

Variaciones composicionales, texturales e isotópicas en mineralizaciones de Co-Ni del distrito de Bou-Azzer (Marruecos)

/ ISABEL FANLO GONZÁLEZ(1*), IGNACIO SUBÍAS PÉREZ(1), FERNANDO GERVILLA LINARES(2)

(1) Dpto. Ciencias de la Tierra. Ciudad Universitaria. C/ Pedro Cerbuna 12. Universidad de Zaragoza. 50009, Zaragoza (España)

(2) Dpto. Mineralogía y Petrología. C/ Fuentenueva s/n. Universidad de Granada. 18002 Granada (España)

INTRODUCCIÓN

El distrito minero de Bou Azzer (Anti Atlas, Marruecos), cuya actividad se remonta a 1928, contiene más de 60 explotaciones de las que extrajo, en 2012, el 2% de la producción mundial de Co (Cobalt investment news, 2014).

La importancia económica del distrito ha atraído la atención de los investigadores desde 1935. Existen varios trabajos que se centran en el estudio textural de las menas, si bien en algunos se observan interpretaciones contradictorias (ver Dolanski, 2007 y referencias allí contenidas). Recientemente, Gervilla et al. (2012) contribuyeron a un mejor conocimiento de la paragénesis, la química mineral y las relaciones de fase de una de las mineralizaciones más importantes históricamente del distrito: Aghbar.

Los objetivos de este estudio son: (1) analizar y comparar estas características mineralógicas en otros depósitos con diferente morfología y relaciones estructurales a las de Aghbar y (2) determinar la composición isotópica del S en los diferentes estadios de cristalización de arseniuros y sulfuros con el fin avanzar en el conocimiento de la naturaleza y procedencia de los fluidos mineralizantes.

GEOLOGÍA

El distrito minero de Bou-Azzer se encuentra situado en el Anti-Atlas marroquí, concretamente, a lo largo de la Falla del Anti-Atlas Central. Esta estructura representa una sutura Panafricana que separa dos unidades

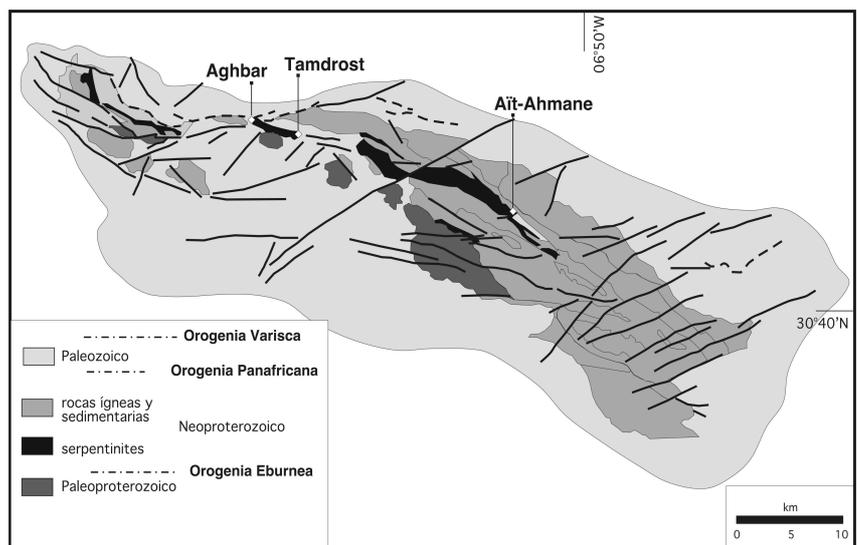


fig 1: Situación de los yacimientos estudiados en el distrito de Bou-Azzer.

tectónicas principales: el Cratón Eburniense de África Occidental (Paleoproterozoico, 2 Ga) al SE, y el Escudo Orogénico Panafricano (Neoproterozoico, 600-700 Ma) al NE. El Anti-Atlas está separado del Alto-Atlas y de la Meseta Oriental por la Falla Sur del Atlas.

A lo largo de estas fallas se distribuye un gran número de ventanas tectónicas Precámbricas, las cuales son remanentes de la sutura Panafricana (685-580 Ma). Todas estas ventanas tectónicas quedan representadas en el registro estratigráfico por medio de un complejo ofiolítico fragmentado (700 Ma) y, superpuesto a éste, se dispone discordante una secuencia de materiales de edad Ediacárico-Cámbrico y el resto de rocas Paleozoicas de origen

sedimentario.

