

CONSEJO DE DIRECCION

Centro de Documentación e Información Técnico-Económica del Ministerio de Industrias.

Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana.

Empresa Consolidada del Níquel.

Instituto Cubano de Desarrollo de Maquinaria.

Dirección de Automatización y Electrónica del M. de Industrias.

Instituto Cubano de Recursos Minerales.

Empresa Consolidada del Petróleo.

Empresa Consolidada de Productos Químicos.

Empresa Consolidada de Electricidad.

Maquimport.

Empresa Consolidada de Conformación de Metales.

Empresa Consolidada de la Metalurgia.

Dirección de Normas y Metrología del Min. de Industrias.

Instituto Cubano de Desarrollo de la Industria Química (I.C.D.I.Q.)

Grupo de Investigación Operacional MININD.

TECNOLOGICA

Una publicación bimestral del Ministerio de Industrias de la República de Cuba

Vol. V.

Enero-Febrero 1967

No. 1

Sumario

Estudio Micropaleontológico del Oligoceno superior de Cuba en el pozo Pijuán No. 47. Por el Dr. G. Furraxola-Bermúdez y Manuel Iturralde Vinent, geólogo	3
Particularidades en la distribución de los yacimientos sulfurados de Cuba. Por el Ing. A. Lisitsin	12
Alargamiento y endurecimiento por deformación en frío en el trepado de alambre. Por el Prof. Dr. Ing. A. Mohnheim	19
Influencia de los inhibidores orgánicos y de los iones de yoduro en la corrosión e influencia de la fragilidad por hidrógeno en el decapado y corrosión del acero al carbono. Por Gunnar Anderson, Uno Tragardh y Gösta Wranglen	28
La producción del superfosfato. Parte XI. Factores de costo en la producción y uso del superfosfato. Por N. L. Spencer	38
A partir de las piritas: Mineral de hierro y azufre por medio de la tostación instantánea. Por el Ing. Eugenio Guccione. Con comentarios por el Ing. Sergio Hernández Estrada, del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos	47
La perforación de los pozos profundos Francés 5 y Frágoso 1. Por los lngs. Gustavo Echevarría y Muslin Veliev	49
Notas sobre la obra "Fundamentals of Mid-tertiary Stratigraphical Correlation" de F. Eames y otros. Por Manuel Iturralde Vinent, geólogo	55
El análisis de las tensiones aplicado a la fundición. Por el Ing. M. Driancourt	57
Avances de la Ciencia y la Técnica	65
Bibliografía	68

PORTADA:

Microfotografía muy ampliada de distintas especies de discoastéridos

Editada por el Centro de Documentación e Información Técnico-Económica. Ministerio de Industrias. La Habana. Cuba. REDACCION: L y 23 Vedado. La Habana. Precio del ejemplar: \$0.50. Suscripción anual: \$2.50 Territorio Nacional. Se desea el cambio con las publicaciones congéneres—On accepte des échanges avec les publications congeneres—Exchange with similar publication is desired—Si desidera il cambio colle pubblicazioni congeneri—Aceptam se permutas con publicacoes congenes—Wir bitten um Austausch ähnlichen Fachzeitschriften.

PARTICULARIDADES EN LA DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS SULFUROSOS DE CUBA

Ing. A. Lisitsin

Dpto. de Exploración de Minerales
Instituto Cubano de Recursos Minerales

En la Isla de Cuba, que forma parte de la zona geosinclinal de la cuenca del Caribe, está ampliamente desarrollada la mineralización sulfurosa endógena formando, en algunos casos, grandes acumulaciones sulfurosas industriales.

Estas formaciones naturales llaman la atención de los hombres, desde hace mucho tiempo. Hace más de 400 años comenzó la extracción de los minerales piríticos; hasta hace poco se explotaban yacimientos de oro y plata. Los minerales sulfurosos de algunos yacimientos pueden tener interés industrial para plomo, zinc y molibdeno. Durante el procesamiento de los minerales sulfurosos, además, es posible la recuperación simultánea de algunos elementos dispersos acompañantes como Se, Te, Cd, Bi, Ge, Yn, Re y otros.

Las necesidades de la economía de Cuba para los minerales sulfurosos y principalmente de cobre, aumenta muchísimo cada año.

Sin embargo, la situación desfavorable de reservas de materia prima de estos minerales, comenzó a frenar el desarrollo de la industria cuprífera. Muchos yacimientos resultaron agotados y los que se explotan, como Matahambre y El Cobre, no cuentan con las reservas necesarias de mineral. Las investigaciones de búsqueda y revisión han sido realizadas durante muchas decenas de años en distintas regiones de Cuba, pero no han conducido al descubrimiento de nuevos grandes yacimientos. Mediante estos trabajos, fueron investigadas casi todas las áreas accesibles de mineralización sulfurosa y las manifestaciones y yacimientos conocidos fueron evaluados tanto en la superficie como en la profundidad mediante pozos aislados. Sin embargo, podemos decir que excepto en la zona de Matahambre, no ha sido realizado el estudio sistemático de las condiciones de localización y regularidades de la distribución de la mineralización sulfurosa, lo que dificulta la búsqueda de los yacimientos ciegos.

