

Geochemische Untersuchungen an Moränen des Inylchek-Gletschers im Tien Shan

Knut Hahne¹, Rudolf Naumann¹, Samuel Niedermann¹, Hans-Ulrich Wetzel¹, Silke Merchel², Georg Rugel²

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

² Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

In this study we present results of the chemical composition of the moraine cover from the Inylchek Glacier in Kyrgyzstan using observations from three field campaigns between 2010 and 2012. The sample locations were selected based on high-resolution remote sensing data. Sampling included the main profile from Lake Merzbacher to Station “Hochgebirgsobservatorium Gottfried Merzbacher”, which is about 8 km in length trending in N-S-direction. Chemical analyses of more than 60 elements, including Rare Earth Elements (an important tool for the discrimination and localisation of source areas of sediments, boulders and out-cropping rocks) were carried out. Based on these data different geochemical material streams have been identified. Generally, two chemical groups of sediments, the North Type/Lake Merzbacher and the South Type/Southern Inylchek can be distinguished. The Lake Merzbacher Type sediments are characterised by a uniform chemical composition, whereas the South Inylchek Type is geochemically more heterogeneous. Toxic elements in the sediments, such as Ni, As, Cd, Tl and U, are moderately enriched. The low sulphur concentration suggests that the main water transport is caused by suspended matter. One erratic granite block was analysed for in situ cosmogenic ¹⁰Be for exposure age dating. The age of 330 ±90 a is conform to a glacier high stand during the “Maunder“ minimum of the solar activity.



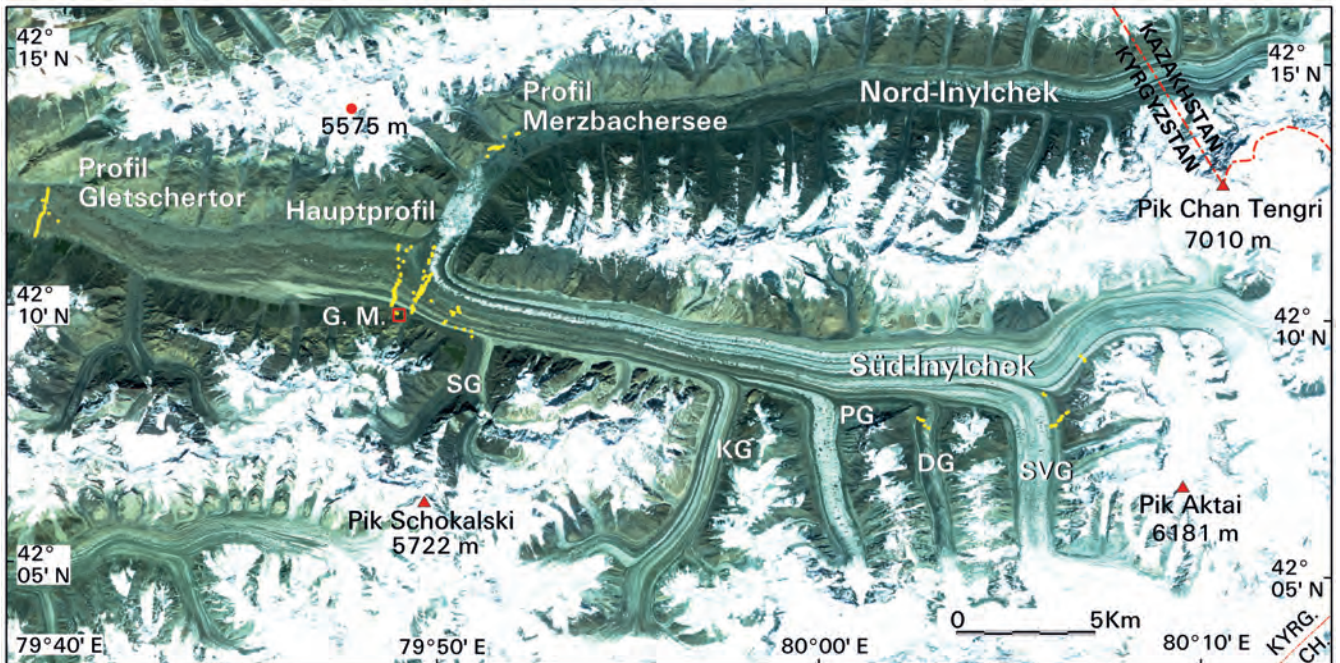


Abb. 1: Inylchek-Gletschersystem. Satellitenkarte, Mosaik hochauflösender RapidEye-Daten¹ (Fußnote S. 46). Gelb: Lage der Profile; G.M.: Hochgebirgsobservatorium „Gottfried Merzbacher“; SG: Schokalski-Gletscher; KG: Komsomol-Gletscher; PG: Proletarski Tourist-Gletscher; DG: Dickij-Gletscher; SVG: Svesdotschka-Gletscher

