

Fluxes and pathways of carbon export associated with Himalayan erosion

Doctoral Thesis

Author(s):

Märki, Lena

Publication date:

2021

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000475896>

DISS. ETH NO.: 27263

Fluxes and pathways of carbon export associated with Himalayan erosion

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Lena Märki

*Master of Science (MSc) in Geology,
Geneva and Lausanne Universities*

born on 13.02.1991

citizen of Unterbözberg, Switzerland

accepted on the recommendation of:

Prof. T. Eglinton, examiner

Dr. M. Lupker, co-examiner

Dr. M. Galvez, co-examiner

Dr. C. France-Lanord, co-examiner

Prof. J. West, external-examiner

2021

Summary

The evolution of the global climate is controlled through the cycling of carbon between its reservoirs on multiple timescales. The erosion and weathering of mountain ranges are major actors in the carbon cycle contributing significantly to the global carbon fluxes between the Earth's surface and the Earth's crust on timescales of millions of years. Different mechanisms acting as carbon sources or sinks to the Earth's surface add up to a complex system controlling the erosional carbon budget of a mountain range. Enhanced soil erosion in rapidly eroding mountain ranges plays additionally a crucial role in climatic fluctuations on timescales of millennia and is important for the sustainability of agricultural soils.

In this thesis, I address different aspects of the carbon fluxes associated with the erosion and weathering of the Central Himalaya. This tectonically active mountain range is characterized by high erosion rates and the large amounts of riverine sediments and solutes annually exported by rivers from the Nepalese Himalaya are of global importance.

In the first part, I define the net carbon budget of the Central Himalayan erosion and evaluate the impact of a major earthquake on this budget. On a sample set of daily suspended sediment samples from a large Himalayan river, I quantify the export of biospheric Organic Carbon (OC) using radiocarbon signatures and total OC concentrations. Chemical weathering rates in the catchment are constrained by measurements of major ion concentrations on daily water samples from the same river. We find that the Central Himalayan erosion acts as a net carbon sink from the Earth's surface and that coseismic landslides of the 2015 Gorkha earthquake (Mw 7.8) did not significantly influence the carbon fluxes.

In the second part, I explore the application of brGDGTs (branched Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers), a soil biomarker, as a tracer of the elevation at which soil OC is preferentially mobilized at the scale of large Himalayan catchments. Our results of brGDGT distributions in soils and river sediments show that soil organic matter entrained in fluvial sediments mostly reflects the mean elevation of the soil-covered catchments. Inverse modelling of the brGDGT dataset suggests that riverine soil OC export in the Himalaya occurs pervasively and is insensitive to anthropogenic perturbations at the catchment scale.

Further, I investigate the structural diversity and main source region of petrogenic OC exported in Himalayan river sediments. The characterization of petrogenic OC by Raman spectroscopy reveals a large diversity of structural ordering, highlighting the importance of a systematic study of petrogenic OC material in river sediments. I show that petrogenic OC in suspended sediments of the Central Himalaya is mostly sourced from the upstream region's metasedimentary units and that in-river oxidation is likely negligible.

Finally, the partitioning of chemical weathering pathways in 28 catchments across the Nepalese Himalaya is studied. I test the use of radiogenic and stable carbon isotopic compositions of dissolved inorganic carbon, sulfur isotopic signatures of dissolved sulfate, and major ion concentrations of river water samples for tracing chemical weathering reactions. Inverse modeling results suggest a strong lithological control on the weathering pathways and reveal the importance of sulfuric acid-driven weathering of both carbonates and silicates.

In summary, this thesis shows that the Himalaya's highly erosive environment acts as a carbon sink to the Earth's surface. This carbon budget is not significantly impacted by extreme events such as major earthquakes. While the mobilization of soil organic matter happens mostly uniformly across the wide-spanning elevations of the Himalaya, petrogenic OC exported in river sediments is mostly sourced from upstream metasedimentary units. The chemical weathering regime of the Central Himalaya is mainly controlled by the bedrock lithology, revealing local changes in the relative contribution of different chemical weathering pathways.

Zusammenfassung

Das globale Klima ist durch den Austausch von Kohlenstoff zwischen seinen verschiedenen Speichern über mehrere Zeitskalen beeinflusst. Die Erosion und die Verwitterung von Bergketten bilden essentielle Teile des Kohlenstoffzyklus, da sie auf einer Zeitskala von Millionen von Jahren erheblich zu den globalen Kohlenstoffflüssen zwischen der Erdoberfläche und der Erdkruste beitragen. Verschiedene Mechanismen dienen als Kohlenstoffquellen oder -senken und summieren sich zu einem komplexen System, welches das erosive Kohlenstoffbudget einer Bergkette kontrolliert. Erhöhte Bodenerosion in schnell erodierenden Gebirgszügen spielt zudem eine wichtige Rolle für klimatische Schwankungen auf einer Zeitskala von tausend Jahren und ist wichtig für die Aufrechterhaltung landwirtschaftlicher Böden.