Debido a esto, la revelación de nuevos yacimientos industriales de cobre, pirita y otros componentes útiles, relacionados con los minerales sulfurosos, es actualmente un problema difícil para la geología en Cuba. En estas condiciones, es necesario analizar profundamente y generalizar los datos geológicos existentes de cada estructura mineralífera y teniendo en cuenta todos los factores geológicos, seleccionar las áreas y las zonas que tienen mayores perspectivas para la búsqueda.

I. Tipos genéticos de los yacimientos sulfurosos

La Isla de Cuba representa en sí una zona plegada de movimiento, que se formó principalmente en el Mezocenoico, en el límite de la Plataforma de Bahamas.

Esta zona plegada está caracterizada por movimientos tectónicos intensos y gran actividad magmática. La manifestación del magmatismo tectónico de muchas etapas, favoreció un amplio desarrollo de procesos post-magmáticos y la deposición de minerales relacionada con ellos.

La mayoría de los yacimientos sulfurosos de cobre, polimetálico o piríticos y de oro conocidos en Cuba, son formaciones hidrotermales poco profundas de temperatura media. Estos yacimientos acompañan a las rocas vulcanógenas y están relacionados con los períodos de la intrusión de complejos intrusivos, de acidez media, que se formaron en las zonas más débiles de la corteza terrestre. Estas zonas, generalmente, fueron zonas extremas de levantamientos anticlinales en los lugares de su unión con las flexuras o contactos de dos estructuras geológicas diferentes, por ejemplo: coyunturas tectónicas de las zonas estructuro-faciales del meganticlinorio de Pinar del Río, la zona extrema del anticlinorio Trinidad situada en el límite

con el sinclinorio Central-Cubano y la zona de unión del anticlinorio de la Sierra Maestra con el sinclinorio Oriental-Cubano y otros.

Aunque considerando las intrusiones de composición diorítica como la fuente de soluciones mineralizantes, no podemos al mismo tiempo negar la posibilidad de la existencia de la relación genética de la mineralización con algunas facies efusivas. Las cuestiones de la génesis de los yacimientos sulfurosos necesitan un estudio futuro.

La formación de la mineralización sulfurosa de Cuba, al parecer, ocurrió durante el desarrollo de un único proceso postmagmático, en las distintas etapas del cual y en relación con la situación estructuro-facial se originaron diferentes tipos de yacimientos. Todos estos tipos están relacionados con una única fuente magmática, que sirvió al mismo como fuente de efusivos, complejos intrusivos granitoides y facies de diques.

La formación de los yacimientos en todos los lugares iba acompañada de una intensa alteración hidrotermal de las rocas encajantes (cuarcificación, cloritización, carbonatización y piritización), en Pinar del Río, Las Villas y Camagüey. Se destacan varias zonas alteradas hidrotermalmente, en los límites de las cuales están situados los yacimientos conocidos de sulfuros.

El proceso de las alteraciones hidrotermales de las rocas y deposición de los sulfuros ocurrió, tanto metasomáticamente, como mediante el relleno de las figuras.

El cambio de la composición de los minerales, generalmente se manifiesta por un amplio cambio de la relación cuantitativa de los minerales metálicos.

De acuerdo con las condiciones y los métodos de deposición mineral se pueden destacar los siguientes tipos genéticos principales en los yacimientos sulfurosos:

- 1) De skarn (formación de minerales de skarn).
- 2) Depósitos de minerales sulfurosos macizos (formación de minerales de piritita).
- 3) Zonas de rocas alteradas hidrotermalmente (cuarcificación, carbonatización, cloritización con vetas de cuarzo; carbonatos y sulfuros).

La composición de la mineralización de todos estos tipos de menas es relativamente sencilla y constante: piritita, calcopiritita, esfalerita, galena y con menor frecuencia molibdenita, pirrotina y bornita.

Yacimientos de skarn. Estos yacimientos representan en sí formaciones de altas temperaturas que se formaron en el contacto de los macizos dioríticos con calizas o rocas efusivas. Según su composición, estos son granate-epidóticos. La mayoría de los yacimientos de skarn de

Cuba son magnetíticos y están débilmente mineralizados con sulfuros. Solamente en algunos casos se encuentra skarn con un elevado contenido de cobre y molibdeno. Con éstos, pueden estar relacionadas las manifestaciones de cobre-molibdeno y de cobre: Rosalía, Guaos, Isabelita (Las Villas); Peladero e Isabelita (Oriente) representadas por la mineralización de piritita-calcopiritita y calcopiritita-molibdeno. La mineralización está desarrollada en los skarn.

La mineralización sulfurosa de tipo skarn, está representada por lentes pequeños con un contenido pobre e irregular de componentes útiles, por eso, no tienen un interés económico.

Los depósitos de mineral macizo son un tipo industrial importante de mineralización sulfurosa. A éstos, están relacionados todos los yacimientos grandes conocidos de piritita y polimetales, como por ejemplo: Mono, Cuerpo #70, yacimiento Matahambre, Unión II, Carlota, Guachinango, Siguaná y otros.

