

DISS. ETH NO. 16752

Sedimentology, Stratigraphy and Geochemistry of the glacially influenced Neoproterozoic Mirbat Group, Oman

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich
for the degree of
Doctor of Sciences (Dr. sc.)

presented by

Ruben Rieu

Drs. Universiteit Utrecht
born 05.04.1979
citizen of
The Netherlands

Accepted on the recommendation of:
Prof. Dr. J.A. McKenzie (ETH Zürich), examiner
Prof. Dr. P.A. Allen (Imperial College London), co-examiner
Dr. A. Cozzi (ENI S.p.A.), co-examiner
Prof. Dr. P.F. Hoffman (Harvard University), co-examiner

2006

Abstract

The siliciclastic Mirbat Group in south Oman records an apparently continuous succession of two Neoproterozoic glaciations (represented by the Ayn and Shareef Formations), separated by a prolonged non-glacial period (Arkahawl and Marsham Formations). The Ayn Formation is a terrestrial to marginal marine succession that formed on a glaciated continental margin under overall low stand conditions and is characterized by coarse-grained deltaic and glacio-fluvial deposits, interbedded with proximal glacimarine and possible subglacial diamictites. The overall stratigraphy of the Ayn Formation is illustrative of an intermittently glaciated region, and is suggestive of a pulsed glaciation. The overlying Arkahawl Formation records a long-term transgression and overall highstand conditions during the long 'interglacial' period. The cap carbonate deposited during post-glacial transgression overlies glacimarine diamictites, terrestrial deposits and locally crystalline basement. Carbonate was primarily deposited in shallow marine areas and then redistributed into deeper waters of the palaeovalleys, where carbonates are relatively poorly developed and commonly absent. Continued transgression resulted in the deposition of marine shales, which was followed by the development of a turbidite complex along the basin margin. This turbidite complex consisted of several small-scale, coarse-grained, coalescent fan lobes that were probably connected to a coarse-grained fan delta in the northeast. Gradual flooding followed, giving rise to prolonged deposition of distal marine shales in the upper part of the Arkahawl Formation. The overlying Marsham Formation records a highstand and the pulsed progradation of shallow marine and fluvial deposits in advance of the second glaciation represented by the newly designated Shareef Formation. This pulsed progradation may reflect short term glacio-eustatically forced sea level oscillations in response to gradual expansion of continental ice sheets in the prelude to the Shareef glaciation.

Integration of new lithostratigraphic and chemostratigraphic data for the Mirbat Group with subsurface and outcrop data from elsewhere in Oman and new U-Pb detrital zircon ages, suggest that the Mirbat Group has a maximum age of 722 ± 12 Ma and is most satisfactorily correlated with the Cryogenian Abu Mahara Group of the Huqf Supergroup. A composite stratigraphic column for the Huqf Supergroup is proposed containing an essentially continuous geological record from c. 725 Ma basement to the Precambrian–Cambrian boundary. This record contains well-documented examples of both Sturtian and Marinoan glacial intervals and includes three negative carbon isotopic excursions, which fit well with the 'global' Neoproterozoic carbon isotope stratigraphy. In this column the Arkahawl and Marsham Formations of the Mirbat Group now fill the stratigraphic gap between the Ghubrah and Fiq successions in north Oman.

First-order temporal variations in the major element and mineralogical compositions of mudstones from glacial and non-glacial intervals in the Mirbat Group, and in the Marinoan Fiq glacigenic succession of northern Oman, are best explained in terms of the effects of chemical palaeoweathering. In the Mirbat Group, these first-order variations in chemical palaeoweathering corresponds well to the major climatic

perturbations inferred from sedimentological evidence, as well as with the global sedimentary record suggesting significant climatic amelioration in the period between the Sturtian and Marinoan glacial epochs. Changes in the chemical palaeoweathering recorded by the Fiq Formation, strongly support the idea that the Marinoan Fiq glacial was cyclical, punctuated with well-defined interglacial periods during which relatively warm and humid conditions prevailed.

