

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



Diplomová práce

Holocenní vývoj lesní vegetace severní části Mongolska z pohledu pedoantrakologické analýzy

Autor práce: Alexandr Nyilaš
Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alexandr Nyilaš

Lesní inženýrství

Název práce

Holocenní vývoj lesní vegetace severní části Mongolska z pohledu pedoantrakologické analýzy

Název anglicky

The holocene woodland vegetation history in the north part of Mongolia from the anthropological perspective

Cíle práce

Cílem diplomové práce je odhalit změny lesní vegetace v regionu Shariin Gol (S Mongolsko) pomocí pedoantrakologické analýzy. Budou analyzovány uhlíky a zjišťována antrakomasa (mg/kg) reprezentativního množství půdních sond, které budou zachycovat klimatický a výškový gradient zkoumaného regionu. Dalším cílem bude odhalit změnu druhové skladby vlivem požárových událostí. Výsledky budou statisticky vyhodnocovány a bude hodnocena vazba environmentálních proměnných (např. nadmořská výška, podloží) na druhovou skladbu a také frekvenci požárových událostí.

Metodika

Bude provedena analýza 6 až 8 půdních sond, ve kterých byly systematicky odebrány po 10cm vzorky. Z proplavených vzorků budou separovány uhlíky a následně bude zjišťována celková antrakomasa ve vzorku (mg/l). Analyzovány budou uhlíky větší jak 2mm. Jednotlivé zlomky uhlíků budou lámány (příčný lom) a prohlíženy stereomikroskopem o zvětšení 40x na příčném lomu. Dále bude na plastelině pomocí žiletky vytvořen podélný a tangenciální lom, který bude prohlížen mikroskopem při zvětšení do 250x. Nalezené anatomické struktury budou porovnávány se snímky v mikroskopickém atlasu dřev (Schweingruber 1978). Vedle počtu určení bude sledována i váha jednotlivých taxonů. Zjištěná druhová skladba bude zapsaná v programu Tilia a budou vytvořeny antrakologické diagramy. Zjištěná data se vyhodnotí metodami mnohorozměrných statistik v programu CANOCO (PCA, RDA analýzy).

Doporučený rozsah práce

Předpokládá se rozsah textu v délce 40-80 normostran.

Klíčová slova

Antrakologická analýza, paleoekologie, holocén, požáry, migrace dřevin, kontinentální klima, vliv člověka, odlesnění, progrese lesa, cyklický vývoj

Doporučené zdroje informací

- Clark, J.S. (1988): Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. – *Quaternary Research* 30, 67–80.
- Greguss, P. (1972): *Xylotomy of the Living Conifers*. – Akademiai Kiado, Budapest, 329 pp.
- Jones, M.K. (1991): Sampling in Palaeoethnobotany. – In: Van Zeist W. (ed.), *Progress in Old World Palaeoethnobotany*, Balkema, Rotterdam.
- Ložek, V. (2011): Po stopách pravěkých dějů – O silách, které vytvářely naši krajinu. – Dokořán, Praha, 181 p.
- Nelle, O., Robin, V. & Talon, B. (2013): Pedoanthracology: analysing soil charcoal to study Holocene palaeoenvironments. – *Quaternary International* 289: 1–4.
- Novák, J., Sádlo, J. & Svobodová, H. (2012): Unusual vegetation stability in a lowland pine forest area (Doksy region, Czech Republic). – *The Holocene* 22: 947–955.
- Pokorný, P. (2011): *Neklidné časy. Kapitoly ze společných dějin přírody a lidí*. – Dokořán, Praha, 369 p.
- Robin, V., Talon, B. & Nelle, O. (2013): Pedoanthracological contribution to forest naturalness assessment. – *Quaternary International* 289: 5–15.
- Schweingruber, F.H. (1978): *Microscopic Wood Anatomy*. – Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf, 226 p.
- Šmilauer, P. & Lepš, J. (2014): *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5*. – Cambridge University Press, Cambridge, 362 p.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Konzultant

RNDr. Jan Novák Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2017

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 17. 02. 2018

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Holocenní vývoj lesní vegetace severní části Mongolska z pohledu pedoantrakologické analýzy vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Tomáše Černého, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 10. dubna 2018

.....
Alexandr Nyilaš

Poděkování

Velice rád bych poděkoval Mgr. Tomáši Černému, PhD. za velmi trpělivý přístup a vedení mé diplomové práce, dále RNDr. Janu Novákovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a velmi cenné rady. Především děkuji své rodině za bezmeznou podporu a důvěru v době mého studia.

