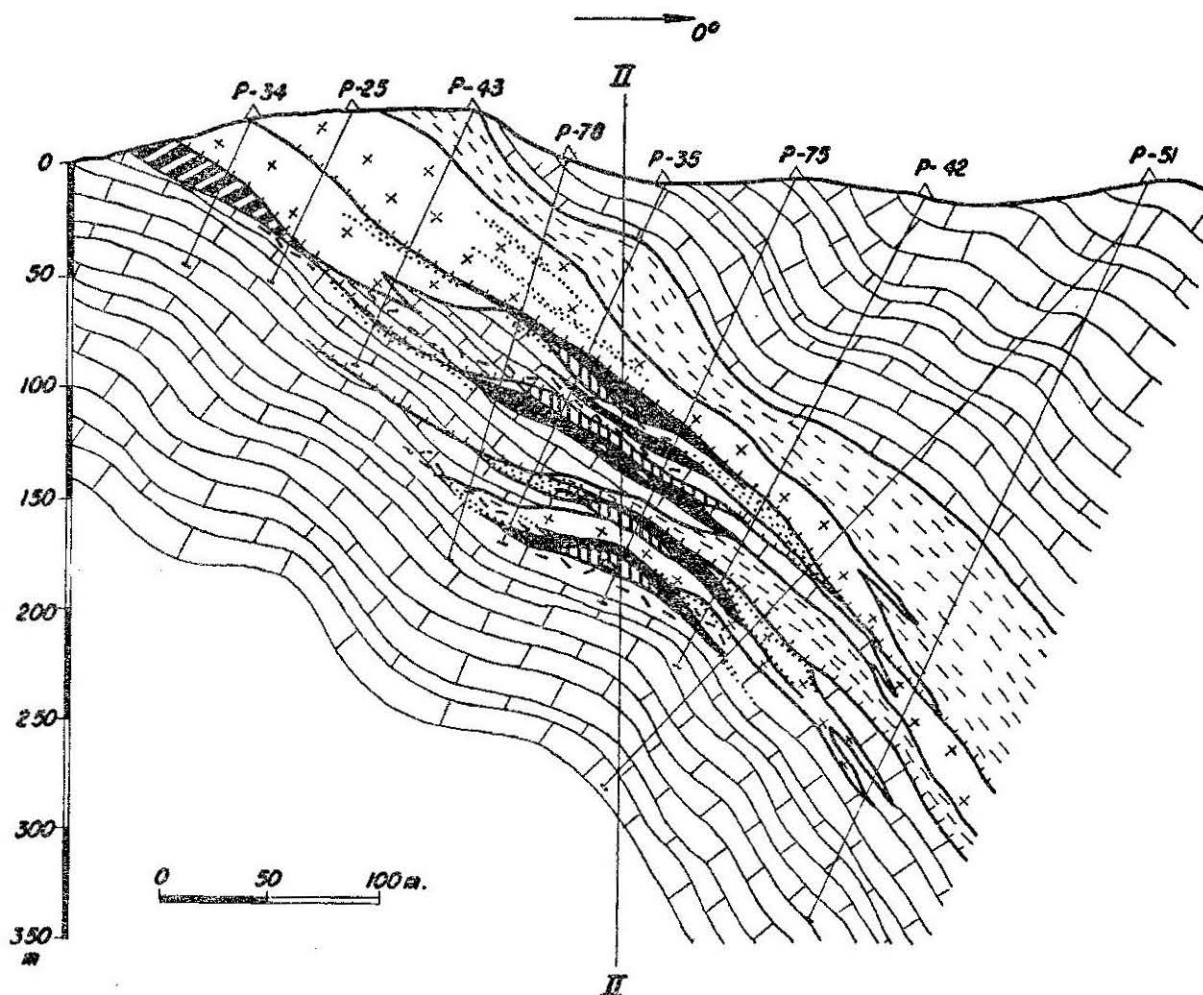


Figura 7

Perfil geológico transversal (línea I-I) La leyenda es la misma de la figura 6.



