

Diss ETH No.12771

**STRUCTURAL AND GEOCHRONOLOGICAL STUDY OF THE INDIA-KOHIKSTAN ARC  
COLLISION, LOWER SWAT REGION OF PAKISTAN, NW HIMALAYA.**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH  
for the degree of Doctor of Natural Sciences

Presented by Robert Anczkiewicz  
Master of Science, Geology Institute, University of Wroclaw, Poland  
Born April 8, 1969  
Citizen of Poland

Accepted on the recommendation of

Prof. Jean-Pierre Burg	ETH Zürich	Referee
Dr. Felix Oberli	ETH Zürich	Co-referee
Dr. Derek Vance	Open University Milton Keynes	Co-referee
Dr. Igor M. Villa	University Bern	Co-referee

Zürich, 1998

### Abstract

The NW Himalayan collisional system comprises three distinct crustal domains. From south to north they are: the Indian plate, the Indus Suture Zone (Main Mantle Thrust) and the Kohistan paleo-island arc (KIA). The studied area is located in the Mingora-Alpurai region, Lower Swat district of Pakistan, where the Indus Suture Zone (ISZ) forms one of the largest exposures. Structural mapping of the Indus Suture Zone lithologies and neighbouring parts of the northern Indian margin and of the basal part of the Kohistan arc were carried out. Geochronological studies were conducted in order to provide time constraints on pre- syn- and post-collisional magmatic, metamorphic and deformational evolution in the three domains. In addition, geochronological studies were carried out on the garnet granulites of the KIA in the Jijal-Patan area were conducted.

#### *The Indian plate*

The lowest crustal level in the Indian plate domain is represented by the Swat and the Choga granite gneisses. The Choga granite gneiss consists of peraluminous granites, whose U-Pb zircon dating yielded a  $468 \pm 5$  Ma magmatic emplacement age. The alkaline Swat granite, which intruded overlying Alpurai metapelite, yielded a  $268 +7/-3$  Ma U-Pb zircon age interpreted as the time of intrusion. The granitoids together with the overlying Alpurai and Saidu schists underwent amphibolite and greenschist facies metamorphism during collisional time. The earliest, collision related, deformational phase is associated with southward-directed thrusting and formation of large-scale recumbent folds. This period was followed by the reactivation of the ISZ as a normal fault. As a result of normal faulting the greenschist facies Saidu schists were juxtaposed against amphibolite facies Alpurai schists. Strike-slip faulting, most likely, occurred at this stage. The extension related structures are folded by N-S trending folds, whose formation is probably contemporaneous with building of the Besham syntaxis.

Sm-Nd dating of garnet from the Alpurai schists and  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dating of hornblende and muscovite indicate that the Lower Swat region remained under lower amphibolite facies conditions (or higher) until ca. 35 Ma. The main period of exhumation is most likely related to the extensional period. Its maximum age was constrained by dating late kinematic alkali granite dykes, which post-date the main metamorphism and are deformed by the extension related N-vergent folds. U-Pb zircon dating yielded  $29.3 \pm 0.2$  Ma magmatic emplacement age, which was also confirmed by a  $28.6 \pm 1.4$  Ma  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  muscovite age.

#### *Indus Suture Zone*

A new subdivision of the Indus Suture Zone lithologies is proposed. The main mapped units represented by Sheared Olistostromic Unit, Interlayered Blueschists and Greenschists, Volcaniclastic metaturbidites and serpentinised ultramafics. They are separated by fault

contacts and form a zone of imbricated blocks, which underwent multi phase deformational history. Due to different rheological properties and strong brittle overprint structural comparison between the units is ambiguous. Very well preserved extensional structures within the 'Sheared Olistostromic Unit', similar to those observed in the Indian plate, suggest that Indian plate and the ISZ lithologies have shared a similar deformational history since this stage or earlier.

Rb-Sr dating of blueschist facies assemblages yielded ages of  $77.0 \pm 0.4$  and  $79.7 \pm 0.4$  Ma. This was confirmed by a  $80.4 \pm 0.7$  Ma Ar-Ar muscovite age. These dates are interpreted as reflecting peak blueschist facies conditions. Lack of collision-related metamorphic overprint is probably due to underplating of the blueschists to the hanging wall of the MMT prior to collision or earlier obduction onto the Indian plate.