Con menor frecuencia los minerales macizos sulfurosos forman yacimientos cupríferos (Hierro, Buenavista, El Brujo, San Fernando, La Mañana) o rellenan partes aisladas de las zonas cupríferas de tipo veta-incrustación (Matahambre y otros).

Según como predomine uno u otro mineral metálico, los minerales sulfurosos se dividen en: piríticos, calcopiríticos, esfalerita-galenita-piríticos y otros. Los minerales piríticos muchas veces se caracterizan por el alto contenido de cobre que aparece en la piritita en forma de incrustaciones independientes y vetas de calcopiritita.

Los yacimientos del tipo descrito están representados, en la mayoría de los casos, por depósitos grandes concordantes de 150-300 m de largo y de 10-20 m de espesor. A veces, el largo de los depósitos sobrepasa 500 m según la dirección (Guachinango). Según la opinión de la mayoría de los investigadores, todos los yacimientos de este tipo del mundo, se desarrollan en las rocas de formación espilito-ceratofidos, que representa una alteración de rocas vulcánicas de composición básica y efusivos ácidos, estando relacionados genéticamente con esta formación.

El análisis de los datos reales de los yacimientos de sulfuros macizos de Cuba no coinciden con esta opinión. En este caso, los yacimientos están situados en diferente medio encajante y con más frecuencia en las secuencias arenoso-esquistosas, carbonato-esquistosas y en porfiritas de composición media.

Las más favorables para la localización de la mineralización maciza pirítica son las áreas de cambios bruscos de las rocas, de diferentes composiciones y propiedades físico-mecánicas. Por ejemplo, la alteración de esquistos grafiticos y carbonáticos con los depósitos de serpentinitas; los contactos de los estratos de areniscas

con los esquistos; los contactos de diques de porfiritas con tobas, etc. Estas áreas, por regla general, sufrieron numerosos movimientos entre los estratos y sirvieron como medios favorables para transportar las soluciones minerales.

Según la relación con las secuencias encajantes, la mineralización de este tipo es epigenético (hidrotermal-metasomática).

El metasomatismo mineral, desarrollado en las rocas encajantes duras, fue acompañado de alteraciones hidrotermales de estas últimas. Generalmente, en las partes de los exocontactos de los depósitos de sulfuros macizos, las rocas encajantes están cuarcificadas, cloritizadas, seritizadas y están impregnadas de incrustaciones de pirita. A medida que se aleja de los contactos de los depósitos minerales, el grado de sustitución metasomática de las rocas disminuye gradualmente.

En la superficie, como resultado de la oxidación de los minerales macizos y las rocas que los rodean que contienen incrustaciones de pirita, originan los sombreros de hierro, que ocupan una superficie considerablemente más grande que los propios depósitos minerales. Los depósitos minerales ciegos se observan en la superficie, representados por la alteración de las rocas y por aureolas de diseminación primaria de pirita y otros sulfuros.

La mineralización sulfurosa del tipo de vetas e incrustaciones se desarrolla ampliamente en toda la zona metalogenética de Cuba (Pinar del Río, Escambray, Camagüey, Sierra Maestra, la parte este de Oriente, etc.). Con ella está relacionada la concentración industrial de cobre, plomo, zinc, oro, plata y molibdeno. Con este tipo genético están relacionados los más grandes yacimientos de Cuba: Matahambre y El Cobre; Elección y otras numerosas manifestaciones cupríferas de Pinar del Río y Oriente; el yacimiento de plomo-zinc Castellano y la mayoría de los yacimientos auríferos de Camagüey y Oriente.

Los yacimientos de tipo de vetas e incrustaciones están asociados a potentes zonas de alteración hidrotermal de las rocas que se observan a lo largo de la fractura regional, en forma de cuarcificación, cloritización, carbonatización y en forma de numerosas vetas cuarzosas.

Las deformaciones tectónicas de diferentes tipos que se formaron durante el plegamiento y dislocaciones disyuntivas posteriores: formación de estratos entre las capas, zonas de contracción, trituración y brechamiento, sistema de agrietamiento transversal y longitudinal, lugar de la intersección de dos sistemas de grietas fueron favorables para el desarrollo de los procesos postmagmáticos.

La alteración hidrotermal de las rocas y la deposición de mineral se formaron mediante la sustitución y el relleno de las cavidades dependiendo de la saturación de las rocas y del

carácter de las grietas que se desarrollan en éstas.

La mineralización metálica en algún grado, se extendió por toda la zona de cuarcificación y carbonatización (hasta $1\ 000-2\ 000 \times 200 \times 500$ m). Sin embargo, la acumulación industrial de los sulfuros se originó solamente en las zonas de mayor deformación y de saturación elevada de las rocas. Aquí, los minerales metálicos y en primer lugar la calcopirita, forman una incrustación regular en toda la masa de las rocas cuarzosas y también rellenan numerosas grietas y cavidades aisladas, conjuntamente con cuarzo o independientemente o cementando los fragmentos de brechas. Por eso, se observa la existencia de muchas variedades diferentes de texturas de minerales tales como: de vetas de incrustación, de bolsones y a veces, macizas.

