

Cenozoic erosion and sedimentation in the Sichuan Basin

from the eastern margin of the Tibetan Plateau to the
Three Gorges of the Yangtze River

Doctoral Thesis

Author(s):

Richardson, Nicholas James

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005301512>

Rights / license:

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

Doctoral Thesis ETH No. 16911

**CENOZOIC EROSION AND SEDIMENTATION IN THE
SICHUAN BASIN: FROM THE EASTERN MARGIN OF THE
TIBETAN PLATEAU TO THE THREE GORGES OF THE
YANGTZE RIVER.**

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

presented by
RICHARDSON, NICHOLAS JAMES

Master of Research in the Natural Environment,
University of Edinburgh, U.K.

born 1st April 1976

citizen of United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J-P. Burg (ETH Zurich), examiner
Dr. A.L. Densmore (ETH Zurich), co-examiner
Dr. D. Seward (ETH Zurich), co-examiner
Dr. E.R. Sobel (University of Potsdam), co-examiner

2006

Abstract

The Tibetan Plateau is the single most imposing topographic entity on the surface of the Earth, and has been the focus of intensive research on its tectonic significance and climatic impact. A number of models have stemmed from this research in an attempt to rationalise its development and influence, and many of these models make fundamental and testable predictions about the behaviour of the plateau margins. In particular, the eastern margin of the Tibetan Plateau is geologically enigmatic when viewed within the framework of traditional tectonic models, since it is topographically steep compared to the other plateau margins, yet it displays little evidence for Cenozoic tectonic shortening within the upper crust. These observations, coupled with low modern GPS-derived convergence rates and the absence of a thick succession of Cenozoic deposits within the adjacent Sichuan Basin, have led to the suggestion that the main process by which this abrupt plateau margin is generated and maintained involves channel flow of fluid lower crustal material. This tectonic mechanism and its relationship with landscape development and river incision has been the focus of much recent debate, but there is still relatively little quantitative evidence derived from the upper crust and the sedimentary record to support or refute it. Whilst progress has been made in deciphering the Cenozoic uplift and cooling history of the Longmen Shan, the mountains that lie on the eastern plateau margin, comparatively little is known about the contemporaneous development of the adjacent Sichuan Basin. This is crucial for assessing gradients in the rates and magnitudes of processes which occur across the margin, and thus has relevance to our understanding of the dynamics of the orogen as a whole. This thesis focusses on constraining the role of Cenozoic erosion and deposition within the Sichuan Basin, primarily using low-temperature thermochronology, and considering the implications for the topographic, tectonic and drainage evolution of eastern Tibet and central China.

Assessment of the Cenozoic low-temperature thermal history of the Sichuan Basin was accomplished using fission track (AFT) and (U-Th)/He analysis of detrital apatites. These techniques indicate that an exhumed AFT palaeo-partial annealing zone is exposed across much of the basin; coupled with inverse thermal modelling and consideration of the basin stratigraphy, this indicates that the basin has undergone accelerated cooling since ~40 Ma, consistent with the widespread erosion of an average of ~2 to 3 km of overlying sedimentary material. A contemporaneous cooling event was also identified through application of the same techniques to the Proterozoic Huangling granite, exposed at the eastern extremity of the Three Gorges of the Yangtze River. This cooling event is revealed by a sharp break in slope within a (U-Th)/He age-elevation transect and by thermal modelling of partially-reset AFT samples, indicating that the Three Gorges was incised by up to 3 km beginning at around 40 Ma.

These observations suggest a genetic link between the denudation within the Sichuan Basin, which is now drained by the Yangtze River, and the incision of the Three Gorges. Prior to the Eocene, the Sichuan Basin had become a sedimentologically closed system, but it has since undergone a transition to external drainage via the Yangtze River. This drainage transition, either through a process of basin fill and spill, or through headward erosion of an external river into the Sichuan Basin, resulted in a progressive increase in erosion rates spatially across the basin and the evacuation of much of the younger, poorly-consolidated sedimentary fill through the Three Gorges. The base-level fall associated with this erosion contributed to an increase in relief across the Longmen Shan without the need for any tectonic forcing and may have helped drive rapid Miocene-Recent incision and unloading of the plateau margin. Additionally, increased erosion rates would have propagated headwards through the Asian continental drainage system, potentially resulting in capture of peripheral large rivers, such as the Red River.