#### *Kohistan arc*

Sm-Nd and Rb-Sr garnet dating of the Kamila amphibolites in Kwazakhela area yielded concordant ages of  $94.6 \pm 5.3$  and  $99.5 \pm 15.7$  Ma, respectively. Similar ages were obtained for the amphibolitised garnet granulite, from the Jijal-Patan complex, which yielded  $95.7 \pm 2.7$  and  $101.3 \pm 10.4$  Ma by Sm-Nd and Rb-Sr techniques, respectively. Petrological observations and comparison with other studies indicate that garnet is a relic of the earlier, granulite facies metamorphism. These dates are interpreted as reflecting, or shortly post-dating the granulite facies metamorphic peak. Rb-Sr and Ar-Ar dating of the amphibolitisation process leads to more ambiguous results.  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  paragonite dating resulted in  $86.7 \pm 4.6$  Ma age, which is similar to other dates obtained by this technique in the region. A Rb-Sr internal isochron (whole rock-paragonite-hornblende) yielded  $59 \pm 12$  Ma. The latter age suggests that the amphibolitisation of the lower crustal rocks in the Kohistan arc also could have taken place during the collision event.

### Zusammenfassung

Der Kollisionsgürtel des NW Himalaya setzt sich aus drei unterschiedlichen Krustenbereichen zusammen. Diese sind - von Süden nach Norden – die Indische Platte, die Indus Suturezone (Main Mantle Thrust, MMT) und der Kohistan Paläo-Inselbogen (KIA). Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Mingora-Alpurai Region, Lower Swat district in Pakistan, wo einer der größten Aufschlüsse der Indus Suturezone (ISZ) auftritt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine strukturgeologische Kartierung der Indus Suturezone, der angrenzenden Teile des nördlichen Randes der Indischen Platte und des basalen Teils des Kohistan Inselbogens durchgeführt. Die hier präsentierten neuen geochronologischen Daten erlauben die zeitliche Einordnung des prä- und kollisionsbezogenen Magmatismus, der Metamorphose und der damit in Zusammenhang stehenden Deformationen. Zusätzlich wurden auch die Granatgranulite des KIA im Jijal-Patan-Gebiet geochronologisch untersucht.

#### *Indische Platte*

Das unterste Krustenstockwerk der Indischen Platte wird durch die Swat und Choga Granitgneise gebildet. U-Pb-Datierungen an Zirkonen des peraluminösen Choga Granitgneises ergaben ein magmatisches Intrusionsalter von  $468 \pm 5$  Ma. Der alkaline Swat Granit, der Intrusionsbeziehungen zum aufliegenden Alpurai Metapelit zeigt, ist durch ein Alter von  $268 +7/-3$  Ma charakterisiert. Dieses U-Pb Zirkonalter wird als Intrusionsalter interpretiert. Während der Kollision erlitten sowohl die Granitoide als auch die auflagernden Alpurai und Saidu Schiefer eine Metamorphose unter Bedingungen der Amphibolit- bis Grünschieferfazies. Die älteste Deformationsphase steht in Zusammenhang mit S-gerichteten Überschiebungen und der Bildung von gross-massstäblichen, überkippten Falten. Diese Phase wurde abgelöst von einer Reaktivierung der ISZ als Abschiebung, wodurch die grünschieferfaziellen Saidu Schiefer neben amphibolitfazielle Alpurai Schiefer gebracht wurden. Sehr wahrscheinlich kam es während dieser Phase auch zu Blattverschiebungen. Die Extensionstrukturen sind durch Falten mit N-S-streichenden Achsen verfault, deren Bildung zeitlich wahrscheinlich mit der Bildung der Besham Syntaxis zusammenfällt.

Sm-Nd Datierungen an Granat und  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  Analysen von Hornblende und Muskovit zeigen, dass die Lower Swat Region bis ca. 35 Ma durch niedrige amphibolitfazielle (oder noch höhere) Metamorphosebedingungen charakterisiert war. Die Hauptexhumierungsperiode ist sehr wahrscheinlich der Extensionsphase zuzuordnen. Deren Maximalalter kann durch die Datierung eines spätkinematischen, alkalinen granitischen Ganges erfasst werden, der nach der Hauptmetamorphose intrudierte, aber noch von den N-vergenten, extensionsbezogenen Falten deformiert wurde. U-Pb Zirkon Datierungen ergaben ein

magmatisches Intrusionsalter von  $29.3 \pm 0.2$  Ma, das durch ein  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  Muskowalter von  $28.6 \pm 1.4$  Ma bestätigt wird.

