

KLASIFIKACE KRAJINY V POHOŘÍ KHAAN KHENTII, MONGOLSKO

LANDSCAPE-LEVEL CLASSIFICATION IN THE KHAAN KHENTII MOUNTAINS, MONGOLIA

Antonín Kusbach, Tadeáš Štěrba, Jan Novák, Tomáš Mikita

*Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie, Lesnická a dřevařská fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, e-mail: kusbach@mendelu.cz*

ABSTRACT

A state of Mongolian forests, especially close to a permanent human settlement zone, is alarming. Logging, fires and insect outbreaks devastate the forests. This study is an output of a Czech-Mongolian development cooperation in forestry. We assessed the relationship of vegetation with significant environmental factors and proposed classification structures of the Mongolian landscape analogical to superstructure units of the Czech Forest Ecosystem Classification.

Macroclimate is the most influential in discriminating vegetation in north Mongolia and the landscape classification superstructure. Macroclimate is modified by both a horizontal change (geographic location) and vertical change (altitudinal shift).

A multivariate analysis divided three significant geo-vegetation zones: 1. forest-steppe/lower montane, 3. steppe-forest/mountain, 5. forest/upper montane with a dark taiga. The zonal structure was importantly supported by pedoanthracologic analysis, which complemented classic vegetation and environmental by historic information. The analytical results of all vegetation, environmental and pedoanthracologic data were consistent and confirmed that the geo-vegetation zonation is correct. Additionally, a broad structure of forest and landscape classification was suggested: (i) Botanical-geographic division of Mongolia, (ii) Geo-vegetation zonation and (iii) Lower vegetation-site units.

A novel approach respecting fire as a fundamental natural landscape-forming phenomenon was applied in classification of forests and landscape in continental Mongolia. The suggested structure offers a firm platform for Mongolian sustainable forestry and its legislature under development.

Key words: ecological land classification; forest classification; geo-vegetation zone; landscape classification; vegetation zonation

Úvod

Horské oblasti jsou extrémně důležitou součástí mongolské převážně aridní krajiny, protože generují vodu jako zásadní zdroj pro přežití rostlinných a živočišných druhů včetně člověka (SHARKHUU, 2003). V severních horských oblastech Mongolska je krajina z velké části pokryta lesy. Převažují lesy subboreální někdy označované také jako hemiboreální (TUHKANEN, 1984; ERMAKOV et al., 2000), protože v centrální a zvláště v severní části masivu Khaan Khentii je zvýšené zastoupení lesů boreálních, resp. tmavé tajgy (např. MÜEHLENBERG et al., 2011). Mezi hlavní dominanty mongolských lesů patří modřín sibiřský (*Larix sibirica*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a bříza mandžuská (*Betula platyphylla*) (NIL, 2016). Kromě tmavé tajgy, kde dominují jedle sibiřská (*Abies sibirica*), modřín sibiřský (*Larix sibirica*), smrk sibiřský (*Picea obovata*) a borovice sibiřská (*Pinus sibirica*), jsou lesy přirozeně světlé (obecně označované také jako světlá tajga, MÜEHLENBERG et al., 2011), tj. s nízkou pokryvností stromového patra a s druhově velmi bohatým podrostem cévnatých rostlin. Hemiboreální lesy patří z hlediska diverzity cévnatých rostlin vztažených na jednotku plochy k nejbohatším lesům mírného pásma (CHYTRÝ et al. 2012). Mozaika hemiboreálních lesů, širokých aluvií velkých řek a expozičních lesostepí v geomorfologicky členitých oblastech

horských pohoří je místem s největší biodiverzitou v Mongolsku (MÜEHLENBERG et al., 2011). Zvláště patrný je tento fenomén v pohoří Khaan Khentii.

V posledních desetiletích se v Mongolsku značně zvýšil tlak lidské aktivity na lesy, zejména v zóně přiléhající k trvalému lidskému osídlení tj., na styku s pásmem stepí a ve vzdálenosti ekonomické pro transport dříví a provozování dalších komerčních aktivit jako je např. sběr semen borovice sibiřské (*Pinus sibirica*), tzv. kedrových oříšků. Lesy jsou exploatovány (vypaseny, vytěženy a vypáleny) a půda následně erodována. Po těžbě dříví a požárech vznikají rozsáhlé holiny, přirozená obnova lesa je výrazně tlumena intenzivní, neomezenou pastvou dobytka a častou frekvencí požárů, v drtivé většině podmíněných člověkem (NIL, 2016).

Od roku 1989 byla vládou implementována inventarizace lesů na úrovni provincií i somonů (okresy) a od roku 2007 se v Mongolsku hovoří o lesním hospodářském plánování (zdroj Forest Research Development Center, Ministry of Environment and Tourism, FRDC). Přesto je stav lesů v zónách ovlivněných lidskou činností z hospodářského i environmentálního hlediska alarmující. Například, od roku 2000 do 2012 vyhořelo v Mongolsku 1,2 mil ha lesů, které zůstaly bez přirozené obnovy. Od roku 1996 do 2012 je evidováno 178 lesních požárů se škodami 3,5 mil. USD (zdroj FRDC). 18,6 % rozlohy mongolských lesů jeví známky recentních požárů. Nejvíce je požáry zasaženo pohoří Khaan Khentii, kde vyhořelo 34,7 % boreálního lesa (NIL, 2016). Přibývá ilegálních těžeb, z 913 evidovaných trestných činů (2000–2012) se jen 345 dostalo před soud (zdroj FRDC). Lesa každoročně ubývá nejen vinou požárů, pastvy a dalších vlivů jako jsou hmyzí kalamity, ale také působením klimatické změny, tzv. procesem desertifikace, rozšiřováním pouště na úkor lesů a lesostepí. Od roku 2000 do 2012 ubylo v Mongolsku 289 757 ha lesa (zdroj FRDC).

V Mongolsku patří lesnictví spolu s ekologií lesa a krajiny k mladým rozvíjejícím se disciplínám. Střední Evropa má historii moderního lesního hospodářství starou cca 200 let, naproti tomu v Mongolsku se s podobným způsobem hospodaření teprve začíná. Snahou mongolské státní lesnické politiky je zastavit úbytek a devastaci lesů na minimum prostřednictvím implementace principů trvale udržitelného hospodaření (TUH). Lesnická politika, včetně legislativního rámce, se formuje a vyvíjí. Protože doposud není de facto ani de jure stanoven prostorový rámec analogický např. českým přírodním lesním oblastem (PLO), není možno hospodaření v lesích Mongolska rámcově doporučit nebo realizovat politická rozhodnutí.

Pomocnou ruku by v tomto směru měly nabídnout výsledky projektu rozvojové spolupráce mezi Českou republikou (ČR) a Mongolskem realizovaném v letech 2015–2017 v západní části pohoří Khaan Khentii (<http://forest4mongolia-cz.net/>, KUSBACH et al., 2017a). Jedním z hlavních pilířů projektu je navržení nástroje pro dlouhodobé plánování rozvoje lesů a krajiny po vzoru uplatňovaném v ČR. Tímto nástrojem a důležitým předpokladem pro úspěšné TUH v lesích a krajině je jejich klasifikace uplatněná v díle Oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL). Tyto plány jsou významným metodickým nástrojem státní lesnické politiky a doporučují zásady hospodaření v lesích. Jsou zpracovány za jednotlivé PLO, diferencované podle přírodních podmínek. Přírodní podmínky jsou vyjádřeny klasifikací lesů a krajiny. V ČR je touto klasifikací Lesnicko-typologický klasifikační systém (LTKS), který slouží lesnímu hospodářství jako standard více než 50 let (VIEWEGH et al., 2003). Byl vytvořen na základě expertní analýzy dat na plochách po celém území ČR. Vzorkovací plochy byly vybrány účelově na základě expertní znalosti preferující plochy s dospělou vegetací korespondující s centrálním konceptem potenciální přirozené vegetace (subjektivní design). Obdoba takového klasifikačního systému v Mongolsku neexistuje.