Abstrakt

Stav mongolských lesů, obzvláště v blízkosti trvalého lidského osídlení, je alarmující. Tato již suchá krajina je pod vlivem požárových událostí tak i pod vlivem kalamitních škůdců, kteří devastují místní lesy.

Tato studie se zaměřuje na rekonstrukci místní vegetace z pohledu pedoantrakologické analýzy. Mongolská krajina nám může být vzácným příkladem, jak vypadala lesní vegetace v období pozdní doby ledové až počátku holocénu v České republice. Popsaná analogie je jednou z motivací k vypracování předložené diplomové práce.

Výzkumem bylo zjištěno deset taxonů dřevin s největším zastoupením *Pinus sylvestris*, dále *Larix/Picea*. Poměrně hojně byly zastoupeny i raně sukcesní dřeviny: *Betula*, *Populus*. Poměrně nehojně byly zjištěny další taxony: *Abies*, *Caragana*, *Ericaceae*, *Pinus cembra*, *Rhododendron*, *Ulmus*. Celkově bylo analyzováno 2057 fragmentů uhlíků.

V severní části Mongolska byly vylišeny tři typy lesní vegetace: stepní bory, světlá tajga a tmavá tajga. Ve světlé tajze byly zaznamenány nejnižší hodnoty antrakomasy, tyto hodnoty mohou být důsledkem velmi malých hodnot opadu a častou frekvencí požárů, které však dosahovaly malé intenzity. Druhým lesním typem vegetace byla světlá tajga, ve které je výrazná dominance *Pinus silvestris* nebo *Larix sibirica*. Tento typ vegetace je také charakteristický vysokými hodnotami antrakomasy, která může být způsobena naopak nižší frekvencí požárů, ale s vyšší intenzitou. Třetím typem vegetace je tmavá tajga, která je zastoupena v centrálnější části pohoří KhaanKenteii. Toto zastoupení vegetace může souviset s obtížně přístupným terénem, do kterého nepronikají v takové míře místní pastevci, kteří mohou zakládat svým neúmyslným chováním rozsáhlé lesní požáry. Tyto požáry mají zásadní vliv na utváření mongolské krajiny. Jeden z důsledků může být nedostatek vody pro hlavní město Mongolska Ulánbátar.

Bylo zjištěno, že klimatické podmínky nehrají až tak zásadní vliv na utváření lesní vegetace, která je naopak do značné míry ovlivněna lidským managementem, který souvisí s polohou sondy (okraj/centrální část pohoří).

Tato studie byla součástí česko-mongolské rozvojové spolupráce v lesnictví. Tato studie napomohla podhalit vztah vegetace k významným environmentálním faktorům v rámci mongolské krajiny. Makroklima je významným faktorem ovlivňující vegetaci v severním Mongolsku. Pedoantrakologická analýza doplnila výsledky klasifikace lesní

vegetace a životní prostředí historickými informacemi a podpořila rozlišenou vegetační zonalitu studovaného území. Analytické výsledky všech vegetačních, environmentálních a pedoantrakologických dat byly konzistentní a potvrdily, že geo-vegetační zonace je relevantní. Nový pohled na oheň jako základní fenomén tvorby krajiny byl aplikován při klasifikaci studovaných lesních typů v prostředí kontinentálního Mongolska.

Klíčová slova: antrakologická analýza, paleoekologie, holocén, požáry, migrace dřevin, kontinentální klima, vliv člověka, odlesnění, progresse lesa, cyklický vývoj

Abstract:

The current conditions of Mongolian forests, especially in the vicinity of permanent settlements, is alarming. Climatically dry landscape of the investigated region is under the influence of fires as well as calamity pests, and direct devastation of local forests.

This study focuses on the reconstruction of local vegetation from the viewpoint of pedoanthracological analysis. It is a part of the Czech-Mongolian development cooperation in forestry. Recent Mongolian landscape can be viewed as an analogue of vegetation with woody species during the late Ice Age and early holocene in Central Europe, so the research may yield scientifically sound results.

Excavations of the soil profiles at seven localities north from Ulan Bator were made and samples were taken from the depth x–y m to analyze fragments of wood charcoal. In total, 2057 carbon fragments were analyzed. Ten tree taxa with the highest representation of *Pinus sylvestris*, *Larix / Picea* were found. The early succession trees were relatively well represented: *Betula*, *Populus*. Other taxa have been found less abundantly: *Abies*, *Caragana*, *Ericaceae*, *Pinus cembra*, *Rhododendron*, *Ulmus*.