Fig. 1: Inylchek Glacier system. Satellite image map of high resolution remote sensing RapidEye data¹. Yellow: Position of the profiles; G.M.: High Mountain Observatoray „Gottfried Merzbacher“; SG: Shokalski Glacier; KG: Komsomol Glacier; PG: Proletarski tourist Glacier; DG: Dickij Glacier; SVG: Svesdotshka Glacier

Die vergletscherten Gebirgsketten des Tien Shan in Kirgisistan sind das größte Reservoir für den Wasserhaushalt großer Teile Zentralasiens. Der Inylchek ist einer der längsten Gletscher außerhalb der Polargebiete und sein Gletschersystem mit 815 km² und 65 km Länge das größte des Tien Shan. Nährgebiete sind die Massive des Pik Pobeda (7439 m) und des Khan Tengri (7010 m). Zusätzlich fließen mehrere Seitengletscher vom Koksaa-Tau, der höchsten Gebirgskette des Tien Shan dem Inylchek zu. Im Grenz- und Verschmelzungsbereich seiner beiden wichtigsten Teilgletscher (Nord- und Südinylchek) befindet sich in etwa 3300 m Höhe über NN der jährlich periodisch ausbrechende Merzbacher-Gletschersee, benannt 1928 nach Prof. Gottfried Merzbacher (Universität München, Geograph und Zentralasienforscher), der 1903 diesen Gletschersee erstmals wissenschaftlich beschrieb.

Am Zusammenfluss beider Inylchek-Gletscher wurde 2009 das Hochgebirgsobservatorium „Gottfried Merzbacher“ vom Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ in Kooperation mit dem Zentralasiatischen Institut für Angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) in Bischkek errichtet.

Die international diskutierten globalen Klimaänderungen führen zur Veränderung der Gletscherdynamik, die damit auch Gegenstand gegenwärtiger komplexer geowissenschaftlicher Forschung ist. Für die zeitliche Entschlüsselung der Glazialdynamik unter dem Einfluss der Klimaänderungen können mit modernen geochemischen Verfahren ermittelbare Expositionsalter geeigneter Geschiebeblöcke in den Moränen einen wichtigen Beitrag leisten. Gleichzeitig bestimmt der Stoffbestand der Sedimentbedeckung des Gletschers die chemische Zusammensetzung der Schmelzwässer mit. Deshalb sind Kenntnisse über die Verteilung toxischer Elemente in Moränen, die hier erstmals vorgestellt werden, auch ein direkter Beitrag zur Beurteilung dieser wichtigen Wasserressourcen in Zentralasien.

Die verschiedenen Teilströme des Südinylchek haben eine unterschiedliche Fließkinematik. Neueste Ergebnisse aus dem GFZ zur Fließgeschwindigkeit ergeben für den oberen Südinylchek

Links: Chan Tengri (7010 m) und Südinylchek-Gletscher
(Foto: K. Hahne, GFZ)

Left: Chan Tengri summit (7010 m) and the South Inylchek-Glacier



Kontakt: K. Hahne
(knutha@gfz-potsdam.de)



Abb. 2: Einsturztrichter im Eis des Südinylchek-Gletschers. Zum Größenvergleich steht ein Teamkollege am gegenüberliegenden Rand (roter Kreis) (Foto: K. Hahne, GFZ).

Fig. 2: Ice collapse structure of the South Inylchek Glacier. A member of our field team is shown for scale (red circle).

25 cm/Tag im Frühjahr und Herbst sowie 50 cm/Tag im Sommer (Neelmeijer et al., 2013). Unterhalb des erwähnten Zusammentreffens von Nord- und Südinylchek behindert eine langsam fließende Eismasse den Abfluss. Dadurch wird ein Teil des Südinylchek-Gletschereises in das nördliche Tal abgelenkt. Aus diesen Fließmassen kalben Eisberge in den Merzbacher-See ab. Nur der obere Teil des Südinylchek besteht weitgehend aus Blankeis, nach unten bedeckt eine Decke aus Sedimenten und Geschieben den Gletscher.

