

Minerales del grupo del platino y fases asociadas en el depósito de Ni-Cu-(EGP) de Aguablanca, SW España

Platinum group minerals and associated phases at Aguablanca Ni-Cu-(PGE) deposit, SW Spain

L. Ortega (*), T. Moreno (**), R. Lunar (*), H. Prichard (**), J. Sierra (*), O. Bomatí (*), P. Fisher (**) y F. García Palomero (***)

(*) Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Geología, UCM, 28040 Madrid.

(**) Dept. Earth Sciences, Cardiff University, Cardiff CF1 3YE, Wales, Reino Unido.

(***) Atlantic Copper Holding S.A., Corta Atalaya, s/n. Minas de Riotinto, Huelva.

ABSTRACT

Aguablanca is a Ni-Cu-(PGE) sulphide mineralization associated to mafic facies of the Santa Olalla hercynian intrusion. The sulphides occur as disseminated ore, massive ore and brecciated ore related to gabbros, norites and minor piroxenites and peridotites. Sulphide mineralogy includes pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite and pyrite. The study of polished samples by scanning electron microscopy has enabled to identify discrete platinum group minerals for the first time in the Aguablanca mineralization. The major platinum group minerals (PGM) are palladium- and palladium-platinum-bearing tellurides such as michenerite (PdBiTe), merenskyite (PdTe₂), palladian melonite ((Pd, Ni)Te₂) and members of the solid solution series merenskyite-moncheite (PdTe₂-PtTe₂). Sperrylite (PtAs₂) is the other main Pt-bearing mineral. Phases containing other platinum group elements are rare and include a Os-Ir-bearing sulphoarsenide (irarsite?). Associated minerals include native gold, tellurobismuthite (Bi₂Te₃), bismuthite (Bi₂S₃), hessite (Ag₂Te), volynskyite (AgBiTe₂) and galena. This PGM assemblage is typical of intramagmatic sulphide deposits related to gabbroid rocks.

Key words: platinum group minerals, Ni-Cu sulphide mineralization, Aguablanca.

Geogaceta, 25 (1999), 155-158

ISSN: 0213683X

Introducción

La mineralización de sulfuros de Ni-Cu-(EGP) de Aguablanca es uno de los escasos depósitos metálicos potencialmente explotables descubiertos en España en la última década. Las reservas estimadas en la actualidad (1998) son de 30-35 Mt con leyes de 0,6-0,75 % Ni, 0,5-0,6 % Cu, 0,02 % Co, 0,3 ppm Pt, 0,3 ppm Pd y 0,15 ppm Au. En este tipo de mineralizaciones los elementos del grupo del platino (EGP) son componentes minoritarios pero muy importantes desde un punto de vista económico. Estos elementos pueden estar en solución sólida dentro de sulfuros de Ni y Cu, pero también forman minerales propios que se conocen con el nombre genérico de minerales del grupo del platino (MGP). Sin embargo, la baja concentración de los platinoides en las menas hace muy difícil la localización e identificación de sus minerales durante un estudio microscópico convencional de luz reflejada. Por ello, se ha llevado a cabo un estudio mediante microscopía electrónica de barrido de secciones pulidas representativas de la mineralización de Aguablanca. Esto ha permitido identi-

ficar minerales del grupo del platino por vez primera en este depósito. Los resultados de este estudio se presentan a continuación.

Marco geológico y características de la mineralización

El depósito de Aguablanca se encuentra localizado en el borde N del plutón hercínico de Santa Olalla (Casquet, 1980; Eguiluz *et al.*, 1989; Bateman *et al.*, 1992), dentro de la Zona de Ossa-Morena del Macizo Hespérico. Se trata de una mineralización de sulfuros intramagmática asociada a gabros y noritas, con intercalaciones de piroxenitas y peridotitas. Estas rocas constituyen las facies más básicas del complejo plutónico que también incluye otros tipos litológicos como tonalitas, granodioritas, cuarzo-dioritas y diques graníticos.

La mineralización se concentra en dos cuerpos alargados subverticales definidos por contenidos de Ni > 0,08%. Está constituida fundamentalmente por pirrotina, pentlandita, calcopirita y pirita, con magnetita, ilmenita y rutilo como mine-

rales minoritarios, en una matriz de silicatos. Se distinguen tres tipos de menas: mena diseminada, mena masiva y mena brechificada. Todas ellas presentan la misma mineralogía, aunque las proporciones relativas de los distintos sulfuros y sus características texturales varían.