In the northern part of Mongolia, three types of forest vegetation were distinguished: steppe pinewoods, light taiga and dark taiga. In the light taiga, the lowest amounts of the charcoal were found, which could be the result of very low litter fall intensity and frequent incidents of fire, but of the small intensity. The second vegetation type was a light taiga, dominated by *Pinus sylvestris* or *Larix sibirica*. This type of vegetation is also characterized by high levels of charcoal, which can be caused by a lower frequency of fires, but with higher intensity. The third type of vegetation is a dark taiga, which is represented in the central part of the Khaan Kenteia Mountains. This representation of vegetation may be related to difficult-to-reach terrain, where local shepherds hardly penetrate and who can incite extensive wild forest fires with their unintentional behavior. These fires have a major impact on the formation of the Mongolian landscape. We may consider such phenomena as having negative consequences on water availability for the capital of Mongolia Ulan Bator.

It has been found that climatic conditions do not play a major role on the formation of forest vegetation, which is to a large extent influenced by human management, which in turn depends on the geographical placement of the probe (edge / central part of the mountain range). This study helped to reveal the relationship of vegetation to major environmental factors within the Mongolian landscape. Macroclimate is a significant factor affecting

vegetation in northern Mongolia. Pedoanthracological analysis supplied the results of forest vegetation and environs classification with historical data and supported existing vegetation zonation of the investigated area. A new view of fire as a basic phenomenon shaping landscape structures was applied to the classification of studied forest types in the continental part of Mongolia.

Keywords: anthropological analysis, paleoecology, holocene, fires, tree migration, continental climate, human influence, deforestation, forest progression, cyclical development

Obsah

1. Úvod	12
2. Cíle práce	13
3. Historie lesa až po současnost	14
3.1. Historie lesa a bezlesí v kvartéru	14
3.2. Poledová doba a její vývoj	15
3.3. Kvartérní cyklus	15
3.4. Pozdní glaciál	17
4. Holocén	19
4.1. Vývoj krajiny v holocénu	20
4.2. Časný holocén	21
4.3. Globální oteplení v holocénu a proměny přírody	22
5. Kvarterní geologie a ochranné problémy	24
5.1. Změny geodiverzity	25
6. Středoasijská analogie pro středoevropskou dobu ledovou	26
6.1. Boreální les v severní části Mongolska jako analogie vegetace ČR	27
7. Boreální lesy, tajga	28
7.1. Klima Mongolských stepí	29
8. Lesy a oheň	30
8.1. Druhy požárů	33
9. Vývoj vegetace podle pylových záznamů	37
10. Antrakologie	38
10.1. Antrakologická analýza	39
11. Metodika	41
11.1 Studijní oblast	41
11.1.1 Geomorfologie	41
11.1.2 Hydrografie	42
11.1.3 Klima	42
11.1.4 Geologie a pedologie	43
11.2 Práce v terénu	43
11.3 Analýza uhlíků	44

11.4 Statistické metody.....	44
12. Výsledky	45
12.1 Vzájemné srovnání antrakologických výsledků sond.....	45
13. Diskuze	58
14. Závěr	62
15. Seznam literatury a použitých zdrojů	63

1. Úvod

Diplomová práce má za cíl přiblížit vývoj vegetačních změn v Mongolsku pomocí pedoantrakologické analýzy. Současné klimatické podmínky a vegetace, které nyní panují v Mongolsku, jsou do určité míry analogií období pozdní doby ledové a časného holocénu, které byly v minulosti přítomny na území České republiky. Toto období bylo specifické výraznou rozkolísaností chodu počasí a disturbancí.

Práce je zaměřena na severní část Mongolska, konkrétně na pohoří Khaan Khentii. V tomto pohoří byly vybrány lokality (vzorkovací plochy) s různou nadmořskou výškou, aby zachytily výškový gradient a rozrůzněnost vegetace. Byly zde účelově vybrány na základě expertní znalosti preferující plochy s plně vyvinutou vegetací korespondující s centrálním konceptem potenciální přirozené vegetace oblasti. Sondy byly odebrány dr. J. Novákem a Ing. A. Kusbachem v letech 2015–2017. Jan Novák je i mým konzultantem diplomové práce. Na jeho doporučení jsem se pustil do této studie s výzvou, s tím že se naučím něco nového a také pro mé studium přínosného. Paralelně probíhal také v letech 2015–2017 projekt rozvojové spolupráce mezi Českou republikou (ČR, zastoupenou Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů v Brandýse nad Labem) a Mongolskou republikou. Tento projekt si kladl za cíl navrhnout nástroj pro dlouhodobé plánování rozvoje lesů a krajiny po vzoru uplatňovaném v ČR. Tento nástroj je důležitým předpokladem pro trvale udržitelné hospodaření v lesích a krajině. Tato obdoba klasifikačního systému v Mongolsku zatím neexistuje. Součástí projektu rozvojové spolupráce bylo porozumění širším vegetačně-environmentálním vztahům v oblasti pohoří Khaan Khentii k vazbě mezi vegetací a přítomnými přírodními podmínkami.

