

Magmatic stratigraphy of the Eocene porphyries at the Gaby porphyry copper deposit (northern Chile): Implications for exploration



Master in Earth Sciences
by BLASCO NEIRA Judit

Under the supervision of:
Dr. KOUZMANOV Kalin

Université de Genève

11/06/2024

STATEMENT

I certify that all statements in this text, that are not the result of my personal reflection, are attributed to the appropriate literature and that any passage copied from another source is placed in quotes.

DISCLAIMER

The information contained in this report is part of an academic exercise and represents the work of the author and neither the ELSTE nor the University of Geneva. The author and the ELSTE disclaim any liability in connection with the use of this information.

COPYRIGHT

Quotations from this memoire are permitted only if they serve as a comment, reference or demonstration to the user. The quote must imperatively mention the source and the author's name. The Swiss federal law on copyright and Neighbouring Rights (LDA) are applicable.

RESUME

La durée de l'activité magmatique dans les porphyres varie de périodes courtes (~ 1 Ma) à plus longues (~ 8 Ma), souvent associées à une ou plusieurs mises en place d'intrusions magmatiques discrètes. Cette variation implique des fluctuations de la température des magmas, de la fugacité de l'oxygène et de la composition tout au long de l'histoire magmatique des systèmes porphyriques à Cu-Au, des paramètres qui affectent la fertilité des séries magmatiques.

Cette étude se concentre sur le gisement de type porphyre Cu(-Mo) de Gaby au nord du Chili, où la séquence des événements magmatiques et la fertilité des différentes intrusions porphyriques restent largement inconnues. La zone d'étude comprend le cluster de Zeus (secteur nord), le cluster de Gaby (zone centrale) et celui de Lucy (secteur sud). Pour y parvenir, une analyse complète des roches magmatiques de l'Éocène, y compris les porphyres de type « Crowded » et les dykes mafiques, a été réalisée grâce à l'examen de leur pétrographie, de la géochimie roche totale, de la composition en éléments mineurs et traces de l'apatite et du zircon magmatiques, ainsi que de la géochronologie U-Pb des zircons. Diverses méthodes analytiques ont été utilisées, notamment la minéralogie automatisée QEMSCAN, la cathodoluminescence optique et SEM et les techniques de microfaisceau telles que l'EPMA et le LA-ICP-MS.

Les descriptions pétrologiques et la géochimie de roche totale ont identifié trois faciès dans les porphyres Crowded : 1) la granodiorite porphyrique, la principale lithologie du porphyre Crowded trouvé dans les trois secteurs ; 2) la granodiorite équigranulaire; et 3) le monzogranite porphyrique, qui contient une teneur en feldspath potassique primaire plus élevée que les deux autres faciès et ne se retrouve que dans le secteur Gaby. Aucune différence géochimique majeure n'a été observée entre ces faciès. De plus, deux types de dykes mafiques de porphyre postérieur au Crowded ont été reconnus : la microdiorite et la diorite à grain moyen.

La datation U-Pb par LA-ICP-MS sur zircon a indiqué que l'activité magmatique dans le gisement de Gaby Sur s'est étendue sur 8,5 millions d'années, de $46,89 \pm 0.53$ Ma à $38,35 \pm 0.58$ Ma, suivant une orientation NE-SW de mise en place de porphyres, qui ont été mis en place principalement dans le complexe plutonique de Pampa Elvira (PEPC). La géochronologie U-Pb sur PEPC indique une mise en place de ce dernier entre $282,2 \pm 2.1$ et $265,4 \pm 2.9$ Ma.