La mena diseminada está caracterizada por la presencia de sulfuros intersticiales dispersos en un armazón de piroxeno, anfíbol y plagioclasa. Presenta una relación Ni/Cu = 1,5 y la calcopirita es más abundante que en las otras menas. En la mena masiva, los sulfuros constituyen hasta el 80% de la roca y es común que presenten texturas poiquilíticas, englobando cristales de silicatos. Pirrotina y pentlandita son los sulfuros dominantes, lo que se refleja en una relación Ni/Cu = 5. La pirrotina forma grandes cristales ahedrales con texturas de exsolución de pentlandita, calcopirita y pirita. La pentlandita se presenta como 1) cadenas de cristales bordeando a la pirrotina o 2) en el interior de ésta, como flamas y agregados radiados. La brechificación de estas menas es localmente importante y se observa fundamentalmente en la mena masiva, dando lugar a la que se ha denomi-

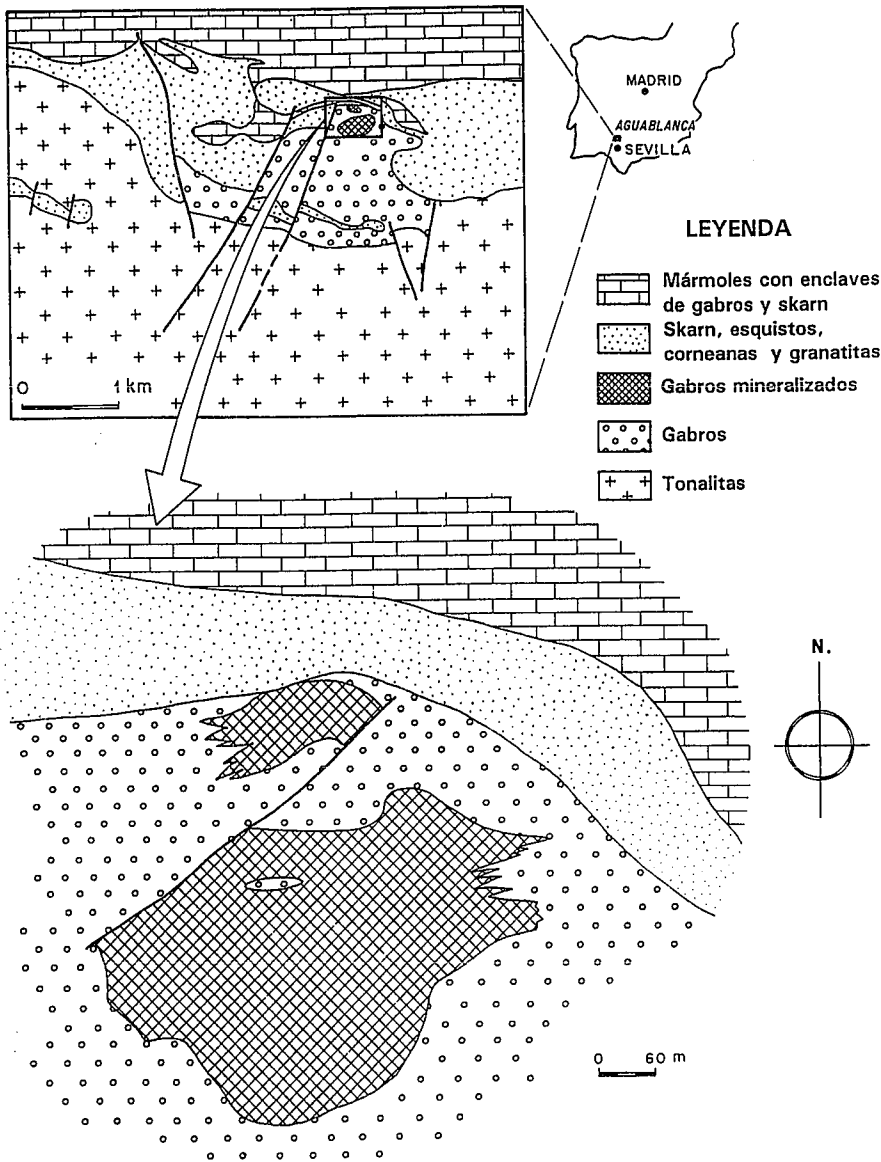


Fig. 1. Mapa geológico del área de Aguablanca, borde N del plutón de Santa Olalla.