Zusammenfassung

Die siliziklastische Mirbat Gruppe in Südoman zeichnet eine scheinbar ununterbrochene Abfolge von zwei Neoproterozoischen Vergletscherungen (dargestellt durch die Ayn und Shareef Formationen) auf, welche durch eine verlängerte interglaziale Periode (Arkahawl und Marsham Formationen) getrennt werden. Die Ayn Formation ist eine terrestrisch bis begrenzt marine Abfolge, welche auf einem vergletscherten Kontinentalrand während insgesamt niedrigen Meeresspiegelständen gebildet wurde. Sie wird durch grobkörnige deltatische- und glazio-fluvatile Ablagerungen gekennzeichnet, mit Zwischenlagen von proximalen, glaziomarinen und möglichen subglazialen Diamiktiten. Die gesamte Stratigraphie der Ayn Formation stellt eine zeitweise vergletscherte Region dar und lässt eine pulsierende Vergletscherung vermuten. Die darüber liegende Arkahawl Formation zeichnet eine langfristige Transgression und insgesamt hohe Meeresspiegelstände während der langen interglazialen Periode auf. Das Deckkarbonat, das während der postglazialen Transgression gebildet wurde, überlagert glaziomarine Diamiktite, terrestrische Ablagerungen und teilweise kristallines Grundgebirge. Die Karbonate wurden hauptsächlich in flachen, marinen Bereichen gebildet und dann in das tiefere Wasser der Paläotäler umverteilt, wo Karbonate verhältnismäßig schlecht ausgebildet und häufig abwesend sind. Die anhaltende Transgression resultierte in der Bildung von marinen Siltsteinen, welche durch die Entwicklung eines Turbidit-Komplexes entlang des Beckenrandes gefolgt wurden. Dieser Turbidit Komplex bestand aus einigen kleinräumigen, grobkörnigen, teilweise zusammenhängenden Fächern, die vermutlich mit einem grobkörnigen Deltafächer im Nordosten verbunden waren. Die darauf folgenden graduellen Überschwemmungen ermöglichten die ausgedehnte Ablagerung der distalen marinen Siltsteinen im oberen Teil der Arkahawl Formation. Die darüberliegende Marsham Formation stellt einen Hochstand des Meeresspiegels und die pulsierende Progradation der flachmarinen- und fluviatilen Ablagerungen als Vorläufer der zweiten Vergletscherung dar, welche durch die neu gekennzeichnete Shareef Formation dargestellt wird. Diese pulsierende Progradation kann kurzfristige, glazio-eustatische Meeresspiegelschwankungen darstellen welche durch die stufenweise Ausdehnung der kontinentalen Eisschilde als Einleitung der Shareef Vergletscherung verursacht wurden,.

Die Kombination der neuen lithostratigraphischen und chemostratigraphischen Daten der Mirbat Gruppe mit Aufschluss- und Untergrund Daten von anderen Lokalitäten in Oman sowie mit neuen U-Pb Altern von

detritischen Zirkonen, lassen die Mirbat Gruppe am besten mit der Cryogenianischen Abu Mahara Gruppe der Huqf Supergruppe korrelieren. Eine zusammengesetzte stratigraphische Abfolge der Huqf Supergruppe mit einer im Wesentlichen ununterbrochenen geologischen Aufzeichnung von 725 Ma bis zur Präkambrischen-Kambrischen Grenze wird postuliert. Diese Aufzeichnung enthält gut dokumentierte Beispiele der Sturtianischen und Marinoanischen Glazialintervalle und schließt drei negative Exkursionen der Kohlenstoff Isotopic Kurve ein, welche gut mit der 'globalen' Neoproterozoischen Kohlenstoff-Isotopie-stratigraphie zusammenpassen. In der vorgeschlagenen stratigraphischen Abfolge füllen die Arkahawl und Marsham Formationen der Mirbat Gruppe die Lücke zwischen der Ghubrah und der Fiq Abfolgen im Nordoman aus.

Die zeitlichen Schwankungen erster Ordnung der Hauptelemente und der mineralogischen Zusammensetzung der Tonsteine in den glazial- und interglazialen Abfolgen der Mirbat Gruppe und der Marinoanischen glaziogenen Fiq Abfolge im Nordoman, werden am besten durch chemische Paläoverwitterung erklärt. In der Mirbat Gruppe entsprechen diese erstrangigen Variationen der chemischen Paläoverwitterung gut den klimatischen Hauptstörungen welche aufgrund von sedimentologischen Hinweisen eruiert wurden, sowie den globalen sedimentären Aufzeichnungen welche eine bedeutende Verbesserung des Klimas in der Periode zwischen den Sturtianischen und Marinoanischen Glazialen vermuten lassen. Änderungen in der chemischen Paläoverwitterung welche in der Fiq Formation aufgezeichnet wurden, unterstützen die Idee, dass das Marinoanische Fiq Glazia zyklisch war mit klar abgegrenzten interglazialen Perioden, während derer verhältnismäßig warme und feuchte Bedingungen vorherrschten.