

Geo/hydrogeo/geomorphological survey of mongolia, part I: Khan Khentii Strictly Protected Area and Gorkhi-Terelj National Park in connection to permafrost and cold regions

Geo/hydrogeo/geomorfologické studium severního Mongolska ve vztahu k stabilitě permafrostu a krajině, část I: Khentéské hory a národní park Gorkhi-Terelj

Jindřich KYNICKÝ^a, Radka BARTOŠOVÁ^b, Hana CIHLÁŘOVÁ^a, Jitka NOVOTNÁ^{a, c}, Majigsuren YONDON^d

^a Ústav geologie a pedologie, Mendelova univerzita v Brně, jindrak@email.cz

^b Ostravská univerzita v Ostravě, radka.bartosova@osu.cz

^c Geotest, Brno, novotna@geotest.cz

^d Mongolian University of Science and Technology, Ulaan Baatar

Abstract

The Khan Khentii Strictly Protected Area and Gorkhi-Terelj National Park represent large areas of mountain forest steppe with islands of primaeval taiga forest in the Khentii mountains, situated to the north of the capital Ulaanbaatar. Khentii forms the uplift of the devonian-carboniferous terrigenous complex, intruded by granitic plutons during mesozoic age. Distribution of these plutons and landscape of whole Khentii is controlled by deep faults of north-east direction. Whole study area represent cold region where permafrost occurs. Our data indicates an increasing of the MAGTs of about 0.4–0.5°C in seasonally frozen ground and island permafrost zones, and about 0.2–0.3°C in the discontinuous permafrost zones. The actual thermal state of Khentii permafrost reflects recent aridization. The average rise of MAAT was approximately 0.02–0.05 °C/yr for the different regions of Mongolia with maximum extent in the study area. The southern limit of permafrost has retreated 20–30 km northward.

Keywords: permafrost, Khentii synclinorium, Khan Khentii Strictly Protected Area, Gorkhi-Terelj National Park, Mongolia

Klíčová slova: permafrost, Khentiiské synclinorium, Khan Khentii Strictly Protected Area, Gorkhi-Terelj National Park, Mongolsko

Úvod

Studovaná oblast „Khan Khentii Strictly Protected Area“ a „Gorkhi-Terelj National Park“ představují národní parky severo-východně od hlavního města Mongolska - Ulánbátaru.

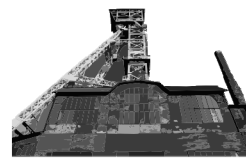
V případě parku Gorkhi-Terelj se jedná o turisticky značně atraktivní využívaný region, nicméně rozsáhlá oblast „Khentii Strictly Protected Area“ představuje skutečně přírodní lesnatou horskou oblast, do níž člověk, krom ojedinelých vědců a aratů, zatím jen minimálně zasahuje. Pro svou relativní odlehlost a panenskou krásu (ve vzdálenosti X00 km žádným směrem nevede silnice a posledních 40 let – od odchodu ruských prospektorů -) je toto místo jedním z posledních útočišť nedotčené přírody v Mongolsku, kde není ojedinelé a překvapivé střetnout se s divokými zvířaty a obecně nedotčenou přírodou tak jako před staletími.

Celá oblast byla v měřítku centrální Asie vždy unikátní (geologicky, hydrogeologicky, mozaikou přírodních ekosystémů) a představovala jeden z mála chladných regionů v Mongolsku, kam zasahují rozsáhlé výběžky

permafrostu ze Sibiře. Právě permafrost je jednou z klíčových složek ekosystémů v těchto chladných oblastech a je velmi citlivý na klimatické změny. Globální oteplování způsobilo během posledních desetiletí rozsáhlou a rychlou degradaci permafrostu v řadě regionů centrální Asie, Mongolsko nevyjímaje (Sodnom a Losev 1976; Houška a Kynický 2004, Kynický et al. 2009, 2010).

Destrukce permafrostu má potenciál významně změnit nejen lokální půdní vlhkost, dostupnost půdních živin a vliv na druhové složení, ale i celkovou hydrogeologickou bilanci celých regionů. V nížinných oblastech podmiňuje rozpad permafrostu přeměny celých ekosystémů, a to nejen mokřadů. V horském ekosystému má obecně tání permafrostu za následek nahrazení vlhkomilného společenství xeromorfním společenstvím nebo keři, což je jeden z hlavních problémů provázejících aridizaci severního Mongolska. Degradace permafrostu v důsledku oteplování klimatu může dramaticky změnit bilanci uhlíku v dynamice vysokohorských ekosystémů.