El proceso de formación de la mineralización fue muy prolongado y de muchas etapas. Se pueden distinguir varias etapas principales de formación de minerales: pirita + pirrotina = calcopirita + bornita = esfalerita + galena = oro, etc.

En una misma zona mineralizada se observa una separación bien delimitada de las distintas etapas de mineralización, por ejemplo, mineralización cuprífera y polimetálica con la formación de cuerpos minerales independientes. Pero, muchas veces, éstas en uno u otro grado coinciden. A veces, estas zonas de mineralización calcopirítica están cruzadas por las zonas de calcopirita más tardía. Las zonas de concentración máxima de las vetas minerales, nidos de más densa incrustación de sulfuros, están relacionadas a los cuerpos minerales industriales. Los límites de estos cuerpos, frecuentemente, se establecen según los datos del muestreo.

La morfología de los cuerpos de minerales es distinta y depende de la composición de las rocas y del carácter de formaciones que se manifiesta en éstos (desde zonas en forma de capa y de stockwork hasta cuerpos en forma de columnar, stock). En la mayoría de los casos los cuerpos industriales poseen una forma lenticular o redondeada y tienen tamaños relativamente pequeños, alcanzando 10-50 m de largo y 1-5 m de espesor. Algunos cuerpos se extienden a unos 150 m y el espesor alcanza hasta 18 m.

En los límites de una zona mineralífera se observan dichos cuerpos desde algunos hasta centenares, que yacen en forma de escalones entre las rocas cuarcificadas y piritizadas. Como fue mencionado anteriormente, la mineralización del tipo de veta e incrustación se destaca por un complejo paragenético complicado de componentes minerales. Al mismo tiempo, junto con el complejo de minerales se observa la distribución un poco selectiva, que está acondicionada por el modo metasomático de desarrollo de los procesos minerales y por numerosas etapas de estos.

Así, las más frecuentes concentraciones industriales de los elementos mencionados aparece en el siguiente medio encajante: cobre en areniscas y rocas vulcanógenas, plomo y zinc en esquistos; molibdeno en dioritas y oro en diques de porfiritas.

La mineralización sulfurosa de tipo filoniano está representada por vetas cuarzosas auríferas (Delta, Agrupada) y por vetas de cuarzo con mineralización cuprífera (La Bruja, Caridad, San Miguel, Jobosí, etc.). Todos éstos tienen una asociación mineral corriente para todos los yacimientos sulfurosos: cuarzo, carbonatos, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, arseno-pirita y bornita.

Es característico un desarrollo predominante de las etapas de mineralización de temperaturas más bajas. Los cuerpos filonianos se forman en la misma situación tectónico-magmática que los demás tipos de mineralización sulfurosa, pero en las etapas finales del proceso hidrotermal. Estos tipos están asociados a las grietas más grandes de disyunción, que se originaron durante la deformación tectónica en rocas frágiles y macizas (dioritas, porfiritas dioríticas y esquistos metaformizadas profundamente).

Las vetas del tipo genético ya descrito no se deben confundir con las vetas cuarzosas, formadas durante la alteración metasomática de las rocas.

Para los cuerpos filonianos son característicos los contactos con las rocas encajantes bien determinadas y un carácter aislado de su distribución. Genéticamente, estos cuerpos son de tamaño ínfimo, pero a veces, la longitud de éstos, alcanza 2 km y más (Delta, La Bruja). Solamente las vetas auríferas tienen valor industrial.

II. Algunas regularidades de la distribución de los yacimientos.

De los tipos genéticos ya examinados de mineralización sulfurosa, los que mayor interés práctico tienen son dos: pirítico y de veta-incrustaciones. Con estos tipos están relacionadas las grandes concreciones industriales de minerales cupríferos y piríticos, así como también de polimetale, oro y molibdeno. Las búsquedas de esos yacimientos pueden realizarse efectivamente sólo en base de los conocimientos de las regularidades de la distribución de la mineralización y principales factores que controlan ésta. Examinaremos algunos de estos factores:

1. Edad de las secuencias encajantes de la mineralización.—La mineralización se manifiesta casi en todos los cortes estratigráficos de las formaciones vulcanógeno-sedimentarias, de los complejos metamórficos y en las rocas magmáticas. Ella se encuentra en: los complejos metamórficos antiguos del Escambray, en la parte oriental de la provincia de Oriente y en la Isla

de Pinos; en la secuencia arenoso-esquistosa del Jurásico Inferior y Medio de Pinar del Río; en el complejo intrusivo del Cretácico Superior del Escambray, Camagüey, Sierra Maestra y otros; en la secuencia vulcanógena del Paleógeno de la Sierra Maestra y en los cuerpos intrusivos de granitoides que atraviesan todos estos horizontes estratigráficos. Por consiguiente, la edad de las rocas encajantes no puede ser considerada como factor de control ya que la mineralización es epigenética.

2. Control magmático.—Se observa una asociación íntima de la mineralización, tanto en tiempo como en espacio, con macizos de dioritas, granodioritas y con los diques de porfiritas. Estos están desarrollados conjuntamente en las grandes elevaciones anticlinales Trinidad, Camagüey, Sierra Maestra y Sierra de Purial.