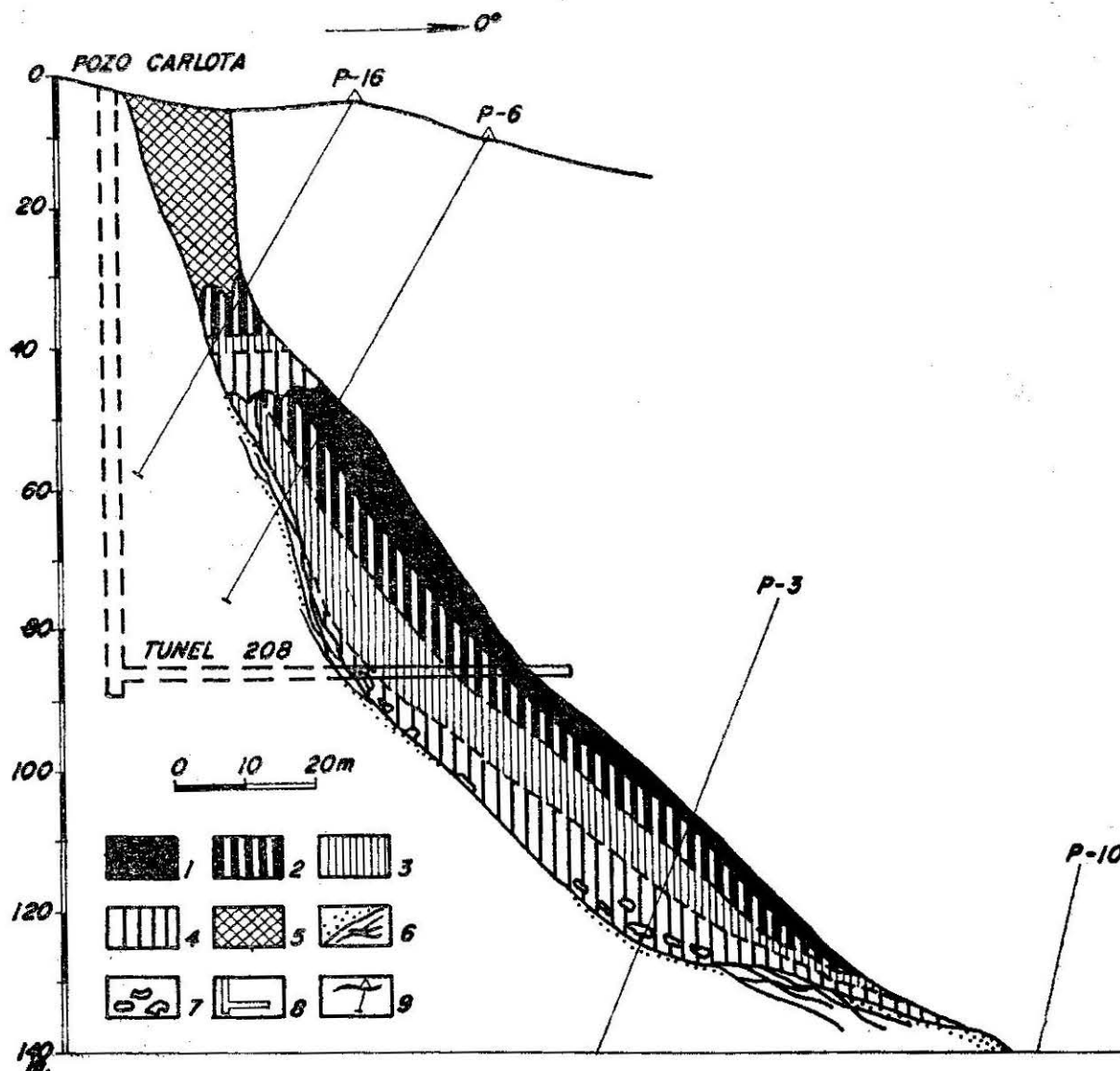


Figura 9

Morfología y estructura interna del cuerpo mineral No. 1 del yacimiento Carlota (línea III-III) y regularidades de la distribución del contenido de cobre en él (de B.E. Gorielov y completado por A.E. Tolkunov y R. Cabrera) 1-4 — Menas piritosas masivas, estratificadas y brechosas, con contenido de cobre: 1 — 0.9-2.4%; 2 — 0.7-0.9%; 3 — 0.5-0.7%; 4 — 0.3-0.5%; 5 — Sombrero de hierro; 6 — Menas de vetillas e incrustaciones; 7 — Restos de rocas no sustituidas; 8 — Laboreos mineros; 9 — Pozos de perforación y su número.

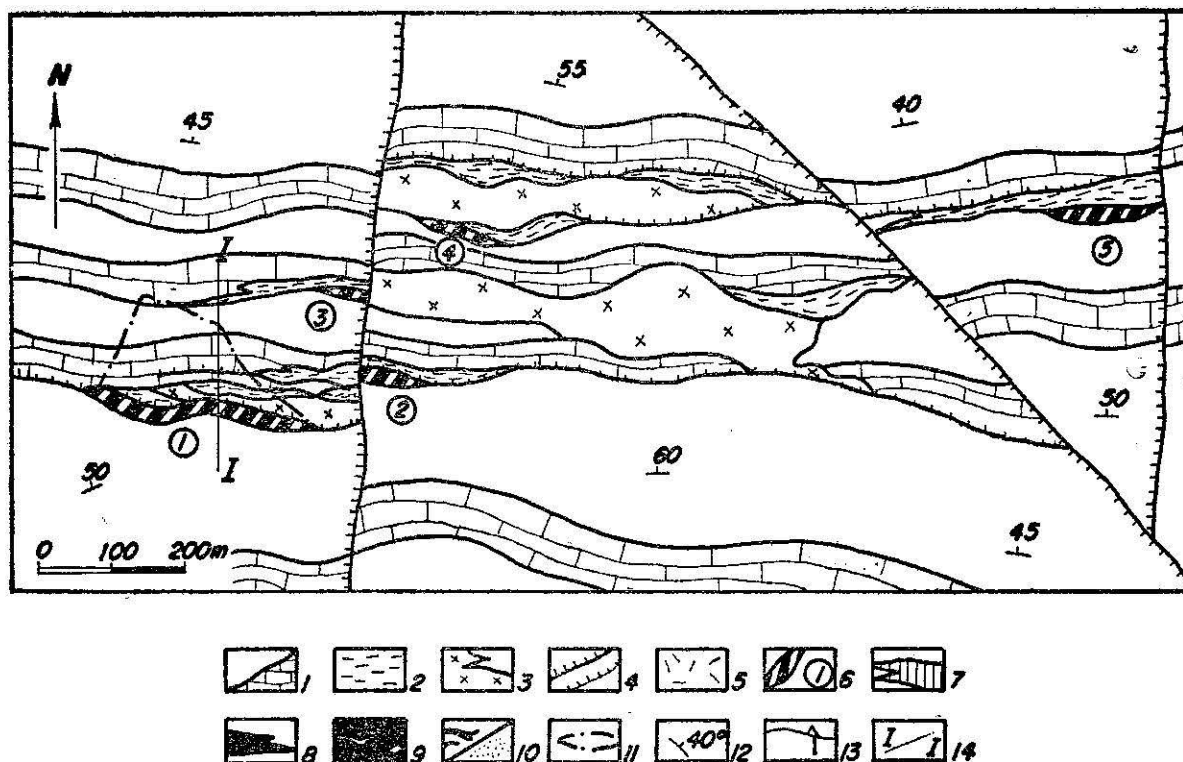


Figura 10

Esquema de la estructura geológica del yacimiento Victoria. Plano. 1 — Calizas marmorizadas y esquistosas y mármoles con grafito; 2 — Esquistos carbonatámicos, con grafito, clorita y cuarzo; 3 — Intrusivos intensamente alterados de peridotita, diorita y dioritas porfiríticas; 4 — Dislocaciones tectónicas; 5 — Alteraciones hidrotermales: rocas dolomitizadas y cuarcificadas; 6 — Sombrero de hierro y su número; 7-8 — Menas principalmente con estructura masiva y estratificada; 7 — Pirita-sulfurosas con un contenido no muy alto de cobre, zinc y otros metales; 8 — Menas de cobre-zinc; 9 — Restos de rocas no sustituidas; 10 — Zonas de sulfuros en vetillas e impregnaciones; 11 — Proyección del cuerpo mineral en la superficie horizontal; 12 — Elementos de yacencia de las rocas; 13 — Pozos de perforación y su número; 14 — Línea del perfil.