Ačkoli již Sodnom a Losev (1976) shrnuli hlavní rysy permafrostu v Mongolsku a nastínili možná rizika i



budoucí trendy jeho degradace, dosud neproběhlo komplexní digitalizování mapových soustav a jejich propojení s aplikacemi GIS. Tento příspěvek přináší informaci o výzkumu aktuálního rozšíření permafrostu na z velké části ještě stále zalesněném území severního Mongolska (Khentijského ajmaku) v rámci projektu „Scientific exploration of Mongolia 2000-2010.“

Metodika

Terénní práce ve vybraných oblastech s výskytem permafrostu na území Mongolska probíhaly od roku 2000, a to za účelem studia distribuce a degradace permafrostu, půd a lesů ve vybraných pohořích a pánvích situovaných zejména v severním Mongolsku. Měření distribuce permafrostu, jakož i postupu aridizace a míry degradace permafrostu v daných oblastech za pomoci sond a srovnání výsledků s publikovanými informacemi umožnilo, za použití GIS aplikací (Houška a Kynický 2004; Kynický 2006), výsledky podrobně zpracovat. Nejvíce detailní průzkum probíhá již téměř 10 let v horách Khentii, a to za pomoci měření teploty vzduchu, půdy, srážek, půdní vlhkosti a také hladiny podzemních vod.

Výsledky a diskuze

Geografie a geologie

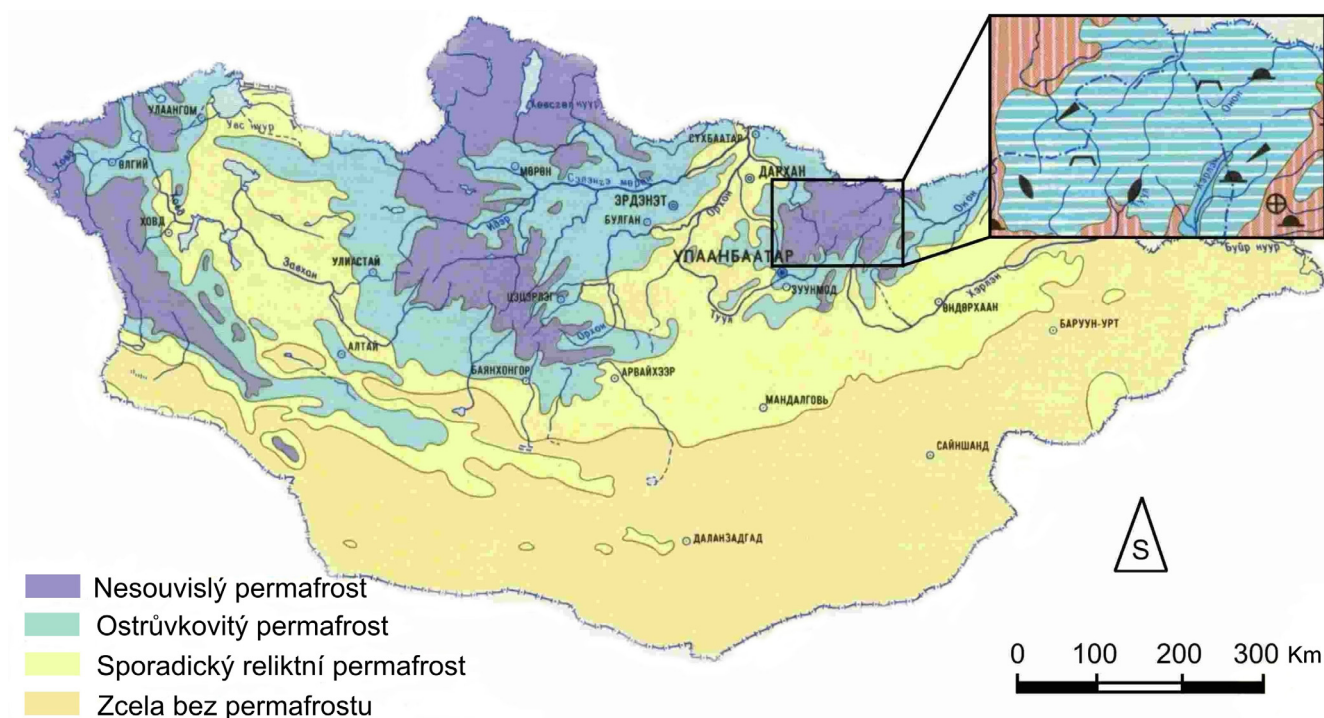
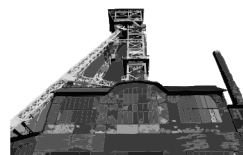
Studovaná oblast náleží z geografického hlediska do Khentijského synklinoria, které se rozprostírá severně od řeky Tuul a hlavního města Mongolska – Ulánbátaru a navazuje na území Ruské federace na východní Sibiř (Zabajkalí). Správní jednotka „Khan Khentii Mountain aimag“ byla ustanovena již v roce 1923 (později přejmenována na Hentii aimag) a na jejím území (prakticky výhradně v okrajových částech) se nachází 3 města a 20 vesnic s počtem maximálně 500 stálých obyvatel, kteří jsou zcela ekonomicky závislí na pastevectví. Tento aimag je ve skutečnosti důležitou součástí gigantické starobylé rezervace ustanovené již před téměř 200 lety jako nejstarší přírodní rezervace v Asii – „Khan Khentii Strictly Protected Area“. Tato přírodní rezervace Khentijských hor, s rozlohou více než 1.200.000 ha, patří zároveň mezi 5 největších rezervací v Mongolsku a zasahuje i na území dalších dvou aimagů – Tuv aimag a Selenge aimag. Rezervace sousedí na západě a jiho-západě s národním parkem „Gorkhi-Terelj“, na severu se zapovedníky „Krasnij Čikoj a Malkhan“. Celá oblast Khentijských hor je obtížně dostupná a průměrná nadmořská výška se pohybuje okolo 1800 m n.m. a nejvyšší kótou „Asralt Khairkhan Uul“ (2800 m n.m.). Jsou zde zastoupeny všechny typy reliéfu, které z území Mongolska známe, od rovinných stepí pod úpatím hor až po členitou hornatinu s lokálním převýšením běžně 350 m. Lokální extrémní převýšení je

