

Geodynamic-geochemical regimes of intra-oceanic subduction

Thermo-mechanical Modeling of Trace Element Signatures

Doctoral Thesis

Author(s):

Baitsch Ghirardello, Bettina

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010049528>

Rights / license:

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

DISS. ETH NO. 21358

**Geodynamic-Geochemical Regimes
of Intra-oceanic Subduction:
Thermo-mechanical Modeling of Trace Element Signatures**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
BETTINA BAITSCHE GHIRARDELLO

Master of Science,
University Zürich, Switzerland

Born September 28, 1953
Citizen of
Winterthur, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Taras V. Gerya	Examiner
Prof. Dr. Jean-Pierre Burg	Co-examiner
Prof. Dr. Andreas Stracke	Co-examiner
Prof. Dr. Evgueni Burov	Co-examiner

2013

Abstract

The role of subduction zones in global geochemical dynamics is generally twofold: first, crustal materials are recycled back into the deep mantle, and second, new crust is produced in magmatic arcs above subduction zones.

Geochemical measurements of trace element compositions of erupted magmas around the world lead to the discovery of contrasting interacting geochemical sources in the mantle wedge such as asthenospheric mantle, subducted MORB and sediments. Trace elements participating in crust formation serve as indicators of rock-forming mechanisms involved (e.g. hydration/dehydration processes, subducted crust melting, mantle wedge depletion, crystallization differentiation etc.). One recent approach of understanding complex interactions between different geochemical mechanisms operating in subduction zones consists in numerical geodynamic modeling.

However, until now no coupled geochemical-thermo-mechanical 2D modeling approaches have been explored for this crucial geodynamic setting.

Within this project we propose to develop such an approach on the basis of our original state-of-the-art thermo-mechanical code I2ELVIS which already accounts for key rock-forming processes such as metamorphic phase transformations, subducted crust dehydration, aqueous fluid transport, mantle wedge melting, and melts extraction resulting in crustal growth.

In frame of this project our numerical methodology will be further extended to include a tracing of isotopic signatures involved in geochemical partitioning and transport caused by (i) slab dehydration, (ii) aqueous fluid propagation, (iii) mantle wedge hydration, (iv) partial melting, and (v) melt extraction processes. We also propose to focus our numerical modeling on a limited number of contrasting elements coming from both mantle and crustal sources - Pb, Hf, Sr and Nd – for which large amount of natural data are available and geochemical processes involved in their evolution in subduction zones are sufficiently well understood. Isotopic systems characteristic for these four elements are well represented in the most analyzed data sets for both input (rocks subducted atop the slabs) and output (magmatic products of island arcs) rock-members of subduction zones.

Kurzfassung

Für die globale geochemische Dynamik sind Subduktionszonen in zweierlei Hinsicht von grosser Bedeutung: Erstens wird die Erdkruste durch das Abtauchen in den Erdmantel geomechanisch und geochemisch umgewandelt und weiter verarbeitet und zweitens wird ein beträchtlicher Anteil dieser Kruste mittels verschiedener Prozesse immer wieder an die Erdoberfläche transportiert. Die neue magmatische Kruste oberhalb der subduzierten Erdkruste hat die spezifischen Eigenschaften der alten Kruste beibehalten.

Geochemische Messungen von Spurenelementen und deren Zusammensetzung in magmatischen Gesteinen weisen weltweit darauf hin, dass es im Mantelkeil einer Subduktion zu kontrastierenden Interaktionen der geochemischen Quellen zwischen dem asthenosphärischen Mantel, der subduzierten ozeanischen Kruste (MORB) und den darauf liegenden Sedimenten kommen kann. Spurenelemente können Indikatoren der gesteinsbildenden Mechanismen sein (z. Bsp. Entwässerungsprozesse der abgetauchten Kruste im Mantelkeil und Kristallisationsprozesse usw.). In jüngster Zeit ist v.a. das geodynamische numerische Modellieren ein wichtiger Ansatz für ein besseres Verständnis dieser komplexen Wechselwirkungen geworden. Die Methode der geochemisch-thermo-mechanischen 2D-Modellierung ermöglicht es, eine Verbindung zwischen den geophysikalischen Mechanismen und den geochemischen Prozessen in den unterschiedlichen Subduktionszonen herzustellen. Für die Erforschung der komplexen Prozesse im Erdmantel ist dieser Ansatz vielversprechend.

In diesem Projekt schlagen wir nun vor, unsere Überlegungen mit einem solchen Ansatz umzusetzen. Auf der Basis unseres ursprünglichen thermo-mechanischen Codes I2ELVIS, der bereits für die wichtigsten gesteinsbildenden Prozesse entwickelt worden ist (z. Bsp. metamorphe Phasenumwandlungen, Entwässerung der subduzierten Kruste, Transport wässriger Flüssigkeiten, Schmelzbildung und deren Wegtransport sowie für die Entwicklung von neuer Erdkruste), haben wir den Code für geochemische Prozesse erweitert.

In Rahmen dieses Projektes soll unsere numerische Methodik weiter ausgebaut werden, um die Rückverfolgung von Isotopensignaturen in ihrer geochemischen Fraktionierung und ihrem Transport zu ermöglichen. Letztere sind verursacht von (i) der Entwässerung der abtauchenden Kruste, (ii) der Verbreitung der daraus entstehenden wässrigen Flüssigkeit, (iii) der Flüssigkeitszufuhr im Mantelkeil, (iv) sowie durch die dadurch bedingten Schmelzen und (v) dem Ableiten der Schmelzen.

Wir schlagen vor, unsere numerische Modellierung auf eine begrenzte Anzahl von kontrastierenden Elementen aus dem Erdmantel und aus der Erdkruste zu konzentrieren. Daten

für Pb, Hf, Sr und Nd sind aus der Literatur gut verfügbar; ihre geochemischen Prozesse sind für die Entwicklung in Subduktionszonen äusserst wichtig. Die Isotopen-Systeme dieser vier Elemente sind für die verschiedenen ozeanischen Krusten sowie auch für die magmatischen Gesteine in den vulkanischen Inselbögen bestens bekannt. Da diese Isotopen ihre eigene hochspezifische Charakteristik haben, eignen sie sich in hohem Masse für eine solche Studie, insbesondere da ihr Fussabdruck vom Beginn des Eintauchens in den lithospherischen Mantel bis hin zum vulkanischen Output in Inselbogen gut erkennbar ist.