res del yacimiento donde el cuerpo mineral está inmediatamente debajo de las suturas arcillosas, su contacto es muy preciso, las menas piríticas masivas reemplazan completamente las rocas y terminan en el plano de falla muy bruscamente (Fig. 5). En el costado yacente del cuerpo mineral y también en sus flancos, se desarrollan ampliamente menas de vetillas y menas diseminadas. El límite del cuerpo mineral, en estos lugares, no se observa muy claro y a menudo se determina por los datos del muestreo detallado.

En los límites de los yacimientos se observan frecuentemente algunos cuerpos minerales de diferentes tamaños (Figs. 7-8). Los cuerpos más grandes del yacimiento Guachinango tienen de longitud más de 800 metros y por su buzamiento 200 metros, con un espesor máximo de 31 metros. Estos cuerpos, a menudo, tienen una estructura interna compleja (Fig. 5). Paralelamente con las menas masivas y en forma de capas, también se desarrollan ampliamente las menas brechosas y de vetillas. En las menas masivas se conservan restos de rocas encajan-

tes no reemplazadas, las cuales frecuentemente se cortan por vetillas de minerales de los estadios posteriores de la mineralización y tienen una textura de intersección. En los límites de los cuerpos minerales no se observa una regularidad de un tipo y otro de textura, pero las menas masivas se encuentran principalmente en la parte superior del cuerpo mineral, cerca del costado pendiente, y las vetillas, brechas y menas, diseminadas en el costado opuesto. Las vetillas de la asociación mineral tardía se encuentran a menudo en la zona de contacto del cuerpo mineral, allí donde éste forma zonas de

trituration. Los relictos de las rocas no sustituidas se encuentran, ante todo, cerca de las zonas de contacto de los cuerpos minerales, pero en su mayoría, así como los más grandes, están cerca de los costados yacentes.

Un particular interés merece la formación de textura estratificada de las menas piríticas. Algunos investigadores (Hill, 1958 y otros) relacionaron esta textura con los procesos de dinamometamorfismo posterior a la mineralización, y en base de ello hicieron conclusiones sobre la génesis y edad de las menas. El estudio detallado de estas menas demostró que su textura

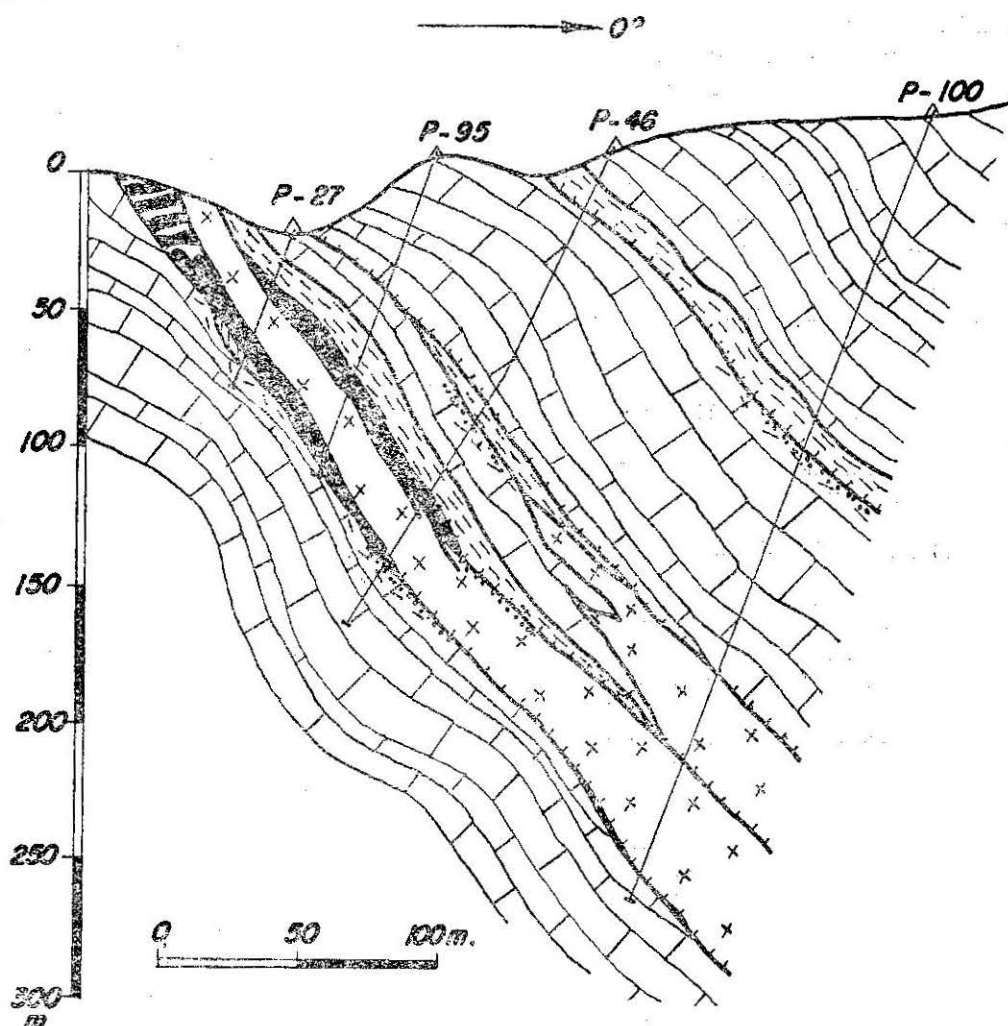


Figura 11

Perfil geológico transversal (línea I-I) La leyenda es la misma de la figura 10.