Obecným cílem této části projektu rozvojové spolupráce bylo porozumění širším vegetačně-environmentálním vztahům v oblasti pohoří Khaan Khentii (vazbě vegetace – přírodní podmínky). Konkrétním cílem příspěvku je (i) posouzení reakce komplexní vegetace

na působící environmentální faktory v krajinné úrovni (makroklima) včetně historických dat, a (ii) návrh klasifikační struktury mongolské krajiny analogické k nadstavbovým jednotkám LTKS.

MATERIÁL A METODIKA

Studijní území

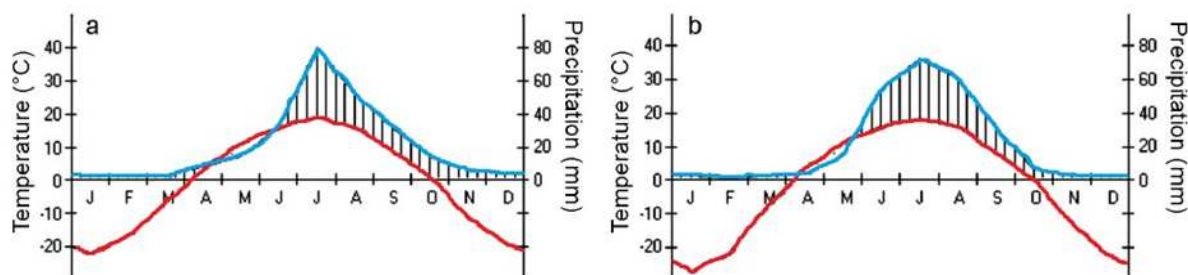
Geomorfologie. Studijní území se nalézá v severozápadní části pohoří Khaan Khentii (mapa Mongolska, MapDesign and Publishing, 1: 2 200 000, www.gizimap.hu). Západní část tohoto horského celku leží ve vegetačně-geomorfologické formaci Daurian-Mongolian forest mountain steppe, subprovincii Orkhon-Selenge a východní část v provincii Khentii mountain taiga. Nejnižší polohy studijního území leží ve výškách okolo 650–700 m n. m. v oblasti stepí a nejvyšší dosahují 1850 m n. m. (oblast tzv. tmavé tajgy se smrkem, jedlí a borovicí sibiřskou neboli kedrem). Většinu území (800–1200 m n. m.) zaujímají pahorkatiny, které pokrývá lesostep a světlá tajga, tvořená zejména borovicí lesní, modřínem sibiřským a břízou mandžuskou (MÜHLENBERG et al., 2011).

Hydrografie. Studijní území leží v úmoří Severního ledového oceánu. Je odvodňováno řekou Selengou, která je nejvodnatějším zdrojem jezera Bajkal. Do této řeky jsou vody zájmového území přiváděny řekou Orkhon a hlavními svodnicemi řekami Eröo a Sharyn Gol. Geologická stavba pohoří a jeho klimatické podmínky podmiňují výskyt vysokohorských mokřadů, slatinišť a rašelinišť, které jsou včetně trvale zmrzlé půdy (permafrostu) zásadním zdrojem vody pro navazující stepní krajinu.

Klima. Studijní území patří k nejvlhčím a nejstudenějším oblastem Mongolska. Vyznívá zde sibiřské klima s boreální tajgou a nastupuje stepní klima přecházející do pouštní oblasti Gobi. Zájmové území se tak nalézá na přechodu chladného boreálního klimatu do klimatu suchého stepního (MÜHLENBERG et al., 2011). Klima je typicky kontinentální s velkými rozdíly mezi létem a zimou, krátkým jarem a podzimem. Tuhé zimy ovlivňují pozdní nástup jara a poměrně krátkou vegetační dobu. Extrémnost klimatu v regionálním měřítku je umocňována topografií terénu, tedy mezoklimatem (např. HAIŠ et al., 2016). Nejvýrazněji je tento fenomén patrný na prudších severně a jižně orientovaných svazích, kdy na jižním svahu je často vyvinuta expoziční lesostep až step s mělkou suchou půdou a silnými výkyvy teplot během dne. Naproti tomu na vlhkostně příznivějších severních svazích jsou zapojené lesní porosty s hlubokou půdou a vyrovnanějším chodem teplot během dne.

Alespoň obecnou představu o chodu průměrných teplot a atmosférických srážek v průběhu roku v zájmové oblasti dává záznam ze dvou trvalých meteorologických stanic znázorněný v podobě klimadiagramu (Obr. 1) (DULAMSUREN et al., 2005):

- Bugant – období 1988–2009, cca 800 m n. m. ($49^{\circ}25'36''\text{N}$, $107^{\circ}16'57''\text{E}$),
- Eröo – období 1961–2009, cca 700 m n. m. ($49^{\circ}44'33''\text{N}$, $106^{\circ}40'03''\text{E}$).



Obr.1. Klimadiagramy meteorologických stanic v zájmové oblasti: a) Bugant a b) Eröo. Červená linie znázorňuje průměrnou teplotu a modrá linie ukazuje průměrné měsíční srážky.

Získat reprezentativní klimatická data, která by detailně charakterizovala průběh klimatu, je v Mongolsku velký problém, protože síť klimatických stanic je velmi řídká.

Geologie a pedologie. Pohoří je geologicky velmi staré. Je tvořeno hlubinnými plutonickými horninami z velké části prvohorního stáří, které jsou převážně přeměněny. V severozápadní lesostepní části jsou tyto přeměněné horniny překryty čtvrtohorními překryvy různého druhu, zejména sprašemi a sprašovými hlínami a vátými písky. V údolích řek a menších toků docházelo k čtvrtohorní sedimentaci a tvorbě organických půd, slatinišť a rašelinišť (GEOLOGICKÁ MAPA MONGOLSKA, 1998). Pro klasifikaci půd byla použita FAO World Reference Base (WRB, 2014).

DATA A JEJICH ANALÝZA

Vzorkovací design. Hlavním cílem terénních prací při průzkumu přírodních podmínek bylo zachytit environmentální variabilitu většiny převládajících lesních společenstev v severozápadní části pohoří Khaan Khentii v dostatečné počtu opakování s ohledem na možnosti dané projektem (zejména jeho časovým rámcem). V letních sezónách 2015–2016 jsme ve studijním území založili 75 vzorkovacích ploch podél gradientu nadmořské výšky hydricity a trofnosti půdy. Aby bylo možné podchytit zásadní projevy klimatu na vegetaci ve studovaném území, byly plochy zakládány také na různých sklonech a orientacích svahů.

Vzorkovací plochy byly v krajině vybrány pomocí dálkového průzkumu země, informací od místních specialistů, předběžným terénním průzkumem a s ohledem na dostupnost a transport vzorků z plochy. Finální umístění plochy muselo splňovat předem navržená kritéria (preferenční subjektivní design). Důraz byl kladen na stav a fyziognomii porostu v kombinaci ekologických faktorů prostředí s nejvýznamnějším vlivem na lesní společenstvo (stratifikovaný sběr dat). Plochy byly zakládány v homogenních vyspělých segmentech lesa s minimálními známkami antropického narušení. V ojedinělých případech byly plochy umístěny v člověkem silně narušených porostech, především těžbou a intenzivní pastvou dobytka, pokud ve studovaném území neexistovala pro danou kombinaci environmentálních faktorů nenarušená místa. Abychom se vyhnuli překrývání podobných faktorů prostředí, byly plochy zakládány v homogenních stanovištních podmínkách na minimální ploše 30 × 30 m (předpokládaná velikost pixelu pro výpočet geomorfologických indexů, viz níže). Až na výjimky byly plochy situovány mimo hřebenové partie (vliv několika různých expozic) a lesní okraje. Vzorkovací plocha byla navržena čtvercová o rozměrech 15 × 15 m (225 m²).