Moränen sind die geologischen Archive des Einzugsbereichs und enthalten wichtige Informationen über die Zusammensetzung des Einzugsgebiets und der vom Gletscher überfahrenen Areal (Ableitung von Mischmodellen, Stoffbilanzierung und Herkunft).

Zur Entschlüsselung dieser Archive führte das GFZ umfangreiche Beprobungen von Geschieben und Moränensedimenten durch. Bereits bei den Übersichtsbegehungen war zu erkennen, dass die Vielfalt der Gesteine größer als erwartet war.

Die Lage der Profile wurde mit Hilfe von für die Expeditionen entworfenen Satellitenbildkarten unterschiedlichen Maßstabs (Grundlage Rapid Eye, SPOT, LANDSAT u. a.) ausgewählt (Abbn. 1 und 3). Die Feldarbeiten fanden während der Expeditionen in den Sommermonaten der Jahre 2010 bis 2012 statt.

Die gewonnenen Proben wurden zunächst am GFZ präpariert, danach pulverisiert und homogenisiert. Mittels moderner Analysetechniken (RFA, ICP-AES, ICP-MS) wurden mehr als 60 chemische Elemente analysiert. Die ersten Ergebnisse im Sinn einer Bestandserfassung werden in tabellarischer und graphischer Form wiedergegeben (Tab. 1 und Abb. 4).

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung (arithmetisches Mittel) und Elementverhältnisse von Moränensedimenten nach Typen A bis I. N: Analysen; 1 ppm=0,0001%; 1 ppb=0,001 ppm

Table 1: Chemical composition (means) and element-ratios for the moraine types A-I. N: number of analysed samples; 1 ppm (part per million)=0.0001%, 1 ppb=0.001 ppm

Typ	Methode				Analytik (N)										RFA	RFA	RFA	RFA	IR-Spek.	RFA	RFA	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-AES/MS
	RFA	ICP-MS	SEE	Ca/Si	Fe/Si	Mg/Si	Rb/Sr	Cr/Rb	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	S	Ni	Rb	U	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	Tl	Eu/Eu*		
A	40	5	5	0,46	0,13	0,09	0,31	0,64	46,5	4,1	3,4	14,1	0,04	42	104	2,6	20	145	479				0,68			
B	26	16	16	0,06	0,14	0,06	1,45	0,55	61,1	5,8	2,9	2,4	0,11	47	154	2,8	11	106	619				0,67			
C1	7	4	4	0,17	0,17	0,06	0,48	0,68	58,4	6,8	2,9	6,3	0,06	35	97	2,2	11	170	383				0,91			
C2	10	6	6	0,46	0,17	0,08	0,44	0,66	47,4	5,5	2,9	14,2	0,04	31	86	1,9	10	180	376				0,88			
D	5	4	4	0,24	0,30	0,22	0,22	9,2	48,8	9,7	8,1	7,8	0,03	202	43	1,0	4	116	169				0,98			
E	5	5	5	0,27	0,15	0,07	0,57	0,81	53,1	5,2	2,9	9,3	0,09	49	112	2,5	13	119	530				0,67			
F	7	3	2	0,13	0,13	0,06	0,39	0,44	58,6	5,3	2,7	5,1	0,09	45	186	3,8	29	131	836				0,54			
G	12	6	6	0,08	0,04	0,009	4,02	0,04	71,1	1,9	0,5	3,6	0,02	12	495	15	27	95	2264				0,15			
H	7	5	5	0,35	0,12	0,06	0,30	0,51	51,9	4,3	2,5	11,9	0,09	36	135	3,5	48	185	608				0,58			
I	8	8	8	0,16	0,13	0,05	0,63	0,56	60,4	5,1	2,6	6,4	0,05	40	128	2,5	16	123	433				0,64			

¹ Abb. S. 45: Zusammengestellt aus RapidEye-Datensets: 2011-08-06T063634_RE1_3A-NAC_9741199_138190, 2011-08-06T063634_RE1_3A-NAC_7000485_110917, 2011-08-06T063635_re1_3a-nac_9738777_138190; resampled, Pixelgröße: 5,00 m, Bänder 3, 2, 1 > R, G, B; georeferenziert auf UTM, WGS 84; GFZ-Sektion 1.4 (U. Wetzel, Juli 2012)