The effect of these events is that the Sichuan Basin is floored by a widespread Cenozoic unconformity and has only locally accumulated up to 300 metres of Upper Cenozoic sediment. Since the basin continues to be erosional at the present day, the preservation of this sediment has relied upon the formation of anticlines, such as the Longquan Anticline within the western basin, which act as sediment dams. Neogene to Quaternary alluvial and fluvial sediments are thus only exposed within the southwestern corner of the basin. Sedimentological and provenance studies indicate that this sediment, which is younger than 12 Ma based upon detrital AFT analysis, records the growth and extension of the catchments within the Longmen Shan into the hinterland of the plateau. However, the released sediment generally now bypasses the breached anticlinal dams and is transported out of the basin via the Yangtze River. These sediments also place important constraints on the timing of deformation on younger tectonic structures close to the plateau boundary such as the Xiongpo Anticline and the Dayi Fault, since they post-date the deposition of Neogene alluvial conglomerates and sandstones.

Zusammenfassung

Das Tibet-Plateau ist die imposanteste topographische Einheit auf der Erdoberfläche und ist Gegenstand intensiver Forschung, die seine tektonische und klimatische Bedeutung untersuchen sollen. Aus bisherigen Ergebnissen wurden verschiedene Modelle erstellt, die die Entwicklung und Bedeutung des Tibet-Plateaus erklären sollen. Viele dieser Modelle geben grundlegende und überprüfbare Vorhersagen über das Verhalten des Plateau-Randes. Im Kontext traditioneller tektonischer Modelle ist der östliche Rand des Tibet-Plateaus im besonderen rätselhaft, da er im Vergleich zu anderen Plateau-Rändern eine steile Topographie aufweist, es aber dennoch wenig Hinweise für tektonische Verkürzung in der oberen Kruste während des Känozoikums gibt. Diese Beobachtungen zusammen mit niedrigen heutigen GPS-basierenden Konvergenzraten und mächtigen Abfolgen von känozoischen Ablagerungen im angrenzenden Sichuan-Becken, haben zu der Hypothese geführt, dass 'Channel Flow' von flüssigem unteren Krustenmaterial der wichtigste Prozess ist, durch den dieser scharf begrenzte Plateau-Rand entstanden und erhalten ist. Dieser tektonische Mechanismus und seine Verbindung mit der Landschaftsgenese und Flusseinschneidung sind Schlüsselaspekte in der derzeitigen Diskussion. Allerdings gibt es dennoch bis jetzt wenig quantitative Hinweise aus der oberen Kruste und dem sedimentären Archiv, die diese Hypothese stützen oder anzweifeln lassen. Während Fortschritte in der Erfassung der känozoischen Hebung und Abkühlungsgeschichte des Longmen-Shans, eines Gebirgszuges, der östlich des Plateau-Randes liegt, gemacht werden konnten, ist vergleichsweise wenig bekannt über die gleichzeitige Entwicklung des angrenzenden Sichuan-Beckens. Dies ist jedoch essentiell notwendig, wenn man Veränderungen in den Prozessraten und Magnituden, welche über den Plateau-Rand hinaus auftreten, erhalten will. Es hat zudem besondere Relevanz für das Verstehen der Dynamik dieses Gebirges. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der känozoischen Erosion und Ablagerung im Sichuan-Becken, vorwiegend durch die Anwendung der 'Niedrig-Temperatur-Thermochronologie'-Methode, und seinen Folgen für die Topographie, Tektonik und die Entwicklung des Gewässernetzes in Ost-Tibet und Zentral-China.