v celé oblasti podmíněno zlomy SZ -JV až SSZ - JJV směru. Oba systémy mají příkrý sklon 70-80°.

Studovaná oblast představuje zároveň unikátní geologický útvar. Z geologického hlediska se jedná o jižní část zvrásněné proterozoické jednotky Bajkalid, která však v případě daného Khentijského synklinoria vytvořila již v prvohorách rozsáhlou depresi, ve kterém převládají rohovcovité terigenní sedimenty „Khentijské skupiny“ (devonského a karbonského stáří), která byla výrazně vyvrásněna a je zabudována od nejstarších směrem k nejmladším horninám od jiho-západu směrem k severo-východu. Na bázi paleozoické deprese sedimentovaly více než 1000m mocné vrstvy jemně až středně zrnitých pískovců, ve sp. části jsou hlavní horninové typy reprezentovány rohovci a mohutným vulkano-sedimentární asociací Gorkhinské formace, následují slínovce a jílovité pískovce. Druhá vrstva je cca 700m mocná a zahrnuje v sobě alterované pískovce, prachové pískovce, prachovce, slínovce a jílovité pískovce s polohami rohovců. Tato část komplexu je tvořena 1500-1600m mocnými pískovci a slínovci. Tyto partie v sobě často uzavírají polohy červeného rohovce. Poslední vrstva –šedé až šedočerné silicifikované tufy a tufity mají mocnost i přes 400m. Tyto horniny byly v průběhu mesozoika opakovaně pronikány peralkalickými granitoidními magmaty podél tektonicky oslabených zón SZ -JV až SSZ - JJV směru. Touto cestou vznikly stovky masivů (Gerel, nepublikovaná data geofyzikálního průzkumu), z nichž při současném erozivním řezu vystupují na povrchu synklinoria desítky granitických masivů (Zuunbayan, Dzanchublin, Gorkhi, Artsgol, Modot, Shorootyngol, Bayandelger, atd.). Jejich bizarní, převážně větrnou erozí podmíněné skalní útvary, vytváří často rozsáhlá skalní města podobná pískovcovým. V průvrách a trhlinách jsou časté zříceninové jeskyně, v nichž zůstává ledová výzdoba po celý rok i přes stále pokračující aridizaci celého regionu.

V celé oblasti je rovněž přítomen permafrost zasahující na dané území v rozsáhlých ostrůvcích a výběžcích ze Sibiře. Aktuální rozšíření permafrostu na území Mongolska se blíží 50 % celkové rozlohy země, viz. Obr. 1. Permafrost se v Mongolsku nachází hlavně v severních oblastech s dominancí na Khubsgul, Orkhon-Selenge, v pohořích Altai, Khangai a Khenntei (Kynický et al. 2009, 2010).