Moränenchemie

Chemisch können mehrere Materialströme unterschieden werden. Moränen des Nordinylchek-Gletschers sind homogen zusammengesetzt. Bodensedimente des Merzbacher-Sees sowie Moränen seiner Umgebung enthalten immer einen beträchtlichen Kalkanteil ($\text{CaO}=14,1\%$). Relativ dazu wird Silizium und eine Reihe von Spurenelementen abgereichert. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass diese Moränen (Typ A) am hohen Ca/Si -Verhältnis erkennbar sind. Analog zum Kalzium wird das Spurenelement Strontium im Verhältnis zu Rubidium angereichert. Daraus ergeben sich für diesen Moränentyp niedrige Rb/Sr -Verhältnisse. Der Südinylchek-Gletscher fällt bereits im Satellitenbild durch unterschiedliche Farbstrukturierungen auf. Deshalb war es nicht überraschend, lithologisch und chemisch unterschiedliche Moränensysteme anzutreffen, die von Nord nach Süd in folgende geochemische Typen unterteilt werden können (Abb. 3): Der nördlichste Sedimenttyp (Typ B) zeichnet sich durch Si- und K-Vormacht sowie erhöhte Gehalte von vorwiegend in Glimmern fixierten Spurenelementen (V, Rb, Cs, Tl) aus. Die Elementverhältnisse Ca/Si und Rb/Sr kehren sich gegenüber dem Nordinylchek um. Der Herkunftsort der Geschiebe ist eindeutig die Mittelmoräne zwischen Südinylchek und dem Svesdetschka-Gletscher. An diesem lateral weit dispergierten Moränenstrom schließt sich eine auffällige Formation an (Typ C).



Abb. 3: Räumliche Verteilung der Sedimenttypen (B-H) des Südinylchek-Gletschers (Hauptprofil). Daten siehe Tab. 1

Fig. 3: Spatial distribution of the sediment-types (B-H) along the South Inylchek Glacier (main profile). Chemical data see Tab. 1

Es handelt sich um Moränen mit gelbbraun gefärbten Geschieben einer seltenen magmatischen Gesteinsgruppe, die von Monzoniten, Monzodioriten bis hin zu Fe-reichen Noriten reicht. Daher ist es erstaunlich, dass die Chemie der Sedimente lediglich bei den Alkali-Elementen eine leichte Anreicherung aufweist. Das liegt im Wesentlichen daran, dass in dieser Moräne ein beträchtlicher Anteil an grobkörnigem Marmor enthalten ist. Marmor ist, wie alle Kalke, weich und in der Regel spurenelementarm. Er zerfällt leicht in kleine Rhomboeder und wirkt in Sedimenten verdünnend. Eine wichtige Indikatorfunktion für die Identifizierung von Ausgangsgesteinen wird von der Gruppe der Selten-Erd-Elemente (SEE) eingenommen. Die SEE-Verteilung zeigt in Form der sogenannten Europium-Anomalie (Eu/Eu^*) einen signifikanten Unterschied gegenüber den vorherigen Moränentypen (Tab. 1). Sie wird über eine Normierung der SEE-Konzentration auf undifferenzierte Meteorite berechnet. Abweichungen des Eu von einer harmonischen Verteilungskurve der SEE werden als positive oder negative Eu-Anomalie bezeichnet. Dreiwertiges Eu kann während der Bildung von magmatischen Gesteinen in Eu^{2+} überführt werden. Eine damit verbundene Änderung im Ionenradius bewirkt die Trennung von den übrigen chemisch sehr ähnlichen SEE. Wesentlich für die Beurteilung von Liefergebieten ist, dass sich eine erworbene Eu-Anomalie im sedimentären Kreislauf resistent verhält. In unserem Beispiel weisen die Leitgeschiebe aus der C-Moräne eine in der Geologie selten vorkommende positive Eu-Anomalie ($\text{Eu/Eu}^*=1,2$ bis $1,5$) auf. Diese ist als ein magmatisches Signal aufzufassen und stellt einen wichtigen Parameter zur Beurteilung von Ausgangsgesteinen dar. Das vermutete Liefergebiet für diesen markanten Moränentyp, der Dikij-Gletscher, konnte durch eine Hubschrauberbefliegung eingegrenzt werden. Wegen der schwierigen Zugänglichkeit ist die genaue Lage und Geometrie des vom Gletscher angeschnittenen Plutons, aus dem die magmatischen Leitgeschiebe stammen, noch nicht bekannt.