Pedoantrakologická analýza nám může poodhalit změny vegetace v severní části Mongolska, odhadnout vliv člověka na místní vegetaci a zároveň rozklíčovat vliv environmentálních podmínek na utváření rostlinných společenstev zdejších lesů.

2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je odhalit změny lesní vegetace v regionu pohoří Khaan Khentii (severní Mongolsko) pomocí pedoantrakologické analýzy. Budou analyzovány uhlíky a zjišťována antrakomasa (mg/kg) reprezentativního množství půdních sond, které budou zachycovat klimatický a výškový gradient zkoumaného regionu. Dalším cílem bude odhalit změnu druhové skladby porostů vlivem požárových událostí. Výsledky budou statisticky vyhodnoceny a bude zhodnocena vazba environmentálních proměnných (např. nadmořská výška, podloží) na druhovou skladbu a také frekvenci požárových událostí.

3. Historie lesa až po současnost

3.1. Historie lesa a bezlesí v kvartéru

Poslední interglaciál se vyznačoval téměř úplným zalesněním a nedostatkem dat o výskytu stepních a xerothermních druhů. Výjimkou jsou obyvatelé suchých teplých stanovišť v extrémních polohách (Ložek 2011).

Poslední glaciál začíná lesním obdobím posledního interglaciálu, který končí postupným ochlazením a vysušením. V dnešních xerothermních okrcích to vedlo k ústupu uzavřeného lesa a šíření kontinentální stepi. Po první fázi byly tři období mírného oteplení (interstadiály), kdy v suchých sprašových krajinách vzniká černozemní step kontinentálního rázu. Srovnatelná je se stepmi pod Uralem a v severním Kazachstánu. Stepí na českém a slovenském území měly podobný rozsah jako dnešní černozemní okrsky. Pravděpodobně výše se táhl stupeň tajgovitých polootevřených lesů, které byly převážně z odolných jehličin. Světlé horizonty sprašovitého rázu rozdělují černozemně obsahující sprašové malakocenózy bez význačných druhů vysokého severu, alpského stupně i vnitrosijského původu. Celé období posledního glaciálu je daleko chladnější a drsnější než předchozí interglaciál. Vzhledem k tomu, že podmínky ještě neodpovídají plně glaciálnímu stavu, tak se tento časový úsek označuje jako časný glaciál (eoglaciál). Kontinentální černozemní stepi mají významnou roli v nízkých suchých polohách, kde se v chladných oscilacích střídají se stepí sprašovou, podle malokofauny poněkud teplejšího rázu než sprašová step pleniglaciální. Výše je pás lesů tajgovitého (montánního rázu) a ještě výše jsou alpské hole (Flint 1997).

Vrcholný glaciál vznikl z přechodné fáze mezi časným a plným glaciálem a vyznačuje se v suchých oblastech jako odnos časně glaciálních a interglaciálních půd včetně mezivrstev. Materiál se ukládá v chráněných prostorech v podobě sedimentu označovaného jako hlínopísek, protože sestává z hrudek a drobtů erodovaných zemin, zejména půd, které se rytmicky vrství a následně i rytmicky přecházejí do spraší. V polohách, kde převládal odnos, měla tehdy vegetace ráz stepi s nesouvislým drnem, proto docházelo k snadnému odnosu půdy. Uchování rytmicko-drobtovité skladby hlínopísku poukazuje na to, že ustala tvorba vyvinutějších půd, které jsou charakteristické vnitřní bioturbací. Původní skladba hlínopísku se rychle rozrušila, čemuž nasvědčuje, že i dnes na hlínopískům podobných splaveninách vznikajících z obnažených orníc po přívalových deštích a rytmicko-drobtovitá skladba rychle upadá kvůli činnosti půdní fauny. Následuje hlavní pleniglaciální fáze

vyznačená tvorbou spraše. Na rozdíl od jiných typů stepních formací, je spraš produktem svěbytného ekosystému (Ložek 2011).