estratificada depende principalmente de la alternación de estratos finos y subparalelos de sulfuros de hierro, diferenciándose grandemente por la existencia de paquetes muy finos de rocas encajantes y finas capas de sulfuros posteriores (esfalerita, galenita, calcopirita y otros), y también cuarzo y calcita. La textura estratificada de las menas seguramente se debe a la sustitución selectiva de sulfuros por paquetes finos de calcita y dolomita, las cuales se alternan con estratos finos de grafito y agregados cuarzo-micáceos. En estas menas la pirita temprana tiene estructura colomórfica. Las menas estratificadas se cambian transicionalmente en menas masivas, de vetillas y diseminadas. Esto muestra que las menas no fueron afectadas por el metamorfismo dinámico.

5. Composición mineral de las menas, asociaciones minerales, etapas de formación y particularidades de su desarrollo en el espacio. Los cuerpos minerales están compuestos principalmente por sulfuros de hierro (80-95%) entre los cuales se distribuyen muchos otros minerales.

Minerales principales	Minerales secundarios ampliamente distribuidos	Minerales que se encuentran raramente
-----------------------	--	---------------------------------------

#### I HIDROTERMALES

Pirita	calcopirita	melnikovita
dolomita	esfalerita	galenita
	pirrotina	bornita
	marcasita	enargita
	cuarzo	tennantita
	ankerita	pentlandita
		millerita
		valerita
		oro
		plata nativa
		sericita
		clorita

#### II HIPERGENETICOS

Limonita	goethita	malaquita
cuarzo	hidroghetita	cuprita
	calcocita	crisocola
	covelina	

Los bisulfuros de hierro lo forman la pirita, marcasita y melnikovita. La pirita es la principal de ellos. Claramente se diferencian algunos tipos de pirita. La más temprana forma cristales cúbicos con tamaños de 0.5 hasta 10 mm. No se distribuyen regularmente en las rocas encajantes. Posteriormente se formó la masa principal de los disulfuros pirita-marcasita-melnikovita, los que tienen una estructura colomórfica. Junto con ellos hay una cantidad pequeña de calcopirita y esfalerita (I), y también cuarzo y ankerita. La calcopirita y esfalerita forman muy pequeñas (centésimas y decenas de mm) segregaciones y muestran una estructura arriñonada. Esta pirita colomórfica cementa los cristales de pirita más tempranos.

En las menas se desarrolla ampliamente la pirita cristalina, formada en algunos períodos consecutivos. Ella está asociada con los últimos sulfuros, cuarzo y calcita (Fig. 12). Sus cristales tienen estructura zonal, se distribuyen entre la pirita arriñonada colomórfica. Junto con otros minerales forma también muchas vetillas corrientes. Se admite también aún una pirita recristalizada más tardía, posterior al estadio de mineralización. Otros minerales ampliamente distribuidos también se distinguen repetidamente. Además, la calcopirita temprana y la esfalerita se encuentran en la mena con aspecto de nidos y vetillas con otros minerales formados más tarde. Ellos rellenan los intersticios en las vetillas o forman segregaciones monominerales de diferentes tamaños desde décimas de mm hasta algunos mm. La calcopirita se formó en un intervalo de tiempo más largo que la esfalerita, pero las masas principales de ellas se formaron al mismo tiempo.

El esquema del desarrollo consecutivo del proceso de mineralización muestra (Fig. 12), un orden de segregación de otros minerales. En él se puede ver también que el proceso de formación de los yacimientos piritosos del anticlinorium de Trinidad fue bastante largo y con recesos. Analizando todos los materiales reales, se ve la posibilidad de separar tres estadios principales consecutivos de la mineralización, que pueden ser divididos aún en subestadios,

escalones de equilibrio. Más temprano se efectuó el estadio propiamente piritoso, el cual comenzó con la formación de lentes y capas de dolomitas hidrotermales, cuarzo y pirita, que fueron separados en el primer subestadio. El siguiente subestadio lo forma principalmente la masa de sulfuro piritoso. Al terminar el proceso, ocurrió el tercer subestadio pirrotínico, formándose pirrotina, cuarzo-pirita y también al parecer, sulfuros de níquel. Ellos cortan y corroen los agregados colomórficos de disulfuros de hierro.

En la formación hidrotermal del estadio piritoso, claramente se impone mineralización polimetálica (cobre-zinc) formada, sin duda, un poco tardíamente, durante el siguiente estadio llamado polimetálico. En el período de su formación este estadio se separa en dos partes o subestadios. El más temprano formó las vetas de cuarzo y carbonato con calcopirita, esfalerita, galenita y pirita. Esta asociación está

cortada por la formación hidrotermal del subestadio bornito-enargítico, con el cual está relacionada, probablemente, la formación de plata nativa y oro.

En el tercer y último estadio aparecen las vetas de postmineralización de cuarzo-carbonato, que contienen poca cantidad de sulfuros recristalizados: pirita, calcopirita y galenita.

En las zonas cercanas a la superficie, en los lentes piritosos, se forman sombreros de hierro, representados por minerales hipergénicos, principalmente de hierro y cobre.