Vývoj a distribuce permafrostu v Khentijských horách podobně jako v dalších oblastech závisí především na klimatických, geografických, geologických, hydrologických a povrchových podmínkách. Zeměpisná šířka je druhý nejdůležitější faktor, který ovlivňuje rozložení průměrné roční teploty vzduchu (MAAT) i vlastního permafrostu (MAGT) a ovlivňuje tak distribuci a vývoj zejména horského permafrostu tak, že klesá.



Obr. 1 Schematická mapa distribuce permafrostu na území Mongolska

Zdroj: upraveno podle Tarasov et al., 2000

Se zvyšováním MAAT a MAGT klesá směrem na jih z horských do stepních oblastí stabilita (Tab. 1) i mocnost permafrostu a v případě studované oblasti

Khentii z původních 400m na 200m, zatímco například na Altaii jen z 350m na 240m.

Tab. 1 Charakteristické rysy permafrostu na území Mongolska

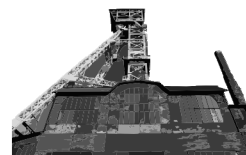
Typ permafrostu	Subtyp	Region	Pokryvnost (km ²)	Limit (s.š.)	MAAT (°C)	MAGT (°C)
Nížinný	souvislý		cca 9000		více než -4	cca -2 - 1,4
	nesouvislý		100000-120000		cca -2 - 4	cca -2 - 0,5
	ostrůvkovitý a sporadický		450000-540000		cca -2 - 0	cca -1 - 0
Horský		Altai	cca 78000	2300-2700	-5,2	až -4
		Hubsugul	cca 13000	2200-2300	-3,4	až -2,5
		Khangai	cca 25000	2200-2600	-2,6	až -1,8
		Khentii	cca 17000	2200-2500	-2,8	až -2,9
		Hutag Uul Ord	cca 5000	2100-2300	-2,1	až -1,1

Khentiijské sinklinorium tak představuje bohatou mozaiku přírodních ekosystémů na hranici taigy a stepních ekosystémů centrální Asie, kde pramení více než 70 důležitých řek, mezi nimiž dominují řeky Tuul, Terej, Onon a Kerulen a zastupují důležité rozvodí oddělující povodí Severního ledového oceánu, Tichého oceánu a vnitrokontinentálního systému bezodtokých pánví centrální Asie.

Vývoj permafrostu v kvartéru

V průběhu kvartéru probíhaly na území Mongolska rozsáhlé změny v rozšíření permafrostu (Prokopenko et al. 2007). V období spodního pleistocénu permafrost

existoval pouze ve vysokých horách (Marchenko et al. 2007). V období mezi 0,8 a 0,6 Ma, které pokrývá přelom spodního a středního pleistocénu, došlo k extenzivnímu vývoji permafrostu, a to zejména v oblastech severního Mongolska. Mrazové klíny, které se utvořily během nejchladnějšího období svrchního pleistocénu, byly objeveny na mnoha místech v oblasti Khubsqul a v Khentii (Kynický 2006). Plocha permafrostu se během posledního ledového maxima (32–16 ka) odhaduje na maximálně 1×10⁶ km² (Kynický 2006). Během teplejších dob meziledových permafrost s největší pravděpodobností výrazně ustoupil a vyskytoval se pouze v nejvyšších oblastech (např. pohoří Altai). V teplém období holocénu (8,8–3,4 ka), kdy



MAAT byla přibližně o 2–5 °C vyšší než během posledního ledového maxima, (Prokopenko et al. 2007), docházelo k degradaci permafrostu. Indikátorem počátku oteplování byl vznik písčitého klínu. Nástup oteplení předurčil vývoj řady rašeliníšť a fosilních půd (Kynický 2006). Nejteplejší období ve střední Asii bylo nejspíše mezi 8,5–5,2 ka, kdy MAAT byla cca o 3–5 °C vyšší (Marchenko et al. 2007).

Jižní limity distribuce permafrostu od poslední doby ledové ustoupily severně o 23–24° v Severní Evropě (Sevastyanov 2000, či Harriss et al. 2009) a o 16–18° severně v Severní Americe (Gorham et al. 2007). V Mongolsku byl však zaznamenán ústup maximálně o 5–7° (Prokopenko et al. 2007, Kynický et al. 2009), v případě studované oblasti Khentiiských hor jen o 4–5°. Jinými slovy, periglaciální prostředí v Mongolsku je méně citlivé, než bylo obecně očekávatelné, i když existují i studie, které tvrdí opak.