La géochimie du zircon a révélé une diminution des températures (730-690 °C) et une augmentation de l'état d'oxydation (+0,7 à +1,7 Δ FMQ) au cours de la durée de vie du système magmato-hydrothermal. Cependant, aucun fractionnement ni variation significative de la teneur en soufre et en chlore n'a été identifié. Les cristaux d'apatite ont montré une substitution de Cl par F en raison d'une activité hydrothermale ultérieure, suggérant la nécessité d'une étude plus approfondie sur l'utilisation de l'apatite comme indicateur de la teneur en Cl des magmas. Deux étapes magmatiques principales ont été identifiées : 1) une étape initiale stérile avec Δ FMQ < +1 de 46,6 à 44 Ma dans le secteur de Zeus, et 2) une étape fertile ultérieure avec une teneur élevée en eau (0,38-0,8 Sr/Y de roche entière), un état d'oxydation (\sim 1,2- 1,7 Δ FMQ dans les zircons) et teneur en soufre (0,10-0,5 % en poids de SO₃) élevées dans les magmas de 41,6 à 38,8 Ma, enregistrés dans les intrusions dans les trois secteurs. Les dykes mafiques, caractérisés par un faible rapport Sr/Y, un faible état d'oxydation et une faible teneur en soufre, peuvent être considérés comme des intrusions stériles. Les datations Re-Os précédentes dans la molybdénite, associées aux résultats U-Pb de ce travail, suggèrent que l'activité magmatique-hydrothermale formant à l'origine de la minéralisation a duré environ 6 Ma, indiquant une grande dotation en Cu.

Mots clés : porphyre cuprifère, stratigraphie magmatique, fertilité magmatique, géochronologie U-Pb

ABSTRACT

The duration of magmatic activity in porphyries varies from short (~1 Ma) to long-lived periods (~8 Ma) often associated with one or more discrete magmatic pulses. This variation implies fluctuations in temperature, oxygen fugacity, and composition of the melt throughout the magmatic history of porphyry systems, affecting the fertility of porphyry suites.

This study focuses on the Gaby porphyry Cu(-Mo) deposit in northern Chile, where the magmatic stratigraphy and fertility of the various porphyry bodies remain largely unknown. The study area includes the Zeus (northern sector), Gaby cluster (central area), and Lucy (southern sector). To achieve this, a comprehensive analysis of the Eocene rocks, including Crowded porphyry and mafic dykes, was conducted through the examination of their petrography, whole-rock geochemistry, and apatite and zircon chemistry, and U-Pb geochronology in zircons. Various analytical methods were employed, including automated mineralogy QEMSCAN, optical and SEM cathodoluminescence, and microbeam techniques such as EPMA and LA-ICP-MS.

Petrological descriptions and whole-rock geochemistry identified three facies in the Crowded porphyries: 1) porphyritic granodiorite, the main lithology of Crowded porphyry found in all three sectors; 2) equigranular granodiorite; and 3) porphyritic monzogranite, which contains higher primary K-feldspar content in respect the other two facies and is only found in the Gaby sector. No major geochemical differences were observed between these facies. Additionally, two types of post-Crowded porphyry mafic dykes were recognized: microdiorite and medium-grained diorite.

U-Pb dating indicated that magmatic activity in the Gaby Sur deposit spanned 8.5 million years, from $46,89 \pm 0.53$ Ma to $38,35 \pm 0.58$ Ma 46.6 Ma to 38.3 Ma, following a NE-SW trend of porphyry emplacement, which intruded mainly in the Pampa Elvira Plutonic Complex (PEPC). U-Pb geochronology for PEPC dates the plutonic rocks from $282,2 \pm 2.1$ to $265,4 \pm 2.9$ Ma.

Zircon geochemistry revealed a decrease in temperature (730-690 °C) and an increase in oxidation state (+0.7 to +1.7 Δ FMQ) of magmas over the lifespan of the system. However, no crystal fractionation or significant variations in sulphur and chlorine content were identified. Apatite crystals showed substitution of Cl by F due to later hydrothermal activity, suggesting the need for further study on using apatite as a proxy for Cl content

in the silicate melt. Two main magmatic stages were identified: 1) an initial sub-economic stage with $\Delta\text{FMQ} < +1$ from 46.6 to 44 Ma in Zeus, and 2) a subsequent fertile stage with high water content (0.38-0.8 whole-rock Sr/Y), oxidation state (~ 1.2 - 1.7 ΔFMQ in zircons), and sulfur content (0.10-0.5 wt.% SO_3) in magmas from 41.6 to 38.8 Ma, recorded in intrusions across all three sectors. The mafic dykes, characterized by low Sr/Y, low oxidation state, and low sulfur content, were considered as barren intrusions. Previous Re-Os dating of molybdenite, coupled with the U-Pb results of this work suggest that ore-forming magmatic-hydrothermal activity lasted approximately 6 Ma, indicating a large potential Cu endowment.

Keywords: Porphyry Cu system, magmatic stratigraphy, magma fertility, U-Pb geochronology