El desarrollo en el espacio de las asociaciones minerales ocurrió en tiempos diferentes y se observan algunas regularidades. Fundamentalmente, la parte central de las principales lentes piritosas la componen minerales de los dos primeros subestadios del estadio de mineralización más temprana. Las asociaciones minerales tardías se distribuyen regularmente en

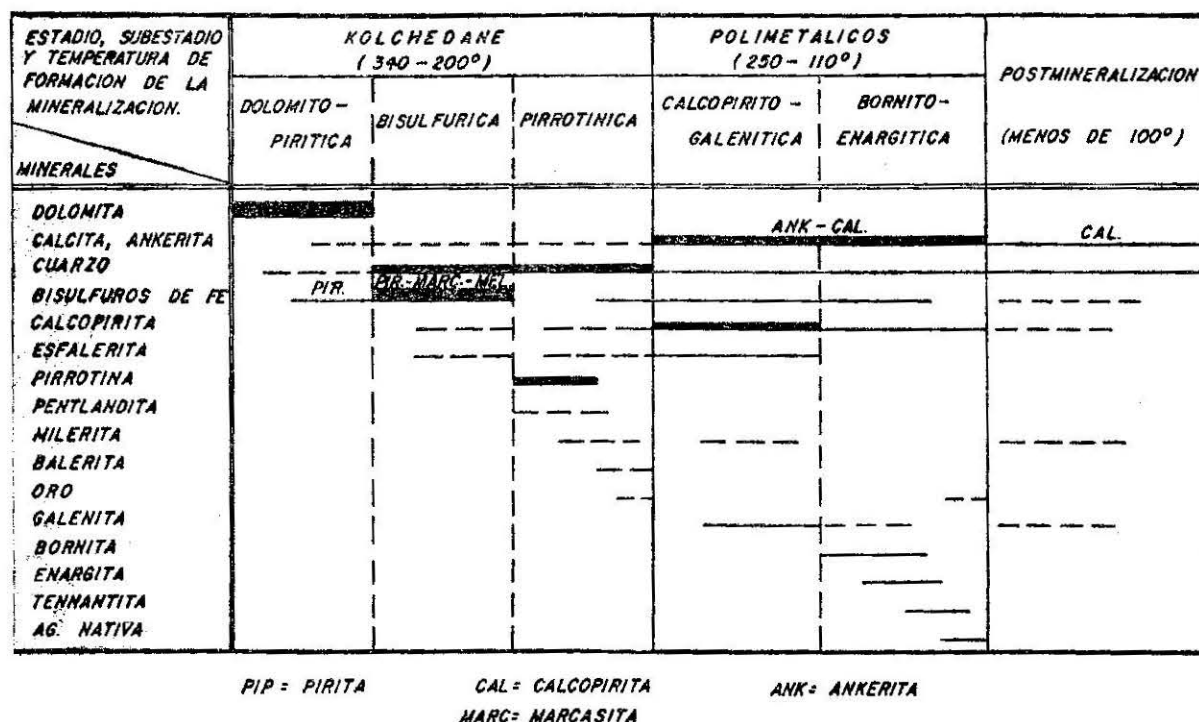


Figura 12

Esquema del proceso del desarrollo consecutivo de la formación mineral de los yacimientos piritosos del anticlinorio Trinidad.



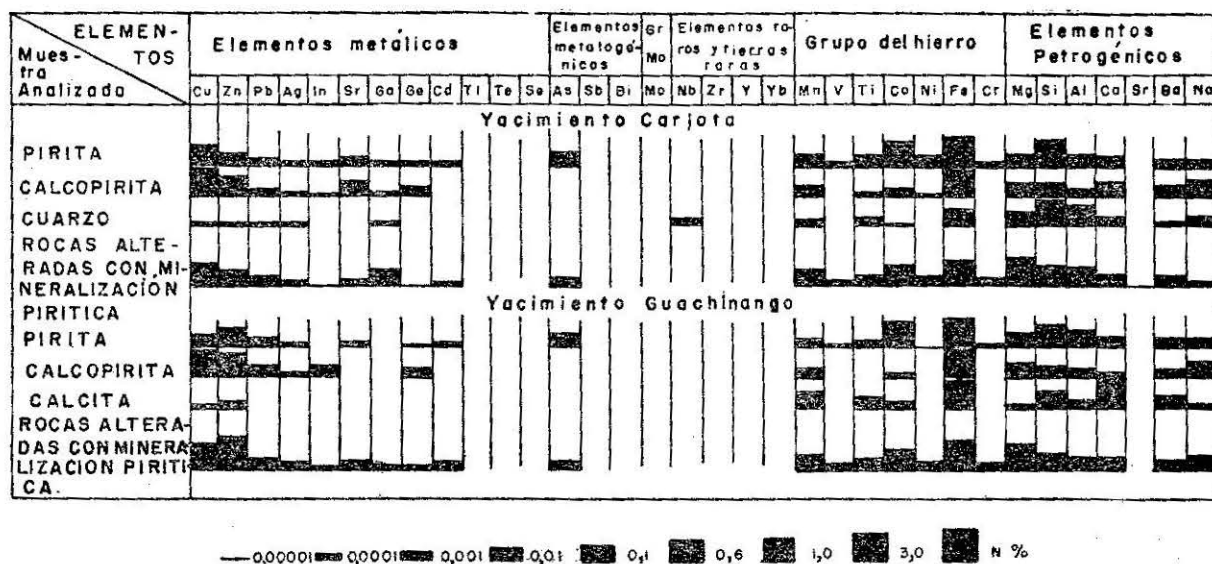


Figura 13

Elementos impurezas de las menas piríticas. Los análisis espectrales se hicieron en los laboratorios del IGEM, AC de la URSS, bajo la dirección de R.A. Vacsovin. La agrupación de los elementos se hizo según A.N. Zabaritski. Observaciones: para los análisis se seleccionaron las muestras especialmente del estadio pirítico principal de la mineralización, y la calcopirita, el cuarzo y la calcita del estadio polimetálico.

relación con las más tempranas. La formación hidrotermal del estadio pirrotínico, con frecuencia, se desarrolla en la parte basal de las lentes piritosas y se concentra más intensamente en la parte inferior de los cuerpos. La mineralización polimetálica, sobre todo, se desarrolla en las partes superiores de los cuerpos minerales (Fig. 9). Se excluye, por lo visto, el cuerpo mineral del yacimiento Guachinango (Fig. 5).