3.2. Poledová doba a její vývoj

V průběhu plestocenních klimatických výkyvů, o rázu vegetace střední Evropy, je shoda v tom, že v interglaciálech měl převahu les, v glaciálech bezlesí. Velkoplošná existence otevřené krajiny se dlouhá léta v různých fázích glaciálu nerušeně rozvíjela, v různých společenstvech nelesní flóry i fauny. Tento ráz krajiny na počátku každého teplého období – tedy i v postglaciálu, během klimatického cyklu, měl nabýt naprosté převahy les, který biotu otevřené krajiny více potlačil (Flint 1997).

Sukcese ekosystémů ve vývoji neživé i živé přírody na počátku každého teplého období se vyznačují jako postupné oteplení a následujícím zvlhčení, ale také i zalesněním, které zpětně ovlivňuje vývoj nejen sedimentů, tak i půd, které vytváří nové životní prostředí. Na počátku 2. třetiny holocénu přibývá ještě další faktor a tím je vliv člověka, coby rolníka a pastevce, který svými zásahy vytváří nové ekosystémy ku prospěchu jeho potřebám. Touto činností se holocén zásadně odlišuje od všech předchozích teplých období – interglaciálu. V krajinách, v ranném holocénu proto vzniká mozaika (*patchwork*) řídkých světlých lesů s různě velkými řídkými plochy, proto se zde výrazně uplatňují plášt'ové formace – ekotony. Les se rozšiřuje na úkor volných ploch. Ve vývoji na počátku klimatického optima jsou dva protichůdné trendy. Náročná xerothermy se rozšiřují na zbývající otevřené plochy, tím vznikají „stinné“ porosty. Dalším faktorem jsou pastvy, které mají vliv na divoké býložravce a vegetační sukcesí (Ložek 2011).

3.3. Kvartérní cyklus

Aktuální cyklus je charakteristický třemi znaky. V posledním vrcholném glaciálu byly ledovce umístěny nebývale asymetricky, a to v oblasti severního Atlantiku. Většina Sibíře a Aljašky, byli charakteristické jako volná krajina s tundrovými, spíše však stepními pláněmi, kde byla velká stáda zvířat. Na přechodu z poslední glaciální fáze do teplé fáze interglaciální (holocénu), fauna z ekosystému vymřela. Došlo k rozvoji lidské civilizace, která si postupně podmanila většinu povrchu naší planety, a tím ovlivnila ostatní živé tvory a mnoho důležitých ekologických procesů. Před zhruba 100 000 lety skončil poslední interglaciál, a to velkým globálním ochlazením. Následující období se vyznačovaly protichůdnými klimatickými trendy, kdy klimatický režim se výrazně měnil v průběhu několika desetiletí, či

dokonce jednotlivých let. Vegetační kryt se podobal řídké lesostepi s borovicí, břízou a lískou. Následovala tři delší období mírného oteplení (interstadiál, tj. teplé období v rámci glaciálu), kdy ve střední Evropě vzniká kontinentální černozemní step, srovnatelná se stepmi ležícími jižně od Uralu. Klima následně prudce kolísalo, a tak to setrvává víceméně po zbytek glaciálu (Pokorný 2011).

Vrcholný glaciál se svými zvláštními klimatickými podmínkami měl velký vliv na celou živou i neživou přírodu. Nánosy spraše pokrývaly velké části území, zvláště nížiny a střední polohy. Na východních svazích v závětrí kopců, měl vliv větrem nafoukaný prach z mrazově zvětralých hornin. Vzhledem k tomu, že spraš pokryla obrovské plochy, tím se vyloučil vliv rozmanitých druhů skalního podkladu. Na velkých plochách nivelizovala substrátové podmínky, které ovlivňují diverzitu vegetace. Povrch spraší je charakteristický surovou půdou, která byla kvůli zvýšenému odparu vody a biologické aktivitě mikroorganismů obohacena různými solemi a uhličitánem vápenatým z hlubších vrstev. Spraše jsou popsány jako návějemí jemného silikátového (křemitého) prachu, který v průběhu vývoje podlehl procesu zesprašnění (loessifikaci), což přispělo k obohacení uhličitánem vápenatým, který povlakem obalil jednotlivá křemenná zrna se spojením s karbonátovými můstky. Charakter sprašové sedimentace silně omezil akumulaci humusu a tím pádem i vývoj půd (Chytrý et al. 2010).