### *Indus Suturezone*

Eine neue Unterteilung der Lithologien der Indus Suturezone wird vorgeschlagen. Die kartierten Einheiten werden durch Störungskontakte getrennt und bilden eine Schuppenzone, die eine mehrphasige Deformationsgeschichte erfuhr. Aufgrund der unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften und der starken spröden Überprägung ist kein eindeutiger struktureller Vergleich zwischen den Einheiten möglich. Guterhaltene Extensionsstrukturen innerhalb der „Sheared Olistrostromic Unit“, ähnlich jenen der Indischen Platte zeigen, dass die Indische Platte und die ISZ Lithologien eine gemeinsame Deformationsgeschichte seit dieser Phase oder früher hatten.

Rb-Sr Datierungen der blauschieferfaziellen Paragenese ergaben präzise Alter von  $77.0 \pm 0.4$  und  $79.7 \pm 0.4$  Ma, in guter Übereinstimmung mit einem Phengit- $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Alter von  $80.4 \pm 0.7$  Ma. Diese Alter datieren den Höhepunkt der blauschieferfaziellen Metamorphosebedingungen. Das Fehlen einer kollisionsbezogenen metamorphen Überprägung ist wahrscheinlich auf das underplating des Hangenden der MMT vor der Kollision oder auf eine frühere Obduktion auf die Indische Platte zurückzuführen.

### *Kohistan Inselbogen*

Sm-Nd und Rb-Sr Granatdatierungen der Kamila-Amphibolite von Kwazakhela ergaben Alter von  $94.6 \pm 5.3$  und  $99.5 \pm 15.7$  Ma. Ein ähnliches Datum ergab ein amphibolitisierter Granatgranulit des Jijal-Patan-Komplexes, dessen Sm-Nd und Rb-Sr Alter  $95.7 \pm 2.7$  und  $101.3 \pm 10.4$  Ma betragen. Petrologische Beobachtungen und Vergleiche mit früheren Arbeiten zeigen an, dass Granat ein Relikt der ersten granulitfaziellen Metamorphose ist. Diese Alter datieren entweder den Höhepunkt der granulitfaziellen Metamorphose oder spiegeln ein Ereignis kurz nach dem Metamorphosehöhepunkt wider. Rb-Sr und  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  Datierungen der Amphibolitisierung ergeben nicht eindeutige Daten. Ein  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Paragonitalter von  $86.7 \pm 4.6$  Ma ist vergleichbar zu anderen  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Daten desselben Gebietes, während eine Rb-Sr Mineralisochrone ein Alter von  $59 \pm 12$  Ma ergab. Letzteres könnte darauf hinweisen, dass die Amphibolitisierung der Unterkrustengesteine des Kohistan Inselbogens auch während der Kollision stattgefunden haben könnte.

### Riassunto

Il sistema collisionale Himalayano nord-occidentale e' costituito da tre distinti domini crostali. Da Nord a Sud essi sono: la Placca Indiana, la zona di sutura dell'Indus (Main Mantle Thrust) ed infine il paleo arco oceanico del Kohistan (KIA). L'area in esame e' situata nella regione di Mingora-Alpurai, distretto dello Swat Inferiore, Pakistan, laddove la zona di sutura dell'Indus (ISZ) e' molto bene esposta. Il lavoro svolto consiste in un rilievo strutturale di quest'ultima e delle limitrofe litologie, appartenenti sia al margine indiano settentrionale sia alla sequenza basale dell'arco oceanico del Kohistan. Allo scopo di meglio determinare l'eta' degli eventi magmatici pre e sincollisionali, le modalita' dell'evoluzione metamorfica e l'eta' dei principali stadi deformativi in ognuna delle tre principali unita' tettoniche di cui sopra, sono state eseguite numerose datazioni. Inoltre sono state datate anche le granuliti a granato del KIA nella zona Jijal-Patan.