Vegetační data. Na inventarizační ploše byl pořízen fytocenologický snímek, pro každou dřevinu zvlášť byly změřeny výčetní tloušťky a výšky stromů, výčetní kruhová základna, zjištěn věk a sledováno poškození porostu. Fytocenologický zápis sledoval popis jednotlivých vegetačních pater, přičemž nebyly zjišťovány údaje o lišejnících. Pro mechové patro byla zaznamenána pouze celková pokryvnost. Vegetační patra byla rozlišovaná pomocí vlastní zjednodušené Zlatníkovy stupnice (ZLATNÍK, 1976). Pro odhad pokryvnosti zaznamenaných druhů ve fytocenologickém snímku byla použita Zlatníkova stupnice (ZLATNÍK, 1976).

Environmentální data. K měřeným relativně stabilním fyziografickým faktorům patřila nadmořská výška, sklonu svahu a jeho orientace ke světovým stranám, topografická pozice a terénní profil. Ke sledovaným dynamickým faktorům byly zahrnuty mocnost opadu (O) a organo-minerálního horizontu (A), půdní hloubka fyziologická (v závislosti na hloubce prokořenění), obsah karbonátů, spodní voda, přítomnost permafrostu, půdní pH, a další půdní fyzikální a chemické vlastnosti (Tab. 1). Matečná hornina byla určena na ploše a pro vybrané vzorky byla determinace ověřena na Ústavu geologie a pedologie, Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Na každé ploše byla vykopána hluboká půdní sonda, která sloužila k popisu půdního profilu podle WRB (2014), update 2015. Pro 2–4 horizonty

(podle stratigrafie půdního profilu), mimo organické (opad, drť, měl), byl odebrán 300–500 g vzorek půdy pro fyzikální a chemickou analýzu. Vzorky byly vysušeny na vzduchu a analyzovány v pedologické laboratoři Soil Agrochemistry Laboratory, NPK Agronomy Department of Agroecology Business School, Mongolian State University of Life Science v Darchanu. Na základě vlastností půdních horizontů, případně také chemických rozborů, byl profil půdní sondy zařazen do půdní jednotky (WRB, 2014).

Pro každou plochu bylo vypočítáno a posouzeno 24 kvantitativních charakteristik tzv. geomorfometrických indexů (Tab. 1). Podkladem pro výpočet indexů byla volně dostupná data pořízená z družice Terra pomocí výškového modelu ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model). Pro zájmové území byla stažena data digitálního modelu terénu s rozlišením 30 × 30 metrů a transformována do souřadnicového systému UTM (zóna sever, pás 48). Účelem bylo dosažení rozumného kompromisu mezi geografickým rozsahem posuzovaných krajinných jednotek a tzv. zrnem (velikostí pixelu) charakterizujícího terénní topografický detail. Cílem byla eliminace tzv. mikrostanošť, míst s odlišnými mikroklimatickými podmínkami.

Klimatické faktory/climatic factors	Zkratka/abbrev	Jednotka/hodnota/unit
Průměrný roční úhrn srážek/ mean year precip.	P_year	mm
Průměrné srážky jaro, léto, podzim, zima/ mean precip spring, summer, fall, winter	Ps,summer,f,w	mm
Roční průměrná teplota/ mean year temperature	T_year	°C
Průměrná teplota jaro, léto, podzim, zima/ mean temp spring, summer, fall, winter	Ts,summer,f,w	°C
Geomorfometrické faktory/indexy/ geomorphometric indices		
Nadmořská výška/elevation	alt	m
Sklon svahu/slope	slope	Stupeň/degree
Expozice ke světovým stranám/aspect value	av	values 0–1
Mass Balance Index	MBI	Values 1–2
Positive Openness	PO	values 0–2
Topographic Wetness Index	TWI	values 0–26
Saga Wetness Index	SAGA	values 0–12
Topographic Position Index	TPI	values -11-12
Texture	Texture	values 0–1
Terrain Roughness Index	TRI	values 0–60
Solar Radiation	Solrad	values 635 000–1 400 000
Vertical Distance to Channel Network	VertD	values 0–762
Convergence Index	CI	Values 87–89
Relative slope position	RSP	values 0–1
Valley depth	VD	m/values 0–600
Terrain Classification Index for lowlands	TCIlow	values 0–1
Gradient	Grad	values 0–1
Gradient Difference	GradD	values -1-1
Normalized Height	HNO	values 0–1
Slope Height	SH	m/0–450
Diurnal Anisotropic Heating	Diur	Values -0.6-0.53
Texture	Texture	values 0–0.9

Local convexity	Convex	values 0–0.8
Standardized Height	HST	m/0–1500
Geologické/půdní faktory geologic/soil factors /		
Půdní substrát/soil substrat	substr	NA, categorical
Půdní typ/soil type	stype	NA, categorical
Skelet (nad 2 mm)/particles above 2 mm	skelet	objemové %
O horizont mocnost/O horizon thickness	Ohor	cm
A horizont mocnost/A horizon thickness	Ahor	cm
Fyziologická hloubka půdy/soil depth	depth	cm
Obsah karbonátů/calcium carbonate content	CaCO ₃	NA, categorical
Spodní voda/ground water level	watertab	NA, categorical
Mramorování/mottles	mottles	NA, categorical
Permafrost	permaf	NA, categorical
Půdní textura/soil texture	stext	NA, categorical
Frakce písek (0,05 – 2 mm), sand	sand	%
Frakce silt (0,01 – 0,05 mm), silt	silt	%
Frakce jílu (<0,01 mm), clay	clay	%
pH (H ₂ O) _i	pH	-log(cH ⁺)
Obsah humusu/humus content	som	%
Obsah organického uhlíku/organic carbon	C	%
Celkový dusík/total nitrogen	totN	%
Poměr C/N	C/N	NA
Koncentrace výměnného kalcia (Ca ²⁺)/ex. Ca	eCa	cmol+/kg
Koncentrace výměnného magnesia (Mg ²⁺)/ex. Mg	eMg	cmol+/kg
Přijatelny fosfor/avail. phosphorus	aP	mg/kg
Přijatelny draslík/available potassium	aK	mg/kg
Obsah dusičnanů/nitrates	NO ₃	mg/kg
Vegetační faktory		
Výčetní kruhová základna/basal area	basal_a	m ²
Zakmenění/stand density	stand_de	
Věk porostu/stand age	age	rok

Tab.1: Environmentální faktory použité v analýze.

Klimatická data. Klimatická data ve formě plošných rastrových dat sumy měsíčních srážek a průměrných měsíčních teplot s rozlišením 900 × 600 metrů byla stažena z volně dostupné databáze Worldclim. Databáze Worldclim obsahuje klimatické charakteristiky pro území celého světa. Data vznikla interpolací z dostupných klimatických stanic v Mongolsku. Kvalita interpolovaných dat je závislá na hustotě sítě klimatických stanic. Je tedy značný rozdíl mezi kvalitou dat např. evropských, kde jsou stanice velmi husté a dat získaných v severním Mongolsku, kde je jich nedostatek.

