



Doctoral Thesis

Dynamic processes above the subducting slab

Author(s):

Gorczyk, Weronika

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005562802> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17543

DYNAMIC PROCESSES ABOVE THE SUBDUCTING SLAB

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences
presented by

Weronika Gorczyk

Master in Natural Science
Jagiellonian University,
Karków, Poland

born 24.04.1979
citizen of
Poland

Accepted on the recommendation of :

Prof. Dr. Jean-Pierre Burg
Dr. Taras V. Gerya
Prof. Dr. Stephan Sobolev

ETH Zurich
ETH Zurich
GFZ Potsdam

Abstract

This thesis addresses problems related to complex systems of subduction zone and processes that take place due to slab dehydration and propagation of hydrated/partially molten upwellings that originate from the descending slab. To obtain insights into these dynamic processes we use numerical methods. Our research deals with problems concerning subduction-related exhumation processes and dynamic behavior of the mantle wedge. We have tested three different tectonic settings: intra-oceanic subduction, active continental margin and subduction of slow spreading ridges. Four different problems are investigated in the thesis: *(I)* rigid body rotation in the mantle wedge, *(II)* internal structure and evolution in time of the mantle wedge plume head, *(III)* physical controls of magmatic productivity dynamics at active margins, *(IV)* exhumation of ultrahigh-pressure peridotites during intra-oceanic subduction. Four major groups of novel results are obtained on the basis of our studies:

(I) Parts of the mantle wedge can become trapped between rheologically weak, hydrated, and partially molten upwellings (cold plumes) and the subducting slab. The structures form at various depths and develop circular, elliptic or irregular shapes. The combined effect of the traction caused by upwelling and subduction cause these structures to rotate. Circular rotating structures like "subduction wheels" are characteristic of models with relatively young (20-30 Ma) slabs and intermediate (2-5 cm/a) subduction rates. We propose that the development of such features explain some of the isolated seismic velocity anomalies in the mantle wedge.

(II) The plumes originating from a subducting slab consist of partially molten hydrated peridotite, dry solid mantle and subducted oceanic crust, which may comprise up to 12% of the plume. As plumes grow and mature, these materials mix chaotically resulting in attenuation and duplication of the original layering on scales of 1-1000 m. Comparison of numerical results with geological observations from the Horoman ultramafic complex in Japan suggests that mixing and differentiation processes related to the development of partially molten plumes above slabs may be responsible for strongly layered lithologically mixed (marble cake) structures of asthenospheric mantle wedges.

(III) The most significant physical parameters that control melt dynamics is subduction rate and the water propagation velocity from the slab, which also has a major influence on establishing the tectonic regime of the subduction zone (extensional/compressional) and subducting slab dip angle. (1) During continuous convergence with coupled plates the largest melt productivity occurs at the onset of subduction; (2) highest melt productivity is obtained in simulations associated with slab delamination and trench retreat (in this case melt production increases with time). The degree of plate coupling strongly depends on the dimensionless ratio (R_{H_2O}) between the plate convergence rate and the water upward propagation velocity. Delamination of the slab from the overriding plate followed by trench retreat is common for models with relatively slow convergence rates ($R_{H_2O} < 4$). In contrast, higher convergence rates ($R_{H_2O} > 4$) result in continuous plate coupling.

(IV) The recent discovery of garnet-bearing peridotites in the subduction zone of the Great Antilles in Hispaniola has raised questions about the process that leads to their exhumation. To evaluate whether upwelling plumes are a plausible exhumation mechanism we investigated the dynamics of subduction of slow spreading ridges. The results show that subduction of strongly serpentinized oceanic plate causes strong dehydration of the slab and leads to a rheological weakening of the interface between the subducting and overriding plate. This weakening triggers trench retreat and massive asthenospheric upwelling into the gap between the two plates. The P-T paths computed for this scenario can explain exhumation of UHP (4GPa) rocks in intra-oceanic subduction settings.