Nedávné degradace permafrostu

Tab. 2 Reprezentativní data pro permafrost na území Khentiiských hor

Hloubka (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	30	40	50
Data a hodnoty MAGT (°C)													
1.6.2003	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-1,1	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
1.6.2004	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-1,1	-1,3	-1,6	-1,8	-1,6
1.6.2005	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-1,1	-1,4	-1,7	-1,9	-1,7
1.6.2006	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
1.6.2007	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-1,8	-1,6
1.6.2008	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-1,8	-1,6
1.6.2009	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,9	-1,2	-1,5	-1,8	-1,6

Degradace permafrostu neindikuje vznik dalších míst pro vegetaci. Z tohoto důvodu se zonální ekosystém Khentiiských hor pravděpodobně nachází již od pozdně glaciálního období v téměř totožných zónách, a to i přesto, že dochází k výrazným změnám klimatu (Tarasov et al. 2000). Na druhou stranu se prostředí řady regionů severního Mongolska a zejména pak Khentiiských hor s maximem v případě studované oblasti „Khan Khentii Strictly Protected Area“ a „Gorkhi-Terelj National Park“ stává čím dál tím více náchylné k postupující desertifikaci (Houška a Kynický 2004, Bajer et al. 2008, Kynický et al. 2010).

Závěr

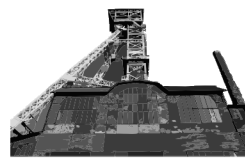
Periglaciální prostředí v Mongolsku je méně citlivé na změny klimatu, než je tomu dnes například v obdobných oblastech Evropy a Severní Ameriky. Degradace mongolského permafrostu je proto zatím v globálním kontextu relativně pomalá. Většina oblastí permafrostu v Mongolsku je nyní reliktem chladného klimatu, nejrychleji degradujícím právě v Khentiiských horách a studované oblasti „Khan Khentii Strictly

Náš výzkum permafrostu ve vztahu ke globálnímu oteplování naznačuje, že již zvýšení MAAT o 0,4–0,5 °C během posledních padesáti let zrychlilo degradaci permafrostu, která bude s velkou pravděpodobností i nadále pokračovat (Kynický et al. 2009). Sledování a výzkum pásma lesního porostu v Khentiiských horách indikuje zvýšení MAAT o přibližně 0,4–0,5 °C v sezónně zamrzlé půdě i v zónách permafrostu. Dále je možné hovořit o zvýšení teploty vzduchu o přibližně 0,2–0,3 °C v oblastech kontinuálního permafrostu. V nestabilních reliktních permafrostových zónách s MAAT –0,5–0 °C dochází i nadále k oteplování permafrostu. V oblasti pohoří Khentii je možné odhadnout zvýšení MAAT až o 1,0 °C za posledních 40–50 let. Tento fakt indikují i měřené nízké hodnoty MAGT (tab. 2). V této oblasti jižní hranice euroasijského permafrostu ustoupila skutečná hranice permafrostu průměrně o 25 km severně a posun se zrychluje. Předpokládá se, že pokud se zvýší MAAT o další 1 °C, pak dojde k ústupu permafrostu přibližně o 80–200 km k severu (Prokopenko et al. 2007).

Protected Area“ a „Gorkhi-Terelj National Park“. Statisticky doložitelné oteplení již od roku 1970 a ještě rychleji od roku 2000 je alarmující. Nejvýznamnější dopad degradace permafrostu v oblasti „Khan Khentii Strictly Protected Area“ bude na vodní zdroje, neboť se zde nachází prameniště 70 důležitých vodních toků. Ochrana chladných oblastí a vodních zdrojů se tak do budoucna stane klíčovým prvkem pro ochranu životního prostředí v Mongolsku.

Použité zdroje:

- BAJER, A. – KYNICKÝ, J. – SAMEC, P. (2008): Možnosti ochrany přírodního a nerostného bohatství Mongolska. In: KYNICKÝ, J. – BAJER, A.: Sborník příspěvků konference Mongolia 2008, 6–11. – MZLU. Brno.
- GORHAM, E. – LEHMAN, C. – DYKE, A. – JANSSENS, J. – DYKE, L. (2007): Temporal and spatial aspects of peatland initiation following deglaciation in North America. - Quaternary Science Reviews, Volume 26, Issues 3-4, 300-311.