Požárová data. Dynamika požárů patří k významným faktorům ovlivňujícím vegetaci v mongolské krajině (BYAMBASUREN, 2011). Makrozbytky dřeva po historických požárech (uhlíky) přítomné v půdním profilu umožňují zpětně rekonstruovat druhové složení vegetace in situ (NOVÁK et al., 2014). Za tímto účelem proběhl na vybraném počtu ploch

pedoantrakologický výzkum. Ze 75 vzorkovacích ploch bylo z důvodů časových i finančních vyhodnoceno 17 půdních profilů. Pedoantrakologické vzorky byly odebírány z půdních profilů postupně z vrstev po 10 cm. Každý vzorek obsahoval 10 litrů zeminy/sedimentu. Uhlíky byly z půdy získány metodou uvedenou v práci CARCAILLET A THINON (1996) a dále zpracovávány v Laboratoři paleoekologie a archeobotaniky Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

K determinaci taxonu dřeviny byly vybírány uhlíky větší než 1 mm. Jednotlivé uhlíky byly lámány (příčný lom) a prohlíženy stereomikroskopem při zvětšení 40× na příčném lomu. Dále byl na modelovací hmotě pomocí žiletky vytvořen podélný a tangenciální lom, který byl prohlížen mikroskopem při zvětšení až 250×. Samotná determinace uhlíku je založena na jeho anatomické struktuře porovnané se snímky v mikroskopickém atlasu dřev (SCHWEINGRUBER, 1978). Antrakologická analýza je v řadě případů schopná určit vzorek dřeviny pouze do taxonomické úrovně rodu. Následně byla zjišťována váha jednotlivých druhů ve vzorku s přesností 0,001 g. Abundance druhů ve vzorku je zaznamenána pomocí počtu určení, jejich relativního zastoupení a také pomocí váhy jednotlivých druhů. Antrakologická analýza se věnovala velmi rozsáhlému souboru 137 vzorků (vzorky uvažovány pro každou vrstvu 10 cm).

Pro odhalení vazby mezi druhovou skladbou uhlíků reprezentující lesní společenstva a umístěním uhlíků v půdním profilu (historický gradient) byla použita detrendovaná korespondenční analýza (DCA) vzhledem ke značné délce gradientu (5.57). V této ordinaci byla použita logaritmická transformace procentuálního zastoupení druhů a centrování podle druhů.

Pro analýzu geo-vegetační zonace (základní stratifikace zájmového území analogické lesním vegetačním stupňům v ČR) byla vybrána zonální stanoviště s vyspělou vegetací, tj. zachovalé porosty (PFISTER A ARNO, 1980) a střední (průměrné) stanovištní charakteristiky jako jsou poloha ve střední části svahu, sklon svahu < 30 %, hlinité půdy > 50 cm hluboké s obsahem skeletu < 50 % (volumetricky) a neovlivněné podzemní vodou (POJAR et al., 1987). Byly vynechány podmínky, kdy topografie terénu modifikuje obecné klima oblasti, jako jsou inverzní polohy (mrazové kotliny, údolní polohy) nebo slunné vs. stinné svahy. Jako 'zachovalé' jsme považovali porosty s relativně stabilním dřevinným složením, ve kterých jsou přítomny klimaxové druhy a je zřejmá vývojová trajektorie, např. z přirozeného zmlazení klimaxových druhů (PFISTER A ARNO, 1980; POJAR et al., 1987).

Geo-vegetační zóny byly vylišeny shlukovou analýzou metodou Ward s Euklidickou distancí v softwaru PC-ORD 6 (McCUNE A MEFFORD, 2011) a ověřeny diskriminační analýzou náhodných lesů (BREIMAN, 2001) v software R ver. 3.0.0 (RandomForests package; R CORE TEAM, 2014). Vztah statisticky významných environmentálních faktorů s vegetací byl analyzován metodou ANOVA v software R ver. 3.0.0. ArcGIS 10.3 s prostorovou nadstavbovou analýzou a SAGA GIS software byly využity pro výpočet geomorfometrických indexů. V pedoantrakologické analýze bylo zastoupení jednotlivých druhů v profilech zobrazeno v diagramech pomocí programu Tilia v. 1.7.16 (GRIMM, 2011). DCA byla provedena v programu Canoco v. 5 (TER BRAAK A ŠMILAUER, 2002).

VÝSLEDKY

Shluková analýza a klasifikace. Pomocí shlukové analýzy zonálních stanovišť byly vylišeny tři významné geo-vegetační zóny (GVZ): 1. les-step/nížší horská, 3. step-les/horská, 5. lesní/vyšší horská s tmavou tajgou a mimo analýzu navržena 7. vysokohorská zóna/subtundra (Obr. 2).

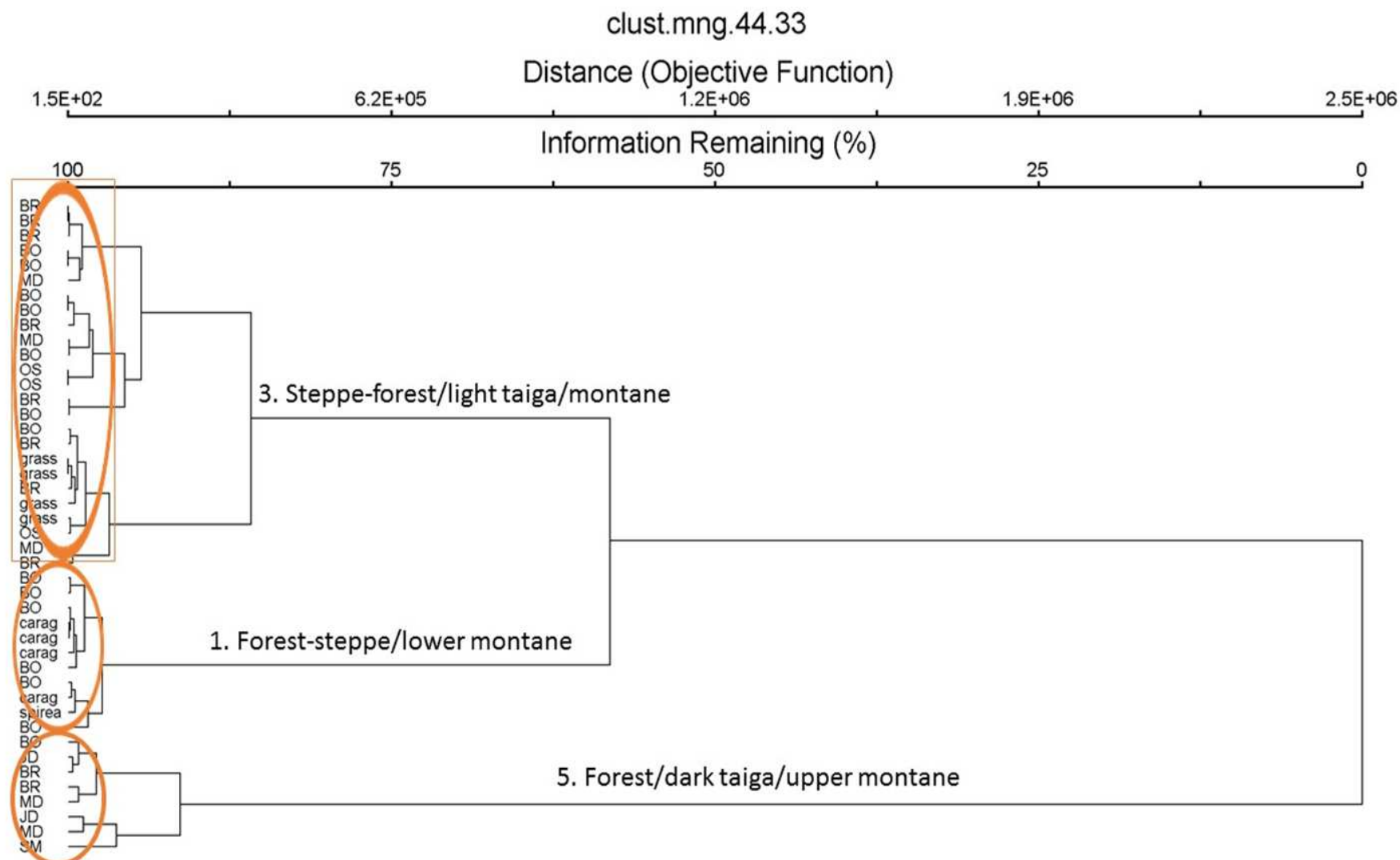
Zóny byly ověřeny klasifikační technikou náhodných lesů, obecná chybovost byla 7 % (1. GVZ 9 %, 3. GVZ 0 % a 5. GVZ 25 %). Vyšší chyba u 5. GVZ byla způsobena podvzorkováním (malý počet vyhovujících zonálních ploch). Pomocí funkce *variable*