Sprašová krajina je převážně otevřená krajina s menšími lesíky na severních (tím pádem relativně vlhčích) svazích a v údolích řek. Analogie ekosystému vrcholného glaciálu je potřeba hledat daleko na východě, a to v oblasti Asie, nejlépe na jižní Sibiři a v Mongolsku. Pro tehdejší vegetaci je charakteristická zvláštní směs rozšířených druhů v současné době v kontinentálních stepích, na dalekém severu, v alpinském pásmu nejvyšších pohoří, na slanských a na ruderalních (tj. podmíněných lidskou činností) stanovištích. Ekologický faktor, který ovlivnil vegetaci, bylo krátké vegetační období na počátku prudce oddělující zimní polovinu roku (krátké, nebo téměř neexistující jaro a naproti tomu dlouhý podzim), až extrémní zimní holomráz a téměř neustávající ostrý vítr. Současným sibiřským řekám v nivách pravděpodobně chyběla trvalá zmrzlá půda (tzv. permafrost). Říční údolí tak mělo roli kontrastních stanovišť s výskytem klimaticky náročnějších druhů s malou odolností vůči extrémnímu suchu a prudkému větru. Zde je potencionální refugia některých dřevin, což je prokázáno u borovice lesní, vrb, jalovce, smrku, modřínu a borovice limby (Pokorný 2011).

3.4. Pozdní glaciál

Začátek holocénu (současného teplého období) se datuje před zhruba 11 600 lety. Než došlo k prudkému oteplení, tak tomu předcházela série klimatických výkyvů. Tyto výkyvy byly sice relativně krátkého trvání, ale s velkou amplitudou. Dané období nese název pozdní glaciál, kdy předcházela fáze postupného oteplování, které dočasně vyvrcholilo v polovině 15. tisíciletí před n.l. (Jankovská, Pokorný 2008).

Před 15 000 lety se poprvé výrazně oteplilo. Průměrná teplota nejteplejšího měsíce (červenec) vzrostla o celých 7 °C, a to za necelé jedno století. Lednové teploty výrazně stoupaly a klima se celkově stalo méně kontinentálním. Klimatické podmínky se tak výrazně podobají podmínkám panujícím později v holocénu (Pokorný 2011).

Z pohledu geologické časomíry představuje holocén (tj. současné geologické období) nepatrný okamžik, ale ve vývoji současné přírody i lidské společnosti se jedná o období, které má mimořádný význam. Jedná se o jediný úsek historie Země, kde se ve vývoji vedle přírodních sil, podílel i člověk, a to v takovém rozsahu, že se objevují obavy o osud celé přírody. V kvartérním klimatickém cyklu zastupuje holocén jen jeden z teplých výkyvů prvního řádu, obdoba pleistocenních interglaciálů. Ovšem výrazně se liší a to tím, že změny jsou v živé přírodě. Před jeho počátkem došlo k tomu, že vymřela řada velkých savců, ačkoliv vývojové linie procházely celým pleistocénem. Nahradil je člověk, který v holocénu přetváří k přírodu k tomu, aby měl z ní co nejvíce prospěch. Lidé svou činností začali vytvářet umělý ekosystém např. pole, pastviny, zahrady, stálá sídliště, ale také komunikace, tím se stal činitelem, který mění tvář Země více než přírodní pochody. Člověk vytvořil nové prostředí, které nemá obdoby v minulosti, kde hlavním činitelem je lidský rozum (Ložek 2007).

Holocén označujeme také jako dobu poledovou (postglaciál). Důkazem tohoto období jsou rostlinné, zčásti i živočišné pozůstatky včetně archeologických nálezů, které byly zachovány v limnických (sladkovodních, zvláště stojaté vody) sedimentech a rašelinách, které se ve velké míře vyskytovaly a vyvíjely na původně zaledněném území. Byla zde i možnost souvztažnosti se změnami obrysů pevniny, ale i výkyvy mořské hladiny. Pylová analýza zavedená L. von Postem v r. 1916 byla velkým krokem vpřed. Velice rychle se stala běžně používanou metodou, která se uplatňovala všude, a to zejména tam, kde vystupovaly vhodné sedimenty jako zmíněné rašeliny a uloženiny stojatých vod. Předností se stalo podchycení stavu vegetace v širokém okolí jednotlivých nalezišť. Skandinávští badatelé vytyčili

na základě sukcese jednotlivé typy vegetace. Tento směr výzkumu se nejrychleji rozvíjel v severské oblasti, následně se přešlo k mnohooborovým rozborům bažinných a limnických sedimentů korelovaných s poznatky z vrtů v grónském ledovci, ale i na dně Atlantiku. Geochronologické data využívají radioaktivní izotopy, hlavně ^{14}C . Nyní se používá jako základní báze pro vyznačení celého holocénu i vývoje přírodního prostředí v rámci mezinárodních výzkumných programů, ačkoliv ani nepokrývá oblasti s nedostatkem fosiliferních sedimentů (Jankovská, Pokorný 2008).