HARRIS, Ch. - ARENSEN, U. L. - CHRISTIANSEN, H. H. et al. (2009): Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. - *Earth-Science Reviews*, Volume 92, Issues 3-4, 117-171.

HOUSKA, J. - KYNICKÝ, J. (2004): Možnosti aplikace dálkového průzkumu Země při řešení otázek desertifikace v Mongolsku. In: SAMEC, P - KYNICKÝ, J. - JAROŠ, O.: *Scientific exploration of Mongolia*, 73-77. - MZLU. Brno.

KYNICKÝ, J. (2006): Permafrost na území Mongolska. In: SAMEC, P. - KYNICKÝ, J.: *Hlavní výsledky průzkumu území Mongolska v projektu Mongolsko 2000-2005: shrnutí, hodnocení a interpretace (II)*, 93-94. - MZLU. Brno.

KYNICKÝ, J. - BRTNICKÝ, M. - VAVŘÍČEK, D. - BARTOŠOVÁ, R. - MAJIGSUREN, Yo. (2009): Permafrost and climatic change in Mongolia. In: PRIBULLOVÁ, A. -- BÍČAROVÁ, S. *Sustainable development and bioclimate*. 1. vyd. Stará Lesná: Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Sciences, s. 34-35. ISBN 978-80-9004-501-9.

MARCHENKO, S. S. - GORBUNOV, A. P. - ROMANOVSKY, V. E. (2007): Permafrost warming in the Tien Shan mountains, Central Asia. - *Global and Planetary Change*, 56, 311-327.

NATSAGDORJ, L., DAGVADORJ, D., BATIMA, P. & TUMURBAATAR, D. (2000): *Climate change and its impacts in Mongolia*. JEMR Publishing, 226.

PROKOPENKO, A.A. - KHURSEVICH, G.K. - BEZRUKOVA, E.V. - KUZMIN, M.I. - BOES, X. - WILLIAMS, D.F. - FEDENYA, S.A. - KULAGINA, N.V. - LETUNOVA, P.P. - ABZAEVA, A. (2007): Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed. *Quaternary Research*, 68, 2-17.

SHARKHUU, N. (1998): Trends of permafrost development in the Selenge River Basin, Mongolia. *Proceedings of the Seventh International Conference on Permafrost*, Yellowknife, Canada, str. 976-986.

SHARKHUU, N. (2000): Regularities of permafrost distribution in Mongolia. *Transactions of*

Institute of Geocology, MAS, pp. 217-232. (in Mongolian).

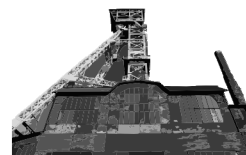
SHARKHUU, N. 2001. Dynamics of permafrost in Mongolia. *Tohoku. Geophysical Journal*. 36(2):91-100 Sendai, Japan.

SODNOM, N. - LOSEV, N. Ph. (1976): Environmental condition and resources in surrounding area of Khubsgul, Mongolia. - (stránky a ruský název) Moskva (v ruštině).

TARASOV, P.E. - VOLKOVA, V.S. - WEBB T. - GUIOT, J. - ANDREEV, A.A. - BEZUSKO, L.G. - BEZUSKO, T.V. - BYKOVA, G.V. - DOROFYUK, N.I. - KVAVADZE, E.V. - OSIPOVA, I.M. - PANOVA, N.K. - SEVASTYANOV, D.V. (2000): Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *Journal of Biogeography* 27: 609-620.



Obr. 2 Ještě na konci léta a počátku podzimu je možné v depresích v nejvyšších polohách Khentejských hor pozorovat zbytky loňského sněhu
Zdroj: Kynický, 2009



Obr. 3 Měření parametrů ledu na řece Tuul v lednu 2004

Zdroj: Kynický, 2004

Za podnětné připomínky k původní práci děkujeme recenzentům a konzultantům článku, zejména pak Dr. A. Rečnickovi. Příspěvek byl podpořen v rámci interního grantu Mendelu v Brně (Procesy v půdě), grantu Anchor House Inc. (ARC 113) a grantu Chinese National Science Foundation (č. 40773021).

Adresa autorů:

Jindřich Kynický, Radka Bartošová, Hana Cihlářová
Ústav geologie a pedologie
Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3
613 00 Brno
jindrak@email.cz, radka.bartosova@osu.cz, xcihlaro@seznam.cz

Jitka Novotná
Geotest
Šmahova 112
629 00 Brno
novotna@geotest.cz

Majigsuren Yondonc
Mongolian University of Science and Technology
Ulaan Baatar