



Doctoral Thesis

Numerical modelling of coupled thermo-mechanical and fluid transport processes at convergent margins

Author(s):

Dymkova, Diana

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010415604> →

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. 21859

NUMERICAL MODELLING OF COUPLED
THERMO-MECHANICAL AND FLUID TRANSPORT PROCESSES
AT CONVERGENT MARGINS

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

DIANA DYMKOVA

M.Sc. in applied physics and mathematics,
Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Russia

born on August 1, 1986

citizen of Russian Federation

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Taras V. Gerya, examiner

Prof. Dr. Paul Tackley, co-examiner

Prof. Dr. Michael Gurnis, co-examiner

Abstract

Although subduction is the central process driving plate tectonics on Earth, it remains an enigmatic phenomena we still have to learn a lot about. In this process water is widely perceived by the geodynamic community as a "joker", which assumed by virtue of its chemical and rheological properties to play one of the key roles in the whole tectonic engine.

In this thesis by means of numerical modelling we have investigated the influence of water, fluids and melts on different phases of subduction process, such as initiation and collisional orogens formation.

At first we have performed arc-continent collision modelling using a complex numerical petrological thermomechanical code I2ELVIS accounting, apart from surface processes and integrated phase transformation, as well for such fluids/melts-related phenomena as partial melting, melt extraction and aqueous fluid transport which is implemented by means of kinematic approximation. Despite many mountain belts have been formed as results of continent-arc-continent collision, no numerical modeling study reproducing the whole process has been performed so far. We have derived the key influential parameters which determine the behavior of the process and style of the resulting orogen. Without additional tuning we could compare our results with natural examples of collisional orogeny and were able to reproduce the predicted course of the orogen formation.

Next, we have created a new hydro-thermo-mechanical (HTM) numerical model accounting for the two-phase solid-fluid flow, where visco-plastic solid deformation is fully coupled with the fluid porous percolation. Although process of spontaneous intra-oceanic subduction initiation has been successfully numerically modeled before, all of the existing models assumed excessive rheological weakening of the plates interface, which does not reconcile with laboratory measurements. This weakening was anticipated to be caused by fluids present along tectonic fractures, however no self-consistent model has been created so far. With help of our HTM code we have demonstrated, that while subduction fails to nucleate in the absence of fluids, it naturally starts when lubricated by the fluid present in the upper oceanic

crust and along the plates boundaries. Thus we have proved the water to be the driving force not only for animate but also for inanimate nature on Earth.

Our HTM model, although being simple, opens the door for investigating the influence of fluids and melts on many multiscale geodynamical processes. At the end of this thesis we discuss possible future improvements and directions of our model development, as well as various applications, both to subduction and to alternative problems.

Zusammenfassung

Obwohl die plattentektonische Subduktion die treibende Kraft der Tektonik auf Erden ist, bleibt sie ein enigmatisches Phänomen, über das wir noch viel erfahren müssen. Im Zuge dieses Prozesses wird Wasser von der geodynamischen Gesellschaft oft als ein "Joker" wahrgenommen, das auf Grund von seinen chemischen und rheologischen Eigenschaften, eine Schlüsselrolle in der tektonischen Plattenbewegung zu spielen scheint.

In dieser Arbeit haben wir mittels numerischer Modelle den Einfluss von Wasser, Fluiden und Schmelzen auf die verschiedene Stadien der Subduktion, wie z.B. Initierung von Subduktionszonen und Kontinent-Kontinent Kollisionen untersucht.

Zuerst haben wir die Kollision zwischen magmatischen Bögen und Kontinenten mittels eines komplexen numerischen petrologisch-thermo-mechanischen Modells untersucht. Der I2ELVIS Kode behandelt neben Oberflächenprozessen und Phasenumwandlungen auch Schmelz und Flüssigkeits bezogene Probleme, wie z.B. partielles Aufschmelzen, Schmelzextraktion und Fluidtransport, mittels einer kinematischen Annäherung. Obwohl viele Bergzüge im Rahmen von Kontinent-(magmatischer)Bogen-Kontinent Kollisionen geformt wurden, gab es bisweilen keine numerische Studie die diesen Prozess als Ganzes reproduziert hat. Wir haben die Hauptparameter die die Entwicklung dieses Prozesses steuern bestimmt. Unsere Ergebnisse sind im Einklang mit natürlichen Beispielen von Kollisionsorogenen. Desweiteren ist es uns gelungen, die vorausgesagte Entwicklung der Gebirgsbildung vorherzusagen.

In einem weiteren Schritt haben wir ein neues hydro-thermisch-mechanisches (HTM) numerisches Modell entwickelt, welches die zweiphasen Strömung berücksichtigt, bei der die visko-plastische Verformung von festen Gesteinen mit der Perkolation von Fluiden gekoppelt ist. Die Initierung von Subduktionszonen wurde bereits in vergangenen Studien erfolgreich simuliert. Jedoch haben all diese Modelle eine übermäßige rheologische Schwächung entlang der Plattengrenze angenommen, für die es keine (labortechnischen) Hinweise gibt. Diese Studien basierten auf der Annahme, dass Fluide entlang von tektonischen Brüchen eine Materialschwächung hervorrufen. Ein

Modell das diesen Prozess selbstständig/konsistent simuliert gab es bisweilen nicht. Mit Hilfe unseres HTM-Modells konnten wir zeigen, dass während die Initiierung von "trockenen" Subduktionen nicht möglich ist, diese sich spontan entwickelt, wenn Fluide aus der oberen Kruste oder entlang von Plattengrenzen freigesetzt werden. Somit haben wir bewiesen, dass Wasser eine treibende Kraft nicht nur für das Leben auf der Erde ist sondern auch für die Plattentektonik.

Obwohl unser HTM Modell vereinfacht ist, eröffnet es viele Möglichkeiten den Einfluss von Fluiden und Schmelzen auf geodynamische Prozesse zu untersuchen. Am Ende dieser Arbeit besprechen wir, wie unser Modell in Zukunft verbessert und ausgebaut werden kann und sprechen einige geodynamische und alternative Anwendungsmöglichkeiten an.