Al mismo tiempo, en la provincia de Pinar del Río, todavía no han sido encontradas las intrusiones de granitoides, a pesar de que los diques de porfiritas dioríticas se observan en las áreas de los yacimientos "Hierro", "Brooklyn II" y otros. Las facies de diques también se desarrolla en la zona del yacimiento Buenavista.

Se puede suponer que las fuentes profundas de las intrusiones de granitoides, que no están descubiertas por la erosión se encontrarán también en el meganticlinorio de Pinar del Río.

Es característico que en la Sierra Maestra la secuencia vulcanógeno-sedimentaria mineralífera sea el techo del cuerpo grande intrusivo. En la superficie, esta intrusión se distingue en forma de pequeños macizos aislados de granitoides que se distribuyen en la pendiente sur. Según los datos de las investigaciones geofísicas y las observaciones geológicas, estos macizos, en una profundidad de 1.5-2.0 km forman un solo cuerpo, cuya superficie desciende suavemente hacia el norte.

Se puede suponer que todos los yacimientos sulfurosos de Cuba tienen muchos rasgos comunes, están relacionados genéticamente con la única fuente magmática que actuó durante mucho tiempo y sirvió como origen de las dioritas y otras rocas magmáticas, semejantes a éstas según su composición.

La formación de los complejos magmáticos postpaleogénicos examinados y de las formaciones postmagmáticas relacionadas con ellos, posiblemente ocurrió en un período en todo el territorio de Cuba o tuvo lugar la manifestación de distintas facies de la formación de granitoides separados en tiempo y espacio. En el último caso pueden ser seleccionadas algunas fajas intrusivas: a) Sierra Maestra y parte este de Oriente; b) Escambray, Camagüey y parte noreste de Oriente; c) Pinar del Río.

La característica geoquímica indica también que estas rocas magmáticas tienen una fuente común. Para todas ellas es peculiar una asociación paragenética de los elementos: S, Cu, Pb,

Zn, Au, Ag, y Mo, mientras que para el complejo intrusivo de granitoide de Cuba, revelado en Isla de Pinos y representado generalmente por granitos de tipo normal, es característica otra dirección de los procesos postmagmáticos y de la peculiaridad metalogenética. Para este complejo es característico el desarrollo predominante de los procesos de albitización, greisenización, turmalinización y la acumulación de elementos como W, Sb y posiblemente Sn, Be, Li, Ta, Tr, y otros, lo que indica la presencia de dos diferentes grupos de rocas de granitoides.

Los problemas del magmatismo son muy importantes en el desciframiento de la génesis de los minerales y de las particularidades de su distribución. Por eso, en las futuras investigaciones geológicas hay que prestar más atención a los mismos. Particularmente es muy importante conocer la edad de las rocas magmáticas y su relación con una determinada formación y al mismo tiempo estudiar el comportamiento en ellas y en los productos de la actividad postmagmática de los elementos-mezclas y de los elementos dispersos (Bi, Cd, Ti, Zn, Te, Se, Ge, Ga, Yn, Tl, Re, TR, y otros)!

3. Control tectónico.—Como fue mencionado anteriormente, la tectónica es el factor de mayor importancia que acondiciona el origen de la mineralización endógena y su distribución.

Los yacimientos sulfurosos de Cuba se formaron principalmente, en las grandes estructuras anticlinales: en el meganticlinorio de Pinar del Río; en los anticlinorios de Trinidad, Sierra Maestra y Camagüey y en el levantamiento del horst de la parte este de Oriente (macizo Sierra de Purial) donde se manifestaron las deformaciones más intensas de plegamientos y de bloques disyuntivos. Los yacimientos están asociados a las fracturas regionales que existieron durante muchos años y se encuentra en la conexión de las diferentes zonas estructuro-faciales, donde tuvieron lugar los grandes movimientos de bloques (Pinar del Río, conexión de las estructuras plegadas de segundo y tercer orden; Escambray y Sierra Maestra, conexión del anticlinorio con la depresión).

Agrupándose a lo largo de estas fracturas, los yacimientos forman zonas extensas mineralíferas, alargadas concordantemente con la estructura general de la región.

Las fracturas profundas sirvieron como canales conductores que permitieron la penetración de las fuentes magmáticas y transporte de las soluciones mineralíferas.

La deposición mineral tuvo lugar en las zonas de cizallamiento y de disyunción, en las condiciones de los movimientos tectónicos de carácter continuo-discontinuo, que crearon y modificaron las vías del desplazamiento de las soluciones cerca de la fractura.

La mineralización se controla según los espacios que se encuentran entre los estratos de

las capas y por las grietas de disyunción y trituración transversales u oblicuas. Las flexuras de los pliegues, contactos de las rocas de diferente competencia, los lugares de intersección de los distintos sistemas de grietas y muchos otros factores estructurales que se combinan con las condiciones geológicas concretas del área, también son favorables para la localización de los minerales.

Las particularidades de la distribución del mineral en casos aislados se puede conocer solamente mediante el estudio detallado de las estructuras de los campos minerales y yacimientos. El descubrimiento de las estructuras geológicas y selección de las zonas mineralíferas de mayores perspectivas es el objetivo de las investigaciones posteriores.