Los diferentes depósitos minerales están encajados en serpentinitas pertenecientes al complejo ofiolítico aludido. Leblanc & Billaud (1982) reconoció diversas morfologías: (1) lentejones, (2) cuerpos horizontales (*shell*) en relación con el contacto superior de la serpentinita, y (3) bolsadas (*stock*) y filones en forma de relleno o de reemplazamiento (*lode*) en relación con fracturas subverticales.

MINERALOGÍA Y PARAGÉNESIS

Los depósitos seleccionados (Fig. 1) cubren las morfologías descritas, y de E a W son: Aghbar, (*shell*), Tamdrost (*lentejón*) y Aït-Ahmane (*stock*). La

palabras clave: Bou-Azzer, paragénesis, isótopos de azufre, cobalto

keywords: Bou-Azzer, paragenesis, S isotopes, cobalt

asociación mineral muestra variaciones en función de la morfología de la mineralización y de sus relaciones con las rocas encajantes.

En la mina de **Aghbar** se han reconocido tres etapas de depósito: 1) menas de Ni, 2) menas de Co-Fe y 3) sulfuros de Cu. El depósito de **Tamdrost** se caracteriza por el depósito de menas en 4 etapas: 1) diarseniuros y triarseniuros de Co, 2) menas de Ni, 3) sulfoarseniuros de Co-Ni y 4) sulfuros de Cu. En la mina de **Aït-Ahmane** también se reconocen 4 etapas de mineralización, aunque con alguna diferencia con la identificada en Tamdrost:

1) triarseniuros de Co y calcita, 2) diarseniuros de Co-Ni-Fe, arseniuros de Ni y sulfoarseniuros, 3) triarseniuros de Co-Ni y 4) di-, triarseniuros y sulfoarseniuros de Co-Ni.

A escala de distrito, se puede apreciar una variación en los contenidos de Co, Ni y Fe entre los tres yacimientos estudiados. Así, los más occidentales, Aghbar y Tamdrost, situados en los extremos del mismo fragmento ofiolítico (Fig. 1), dominan las fases minerales ricas en Ni, que el yacimiento de Aït-Ahmane, el más oriental y donde dominan fases ricas en Co y Fe. Además, en este último yacimiento son mucho más abundantes los sulfoarseniuros (cobaltita-gersdorffita y alloclasita) y el electrum, que se presenta como inclusiones de hasta 25µm, en gersdorffita y skutterudita. Cuando estas fases están relacionadas espacialmente, el electrum aparece en el contacto entre ambas.

ISÓTOPOS DE AZUFRE

La composición isotópica del azufre se ha determinado en diarseniuros, triarseniuros, sulfoarseniuros y sulfuros de los diferentes estadios de mineralización descritos. Los análisis se han realizado mediante pirolisis en un analizador elemental acoplado a un espectrómetro de masas de flujo continuo y mediante técnicas de extracción estándar, ligeramente modificadas teniendo en cuenta la pequeña cantidad de SO₂ liberado por la propia naturaleza de las muestras. Se ha utilizado la técnica descrita por Coleman y Moore (1978) con el añadido de utilizar V₂O₅ para favorecer la combustión.

Los valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ más altos se obtienen en las muestras de la mina

más occidental (Aghbar) y oscilan entre -16,0 y +9,5 ‰ ($\bar{X} = +2,0\text{‰}$). Los valores más bajos se observan en la mina más oriental (Aït-Ahmane) con valores entre -22,5 y -3,3 ‰ ($\bar{X} = -9,9\text{‰}$). La mina de Tamdrost, situada en el centro del distrito presenta valores intermedios (-1,8 a +3,6 ‰; $\bar{X} = +0,7\text{‰}$). Hay, por lo tanto, un descenso sistemático en los valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ hacia el este. Aunque la determinación isotópica de los posibles reservorios locales está siendo realizada en la actualidad, el origen del azufre puede interpretarse utilizando los valores publicados por Levresse et al. (2007) para reservorios regionales. Estos reservorios son: pizarras negras con valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = -38\text{‰}$ y las riolitas con valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ entre -7 y -2‰. Sin embargo, es difícil encontrar en la literatura valores de S magmático que superen +5/+6 ‰. Por consiguiente, habría que buscar otro reservorio capaz de proporcionar valores isotópicamente pesados. Este sería el encajante, las serpentinitas. Alt y Shanks III (2008) dan valores entre -6,7 y +9,8‰ para estas rocas como consecuencia de una reducción en proporción variable de sulfato del agua marina durante el metasomatismo.