4. Holocén

Přibližně před 8000 lety ve středním holocénu zavládlo spíše vlhčí období. Byla tzv. „střední teplá doba“ přibližně 6000–3000 př. Kr., která se označuje jako atlantik. V našich dějinách atlantik sehrál důležitou roli a to dlouho předtím, než byl člověk schopen ve velkém měřítku ovlivňovat přírodu. Atlantik představuje daleko nejteplejší, ale také nejdelší fázi holocénu. V průměru byly teploty o 2–3 stupně vyšší než na konci 20. století. Na druhou stránku to s sebou neslo tání ledovců a tím se uvolňovalo velké množství vody (Behringer 2010).

Přestože je holocén charakteristický prominentními vegetačními změnami, tak i přesto mohou některé vegetační typy odhalit překvapivou stabilitu (Novák 2012).

Z pohledu celého kvartéru, může být holocén brán jako další v řadě předchozích interglaciálů. Pozice holocénu mezi ostatními interglaciálů je výjimečná v tom, že v tomto období došlo k rozvoji civilizace, a tím se stal člověk dominantním činitelem. Nejdříve pouze lokálním, následně doslova v globálním měřítku. Kvartérní klimatické změny umožnily rozvoji lidské společnosti v nejpriznivějších podmínkách. Holocén se jeví jako dlouhodobě klimaticky stabilním období, s příznivými teplotami i vlhkostí. Takové podmínky umožnily vznik zcela nových sociálních a hospodářských strategií a tím i vzniklo zemědělství, které si s sebou nese usedlý způsob života. Zemědělství se rozvíjelo dlouhodobě s komplikacemi, a navíc nezávisle v řadě lokálních center. Globální klimatické změny v průběhu holocénu jsou natolik mírné, že jejich amplituda je tak nízká (především v porovnání s předcházejícím glaciálem), že se jen těžko dá oddělit od dalších lokálních vlivů, včetně působení člověka (Jankovská, Pokorný 2008).

Proměny sluneční aktivity způsobily v holocénu periodické klimatické výkyvy. Konec pozdního glaciálu se vyznačoval prudkým oteplením, teplotní poměry tak velice rychle dosáhly dnešní úrovně. Na druhou stránku bylo stále relativně sucho. Tento stav byl před 8 200 lety na krátký čas přerušen a to chladným, vlhkým výkyvem globálního rázu. Následně začalo tzv. holocenní klimatické optimum. Zhruba od roku 6000 před současností se klima příliš nelišilo od dnešních poměrů. Lokálně se střídala mírně teplejší, ale také i mírně chladnější (zároveň sušší a vlhčí) období. Mezi roky 3000 a 1000 před n. l. se zahrnuje menší druhořadá teplejší perioda a celkově docházelo k ochlazovacímu trendu. Globální charakter měl možná deteriorační výkyv (ochlazení a zvlhčení) v rozmezí let 800–2500 před n. l.

Klimatické holocénní výkyvy jsou spolehlivě zachyceny jak na severní, tak i na jižní polo-kouli (Pokorný 2011).

4.1. Vývoj krajiny v holocénu

Jak již bylo popsáno holocén začal prudkým oteplováním, které mělo globální ráz. V průběhu prvních několika málo staletí došlo k současným hodnotám průměrné roční teploty. Klima bylo stále relativně suché a kontinentální. Oteplování přivedlo zahušťování dosud rozvolněných lesních porostů. Nejdříve se jednalo o expanzi dřevin, které jsou typické pro pozdní glaciál – borovice lesní, která převládala většinou v nížinách, stromovité břízy, osiky a různé druhy vrb. V lesích se rozšiřovala lesní fauna dnešního typu. Vlhčí oblasti postupně zůstávaly nezalesněny, pouze větší či menší ostrovy rašelinných mokřadů, skalních výchozů a balvanitých suťových polí pod nimi. Expanze prvních teplomilných dřevin se vymezuje v předchozím období preboreálu. Líska obecná byla mezi prvními, protože je to druh charakteristický pro prosvětlené háje a lesní lemy. Šířila se zejména v dosud nezapojených lesních porostech, v lesostepích, ale i v horách, kde měla svůj význam v pásmu horní hranici lesa (Horsák, Chytrý 2010).