Es folgt eine Moräne (Typ D) mit den höchsten Gehalten von Mg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Ir und Pt im Untersuchungsgebiet. Die SEE-Verteilungsmuster sind flach. Auch hier weicht die Eu-Verteilung beträchtlich von der normaler Sedimente ab. Das Ausgangsmaterial dieses Moränenstrangs wird von Vulkangesteinen (Tuffe) aus dem Westteil des Dickij-Gletschers abgeleitet. Unbekannt ist gegenwärtig das Liefergebiet einer weiteren sich südlich anschließenden Moräne (Typ E). Die chemische Zusammensetzung weist die größte Ähnlichkeit zum Typ B auf. Mit scharfer Grenze folgt nach Süden ein charakteristischer, etwa 50 m breiter Streifen dunkel gefärbter Sedimente (Typ F). Dunkle Tonschiefer sind hier die dominanten Geschiebe. Daraus leiten sich die gemessenen erhöhten Gehalte von Rb, Cs, Tl, Pb, Th und U ab. Das Liefergebiet lässt sich anhand des Satellitenbilds am Westrand des Komsomol-Gletschers eingrenzen.

Die zweifellos auffälligste Moräne nahe dem Südrand des Inylchek-Gletschers ist hellgrau gefärbt. Geschiebe bestehen aus Graniten. Blöcke erreichen dabei durchaus eine Größe von mehreren Metern (Abb. 5). Ihre chemische Zusammensetzung wird

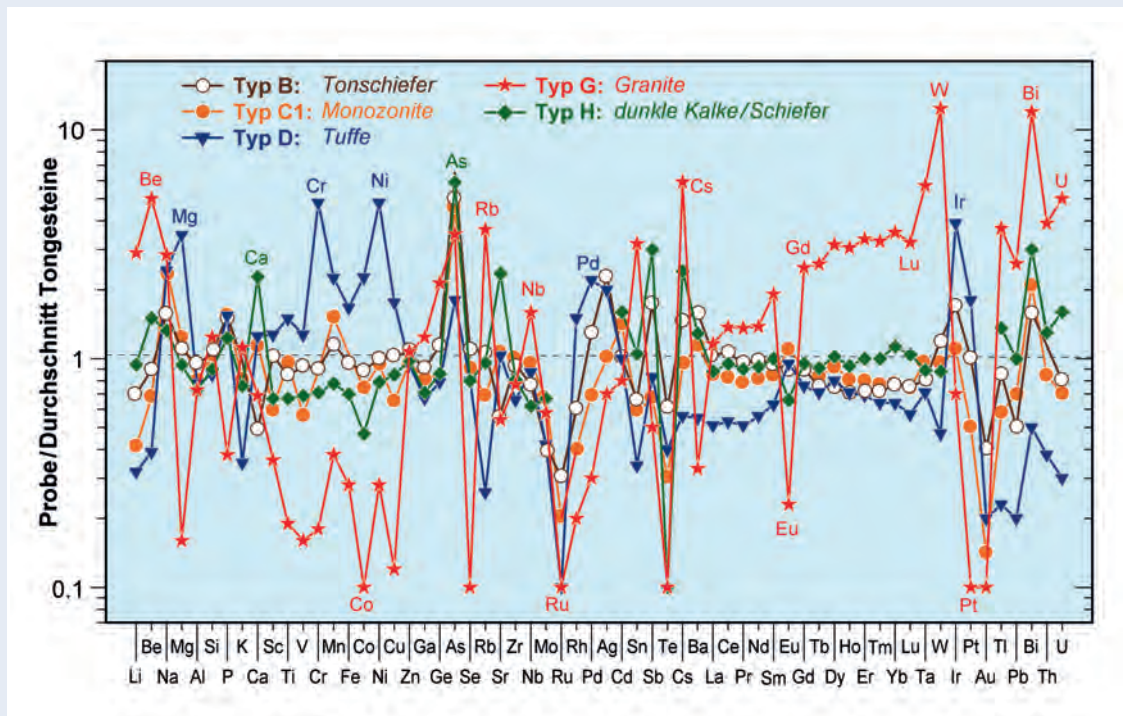


Abb. 4: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Moränen. Die Bezugsgröße ist der Durchschnitt für Tongesteine.