4. Control litológico.—La mineralización sulfurosa se localiza en complejo muy diferente de rocas que son: sedimentarios, metamórficos, vulcanógenos e intrusivos. Según la composición litológica estos son: areniscas y esquistos arcillosos, Pinar del Río; esquistos grafiticos y carbonáticos (Escambray); calizas, mármol (Isla de Pinos, Escambray y Pinar del Río); esquistos clorítico-epidóticos, feldespático micáceos (parte este de Oriente); porfiritas y tobas de composición media (Sierra Maestra, Escambray, región de Holguín); porfiritas basálticas (regiones de Buenavista, Guáimaro, Holguín); cuarcitas secundarias (Pinar del Río); dioritas (Sierra Maestra, parte este de Oriente, Escambray).

Los procesos mineralizantes tuvieron lugar en cualquier ambiente encajante, que han sufrido movimientos tectónicos intensos.

La composición litológica y las propiedades físico-mecánicas de las rocas acondicionaron el carácter del desarrollo de los movimientos tectónicos y de los procesos hidrotermales posteriores y por consiguiente, también la distribución de la mineralización y la morfología de los cuerpos minerales. Así, por ejemplo, las rocas permeables (areniscas, tobas, porfiritas) con una red desarrollada de grietas finas fueron favorables para la sustitución metasomática y para la formación del mineral de veta e incrustación. Las rocas esquistosas y la alternación frecuente de los diferentes estratos, permitieron la formación de grandes depósitos de minerales macizos. En las rocas ígneas, la mineralización de veta e incrustación y de stock-work está subordinada a la tectónica primaria y secundaria.

Por consiguiente, las acumulaciones de minerales sulfurosos se supone que se puedan encontrar en cualesquiera rocas encajantes. Pero en todas las otras condiciones iguales, las grandes concentraciones industriales se originan preferentemente en las rocas porosas, trituradas y esquistosas (areniscas, rocas tufogénéticas, áreas de alteración frecuente de distintas rocas).

Las secuencias carbonatadas son generalmente, muy favorables para el desarrollo de los procesos metasomáticos y para la deposición de los minerales. Las calizas muy fácilmente entran en una actividad recíproca, con las soluciones hidrotermales y son buenos medios para la sedimentación de los minerales. Sin embargo, la importancia de estas rocas en la formación de la mineralización endógena todavía está poco estudiada en Cuba. Hay datos sobre la existencia de la mineralización sulfurosa en los sedimentos carbonatados en la Isla de Pinos y en la parte occidental de Pinar del Río. El material carbonatado es una parte integrante de la zona mineralífera del Escambray. Las intercalaciones de las rocas carbonatadas forman parte de la secuencia mineralizada El Cobre, donde indudablemente, favorecieron el desarrollo de los procesos hidrotermales.

5. Profundidad del corte erosionado.—Para dirigir correctamente las investigaciones geológicas y evaluar las perspectivas de las áreas mineralizadas es muy importante también conocer la profundidad de la erosión. Lamentablemente, no tenemos dichos datos sobre Cuba.

Se puede sólo suponer que la profundidad máxima relativa del perfil erosionado lo tiene el Escambray y la parte oriental de Cuba, mientras que en la Sierra Maestra y Pinar del Río los procesos de erosión no alcanzaron grandes profundidades. Esto lo confirma la existencia en la Sierra Maestra de la intrusión mineralífera ciega de granitoides, que solamente se descubre en forma de pequeños levantamientos apicales en el nivel contemporáneo de erosión. La secuencia sedimentario-vulcanógena mineralífera El Cobre es el techo de esta intrusión y encajan los yacimientos poco erosionados que yacen sobre las intrusiones. En Pinar del Río, el yacimiento Matahambre no está descubierto por la erosión. La parte superior (Cabezas) de las zonas mineralíferas se encuentran en las profundidades de 30-40 m (zona primera) y 280-300 m (zona segunda).

Según el buzamiento, la mineralización se observa continuamente a una profundidad mayor de 130 m. Teniendo en cuenta que los yacimientos sulfurosos de temperatura media, en la mayoría de los casos, se forma en los intervalos de 0.5-1.0 hasta 2.5-3.5 km de profundidad, se puede suponer que el corte de erosión del yacimiento Matahambre y de las estructuras que lo encajan es poco profundo.

Durante la búsqueda hay que tener en cuenta que las áreas con un corte de erosión menor de 0.5 m y que se observan en la superficie como estériles pero que poseen otros factores favorables, tienen perspectivas para la búsqueda de la mineralización ciega. Al mismo tiempo, las áreas cuyo corte de erosión es mayor de 3.5-4.5 m se deben considerar como no perspectivas.

III. Indicios de búsqueda y perspectivas para revelar yacimientos sulfurosos.

Las áreas más favorables para la formación de los yacimientos sulfurosos son las áreas donde se reúnen todos los factores de control de los minerales mencionados anteriormente: magmático, tectónico, litológico y de erosión.

En estas condiciones como indicios característicos para la mineralización industrial hay que considerar:

1. Áreas de agrietamiento intenso, de brechamiento o de frecuentes cambios litológico-faciales en las rocas.