importance, která je součástí náhodných lesů byly pomocí indexů MeanDecreaseAccuracy a MeanDecreaseGini vylišeny tyto statisticky významné faktory: Klima: alt – nadmořská výška, lat – zeměpisná šířka, Tsummer – průměrná letní teplota, půda: míra rozkladu humusu daná poměrem C/N a z vegetačních charakteristik stand_de – zakmenění vyjadřující ‚hustotu porostu‘ (Tab. 1).

Charakteristika geo-vegetačních zón. Vylišení významných faktorů a půdní identifikace zonálních stanovišť umožnily rámcově charakterizovat geo-vegetační zóny. Orientační rozsah významných faktorů v GVZ je uveden v Tab. 2.

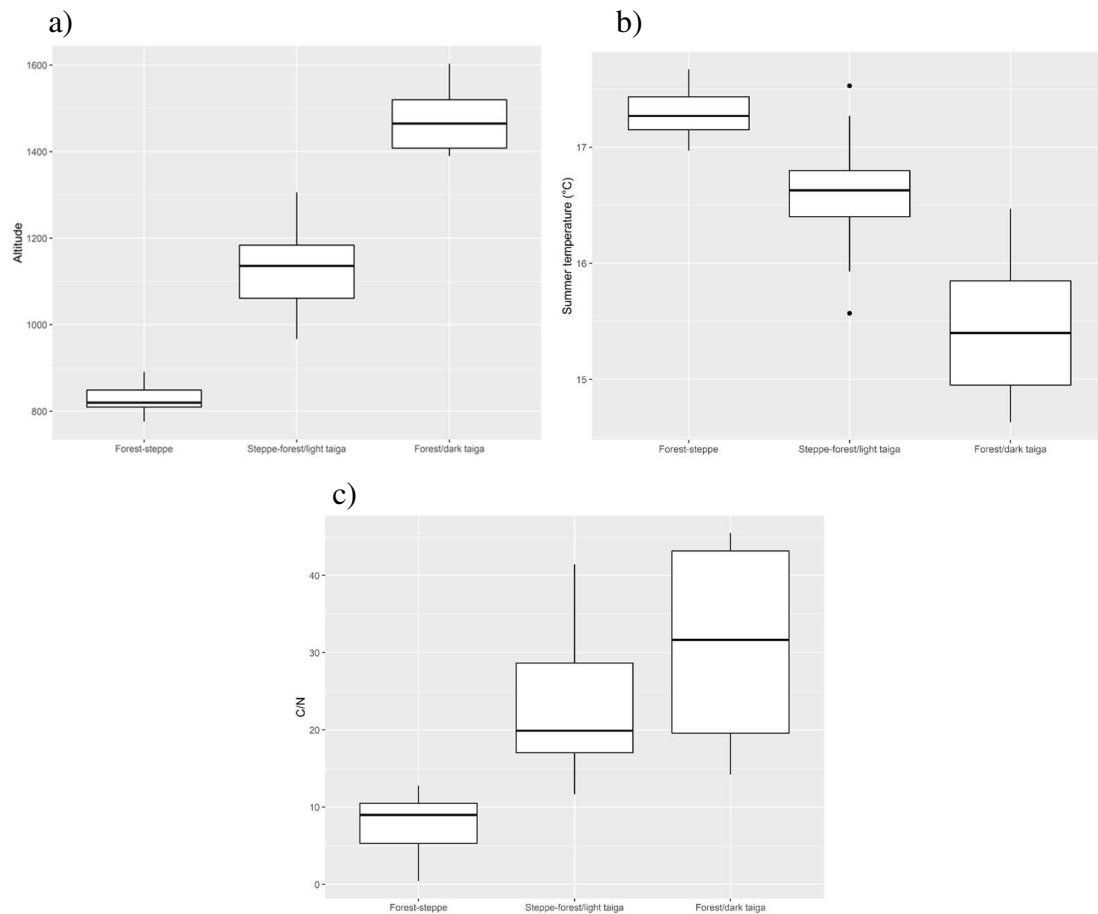
Geo-vegetační zóna	nadmořská výška	zeměpisná šířka	C/N	Tsummer	převládající půdní skupina (WRB 2014)
	(m)	degrees		°C	
1. les-step/forest-steppe	750–900	49.5–49.6	0.4–49.6	17–17.7	Phaeozem Kastanozem
3. step-les/světlá tajga/light taiga	900–1300	48.7–49.4	11.7–41.4	15.6–17.5	Phaeozem Cambisol, Luvisol
5. les/tmavá tajga/dark taiga	1300–1800	48.6–49.1	3.8–48.4	14.6–16.5	Cambisol, Luvisol Umbrisol

Tab.2: Environmentální charakteristika geo-vegetačních zón.



Obr. 2: Vymezení geo-vegetačních zón shlukovou analýzou. Zóny 1, 3, 5 reprezentované shluky ploch jsou zvýrazněny červeně. Plochy jsou vyjádřeny společenstvem dominantní dřevin. BR bříza, BO borovice, MD modřín, OS osika, SM smrk, JD jedle, carag Caragana, grass step

Vztah geo-vegetačních zón s důležitými faktory je podle analýzy ANOVA statisticky významný (Obr. 3).



Obr. 3. Vztah geo-vegetačních zón a (a) nadmořské výšky, ANOVA $F = 144.2$, $p < 0.0001$, (b) průměrné letní teploty, ANOVA $F = 38.44$, $p < 0.0001$, (c) mírou rozkladu humusu, ANOVA $F = 8.84$, $p < 0.001$. Čím nižší je hodnota C/N, tím rychlejší je rozklad humusu. V analýze byla použita jen data z 15 ploch z roku 2015.

Pedeantrakologie. Za účelem zjištění historické druhové skladby lesních společenstev bylo provedeno 8 890 taxonomických určení a bylo zjištěno těchto 14 uhlíkových taxonů: *Abies* sp., *Betula* sp., *Caragana* sp., *Ericaceae*, *Lonicera* sp., *Padus* sp., *Picea* sp., *Picea/Larix*, *Pinus cembra* sp., *Pinus sylvestris*, *Populus* sp., *Rhododendron* sp., *Salix* sp., *Ulmus* sp. Ve vzorcích byly ojediněle nalezeny i zuhelnatělá semena *Rubus* cf. *saxatilis*. Uhlíky *Rhododendron* sp. je vzhledem k lokálním poměrům pravděpodobně možné interpretovat jako okruh *Rhododendron tomentosum* (syn. *Ledum palustre*).