Die känozoische 'Niedrig-Temperatur-Thermochronologie' des Sichuan-Beckens wurde mit Hilfe der Analyse von Spaltspuren (AFT) und (U-Th)/He an detritischen Apatiten durchgeführt. Diese Methode zeigt, dass eine exhumierte AFT 'paleo-partial annealing zone' über weite Bereiche des Beckens exponiert ist. Gekoppelt mit inverser thermischer Modellierung und Betrachtungen der stratigraphischen Verhältnisse zeigt an, dass das Becken einer beschleunigten Abkühlung seit 40 Ma unterlag, was mit einer Erosion von etwa 2-3 km des aufliegenden Sedimentes übereinstimmt. Ein gleichzeitiges Abkühlungsereignis wurde ebenfalls durch die Anwendung derselben Technik am proterozoischen Huangling Granit demonstriert, welcher in den östlichsten Ausläufern der "Drei-Schluchten" des Yangtze ansteht. Dieses Abkühlungsereignis kündigt sich durch einen scharfen Übergang des (U-Th)/He Alters-Höhen-Transektes an sowie durch thermische Modellierung von AFT Proben, die

teilweise resetted sind. Sie zeigen, dass die "Drei-Schluchten" ab etwa 40 Ma um bis zu 3 km eingeschnitten wurden.

Diese Beobachtungen lassen auf eine enge Zusammenspiel zwischen der Abtragung im Sichuan-Becken, welches heute vom Yangtze entwässert wird, und der Einschneidung der "Drei-Schluchten" schliessen. Das Sichuan-Becken wurde vor dem Eozän intern entwässert, aber hat seitdem einen Übergang zu einer externen Entwässerung durch den Yangtze erfahren. Dieser Übergang zu einer externen Entwässerung, entweder durch Beckenauffüllung, -überlauf, oder rückschreitende Erosion eines anderen Flusses verursacht, führte zu einer schrittweisen Erhöhung der Erosionsraten im Becken sowie zur Ausräumung eines grossen Teils der jüngeren, schlecht-verfestigten Sedimentfüllung durch die "Drei-Schluchten". Die Absenkung des Abflussniveaus, das mit dieser Erosion verbunden war, verursachte eine Erhöhung des Reliefs des Longmen-Shans, ohne dass dafür eine tektonische Kraft nötig war. Dies hat somit möglicherweise zu einer schnellen Einschneidung seit dem Miozän geführt und einer Entlastung des Plateau-Randes. Zusätzlich könnten die erhöhten Erosionsraten zu einer rückschreitenden Erosion des kontinental-asiatischen Entwässerungssystems geführt haben und dort die Anzapfung eines grossen Flusses wie dem Roten Fluss verursacht haben.

Infolge dieser Ereignisse hat sich im Sichuan-Becken eine weitflächige känozoische Diskordanz herausgebildet mit lokalen Ablagerungen von bis zu 300 m mächtigen Sedimenten des Oberen Känozoikums. Da das Becken bis heute durch kontinuierliche Erosion betroffen ist, konnten diese Sedimente nur durch die Ausbildung von Antiklinalen erhalten werden, wie z.B. der Longquan Antiklinale im Westteil des Beckens. Sie bilden Dämme, die das Sediment zurückhalten. Neogene bis quartäre alluviale und fluviale Sedimente sind daher nur im Südwesten des Beckens anzutreffen. Sedimentologische und Provenanz-Analysen zeigen jedoch, dass dieses Sediment, welches basierend auf AFT Analysen jünger als 12 Ma ist, das Wachstum und die Ausweitung von Einzugsgebieten im Longmen Shan in das Hinterland des Plateaus anzeigt. Sediment kann diese antiklinalen Dämme umgehen und wird mit dem Yangtze in das Becken transportiert. Da diese Sedimente die Ablagerung der neogenen, alluvialen Konglomerate und Sandsteine postdatieren, erlauben sie die wichtige zeitliche Einordnung der Deformation von jüngeren tektonischen Strukturen nahe des Plateau-Randes, wie der Xiongpo Antiklinale und der Dayi-Störung.