2) Zonas de cuarcificación, cloritización y carbonatización con un desarrollo de vetas cuarzosas y carbonatadas en forma de red densa.

3) Existencia de indicios directos de la mineralización metálica o de la incrustación de pirita.

4) Sombreros de hierro que se formaron en los afloramientos de los depósitos minerales y que se diferencian de las hematitas pardas puras por la estructura celular de las limonitas.

5) Existencia en la superficie de horizontes carbonatados y oxidados de cobre nativo y otros minerales secundarios.

6) Sobre los depósitos minerales ciegos se manifiesta la cuarcificación de las rocas que se hacen más claras con vetas cuarzosas escasas y una incrustación diseminada de pirita. A causa de la limonitización de toda el área, las mismas se destacan por su color rojizo.

7) Aureolas de diseminación primarias y secundarias (Cu, Pb, Zn, Mo y otros componentes acompañantes que se establecen fácilmente por el método geoquímico y su coincidencia con las anomalías geofísicas, es un indicio seguro de la mineralización industrial que no está descubierta por la erosión.

En los límites de las principales provincias cupríferas de la zona plegada de Cuba, se destacan una serie de zonas metalogénicas (fronteras minerales), que corresponden a determinadas zonas facial-estructurales del levantamiento anticlinal. Por ejemplo, Pinar del Río zona noroeste (Castellano-Hierro) con perspectivas para cobre, polimetales, pirita; Central (Matahambre-Francisco) para cobre y polimetales; noroeste (Buenavista) para cobre; sureste con futuras perspectivas para cobre, pirita y polimetales; Trinidad, zona central (Carlota, Guachinango) para cobre y pirita; occidental (Guas) para cobre y pirita; oriental (Antonio e Isabelita) para cobre y molibdeno; Sierra Maestra zona central (El Cobre-La Nicolasa) para cobre, pirita y oro; sur (Buey Cabón) para molibdeno, cobre, oro etc.

Se conocen también otras zonas metalogénicas que tienen diferentes grados de perspectiva para la búsqueda de los yacimientos de cobre, pirita, polimetales, oro y molibdeno (Anticlinorio de Holguín, Camagüey, levantamiento Sierra de Purial).

Las zonas que tienen mayor interés para la búsqueda de yacimientos industriales de cobre-pirita y polimetálicos, según los datos existentes son: zona noroeste y parte oeste de Pinar del Río; zona central del Escambray y zona central de la Sierra Maestra (pendiente norte).

Sin detenernos en las características de todas las zonas mineralíferas mencionadas anteriormente, como ejemplo, examinemos las perspectivas de la zona cuprífera Sierra Maestra.

En los límites del levantamiento anticlinal de la Sierra Maestra la mineralización sulfurosa se extiende ampliamente tanto en la pendiente norte entre las formaciones vulcanógeno-sedimentaria "El Cobre", como también en las rocas magmáticas de la pendiente sur. En el aspecto regional, las manifestaciones minerales se ubican en los límites de las zonas extendidas a lo largo de la estructura latitudinal de la Sierra Maestra. Según el buzamiento, éstas, en la mayoría de los casos, atraviesan la secuencia poco pendiente del flanco norte del anticlinal.

La mineralización de la pendiente norte (zona central) se desarrolla en las rocas de composición de diferentes tipos, que se caracterizan por una frecuente alteración facial. La secuencia encajante es el techo de una potente intrusión, débilmente erosionada de granitoides.

En una considerable extensión, las rocas del techo están divididas por un sistema de grietas, que acompañan una fractura profunda. Esta unión de todos los factores favorables, crearon las condiciones necesarias para la formación de grandes yacimientos de temperatura media yacientes sobre la intrusión. Para estos yacimientos son característicos los minerales de veta e incrustaciones (El Cobre y otros) y piríticos (La Mañana).

Las investigaciones que deben hacerse en primer lugar son en la zona mineralífera potencial, que encaja las manifestaciones La Nicolasa, La Cristina y La Mañana con la evaluación industrial simultánea de las manifestaciones indicadas. Tienen perspectivas los yacimientos El Cobre y en particular, sus horizontes profundos, así como también las áreas adyacentes al mismo, donde están desarrolladas las rocas alteradas hidrotermalmente. En la pendiente norte se distingue una serie de otras zonas débilmente tectónicas con alteración hidrotermal de las rocas que son favorables para la localización de mineralización sulfurosa.

La pendiente sur se compone de una secuencia toba-porfirítica supuestamente del Cretácico Superior, que está atravesada por afloramientos pequeños de granitoides. Aquí se manifiesta la etapa de las temperaturas más altas del proceso hidrotermal. La mineralización se desarrolla directamente en los contactos de los macizos dioríticos o dentro de éstos. Los tipos genéticos de mineralización más característica son de skarn, filoniano y con menor frecuencia de veta e incrustaciones, hasta los de tipo stock-work. La mineralización tiene un carácter magnético o calcopirítico-molibdenítico.

Esta zona en comparación con la de El Cobre tiene menos perspectivas para revelar grandes yacimientos de cobre, pero presenta un interés considerable para la búsqueda de yacimientos de la formación cuprífero-molibdenítica.