Sin embargo, para el análisis de las particularidades del desarrollo de cobre y zinc en el cuerpo mineral, es imprescindible tener en cuenta que la esfalerita y la calcopirita se depositaron dos veces, en el período de formación de disulfuro de hierro y posteriormente en el estadio polimetálico. Por eso, en la interpretación de los análisis químicos, se deben tener en cuenta estas regularidades para la concentración de cobre y zinc en las menas. Las vetas de cuarzo y carbonato del último estadio se distribuyen en las zonas periféricas de los cuerpos minerales y especialmente en las partes superiores, cerca del contacto pendiente.

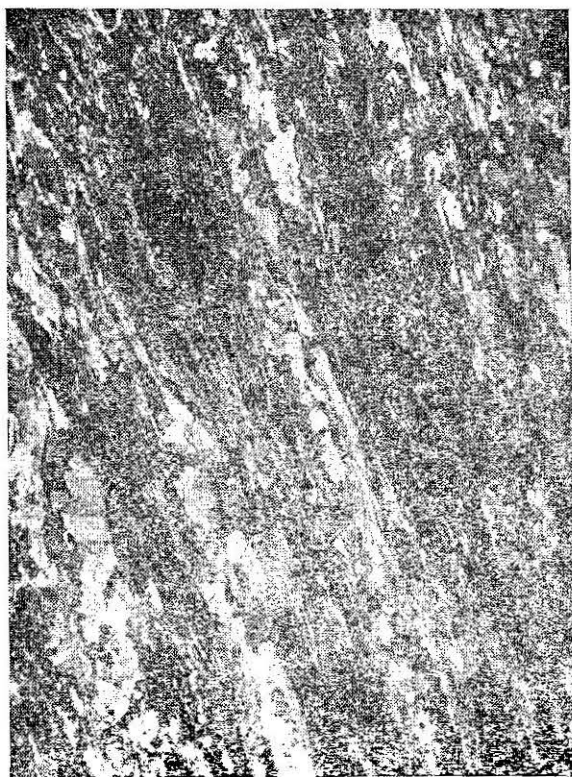
6. Particularidades de la alteración hidrotermal en las rocas encajantes. Las rocas encajantes de la mineralización pirítica del anticlinorium Trinidad, están sometidas a una alteración hidrotermal considerable. Sobre todo están alteradas más intensamente las rocas del costado pendiente de los cuerpos minerales. Las calizas, marmolizadas, y esquistosas con carbón, y mármoles que forman las rocas encajantes principales, cerca del cuerpo mineral, casi por completo están reemplazadas metasomáticamente por dolomitas hidrotermales, sericitas, cuarzo, grafito, clorita y pirita. En la nueva composición las rocas metasomáticas contienen 90-95% de dolomita y tienen una estructura granoblástica. Al mismo tiempo, la sustancia carbonosa se transforma en grafito, que se distribuye por la periferia de los granos de dolomita o por los planos de esquistosidad. El cuarzo, la clorita y la pirita se diseminan en pequeños nidos y vetillas.

Las serpentinitas, que sobre todo yacen en el costado pendiente de los cuerpos minerales,

están recristalizadas y representadas por hornblenda poco coloreada, clorita, dolomita. También, cerca de los cuerpos minerales, los intrusivos en forma de "sill", de gabrodiorita y dioritas porfíritas, están intensamente alterados y se convierten en esquistos albito-actinolito-cloríticos, que contienen calcita y pirita. En la proximidad de los cuerpos minerales más grandes estas rocas están más intensamente reemplazadas por clorita, calcita y pirita.

#### **Condiciones de formación de los yacimientos tipo lentes piritosas.**

Los materiales reales obtenidos hasta hoy permiten caracterizar sucintamente los siguientes aspectos sobre la génesis de los yacimientos tratados.



**Figura 14**

Mena pirítica con textura laminar. Sección transparente No. 105, x 20 con analizador.

1. Profundidad de formación y amplitud vertical de la mineralización piritosa. Como se demostrará más adelante, los yacimientos tipo lentes piritosas del anticlinorium Trinidad se formaron probablemente en el Eoceno superior. De acuerdo con esto y teniendo en cuenta las regularidades de variación de las facies y espesores de las formaciones geológicas conocidas, reconstruimos la superficie de nivelación que existía en el Eoceno superior por encima de los cuerpos piríticos. Ello mostró que la profundidad de formación de los yacimientos del anticlinorium Trinidad, al parecer, no sobrepasa de 1 500 metros.

Naturalmente, esta reconstrucción sólo permite hablar sobre una profundidad probable, ya que en los límites del núcleo anticlinorium Trinidad no se conservan perfiles concretos de los sedimentos cretáceo-eocénicos. Sin embargo, muchas regularidades de estos yacimientos muestran que se formaron en condiciones cercanas a la superficie. Las fallas mineralizadas, por lo visto, estaban comunicadas con la superficie, lo que provocó que en un sector relativamente corto (200-300 m) de estas fallas, se depositaran grandes cantidades de menas sulfurosas (varios millones de toneladas) relacionado todo con caídas bruscas de la temperatura, presión de las soluciones y variación de su pH, que sólo son probables en condiciones cercanas a la superficie. En el proceso de los trabajos se constató que la mineralización pirítica se desarrolló en la profundidad con una extensión de más de 200 metros.

2. Temperatura de formación. En el proceso de las investigaciones de las menas en el laboratorio, con el método de decrepitación y homogeneización, se determinó la temperatura de cristalización de todos los minerales principales que se formaron en diferentes estadios. El cuarzo y la pirita tempranos del llamado estadio pirítico, cristalizaron a más alta temperatura (cerca de 300°). En el proceso de formación de la mineralización de este estadio, la temperatura varió desde 340 hasta casi 200°C.

Los minerales más importantes del estadio polimetálico (calcopirita, esfalerita, galenita,

ankerita, calcita) se originaron conjuntamente a más baja temperatura (250–110°). Sin embargo, se formaron al comienzo con una temperatura un poco más alta que la de cristalización, después que los minerales del estadio pirítico.