Riassunto

Questa tesi rappresenta uno studio di problemi relativi a sistemi complessi delle zone di subduzione complesse e ai processi che occorrono in seguito alla de-idratazione della placca ed alla propagazione di materiale in risalita, idrato o parzialmente fuso, che ha origine dalla placca in subduzione. Modelli numerici sono stati usati per ottenere informazioni su questi processi dinamici. La ricerca qui presentata focalizza sui processi di esumazione collegati alla subduzione, e sul comportamento dinamico del cuneo mantellico. Tre contesti tettonici sono stati studiati: subduzione intra-oceanica, margini continentali attivi, e subduzione di dorsali ad allargamento lento. I principali temi di studio coperti da questa tesi sono: *(I)* rotazione di corpi rigidi all'interno del nucleo mantellico; *(II)* struttura interiore ed evoluzione temporale della parte superiore dei "plums" all'interno del cuneo mantellico; *(III)* parametri fisici che controllano la dinamica della produzione magmatica lungo margini continentali attivi; *(IV)* esumazione di peridotiti di altissima pressione durante la subduzione intra-oceanica. Sulla base di questo studio i nuovi risultati possono essere così riassunti:

(I) Porzioni del cuneo mantellico possono essere intrappolate tra il materiale di risalita idrato e reologicamente debole ("plume" freddi) e la placca in subduzione. Le strutture che ne risultano si formano a varie profondità e sviluppano forme circolari, ellittiche o irregolari. L'effetto combinato della subduzione e della trazione dovuta alla risalita imprime rotazione su queste strutture. Strutture rotanti circolari ("subduction wheels") sono caratteristiche di modelli con placche relativamente giovani (20-30 Ma) e tassi di subduzione intermedi (2-5 cm/a). Queste strutture possono spiegare la presenza delle anomalie di velocità sismiche che si possono osservare in alcuni cunei mantellici.

(II) I pennacchi che hanno origine da una placca in subduzione sono costituiti da peridotiti idrate e parzialmente fuse, porzioni di mantello non idrato e solido e crosta oceanica subdotta (fino al 12% del "plume"). Durante la crescita e maturazione del "plume" questi materiali si mescolano in maniera caotica producendo attenuazione e duplicazione della stratificazione originale a scale che variano da 1-1000m. Il confronto dei risultati dei modelli numerici con osservazioni geologiche sul complesso ultramafico dell'Horoman (Gi-

appone) suggerisce che i processi di mescolamento e differenziazione legati allo sviluppo di "plumes" parzialmente fusi al di sopra della placca in subduzione possono spiegare la presenza di strutture fortemente stratificate e litologicamente diversificate del cuneo astenosferico.

(III) I parametri fisici che più influenzano la dinamica di fusione sono il tasso di subduzione e la velocità di propagazione dell'acqua dalla placca in subduzione. Quest'ultimo parametro ha anche una forte influenza sul regime tettonico delle zone di subduzione (estensionale/compressivo) e sull'angolo di subduzione. (1) Durante la convergenza di placche a forte interazione meccanica la più alta produttività di magma avviene durante l'inizio della subduzione; (2) nelle simulazioni numeriche la più alta produttività di magma è associata alla delaminazione della placca ed all'arretramento della fossa (in tal caso il tasso di fusione aumenta nel tempo). Il grado di interazione meccanica delle placche è collegato ad un rapporto a-dimensionale (R_{H_2O}) tra il tasso di convergenza tra le placche e la velocità di propagazione dell'acqua. La delaminazione della placca ad opera della placca in sovrascorrimento seguita da arretramento della fossa è una caratteristica frequente in modelli con tasso di convergenza relativamente basso ($R_{H_2O} < 4$). Al contrario, tassi di convergenza elevati ($R_{H_2O} > 4$) risultano in forti interazioni meccaniche tra le placche.

(IV) La recente scoperta di peridotiti a granato su Hispaniola, nella zona di subduzione delle Grandi Antille pone interrogativi sui processi che portano all'esumazione di tali rocce. La dinamica di subduzione di dorsale ad allargamento lento è stata studiata per valutare se i pennacchi in risalita possono fornire un meccanismo di esumazione. I risultati ottenuti indicano la subduzione di placche oceaniche intensamente serpentizzate induce una forte de-idratazione della placca e conduce ad un indebolimento reologico all'interfaccia tra la placca in subduzione e quella in sovrascorrimento. Questo indebolimento dà il via all'arretramento della fossa ed ad una massiccia risalita di materiale astenosferico all'interno dello spazio creatosi tra le due placche. I percorsi P-T calcolati per questo scenario possono spiegare l'esumazione di rocce di altissima pressione (4GPa) in contesti di subduzione intra-oceanica.