

Structural, petrological and geochemical constraints on transfer and evolution of arc magmas in the mafic-ultramafic Sapat Complex (Kohistan; Northern Pakistan)

by Pierre Bouilhol

Doctoral Thesis

Author(s):

Bouilhol, Pierre

Publication date:

2008

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005753977>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH NO. _18081_

**Structural, petrological and geochemical constraints on
transfer and evolution of arc magmas in the mafic-
ultramafic Sapat Complex (Kohistan; Northern Pakistan)**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Pierre Bouilhol

Master in Earth Science (DEA), University of Montpellier (France)

Date of birth
10 November 1979

Citizen of France

accepted on the recommendation of

Jean-Pierre Burg (ETH)
Max W. Schmidt (ETH)
Peter B. Kelemen (Columbia University, USA)

2008

Abstract

Kohistan refers to a Himalayan region in NW Pakistan. This geographical region, as big as Switzerland, is known among geologists to host one of the best exposures of Paleo-Island arcs. The Kohistan paleo-island arc formed in the Tethys Ocean above a north-dipping subduction during Mesozoic times. The paleo-arc is now delimited by two suture zones, the Indus Suture zone to the south and the Karakoram Suture to the north. The best known section of the Kohistan Paleo-island Arc is along the Karakoram Highway, which displays the arc from its roots, above the Indus Suture, to its sediments, in the footwall of the Karakoram-Kohistan Suture. The Sapat Complex lies directly above the Indus Suture in tributaries of the Kaghan Valley. It is one of these areas that have been little documented because working conditions (remote, high and steep valley) are not favourable. Literature mentioned the existence of ultramafic and mafic rocks but the area is best known for the occurrence of gem olivine.

This research work aimed elucidating the geodynamical setting of the Sapat Complex and characterizing the magmatic processes recorded in these rocks. For this purpose, field work, structural and petro-geochemical analyses and geochronological determination have been carried out. Results shed light on the forearc affiliation of the Sapat Complex and bring new insights on how arc-magmas are transferred and evolve in the mantle via porosity waves and in the crust via magmatic pipes.

Previously believed to represent a magmatic chamber of the arc, the Sapat Complex actually includes an upper mantle section and its overlying crust. The ultramafic mantle rocks are made of depleted meta-harzburgite showing in some places dunites and pyroxenites-gabbros that formed at the expense of the meta-harzburgites via melt-rock reactions. The formation of the dunite-pyroxenite is best explained by the percolation via porosity waves of primitive arc melt into the meta-harzburgites. The chemical characteristics of the melts and surroundings peridotites suggest that the dunite-pyroxenites formed in a forearc region. The presence of gem olivine and associated calcite + cr-clinocllore within the dunites testifies for the percolation of carbonated fluids. The chemical characteristics of these vein minerals show that they are not issued from late Himalayan metamorphism but are of subduction origin. Their peculiar chemistry (low Nb/Ta, low $\delta^{11}\text{B}$) shows that carbonated fluids would influence the behavior of high field strength element and B in the mantle wedge. The crustal part of the Sapat Complex comprises series of meta-plutonic rocks enclosing pyroxenite bodies. These series represent a cumulative sequence issued from the same parental melt as those forming the dunite-pyroxenite association within the mantle. The isotopic characteristics of the series validate the cogenetic nature of all lithologies and strengthen the interpretation of forearc origin. They also show that the widespread fluid-assisted metasomatism affecting the rocks occurred during subduction. The pyroxenite bodies enclosed in the metaplutonic series represent magmatic pipes in which primitive melts have been transferred toward higher crustal levels and in which differentiation took place. These conduits are analogue to deep magmatic chambers used as melt highways within the crust. The Sapat Complex formed on a forearc region between 105 and 99 Ma, possibly favored by trenchward migration of the melting source region.

Résumé

Le Kohistan est une région Himalayenne au NW du Pakistan. Cette région, aussi grande que la Suisse, est connue parmi les géologues pour être l'un des paléo-arcs volcaniques les mieux exposés. Ce paléo-arc s'est formé dans la Téthys, au-dessus d'une subduction à vergence nord pendant le crétacé. Il est maintenant encadré par deux sutures, la suture de l'Indus au sud et la suture Karakorum-Kohistan au nord. La section la plus connue de l'arc du Kohistan est celle de la route du Karakorum; elle permet d'étudier l'arc depuis ses racines, au-dessus de la suture de l'Indus, jusqu'à ses sédiments, sous de la suture nord. Le complexe de Sapat se trouve au-dessus de la suture de l'Indus, dans des affluents de la vallée de Kaghan. Il s'agit de l'un des secteurs qui, en raison des conditions de travail (difficulté d'accès, altitude) ont été peu documentés. La littérature y avait mentionné l'existence de roches ultramafiques et mafiques, mais Sapat est particulièrement connu pour son olivine gemme.

Ce travail de thèse avait pour but d'élucider le cadre géodynamique du complexe de Sapat et de caractériser les processus magmatiques qui ont formé ces roches. Les travaux de terrain classiques ont donc été complétés par des analyses structurales, pétro-géochimiques et géochronologiques. Les résultats permettent de déterminer l'affiliation d'avant-arc de Sapat et de documenter les processus de transfert des magmas d'arc dans le manteau par l'intermédiaire de vagues de porosité, et dans la croûte par l'intermédiaire de chenaux magmatiques.

Anciennement considéré comme une chambre magmatique dans l'arc, le complexe de Sapat représente en fait une section mantellique surmontée par sa croûte. Les roches ultramafiques du manteau sont principalement des méta-harzburgites appauvries au sein desquelles la percolation de magmas primitifs a généré des dunités et des pyroxénites-gabbros. Les caractéristiques géochimiques des magmas et des péridotites encaissantes montrent que les dunités-pyroxénites se sont formées dans une région de forearc. La présence de veines à olivine gemme et de calcite + cr-clinochlore dans les dunités témoigne de la percolation de fluide carbonatés. Les caractéristiques chimiques de ces minéraux prouvent qu'ils ne se sont pas formés à la faveur d'un événement métamorphique himalayen mais sont liés à la subduction. Leur chimie particulière (faible Nb/Ta et $\delta^{11}\text{B}$) indique que les fluides carbonatés influencent le comportement d'éléments lithophiles à fort potentiel ionique et du B dans le manteau.

La partie crustale du complexe de Sapat est une série de roches méta-plutoniques renfermant des corps pyroxénitiques. Ces séries représentent une séquence cumulative issue d'un même magma parent et cogenétique avec les produits de fusion qui ont formé l'association dunités-pyroxénites du manteau. Les caractéristiques isotopiques des roches valident le caractère cogenétique de toutes les lithologies décrites et renforcent l'hypothèse d'une origine d'avant-arc. Elles prouvent également que la métasomatose affectant les séries plutoniques a eu lieu pendant la subduction. Les corps de pyroxénite dans les séries métagltoniques représentent des conduits magmatiques dans lesquels des magmas primitifs ont été transférés vers les niveaux crustaux supérieurs, et dans lesquels une différenciation s'est produite. Ces conduits sont équivalents à des chambres magmatiques profondes jouant le rôle « d'autoroute magmatique ». Le complexe de Sapat s'est formé sur une région d'avant-arc entre 105 et 99 Ma à la faveur du déplacement vers la fosse des sources magmatiques.