El cuarzo, la calcita y otros minerales posteriores al estadio de mineralización principal, se formaron a una temperatura probablemente menor de 100°. Los minerales de este estadio tienen frecuentemente inclusiones muy pequeñas y monofaciales, a las cuales es difícil determinarles la temperatura. De esta manera, las asociaciones minerales que componen las menas piríticas de los yacimientos del anticlinorium Trinidad, indican que se formaron a partir de soluciones hidrotermales, con una temperatura que fluctúa desde 340 hasta 100°.

3. Relaciones mutuas de la mineralización piritosa con las rocas encajantes y modo de su formación. Como ya fue mostrado, las menas piríticas tienen forma de lentes y yacen principalmente en concordancia con las rocas encajantes. Sin embargo, contienen numerosos relictos de diferentes formas y tamaños, de dolomita, esquistos carbonato-micáceos y de otras rocas encajantes no reemplazadas completamente. Cerca de los cuerpos minerales, en las rocas encajantes se desarrollan ampliamente vetillas, nidos e impregnaciones de piritita temprana, esfalerita y calcopirita.

Las lentes piritosas están acompañadas por una intensa alteración hidrotermal de las rocas encajantes. En los lugares aislados del yacimiento, y particularmente en el costado colgante de los cuerpos minerales, por debajo de la superficie plana de las suturas arcillosas y esquistos impermeables, las rocas encajantes sufrieron una alteración tan fuerte que es difícil determinar su composición primaria. Todo esto atestigua que las menas piritosas se formaron por medio del reemplazamiento selectivo de las rocas favorables, que se distribuyen por debajo de la pantalla impenetrable que a menudo forman las fallas tectónicas intraformacionales y los horizontes de esquistos compactos. Anteriormente demostramos que la mineralización



Figura 15

Sustitución selectiva de los sulfuros por calcita y dolomita, intercaladas con capitas finas de cuarzo, mica y grafito. Sección transparente No. 105,  $\times 75$  sin analizador.

pirítica yace en las rocas metamórficas que fueron sometidas a la formación de pliegues, al metamorfismo dinámico regional y al esquistosamiento, pero las menas piríticas no sufrieron metamorfismo y están caracterizadas por una estructura colomórfica. Las lentes piritosas se formaron, sin lugar a dudas, más tarde que las rocas encajantes.

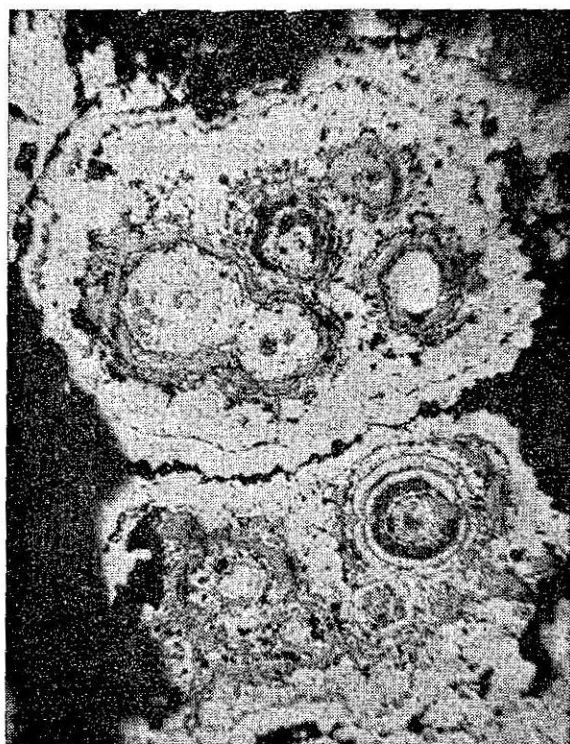
4. Relaciones entre los yacimientos piríticos y las dislocaciones tectónicas. Por lo expuesto anteriormente se puede ver muy bien que pese a la localización de la mineralización a lo largo de los horizontes de rocas favorables, en las regularidades de su localización hubo una gran influencia de las dislocaciones tectónicas.

Todos los yacimientos del anticlinorium Trinidad están en una zona única de falla profunda



(Fig. 1) y los cuerpos piritosos se distribuyen por debajo de las fallas intraformacionales o en sus prolongaciones (Figs. 2-4, 6-8, 10 y 11). Los sectores aislados de menas muy ricas están relacionados con zonas locales de trituración (Figs. 5, 9), es decir, los yacimientos piritosos del anticlinorium Trinidad tienen rasgos que caracterizan los yacimientos típicos hidrotermales. Su estructura y las condiciones de localización de la mineralización, en gran medida están determinadas por las fallas tectónicas.

5. Vínculo de la mineralización con el magmatismo, su edad, y probable fuente de los componentes minerales. La mineralización pirítica de nuestra área se desarrolla en las mismas zonas donde ocurren los pequeños intrusivos de rocas ultrabásicas y básicas, de edad probable Cretácico Superior. Sin embargo, estas rocas



**Figura 16**

Estructura colomórfica de las menas piríticas. Sección pulida No. 113, x165, sin analizador: blanco—pirita; gris claro— calcopirita; gris oscuro —esfalerita; negro— rocas encajantes.

magmáticas, a diferencia de la mineralización, están intensamente metamorfozadas y se formaron sin duda antes que las lentes piritosas.

Como muestra el análisis de las particularidades geológicas y de la metalogenia de la zona mineral de Las Villas, la mineralización pirítica del anticlinorium Trinidad se relaciona muy cerca en el tiempo con el período de formación de los pequeños intrusivos más tardíos (Eoceno superior) que se extienden en la parte norte de los yacimientos piritosos. Esta idea por primera vez fue expresada por N. P. Laverov y R. Cabrera Ortega (1967). Más tarde se obtuvieron nuevos datos que reafirman esta opinión (Tolkunov y otros, 1969; Laverov y otros, 1972; Tolkunov, Cabrera, 1972). En la zona norte de la región donde se desarrollan los yacimientos considerados en los límites del sinclinorio Central Cubano, se distinguen algunos parecidos a los de tipo lentes piritosas, que en el espacio y en el tiempo están muy íntimamente relacionados con los pequeños intrusivos, probablemente de edad Eoceno Superior.