Los tipos descritos de mineralización sulfurosa en Cuba se caracterizan por los siguientes rasgos comunes:

1. Los yacimientos y los depósitos minerales aislados ocupan áreas estrechas dentro de las amplias zonas de las rocas alteradas hidrotermalmente.

2. La mineralización tiene un carácter polimineral y al mismo tiempo, frecuentemente se observan áreas separadas de un metal determinado, es decir, áreas de zonas alteradas hidrotermalmente, que no tienen interés para cobre y pueden tener valor aurífero o tener perspectivas como polimetálicas. Los minerales cobre-pirítico y polimetálicos, posiblemente contienen componentes útiles acompañantes en cantidades industriales.

3. Alrededor de los depósitos minerales siempre se crean aureolas primarias y secundarias de los elementos dispersos, los cuales sirven para encontrar el yacimiento que no está descubierto por la erosión.

4. En los límites de la zona mineralífera se desarrollan ampliamente las zonas enriquecidas por el hierro, que muchas veces no están relacionadas con los minerales, lo que dificulta establecer los lugares donde yacen los cuerpos minerales.

5. Los procesos de intemperismo químico de las rocas están ampliamente desarrollados. Los depósitos minerales en la zona de oxidación se distinguen bien de las rocas encajantes, según las anomalías del campo eléctrico natural.

Teniendo en cuenta las particularidades mencionadas de las manifestaciones y distribución de los yacimientos sulfurosos, la búsqueda de los mismos debe realizarse por medio de un estudio cuidadoso de todas las zonas mineralíferas perspectivas utilizando el complejo de métodos geológicos, geoquímicos, (metalometría) y geofísicos de búsqueda. Simultáneamente, realizar trabajos más detallados para la evaluación de las manifestaciones que tengan mayores perspectivas. Las condiciones imprescindibles para los trabajos de búsqueda y de levantamiento geológico debe ser el estudio complejo de las zonas mineralíferas examinadas y de las rocas alteradas hidrotermalmente. Todos estos tipos de mineralización sulfurosa, además de los componentes principales, tienen interés para Au, Ag, Mo, Si, Cd, As, Te, Se, Re, Ga, Ge y otros.

La realización de las búsquedas regionales y de marcharrutas y de levantamiento geológico a escala 1:50 000, así como también la investigación de manifestaciones aisladas permiten estudiar las condiciones geológico-estructurales y otros factores de control de los yacimientos sulfurosos para cada zona mineral concreta, lo que permitirá revelar más rápidamente los yacimientos industriales.

LA PERFORACION DE LOS POZOS PROFUNDOS FRANCES 5 Y FRAGOSO 1

Ings.: Gustavo Echevarría y Muslin Veliev

Instituto Cubano de Recursos Minerales

Los pozos Francés 5 y Fragoso 1 se perforaron en el período desde 1962 al 1964, al norte de la provincia de Las Villas, en Cuba. Su profundidad final fue de 4 537 m y 5 014 m respectivamente, siendo los pozos más profundamente perforados en nuestro país. Se utilizaron dos equipos soviéticos modelo URAL-MASH 3D, movidos por motores diésel. La rotación a la barrena fue impartida por turbinas de perforación. El personal de inicio fue soviético el cual entrenó al cubano. Hoy día en las nuevas perforaciones con esos equipos, los mismos son operados totalmente por cubanos.

UBICACION

Ambos pozos se ubicaron en base a un trabajo gravimétrico, cuyas anomalías fueron comprobadas por el método sísmico. Estos trabajos revelaron la presencia de estructuras favorables para el entrapamiento de hidrocarburos en el Mesozoico, con la ventaja que coincidieron con cayos de tierra, que favorecieron el montaje en terreno firme.

POZO FRANCES 5

Este pozo se ubicó sobre Cayo Francés, 30 km al nordeste de la ciudad de Caibarién, al norte de la provincia de Las Villas.

CONSTRUCCION DEL POZO

La perforación se realizó con turbina modelo TC-5-9 hasta la profundidad de 3 503 m. Los núcleos o testigos se cortaron también con turbina nucleadora modelo Tc-3-9". A los 3 503 m se cambió la turbo-perforadora modelo TC-56-8 nucleándose los intervalos de interés con la modelo K T 3-8".

El lodo de perforación fue compuesto de arcilla cubana, cáscara de mangle molida en sustitución de quebracho y sosa cáustica. La densidad promedio fue de 1.25 a 1.26 g/cm³.

Durante la perforación se tuvo varias manifestaciones de hidrocarburos. El intervalo de 2 662—2 679 m y 2 679—2 696 m mostró lecturas de gas en el lodo desde 20—40 microamperes hasta 700—800 microamperes.

Para estas zonas se aumentó el peso al lodo alcanzándose 1.35—1.37 g/cm³, manteniéndose hasta la profundidad final de 4 537 m. Se tuvo en reserva 200 m³ de lodo muy pesado y barita pura para utilizarlos en cualquier posible emergencia. Se evitó siempre subir el peso del lodo sobre 1.37 g/cm³ para evitar una posible fractura de las capas.

Las rocas cortadas por la barrena fueron principalmente las siguientes: dolomi-