In dieser Doktorarbeit beschäftige ich mich mit verschiedenen Aspekten der Kohlenstoffflüsse, die durch die Erosion und die Verwitterung des Zentralhimalayas angetrieben werden. Diese tektonisch aktive Bergkette ist durch hohe Erosionsraten charakterisiert und die grossen Mengen an Flusssedimenten und gelösten Stoffen, die jährlich von nepalesischen Flüssen exportiert werden, sind von globaler Bedeutung. Im ersten Teil dieser Arbeit definiere ich das Kohlenstoffbudget der Erosion des Zentralhimalayas und evaluiere die Auswirkungen eines starken Erdbebens auf dieses Budget. Mit einem Set täglicher Proben von suspendiertem Sediment aus einem grossen Fluss des Himalayas quantifiziere ich den Export von organischem Kohlenstoff durch Radiokohlenstoffdatierung und durch die Ermittlung der totalen Konzentration an organischem Kohlenstoff. Mithilfe der Ionenkonzentrationen in täglichen Wasserproben vom gleichen Fluss berechne ich chemische Verwitterungsraten. Ich zeige, dass die Erosion des Zentralhimalayas als Kohlenstoffsenke dient und dass die Kohlenstoffflüsse nicht signifikant von co-seismischen Erdbeben des Erdbebens Gorkha im Jahr 2015 (7.8 auf der Momenten-Magnituden-Skala) beeinflusst wurden.

Im zweiten Teil studiere ich die Anwendung von brGDGTs (branched Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers), ein Biomarker aus Böden, als Indikator der Höhe, auf welcher organischer Kohlenstoff aus Böden auf einer Skala von weitläufigen Einzugsgebieten im Himalaya mobilisiert wird. Unsere Resultate von brGDGTs in Böden und Flusssedimenten zeigen, dass die organische Substanz aus Böden, welche in Flusssedimenten transportiert wird, vorwiegend die durchschnittliche Höhe der bodenbedeckten Einzugsgebiete reflektiert. Die Resultate einer inversen Modellierung des Datensets suggerieren, dass fluvialer Export von organischer Substanz aus Böden übergreifend auf allen Höhen des Zentralhimalayas geschieht und dass dieser Export nicht durch anthropogene Eingriffe beeinflusst wird.

Weiter untersuche ich die strukturelle Diversität und die Hauptquelle von petrogenem organischen Kohlenstoff in Flusssedimenten des Himalayas. Die Charakterisierung von petrogenem organischen Kohlenstoff durch Raman Spektroskopie ergibt eine breite Diversität der strukturellen Ordnung dieses Materials. Dies hebt die Wichtigkeit einer systematischen Studie von petrogenem organischen Material in Flusssedimenten hervor. Ich zeige, dass petrogener organischer Kohlenstoff in suspendierten Sedimenten des Zentralhimalayas vorwiegend aus einer flussaufwärts gelegenen Sequenz von Metasedimenten stammt und dass die Oxidierung dieses Materials im Fluss vernachlässigbar ist.

Im letzten Kapitel wird die Verteilung von chemischer Verwitterung in ihre verschiedenen Prozesse in 28 Einzugsgebieten Nepals studiert. Ich teste die Anwendung von radiogenen und stabilen Kohlenstoffisotopen an gelöstem inorganischen Kohlenstoff, sowie Schwefelisotope an Sulfaten und Ionenkonzentrationen in Flusswasserproben für die Nachverfolgung von Prozessen der chemischen Verwitterung. Eine inverse Modellierung der Daten weist auf einen starken lithologischen Einfluss und auf die Wichtigkeit der Verwitterung von Karbonaten und Silikaten durch Schwefelsäure hin.

Zusammenfassend zeigt diese Doktorarbeit, dass der stark erodierende Himalaya als Kohlenstoffsene relativ zu Erdoberfläche wirkt. Dieses Kohlenstoffbudget wurde durch ein grosses Erdbeben nicht signifikant beeinträchtigt. Während die Mobilisierung von organischem Kohlenstoff in Böden auf allen Höhen des Zentralhimalayas verteilt geschieht, scheint der petrogene organische Kohlenstoff vor allem aus einer flussaufwärts gelegenen metasedimentären Schicht zu kommen. Die chemische Verwitterung im Zentralhimalaya ist vorwiegend über die Lithologie kontrolliert und zeigt lokale Heterogenitäten in der relativen Kontribution von verschiedenen Prozessen der chemischen Verwitterung.