Fig. 1. Geological map of the Aguablanca zone, northern part of the Santa Olalla pluton.

nado mena brechificada. La mineralogía es similar a la de la mena masiva, si bien la pirita es más abundante. Además presenta texturas típicas de deformación, como desarrollo de lamelas de deformación en pirrotina, agregados de cristales de pirita alargados y curvados y remobilización de calcopirita.

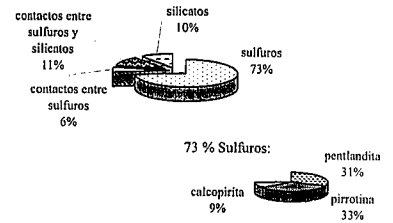
Minerales del grupo del platino

El estudio mediante microscopía electrónica de barrido de los minerales del grupo del platino (MGP) fué llevado a cabo en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Cardiff (Reino Unido). El equipo utilizado fue un Cambridge S360 con un detector 4QBSD

y un analizador EDX Oxford AN10.000, con un voltaje de aceleración de 20 kV. Algunos MGP > 5µm considerados representativos fueron analizados cuantitativamente, empleándose como patrones metales puros. La utilización de esta técnica para analizar MGP se ha demostrado que proporciona excelentes resultados (Garuti y Zaccarini, 1997).

Se estudiaron 19 probetas pulidas de las cuales 6 corresponden a la mena diseminada, 10 a la mena masiva y 3 a la mena brechificada. En estas muestras se localizaron 173 cristales de MGP, observándose que la abundancia media relativa de estos minerales es mayor en la mena brechificada (15 MGP/muestra), siguiéndole en abundancia la mena masiva (9.8 MGP/muestra) y por último la mena dise-

n) Localización de los MGP



b) Tipos de MGP

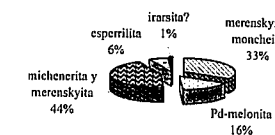


Fig. 2. Diagramas de abundancia relativa de los distintos tipos de MGP (a) y de los minerales encajantes (b).

Fig. 2. Pie diagrams showing relative abundance of PGM types (a) and their host minerals (b).

minada (5 MGP/muestra). Las fases identificadas (Tab.1) corresponden a michenerita (PdBiTe), merenskyita (PdTe₂), miembros de la serie merenskyita (PdTe₂)-moncheita (PtTe₂), melonita paladinífera ((Pd, Ni)Te₂), esperrilita (PtAs₂) y una fase de Ir, Os, As y S que podría corresponder a irarsita. Generalmente se encuentran englobados dentro de sulfuros (73%), fundamentalmente pirrotina y pentlandita (Fig. 2a y Fig. 3d y e). Como fases asociadas a estos MGP se ha observado oro nativo, telurobismutina (Bi₂Te₃) (Fig. 3f y i), bismutina (Bi₂S₃), hesita (Ag₂Te), volinskyita (AgBiTe₂) y galena.

Los MGP suelen aparecer como granos individuales, aunque también se han encontrado granos compuestos de dos o mas individuos (Fig. 3a-i). Los más abundantes son los telururos de Pd y Bi michenerita y merenskyita (Fig. 2b y Fig. 3a, b, c y d). Estas fases pueden presentar contenidos variables de Pt (Tab.1) y en el caso de la merenskyita se observa un amplio rango composicional que va desde merenskyitas puras (merenskyita s.s.) a miembros intermedios de la solución sólida merenskyita-moncheita. Sin embargo, cabe destacar que no se han observado moncheitas puras. Las morfologías de estos telururos son generalmente subeuhedrales, aunque también abundan los granos irregulares, subredondeados o alargados. Los tamaños son pequeños y se sitúan generalmente por debajo de 15µm, aunque en el caso de las merenskyitas con Pt, el 90% de los granos observados son menores de 10µm. Los térmi-