V ordinačním diagramu DCA (Obr. 4) jsou dobře odlišeny vzorky z profilů ve stepní vegetaci se světlými bory (profily SM, ZU, BA v levé části první osy odpovídající GVZ1, obr. 2). Gradient začíná vzorky s ojedinělým zastoupením uhlíků *Ulmus* sp. a *Pinus sylvestris*. Snímky vzdálenější od levého okraje gradientu mají nejvyšší hodnoty zastoupení uhlíků borovice. Do této skupiny náleží i profil SG, i když jeho bazální vzorek SG 9 leží mezi vzorky světlé tajgy. Tento vzorek totiž obsahuje i uhlíky *Larix/Picea*.

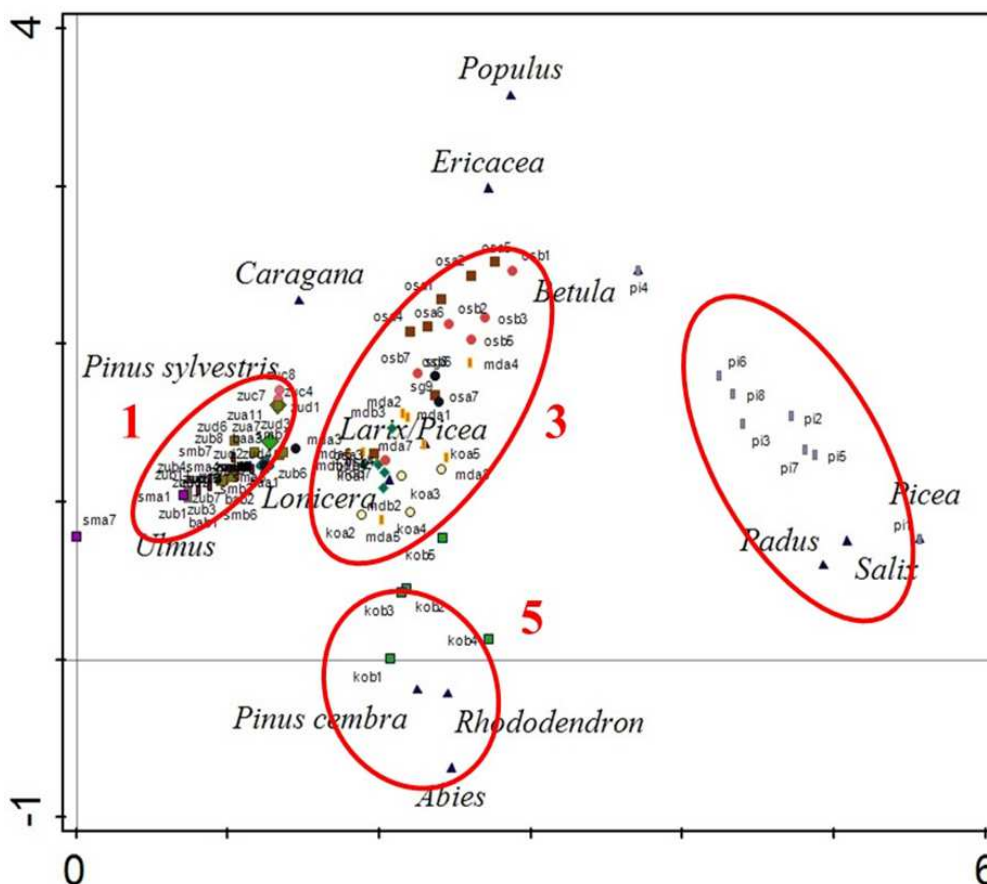
Střední část první osy je tvořena vzorky, které pocházejí ze sond situovaných ve světlé horské tajze (OS, MD, KO odpovídající GVZ 3, obr. 2). V horní části diagramu jsou přítomny snímky světlé vysokohorské tajgy s hojným zastoupením *Betula* sp. či *Populus* sp. Naopak ve spodní části diagramu jsou přítomny vzorky s vyšším zastoupením uhlíků *Abies* sp. a *Pinus cembra*, tzv. tmavé tajgy (KO odpovídající GVZ 5, obr. 2, 4) Vzorky z údolní smrčiny (PI)

jsou situovány v pravé části první osy ordinačního diagramu. Na základě ekologických podmínek lze první osu interpretovat jako gradient vlhkosti (tj. od stepní vegetace po aluviální smrčinu). Druhou osu lze interpretovat jako gradient světla, tj. hustoty subboreálního lesa (Obr. 4).

Hodnoty antrakomasy, tj. množství hmoty uhlíků (mg) se mezi vzorky (vrstvami) jednotlivých půdních sond i mezi sondami významně lišily. Nejnížší hodnoty byly zjištěny v místech současného bezlesí (profil SM 1). Avšak i zde byly zjištěny uhlíky dřevin, i když s nižší frekvencí, kvantitou a potažmo i s nízkými hodnotami antrakomasy. Hodnoty antrakomasy se pohybovaly v rozmezí 0,01–0,05 mg/l. Velmi nízké hodnoty antrakomasy byly zjištěny i v profilu PI, který je situovaný na okraji údolní nivy – aluvia (0,01–3,27 mg/l).

Nízké hodnoty antrakomasy měly i sondy situované ve světlých borech (ZU, BA, SG), i když zde byla frekvence a počet drobných uhlíků ve vrstvách poměrně rozdílné. Hodnoty antrakomasy se zde pohybují obvykle v rozmezí 0,01–0,26 mg/l, ale v obou sondách je přítomna jedna vrstva s výrazně vyššími hodnotami (ZU 1/7: 5,57 mg/l, ZU 5/2: 14,53 mg/l). Vyšší hodnoty dosahovala antrakomasa v sondách na úpatí svahu (např. ZU 2/4: 90,95 mg/l a ZU 4/14: 81,77 mg/l).

Ve vyšších nadmořských výškách (sondy OS, MD, KO) dosahuje antrakomasa vysokých hodnot, a to především v horních vrstvách profilů. Nejvyšší zaznamenaná antrakomasa pochází z profilu KO 1/2: 1117,74 mg/l a KO 1/1: 1047,76 mg/l. V níže položených vrstvách sond situovaných ve vyšších polohách je však přítomnost uhlíků výrazně nižší (např. KO 1/4: 0,71 mg/l (Obr. 4).



Obr. 4. Ordinační diagram DCA ukazující pozice rostlinných druhů a vzorků odebraných v rámci antrakologického výzkumu. Elipsy s arabskými číslicemi (liché číslice korespondují s návrhem kódování hospodářských lesů, sudé číslice budou použity pro lesy ochranné podle kategorizace lesů, MONGOLSKÝ LESNÍ ZÁKON, 2013) označují geo-vegetační zóny vymezené shlukovou analýzou (Obr. 2). Neoznačená elipsa v pravé části grafu vymezuje specifické stanoviště smrkového aluvia. Blíže viz text.

DISKUZE**Odpověď vegetace na působící environmentální a historické faktory**

Fyzický environment. V této studii jsme použili dostupnou environmentální informaci (klimatickou, topografickou a půdní) k vylišení struktur, významně odlišující krajinný charakter vegetace. Klasifikace těchto struktur a analýza faktorů významně se podílející na odlišnostech prokázala zásadní význam regionálního klimatu (makroklimatu), který je modifikován jak horizontální změnou (posun v zeměpisné šířce), tak změnou vertikální (posun v nadmořské výšce, změna teploty, Obr. 3) (POJAR et al., 1987; KUSBACH et al., 2017b).