CONDICIONES DE FORMACIÓN

Las asociaciones minerales descritas permiten acotar las condiciones de formación mediante el uso de las relaciones de fase establecidas por Hem & Makovicky (2004) y Hem (2006). Así, la composición de los triarseniuros coincide con la correspondiente al campo experimental determinado a 650°C para los primeros episodios de formación. El resto de etapas de formación se suceden a temperaturas progresivamente inferiores a 500°C, siendo la formación de las asociaciones de sulfuros las menor temperatura (en torno a 200-300°C).

Los valores isotópicos obtenidos pueden interpretarse como una mezcla entre valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ ligeros, representados por las pizarras negras, y valores pesados, representados por las riolitas y posiblemente, serpentinitas. El componente pesado tiene una mayor contribución en la parte occidental del distrito (Aghbar), mientras que la fuente ligera dominaría en la parte oriental (Aït-Ahmane).

Teniendo en cuenta las tendencias

observadas, vemos que las mineralizaciones de Co, que son las de menor temperatura, tienen una composición isotópica del azufre más ligera. Esto significaría un predominio del componente hidrotermal/meteórico hacia el E (Aït-Ahmane), mientras que hacia el W dominaría el componente magmático lo que explicaría que las mineralizaciones fueran de mayor temperatura y con mayor contenido en Ni.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Leblanc la cesión de muestras para este estudio. El trabajo ha sido financiado por el proyecto CGL2010-15171 del Ministerio de Ciencia e Innovación (micinn).

REFERENCIAS

- Alt, J.C. & Shanks III, W.C. (2008): *Stable isotope compositions of serpentinite seamounts in the Mariana forearc: serpentinitization process, fluid sources and sulfur metasomatism*. *Earth and Planet Sci Lett.*, **242**, 272-285.
- Cobalt investment news (2014): *Top 10 Cobalt-producing Countries of 2012*. <http://cobaltinvestingnews.com/2910-top-cobalt-producing-countries-congo-china-canada-russia-australia/>
- Coleman, M.L. & Moore, M.P. (1978): *Direct reduction of sulfates to sulfur dioxide for isotopic analysis*. *Anal. Chem.*, **50**, 1594-1595.
- Dolanski, L.M. (2007): *Controls on the genesis of hydrothermal cobalt mineralization: insights from the mineralogy and geochemistry of the Bou Azzer deposits, Morocco*. Unpublished PhD thesis, Montreal, Canada, McGill University, 182p.
- Gervilla, F., Fanlo, I., Colás, V., Subías, I. (2012): *Mineral compositions and phase relations of Ni-Co-Fe arsenide ores from the Aghbar mine, Bou Azzer, Morocco*. *The Can. Mineral.*, **50**, 447-470.
- Hem, S.R. (2006): *Solid solution in the Fe-Co-Ni-As-S system*. *Chem. Geol.*, **225**, 291-303.
- Hem, S.R. & Makovicky, E. (2004): *The system Fe-co-Ni-As-S. II. Phase relation in the (Fe,Co,Ni)As_{1.5}S_{0.5} section at 650°C and 500°C*. *Can. Mineral.*, **42**, 63-86.
- Leblanc, M., & Billaud, P. (1982): *Cobalt arsenide orebodies related to an upper Proterozoic ophiolite; Bou Azzer (Morocco)*. *Econ. Geol.*, **77**(1), 162-175.
- Levresse, G., Cheilletz, A., Gasquet, D., Reischberg, L., Delouie, E., Narty, B., Kyser, K. (2007): *Osmium, sulphur, and helium isotopic results from the giant Neoproterozoic epithermal Imiter silver deposit, Morocco: evidence for a mantle source*. *Chem. Geol.*, **207**, 59-79.