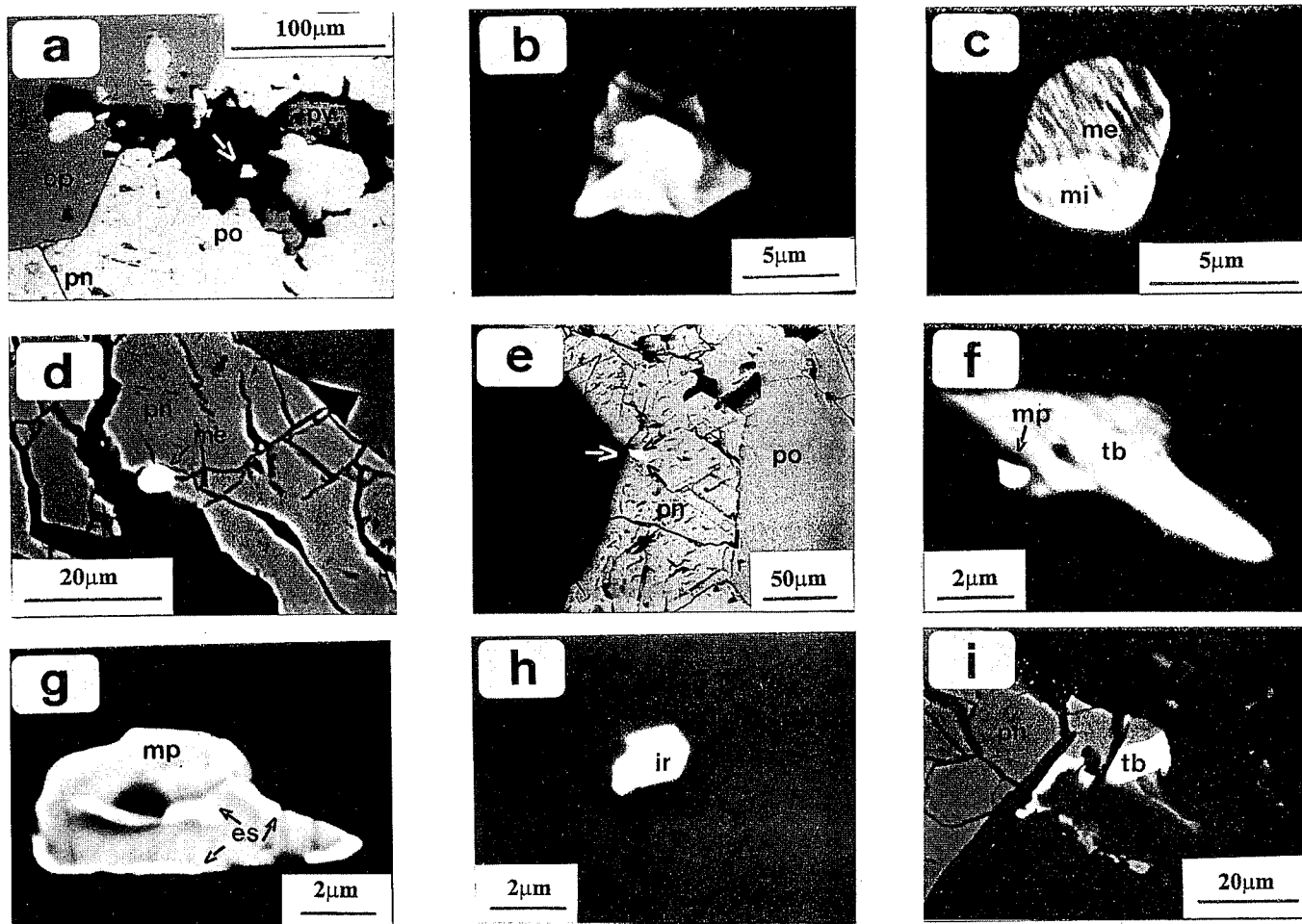


Fig. 3. MGP en Aguablanca (microscopio electrónico de barrido). a: Merenskyita en piroxeno, rodeado por sulfuros. b: Detalle de la anterior. c: Grano compuesto de michenerita y merenskyita. d: Merenskyita con Pt (serie merenskyita-moncheita), en el borde de pentlandita. e: Grano compuesto de telurobismutina y melonita paladinífera, en pentlandita. f: Detalle de la anterior. g: Grano compuesto de melonita paladinífera y diversos granos de esperrilita. h: Cristal de irarsita (?), incluido en calcopirita. i: Telurobismutina en el borde de pentlandita. mi: michenerita, me: merenskyita, mp: melonita paladinífera, es: esperrilita, ir: irarsita, tb: telurobismutina, pn: pentlandita, po: pirrotina, cp: calcopirita, py: pirita.