Historický gradient-disturbance. Na rozšíření, struktuře a druhovém složení lesních ekosystémů severního Mongolska se kromě relativně stabilních environmentálních faktorů podílí i disturbance, jak přirozené (požár, lesní těžba, hmyz, klimatická změna), tak člověkem podmíněné (pastva, lesní těžba, požár, klimatická změna). V mongolské krajině, stejně jako v jiných oblastech s výrazně kontinentálním klimatem, má požár zásadní význam (BYAMBASUREN, 2011). V naší studii jsme zkoumali historii lesní vegetace na základě dochovaných zbytků po lesních a stepních požárech – uhlících konzervovaných po tisíciletí v půdách. Environmentální výzkum byl rozšířen o tzv. pedoantrakologii, paleodisciplínu, která se zabývá určením rostlinných druhů a jejich historickým rozšířením na základě studia dřevěného uhlí (zbytků dávných požárů) separovaného z půdy. Taxonomickým určením, vážením antrakomasy (hmotnosti makrouhlíků ve vrstvách 10 cm a po jednotlivých druzích dřevin) a jejich radiokarbonovým datováním jsme získali informaci o rozšíření lesních společenstev v dávné historii (nejstarší datovaný uhlík modřínu 33 tisíc let), druhu požáru a jeho chování. Velkou část makroskopických uhlíků světlých borů (GVZ 1) tvořily uhlíky z borových šišek a větví. Tento fakt dokládá relativně časté požáry, ovšem nízké intenzity. V prosvětleném boru se nacházelo pouze malé množství mrtvé dřevní hmoty, a tak zde shořely vedle travin a bylinného patra pouze větvičky a šišky. Na druhé straně, vysoké hodnoty antrakomasy (GVZ 3 a 5) dokládají významné požárové události katastrofického charakteru nedávno způsobených člověkem, při kterých s velkou pravděpodobností došlo k destrukci stromového patra.

Pedoantrakologická analýza významně doplnila klasická data a analýzu GVZ. Je možné konstatovat, že výsledky shlukové analýzy environmentálních dat, klasifikační analýzy náhodnými lesy a DCA ordinace vegetačních dat získaných pedoantrakologickou analýzou jsou konzistentní a potvrzují správnost členění geo-vegetačních zón.

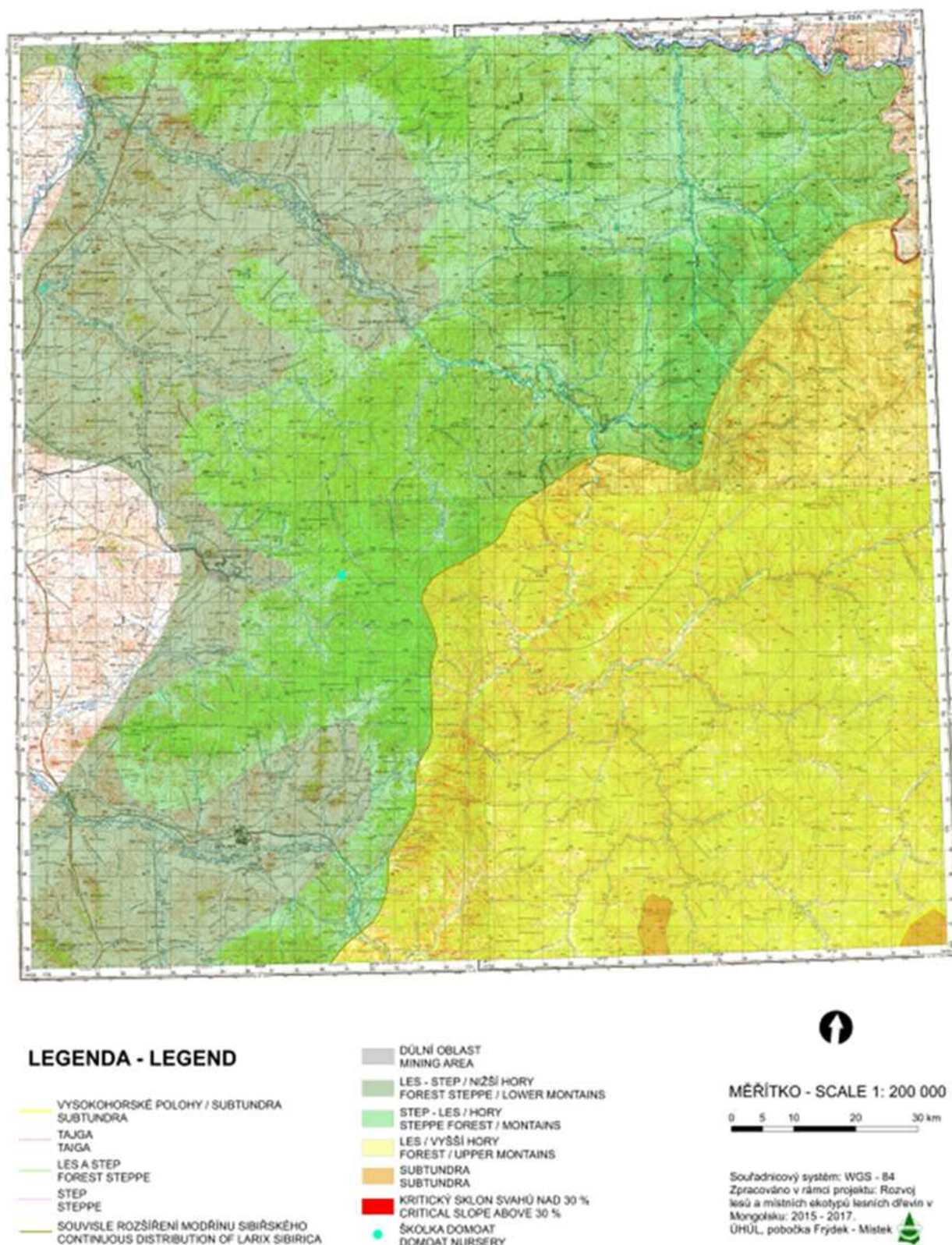
Geo-vegetační zóna byla definována jako funkčně a prostorově vymezená jednotka diferenciací přírodních podmínek reprezentovaná specifickým rostlinným společenstvem ovlivněným zejména makroklimatickými podmínkami a přirozenými disturbancemi, zejména požárem.

Návrh klasifikační struktury mongolské krajiny analogické k nadstavbovým jednotkám LTSK.

Klasifikační rámeček. V prostorově i časově omezených podmínkách této studie jsme navrhli tříúrovňovou strukturu klasifikace lesů a krajiny Mongolska, která by měla posloužit k rámcové charakteristice hospodaření v lesích i přiléhající stepní krajině.

- Nadstavbové botanicko-geografické členění Mongolska, obdobná struktura členění ČR např. Hercynikum a Karpatikum.
- Geo-vegetační zonace (Obr. 5), kombinuje členění na PLO a lesní vegetační stupně v ČR. Výškový rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem zájmového území je značný (650–1850 m). Uvnitř něho existuje značná environmentální variabilita, a proto je za účelem vytvoření návrhu rámcového hospodaření nutná detailnější environmentální stratifikace, než jaká je k dispozici.

- Nižší vegetačně-stanovištní jednotky vymezené významnými environmentálními gradienty, které budou vylišeny uvnitř každé GVZ v tzv. edatopické síti sensu POGREBANYAK, (1930).