Fig. 4: Chemical composition of selected moraines. The normalisation is based on the mean of clay rocks.

erwartungsgemäß von einer Anreicherung lithophiler Elemente (Si, Li, Be, Rb, Sn, Cs, Ta, W, Bi, Tl, Pb, Th und U) bestimmt (Abb. 4). Die Granite sind in einem Massiv zwischen dem Komsohol- und Schokalski-Gletscher aufgeschlossen (Abb. 6). Sie sind metallogenitisch gut untersucht und werden in das frühe Perm eingestuft. Dem eigentlichen Gletscherrand ist eine schmale Zone dunkler Sedimente (Typ H) vorgelagert. Ihre Zusammensetzung vermittelt auf den ersten Blick eine Wiederholung der Nordinylchek-Moränen. Dennoch bestehen graduelle Unterschiede. Die Gehalte von As, Cd, Rb, Sb sind höher. Eine stärker negative Eu-Anomalie ist geologisch begründet. Die Quelle ist eine Gesteinseinheit, die sich aus Kalken und klastischen Sedimenten zusammensetzt und vom Schokalski-Gletscher erodiert wird.

Ergebnisse von Hagen (2013) zur Geochemie ausgewählter Proben aus einem Profil unmittelbar am Gletschertor (Typ I) lassen den Schluss zu, dass für den Gesamtstoffbestand des Südinylchek vor allem die Moränentypen B und C wesentlich sind.

Datierungen

Nach einem ersten Überblick über den Stoffbestand wird im Folgenden auf Ergebnisse zur Datierung eines Geschiebeblocks eingegangen.

Altersbestimmungen an erratischen Blöcken auf Moränen sind unter bestimmten Voraussetzungen über durch kosmische Strahlung entstandene Nuklide möglich. Häufig benutzte Nu-

klide sind Edelgase oder das Radionuklid ^{10}Be mit einer Halbwertszeit von 1,387 Mio. Jahren. So werden ^{10}Be und ^{21}Ne *in situ* durch Kernreaktionen (induziert durch sekundäre Neutronen der kosmischen Strahlung) z.B. aus Sauerstoff bzw. Silizium im Quarz (SiO_2) an freiliegenden Gesteinen gebildet. Diese Nuklide dienen als geologische Uhr, d.h. wenn ein quarzführendes Gestein (Granit) von einem Startpunkt kontinuierlich der kosmischen Strahlung ausgesetzt wird, werden ^{10}Be - und ^{21}Ne -Atome akkumuliert. Die Produktionsraten der ^{10}Be - und ^{21}Ne -Atome sind aber äußerst gering; im Probengebiet ca. 50 bzw. 200 Atome pro Gramm SiO_2 und Jahr. Die Bestimmung von Expositionsaltern mit ^{10}Be erfordert deshalb eine auf-



Abb. 5: Granitblock als Geschiebe in der G-Moräne (Foto: K. Hahne, GFZ)

Fig. 5: Erratic block of granite from the G-Moraine



Abb. 6: Erosionskontakt des Südnylchek-Gletschers mit einem Granitmassiv. Auf der linken Seite dokumentiert die Moränenoberkante einen früheren Gletscherhochstand (Foto: K. Hahne, GFZ).

Fig. 6: Evidence of erosion of the South Inylchek Glacier within the granite massif. On the left side the uppermost moraine level is shown. This level represents the historical glacier high stand.

wändige chemische Probenpräparation und Analysetechnik mittels hochempfindlicher Beschleunigermassenspektrometrie (Akhmadaliev et al., 2013).

Als Testprobe wurde ein Granitblock aus der G-Moräne in der Nähe des Observatoriums (79° 48.790' E / 42° 10. 220' N) mit einer 2,5 x 2,5 m großen ebenen Oberfläche ausgewählt. Etwa 1 kg Gestein der obersten 2 cm wurde abgeschlagen und der Quarz separiert.

Ein erster Datierungsversuch über ^{21}Ne mittels empfindlicher Edelgasmassenspektrometrie am GFZ erbrachte kein geologisch interpretierbares Alter, weil aufgrund der relativ hohen Uran- und Thoriumgehalte der Granite zusätzliches Neon aus Folgereaktionen des radioaktiven Zerfalls im Quarz produziert wurde.