Fig. 3. PGM in Aguablanca (SEM): a: Merenskyite in pyroxene, surrounded by sulphides. b: Detailed view. c: Michenerite-merenskyite composite grain. d: Pt-merenskyite (merenskyite-moncheite series) in pentlandite. e: Tellurobismuthite and Pd-melonite composite grain, in pentlandite. f: Detailed view. g: Pd-melonite and sperrylite composite grain. h: Irarsite (?) in chalcopyrite. i: tellurobismuthite in pentlandite. mi: michenerite, me: merenskyite, mp: Pd-melonite, es: sperrylite, ir: irarsite, tb: tellurobismuthite, pn: pentlandite, po: pyrrhotite, cp: chalcopyrite, py: pyrite.

nos sin Pt (michenerita y merenskyita s.s.) constituyen las fases dominantes en la mena diseminada (70%) y en la mena brechificada (60%), mientras que en la mena masiva son más comunes los miembros de la serie merenskyita-moncheita (35% frente a 28.5% de michenerita y merenskyita s.s.).

Otras fases con Pd corresponden a melonitas ricas en Pd y Bi (Tab. 1), que representan el 16% de los MGP identificados en este estudio (Fig. 2b y Fig. 3e, f y g). Suelen presentarse como granos subeuhedrales, nunca superiores a 10µm y generalmente por debajo de 5µm. Cabe destacar que la melonita paladinífera sólo se ha encontrado en la mena masiva y se localiza preferentemente en pirrotina, aunque también es común encontrarla englobada en pentlandita.

La esperrilita es escasa en cuanto a número de granos encontrados en este estudio (6%, Fig. 2b). Sin embargo, forma grandes cristales euhedrales, con tamaños considerablemente mayores que los otros MGP (hasta 35µm). Suele aparecer en granos individuales, aunque ocasionalmente se ha observado en granos compuestos con melonita paladinífera (Fig. 3g). Se distribuye por igual en la mena masiva y en la diseminada, siendo más escasa en la mena brechificada y su composición (Tab.1) se aproxima mucho a la composición estequiométrica. En cuanto a la fase de Ir-Os-As-S, sólo se han encontrado dos granos de tamaño inferior a 3µm, por lo que no fue posible su análisis cuantitativo. Tentativamente, se ha clasificado como irarsita. Estos granos se localizaron dentro de calcopirita de la mena diseminada.

Conclusiones

El depósito de sulfuros de Ni-Cu-(EGP) de Aguablanca es un ejemplo de mineralización intramagmática formada por inmiscibilidad de un líquido sulfurado a partir de un fundido silicatado de composición máfica. Los EGP forman minerales propios, fundamentalmente fases de Te, Bi, Pd y Pt, a los que se asocian telururos de Bi y Ag. Esta mineralogía ha sido observada en otros yacimientos de sulfuros de Ni-Cu-EGP como Sudbury, Canadá (depósitos de McCreedy East y Victor Deep, Jago *et al.*, 1994) y Noril'sk, Siberia (Genkin and Evstigneeva, 1986). En Aguablanca, al igual que en estos yacimientos, los MGP se encuentran asoci-

	1	2	3	4	5
Pd	24.33	26.00	12.37	12.19	-
Pt	0.98	-	14.66	-	56.72
Ni	0.95	0.26	2.39	9.09	-
Fe	1.03	1.65	1.21	2.24	0.50
Bi	39.11	12.13	21.72	11.11	-
Te	31.83	58.90	46.44	64.14	-
As	-	-	-	-	42.10
S	-	0.25	0.10	0.27	0.22
Total	98.23	99.19	98.89	99.04	99.54