#### *Placca indiana*

Il livello crostale piu' profondo e' rappresentato dai corpi gneisso-granitici dello Swat e di Choga. La serie di Choga e' costituita da graniti peralluminosi la cui eta' di intrusione (ottenuta con il metodo U/Pb su zirconi) e'  $486 \pm 5$  Ma. Il granito alcalino di Swat, intrusosi nelle sovrastanti metapeliti di Alpurai, ha fornito, con lo stesso metodo, un'eta' di  $268 + 7 / - 3$  Ma, anch'essa interpretata come eta' di intrusione. Queste rocce granitoidi, assieme alle rocce incassanti di Alpurai e Swat, subirono durante la fase collisionale un metamorfismo in facies anfibolitica ed in scisti verdi. Il primo evento deformativo registrato e' associato ad un sovrascorrimento verso Sud ed alla formazione di grandi pieghe coricate. Tale evento fu quindi seguito dalla riattivazione della ISZ come faglia normale. Come risultato della riattivazione si ebbe la giustapposizione degli scisti di Saidu (facies scisti verdi) agli scisti di Alpurai, caratterizzati invece da un'impronta metamorfica in facies anfibolitica. Probabilmente anche movimenti trascorrenti ebbero luogo durante questa fase tettonica. Le strutture da ricondurre all'estensione sono a loro volta ripiegate da pieghe con asse generalmente NS, la cui formazione e' probabilmente da ricondurre alla creazione della Sintassi di Besham.

Datazioni Sm/Nd su granati separati dagli scisti di Alpurai e datazioni Ar/Ar su orneblende e muscoviti, indicano che il blocco della regione dello Swat Inferiore rimase in condizioni tipiche della facies anfibolitica (o addirittura maggiori) sino a 35 Ma. Il principale evento di esumazione e' legato con ogni probabilita' alla fase estensionale. Un'eta' massima per quest'ultima e' vincolata dall'eta' ottenuta da dicchi granitici alcalini tardo collisionali, che post-datano il picco metamorfico ma sono ripiegati dalle pieghe Nord vergenti dovute alla fase estensionale. Zirconi separati da questi dicchi hanno fornito un'eta' U/Pb di  $29.3 \pm 0.2$  Ma, interpretabile come l'eta' della loro intrusione. Un'eta' Ar/Ar di  $28.6 \pm 1.4$

Ma ottenuta su muscoviti confermerebbe tale ipotesi.

### *Zona di sutura dell'Indus*

Con il presente studio si propone una nuova classificazione delle litologie appartenenti a tale zona di sutura. Le unita' cartografate sono separate da contatti tettonici e formano una fascia di blocchi imbricati che subi' una storia deformativa articolata in piu' fasi. Le differenti proprieta' reologiche delle litologie coinvolte in questa storia deformativa ed il fatto che la deformazione nel campo fragile ha spesso obliterato le originali strutture duttili, rendono estremamente difficile qualsiasi tentativo di correlazione strutturale in questa serie.

Tuttavia, strutture estensionali preservate molto bene nella cosiddetta "Unita' Olistostromica", molto simili a quelle osservabili nella placca Indiana, suggeriscono che la placca Indiana e le rocce della ISZ subirono una comune evoluzione almeno dalla fase estensionale in poi. Datazioni Rb-Sr di paragenesi in facies scisti blu hanno fornito eta', estremamente precise, attestaste a  $77\pm 0.4$  e  $79.7\pm 0.4$  Ma. Eta' Ar/Ar su muscoviti di  $80.4\pm 0.7$  Ma confermerebbero il tutto. La mancanza di una sovraimpronta metamorfica legata alla fase collisionale vera e propria la si puo' spiegare con il sottoscorrimento degli scisti blu al di sotto del tetto del MMT precedentemente alla collisione.

### *Arco di Kohistan*

Granati separati da anfiboliti provenienti dalla zona di taglio di Kamila, regione di Kwazakhela, sono stati datati con il metodo Sm/Nd e Rb/Sr: sono state ottenute eta' rispettivamente di  $94.6\pm 6.3$  e  $99.5\pm 15.7$  Ma. Si tratta di valori comparabili con le eta' delle granuliti a granato anfibolitizzate provenienti dal complesso di Jijal-Patan (rispettivamente  $95.7\pm 2.7$  e  $101.3\pm 10.4$  Ma). Analisi di natura petrologica e raffronti con altri studi suggerirebbero che il granato e' un relitto di un evento metamorfico anteriore in facies granulitica. Le eta' ottenute potrebbero datare il picco metamorfico in facies granulitica oppure uno stadio immediatamente posteriore.

Purtroppo il tentativo di datare, con i metodi Rb/Sr e Ar/Ar, il processo che condusse all'anfibolitizzazione di queste granuliti, ha fornito risultati ambigui. Un'eta' Ar/Ar di  $86.7\pm 4$  Ma ottenuta su paragonite e' tuttavia confrontabile con altre eta' ottenute con la stessa tecnica nella regione. Isocrone Rb-Sr hanno fornito  $59\pm 12$  Ma. Quest'ultima eta' suggerirebbe che l'anfibolitizzazione delle rocce basso crostali dell'arco di Kohistan avvenne durante la collisione.