Im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf bestand die Möglichkeit, die Quarzprobe chemisch weiter aufzubereiten und über ^{10}Be im Beschleunigerlabor „DREAMS“ zu datieren. Das Ergebnis erbrachte eine überraschend geringe ^{10}Be -Konzentration von 14900 Atomen/g Quarz. Das Expositionsalter wurde mit dem sogenannten CRONUS-Calculator (<http://hess.ess.washington.edu>) nach vier verschiedenen zeitabhängigen Skalierungsmethoden berechnet, die auch den Einfluss von Magnetfeldschwankungen berücksichtigen. Dabei ergab sich ein mittleres Alter von rund 330 ± 90 Jahren. Unter der Annahme, dass sich der Granitblock nicht mehrfach bewegt hat, d.h. durchgehend der kosmischen Strahlung ausgesetzt war, wurde er um das Jahr 1680 zum ersten Mal durch einen Gletscherhochstand freigelegt. Dieses Intervall liegt in einer besonders kalten Periode der Kleinen Eiszeit im Bereich eines Minimums an Sonnenflecken, dem „Maunder-Minimum“ (1675 bis 1700 AD).

Ausblick

Im Verlauf der geochemischen Untersuchungen an Moränen des Südnylchek-Gletschers stellte sich der Südnylchek als eine Art geochemischer Modellgletscher dar. Ursache ist die geodynamische Entwicklung im Paläozoikum überprägt durch die alpine Überschiebungstektonik. Dadurch kam es im Einzugsbereich zu einer Zufuhr von geochemisch sehr unterschiedlichen Gesteinen.

Es werden die Mittelwerte von toxischen Elementen (Ni, As, Cd, Tl, U) in Moränen vorgestellt. Bezogen auf Tonsteine lässt sich für Arsen eine bis zu siebenfache Anreicherung feststellen, bei Ni, Cd, Tl und U ist sie geringer. Der Schwefelgehalt schwankt zwischen 0,02 und 0,11%. Diese außerordentlich niedrigen Gehalte besagen, dass leicht oxidierbare Sulfide, Trägerminerale der meisten toxischen Elemente, eine vernachlässigbare Komponente in den Moränen darstellen. Die maßgebliche Bindungsform (z.B. des Thalliums) ist silikatisch. Damit erfolgt der Transport im Schmelzwasser nicht vorrangig in gelöster Form sondern in der Gletschertrübe als Schwebefracht.

Der erosive Anschnitt von datierbaren Granitblöcken und ihre Erhaltung in einer ungestörten und langen Moräne, wie sie im Untersuchungsgebiet angetroffen wurden, sind eine ideale Basis für die Ableitung der zeitlichen Glazialentwicklung. Neben geplanten weiteren Datierungen an Graniten mittels kosmogener Nuklide aus verschiedenen Gletscherteilen bieten pyroxenführende Gesteine ein weiteres Potenzial, die Glazialentwicklung des Inylchek über einen längeren Zeitraum zu entschlüsseln.

Zitierte und weiterführende Literatur

- Akhmadaliev, S., Heller, R., Hanf, D., Rugel, G., Merchel, S. (2013): The new 6 MV AMS-facility DREAMS at Dresden. - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research: Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms, 294, 5-10, 10.1016/j.nimb.2012.01.053.
- Hagen, M. (2013): Geochemische Untersuchungen an Moränenmaterial des Inylchek-Gletschers im Tien-Shan (Kirgistan), Bachelorarbeit, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam.
- Hahne, K., Wetzel, H.-U., Naumann, R., Meixner, A. (2013): Geochemical investigations of sediments and boulders in Moraines of the Inylchek Glacier, Kyrgyzstan. – In: Kenesh, J. (Ed.), Materials Of International Conference “MOUNTAINHAZARDS 2013”: Natural Hazards, Climate Change and Water in Mountain Areas; Bishkek 16-18 September 2013, p. 83.
- Klostermann, J. (1999): Das Klima im Eiszeitalter, Stuttgart, 284 p.
- von Blankenburg, F. (2008): Kosmogene Nuklide in den Geo- und Umweltwissenschaften. - GMIT, 33, 6-18.
- Neelmeijer, J., Motagh, M., Wetzel, H.-U. Detailed spatial and temporal kinematics of the Inylchek Glacier, Kyrgyzstan, constrained by TerraSAR-X time-series analysis. Talk presented at 5th TerraSAR-X / 4th TanDEM-X Science Team Meeting (Oberpfaffenhofen, Germany 2013).