1. Michenerita: $(\text{Pd}_{0.97}\text{Pt}_{0.02}\text{Fe}_{0.08}\text{Ni}_{0.07})_{\Sigma=1.14}\text{Bi}_{0.80}\text{Te}_{1.06}$
2. Merenskyita: $(\text{Pd}_{0.90}\text{Fe}_{0.11}\text{Ni}_{0.02})_{\Sigma=1.03}(\text{Bi}_{0.22}\text{Te}_{1.72}\text{S}_{0.03})_{\Sigma=1.97}$
3. Merenskyita (serie merenskyita-moncheita):
 $(\text{Pd}_{0.48}\text{Pt}_{0.31}\text{Fe}_{0.09}\text{Ni}_{0.17})_{\Sigma=1.05}(\text{Bi}_{0.43}\text{Te}_{1.51}\text{S}_{0.01})_{\Sigma=1.95}$
4. Melonita paladinifera: $(\text{Ni}_{0.52}\text{Pd}_{0.38}\text{Fe}_{0.13})_{\Sigma=1.03}(\text{Te}_{1.77}\text{Bi}_{0.18}\text{S}_{0.02})_{\Sigma=1.97}$
5. Esperrilita: $(\text{Pt}_{1.00}\text{Fe}_{0.03})_{\Sigma=1.03}(\text{As}_{1.95}\text{S}_{0.02})_{\Sigma=1.97}$

Tabla 1. Composición química (% peso) y fórmulas de minerales del grupo del platino de Aguablanca. Análisis cuantitativo mediante SEM.

Table 1. Chemical composition (wt%) and formulae of PGH from Aguablanca. SEM quantitative analysis.

dos a sulfuros, lo que indica el papel dominante del fundido sulfurado en la concentración de los EGP (Naldrett y Duke, 1980; Naldrett, 1981). Este factor también explica el hecho de que en Aguablanca los MGP sean más abundantes en las menas masiva y brechificada, más ricas en sulfuros que la mena diseminada.

Por otra parte, el predominio de minerales de Pd y Pt, frente a la casi total ausencia de minerales de otros EGP está condicionado por el tipo de rocas ígneas en las que encaja la mineralización. En

este sentido, la asociación observada en Aguablanca es típica de rocas de composición gabroide, que concentran preferentemente Pd y Pt. Sin embargo, los platinoides de alta temperatura (Os, Ir, Rh y Ru) son característicos de cromititas, tanto en intrusiones bandeadas como en ofiolitas (Sharkov, 1997).

Por último, la presencia en este tipo de depósitos de elementos tales como Te, Bi, As y Ag, más típicos de granitos que de rocas máficas, ha sido atribuida a la asimilación de corteza cortical durante el

ascenso de los magmas a la superficie (Sharkov, 1997).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consorcio Presur - Atlantic Copper Holding S.A. las facilidades prestadas para este estudio. La estancia en la Universidad de Cardiff, Reino Unido, de L.O. durante este estudio fue financiada por una Bolsa de Viaje de la Universidad Complutense.

Referencias

- Bateman, R., Martín, M.P. y Castro, A. (1992): *Lithos* 28, 111-131.
- Casquet, C. (1980): *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense de Madrid.
- Eguiluz, L., Carracedo, M. y Apalategui, O. (1989): *Stvd. Geol. Salman.* 4: 145-157.
- Garuti, G. y Zaccarini, F. (1997): *Can. Mineral.* 35: 611-626.
- Genkin A.D. y Evstigneeva T.L. (1986): *Econ. Geol.* 81: 1203-1212.
- Jago, B.C., Morrison, G.G. y Little, T.L. (1994): En: P.C. Lightfoot y A.J. Naldrett (eds), *Proceedings of the Sudbury and Noril'sk Symposium. Ontario Geol. Surv. Sp.* Vol. 5: 65-75.
- Naldrett, A.J. (1981): *Econ. Geol.* 75th *Anniv. Vol.*: 628-685.
- Naldrett, A.J. y Duke, J.M. (1980): *Science* 208: 1417-1428.
- Sharkov, E.V. (1997): En: H. Papunen (ed), *Mineral Deposits: Research and Exploration. Where do they meet?, Proceedings 4th SGA meeting, Finlandia:* 499-502.