Obr. 5: Mapa geo-vegetačních zón, podklad topografická mapa

ZÁVĚR

V této studii, která je jedním z výstupů česko-mongolské rozvojové spolupráce v lesnictví, byl vyhodnocen vztah vegetace s významnými environmentálními faktory a navržena klasifikační struktura mongolské krajiny analogická k nadstavbovým jednotkám LTKS.

Makroklima, které je modifikováno jak horizontální změnou (posun v zeměpisné šířce), tak změnou vertikální (posun v nadmořské výšce), má zásadní vliv na krajinný charakter vegetace. Ovlivňuje tedy nadstavbové geo-vegetační členění krajiny. Vícerozměrnou analýzou byly vylišeny tři významné geo-vegetační zóny: 1. les-step/nižší horská, 3. step-les/horská a 5. lesní/vyšší horská s tmavou tajgou. Zonaci významně podpořila pedoantrakologická analýza, která doplnila klasická environmentální a vegetační data o historickou informaci. Výsledky analýz všech vegetačních, environmentálních i pedoantrakologických dat jsou konzistentní a potvrzují správnost vylišení geo-vegetačních zón. Dále byla navržena tříúrovňová struktura klasifikace lesů a krajiny: (i) Nadstavbové botanicko-geografické členění Mongolska, (ii) Geo-vegetační zonace a (iii) Nižší vegetačně-stanovištní jednotky.

Při klasifikaci lesů a krajiny v kontinentálních podmínkách Mongolska byl využit nový přístup respektující požár, jako zásadní přirozený krajinnotvorný fenomén. Navržená struktura nabízí rozvíjejícímu se mongolskému lesnictví pevnou platformu pro trvale udržitelné hospodářství a jeho legislativu.

PODĚKOVÁNÍ

Tato studie je jedním z výstupů projektu České rozvojové agentury CzDA-RO-MN-2014-6-31210 realizovaném ÚHÚL Brandýs nad Labem <http://forest4mongolia-cz.net/> a podpořeném Lesnickou a dřevařskou fakultou Mendelovy univerzity v Brně.

LITERATURA

- BREIMAN, L. (2001): Randomforests. Machine Learning 45: 5–32.
- BYAMBASUREN, O. (2011): Fire and stand dynamics in different forest types of the west Khentey mountains, Mongolia. Dissertation, Der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten Der Georg-August-Universität zu Göttingen. 119 s.
- CARCAILLET, C., THINON, M. (1996): Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne valley (North French Alps): methodology and preliminary data. Review of Palaeobotany and Palynology 91: 399–416.
- DULAMSUREN, CH., HAUCK, M., MÜEHLENBERG, M. (2005): Vegetation at the taiga forest-steppe borderline in the western Khentey Mountains, northern Mongolia. Ann. Bot. Fennici 42: 411–426.
- ERMAKOV, N., DRING, J., RODWELL, J. (2000): Classification of continental hemiboreal forests of North Asia. Braun-Blanquetia 28: 1–131.
- GEOLOGICKÁ MAPA MONGOLSKA (1998): Mineral Resources Authority of Mongolia, Geological Survey, Mongolian Academy of Sciences, Institute of Geology and Mineral Resources. Měřítko 1:1,000,000. Ulaanbaatar 1998.
- GRIMM, E.C. (2011): Tilia Software v.1.7.16. Illinois State Museum, Springfield.
- HAIS, M., CHYTRÝ, M., HORSÁK, M. (2016): Exposure-related forest-steppe: A diverse landscape type determined by topography and climate. Journal of Arid Environments 135: 75–84.
- CHYTRÝ, M., ERMAKOV, N., DANIHELKA, J., HÁJEK, M., HÁJKOVÁ, P., HORSÁK, M., KOČÍ, M., KUBEŠOVÁ, S., LUSTYK, P., OTÝPKOVÁ, Z., PELÁNKOVÁ, B., VALACHOVIČ, M. AND

ZELENÝ, D. (2012): High species richness in hemiboreal forests of the northern Russian Altai, southern Siberia. *J Veg Sci* 23: 605–616.

KUSBACH, A., ŠTĚRBA, T., SMOLA, M., NOVÁK, J., LUKEŠ, P., STREJČEK, R., ŠKODA, A., BAŽANT, V., PONDĚLÍČKOVÁ, A. (2017a): Development of forests and the gene pool of local forest tree ecotypes in Mongolia. část: Development of forests and landscape in Mongolia, silviculture, urban forestry, public relation. Proceedings of the seminar, Sharyn Gol/Darkhan, Mongolia, September 2017. Project CzDA-RO-MN-2014-6-31210. ÚHÚL Brandýs nad Labem, Czech Republic 2017. ISBN 978-80-88184-12-6.

KUSBACH, A., FRIEDL, M., ZOUHAR, V., MIKITA, T., ŠEBESTA, J. (2017b): Assessing Forest Classification in a Landscape-Level Framework: An Example from Central European Forests, *Forests* 2017, dostupné online [3. 1. 2018], (<http://www.mdpi.com/1999-4907/8/12>).

MCCUNE, B., MEFFORD, M.J. (2011): PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 6. MjM Software, Gleneden Beach, OR.

MONGOLSKÝ LESNÍ ZÁKON (2013): Mongolian Law on Forest. A revised version, Government Bulletin No. 22, 2012, Ministry of Environment and Green Development of Mongolia, Ulaanbaatar. 66 s.

MÜHLENBERG, M., AYUSH, E., MÜHLENBERG-HORN, E. (2011): Biodiversity Survey at Khonin Nuga Research Station, West-Khentey, Mongolia. 302 s.

NIL (2016): Mongolian ultipurpose National Forest Inventory 2014–2016, 1. vydání, Mongolian Ministry of Environment and Tourism, Ulaanbaatar.

NOVÁK, J.; TROTSIUK, V.; SÝKORA, O.; SVOBODA, M.; CHYTRÝ, M. (2014): Ecology of *Tilia sibirica* in a continental hemiboreal forest, southern Siberia: An analogue of a glacial refugium of broad-leaved temperate trees? *Holocene* 24: 908–918.

PFISTER, R.D., ARNO, S.F. (1980): Classifying forest habitat types based on potential climax vegetation. *Forest Science* 26: 52–70.

POGREBNYAK, P.S. (1930): Über die methodic der standortsuntersuchungen in verbindung mit den waldtypen. Pages 455–471. Proceedings of the International Congress of Forest Experimental Stations, 1929, Stockholm, Sweden.

POJAR, J., KLINKA, K., MEIDINGER, D.V (1987): Biogeoclimatic classification in British Columbia. *Forest Ecology and Management* 22: 119–154.

R CORE TEAM (2014): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>

SHARKHUU N. (2003): Recent changes in the permafrost of Mongolia. In Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, 21–25 July 2003, Zurich, Switzerland. AA Balkema, Lisse, the Netherlands. 1029–1034 s.

SCHWEINGRUBER, F.H. (1978): Microscopic Wood Anatomy. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf.

TER BRAAK, C.J.F., ŠMILAUER, P. (2002): CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version4.5).

TUHKANEN, S. (1984): A circumboreal system of climatic-phytogeographic regions. *Acta Botanica Fennica* 127: 1–50.

VIEWEGH, J., KUSBACH, A., MIKESKA, M. (2003): Czech forest ecosystem classification. *J. For. Sci.* 49: 85–93.

WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources (2014): update 2015. International Soil Classification System for naming soils and creating legends for soil maps. Report 106. FAO, Rome.

ZLATNÍK, A. (1976): Přehled skupin typů geobiocénu původně lesních a křovinných. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV v Brně* 13: 55–60.