Los yacimientos piríticos de estas dos zonas, es decir, la zona mineral del anticlinorium Trinidad y la zona mineral del sinclinorio Central Cubano, tienen muchos rasgos parecidos. Sus menas presentan iguales elementos raros y probablemente tienen un tiempo de formación cercano (Tolkunov, Cabrera, 1972). Como los yacimientos del Sinclinorio Central Cubano, la mineralización pirítica que ya describimos se formó muy probablemente en el Eoceno superior. Las menas de estas lentes piritosas presentan señales de una concentración alta de elementos-impurezas, que son característicos de los magmas básicos.

Por eso la fuente principal de los componentes minerales es más probable que sean focos profundos diferenciados de magma basaltoide, que estuvieron sometidos a la activización tectónica en el último período del Eoceno superior, cuando se formaron los pequeños intrusivos que finalizaron el desarrollo del magmatismo en la zona eugeosinclinal de la isla de Cuba. Una parte de estos componentes pudieron ser lixiviados de las rocas encajantes.

## CONCLUSIONES

1. Los yacimientos piritosos estudiados se distribuyen en el flanco norte del anticlinorium Trinidad en una zona única de falla profunda, y ocurren en sectores relativamente cortos, donde las rocas encajantes metamórficas forman estructura de pliegues que se cortan por fallas transversales. En tales sectores, a menudo se desarrollan amplias dislocaciones tectónicas intraformacionales e intrusivos, en forma de "sill", de rocas básicas y ultrabásicas. En los límites de estas estructuras transversales, los cuerpos minerales yacen en las curvaturas locales de las rocas estratificadas, relacionados con las anomalías estructurales de las fallas tectónicas por la estratificación.
2. Los cuerpos minerales tienen forma de lentes concordantes que se caracterizan por una estructura interna muy compleja. A diferencia de las rocas encajantes que están intensamente metamorfozadas y plegadas, los sulfuros tienen una estructura colomórfica.
3. La mineralización pirítica se formó debido al reemplazamiento metasomático de las rocas favorables, principalmente de las dolomitas hidrotermales. Cerca del cuerpo mineral se encuentran las rocas encajantes intensamente alteradas por soluciones hidrotermales.
4. Los yacimientos piríticos se formaron en tres estadios consecutivos del desarrollo de la mineralización, en un intervalo de temperatura desde 340-110°.
5. La principal fuente de los componentes minerales, muy probablemente, fueron focos magmáticos profundos diferenciados del magma basaltoide, sometidos a la activación tectónica en un tiempo muy posterior a las rocas encajantes, en el período de ascensión de los así llamados intrusivos pequeños, que finalizaron el desarrollo del magmatismo en la zona del geosinclinal de la isla de Cuba.

## LITERATURA

- Bogdanov, Y. B., Gurianova, B. H., Miralles, M. Rasgos metalogénicos de los yacimientos de cobre de Cuba. Geol. Soc. No. 11, 1965.
- Bolotin, Y. A. Informe del cálculo de reservas del yacimiento Guachinango, 1968\*.
- Bolotin, Y. A. Informe del cálculo de reservas de los yacimientos Victoria y Carlota, 1969\*.
- Eardley, A. Tectonic relations of North and South America. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., No. 38, 45. 1954.
- Favre, G. I. The volcanic area south of Santa Clara, 1958\*.
- Furrazola-Bermúdez, G., Judoley, G. M. et al. Geología de Cuba, Habana, 1964.
- Gorielov, V. E., Gorielova, V. G., Starova, M. M. Informe del cálculo de reservas de las menas piríticas del yacimiento Carlota, Las Villas, 1963\*.
- Hatten, C. W., Schooler, O. E. et al. Geología de Cuba Central (Este de Las Villas, Oeste de Camagüey), 1958\*.
- Hill, P. A. Banded Pyrite deposits of mina Carlota, Cuba. Econ. Geol. vol. 53, 1958, N. S.
- Judoley, C. M., Krasnov, V. I. et al. Mapa de yacimientos minerales de Cuba a la escala de 1:500 000, Habana, 1963.
- Laverov, N. P., Cabrera, R. Breve informe de la metalogenia de los yacimientos hidrotermales de cobre de Cuba. Del libro "Geología y yacimientos minerales de Cuba". E. Nauka, Moscú, 1967.
- Laverov, N. P., Malinovsky, E. P., Tolkunov, A. E., Cabrera, R., Carassou, G. y Muñoz, M. Los yacimientos de cobre de Cuba, su posición en los pisos y subpisos estructurales y su relación con el magmatismo. Serie Geol. No. 6. Ac. de Cuba, 1972.



- Maximov, A., Grachov, G.R., Sosa. Geología y yacimientos minerales de las pendientes noroccidentales del sistema montañoso del Escambray, 1968\*.
- Somin, M.L., Millán, G. Principales problemas de la geología de los complejos metamórficos de Cuba, 1968\*.
- Smirnov, B.Y. Sobre problemas de los yacimientos piríticos, Udad de Moscú, 1956.
- Smirnov, B.Y. Yacimientos piríticos. Del libro "Génesis de los yacimientos metálicos endógenos". E. Naúka, Moscú, 1968.
- Smirnov, B.Y. Yacimientos piríticos. Del libro "Geología de los yacimientos minerales". E. Nedra. 2da. edic., 1969.
- Tolkunov, A.E., Cabrera, R. Geología y metalogenia de las regiones minerales de Las Villas y Oriente. Serie Geológica No. 7. A de C. de Cuba, 1972.
- Tehevchenko, I.A., Stepanov, V.M. y Montes Sosa, A. Informe sobre los trabajos de búsqueda y revisión en las menas de cobre, realizados en 1965-66, en la parte occidental de la provincia de Las Villas, 1967\*.

NOTA: Con este signo (\*) se señalan los trabajos manuscritos que se conservan en el Fondo Geológico de la ECM, y en los archivos del Instituto de Geología de la A. de C. de Cuba.