Na lidskou společnost, která byla orientovaná na lovecký způsob života, bylo nepříznivé postupující zalesnění. Průchodnost krajiny se snižovala a klesala i populační hustota býložravců, kteří spásali travní porost. Lidé museli přizpůsobit svůj život nové struktuře ekosystémů (Pokorný 2011).

Období boreálu je klíčový pro další vývoj. V průběhu vývoje byly klimatické podmínky srovnatelné s dnešními (nejspíše bylo ještě tepleji než dnes, ale za to bylo méně srážek) a na konci období se dokončila masivní expanze lesa se všemi souvisejícími důsledky. Možná v tom měla úlohu chladná a vlhká klimatická oscilace – tzv. „událost 8200“ (angl. *event 8200*– dle data v letech před n. l.). Sice se jednalo o krátkou událost, ale přišla v kritickou chvíli, proto se zaznamenalo překročení kritického bodu na přechodu mezi krajinou převážně bezlesou a krajinou lesnatou. Nová garnitura dřevin se stále více zapojovala v lesích. Označuje se souhrnným názvem „dřeviny smíšených doubrav“ – *Quercentum mixtum* (Horsák, Chytrý 2010).

Smíšené doubravy se objevují nejprve v říčních nivách. Nivy jsou ekologické progresivní biotopy, které jsou ve vývoji často jakoby o krok před vývojem okolní krajiny. Průměrná stanoviště začaly obsazovat doubravy, které zatlačovaly dosud převládající řídké lesy s borovicí a lískou. Stalo se tomu tak, protože byl velký výskyt a snadná dostupnost živin,

což způsobilo, že prostředí bylo bohaté na kationty. V průběhu pozdního glaciálu a preboreálu došlo k akumulaci živin a vznikaly tak organické látky a na ně vázané kationty bohaté půdy. Substráty s expanzí smíšeného opadavého lesa se postupně degradovaly. Pod vlivem specifického chemismu listového opadu tak vznikaly hnědé lesní půdy. Na začátku boreálu se nejvíce rozšiřovala půdní černozem (Pokorný 2011).

Vlivem vlhkého klimatu docházelo k ochuzení substrátu o živiny a k jeho okyselení (acidifikaci). Došlo k zintenzivnění větrání a k následnému odplavování kationtů z půd. Dalším intenzivním činitelem byl člověk s jeho hospodářskou aktivitou. V průběhu boreálu se v horách a na mezoklimatických vlhkých stanovištích začal objevovat smrk. Kvůli jeho kyselému odpadu došlo k urychlení odplavování živin z půd, což vedlo nakonec ke vzniku silně ochuzených podzolů. Ve středním holocénu se nalézají na neobvyklých místech smíšené doubravy, a to v pískovcových oblastech, vysoko v horách ale i na štěrkopískových říčních terasách. Tyto lesy jsou v pozměněné formě dnešní habrové doubravy a zejména u suťových lesů (Kuneš et al. 2007).

Svou strukturou a složením se přirozené lesy liší od dnešních kulturních lesů. Na malých vzdálenostech se střídaly porosty s různým zastoupením jednotlivých dřevin, ale také s různými vývojovými fázemi těchto lesů, a to od mladých porostů po konečná stadia rozpadová až po otevřené světliny. Nejvíce byly porosty ve stadiu zralosti. Kde převažovala věková třída starých, ale doposud vitálních stromů, které byly doplňovány stromy přestárlými s mladší generací v podrostu. Místa se mohla lišit hustotou keřového a bylinného podrostu a svou účast měly i rozkládající se kmeny. Stromové vývraty měnily lesní půdu a vedly k jejímu cyklickému polygenetickému vývoji. Zalesněné svahy mohly vést v dlouhodobém měřítku k intenzivním svahovým pohybům (Pokorný 2011).

Expanze druhově bohatšího, uzavřenějšího lesa způsobila zatlačení zbytků otevřených travnatých stepí, a to dokonce i v nížinách. Velký zlom byl v průběhu boreálu, kdy se poměr mezi oběma základními typy ekosystémů obrátil. Nelesní plochy přišly o konkurenci, ale les jí naopak získal (Kuneš et al. 2007).

4.2. Časný holocén

Hlavní činitelé časného holocénu je rychlý vzestup teploty, v preboreálu došlo ještě k ovlivnění zpětného zakolísání, pak hodnoty rychle dosahovaly srovnatelných hodnot s dnešními nebo vyššími. Mírně se opožděje vzestup vlhkosti za oteplováním a tím se rozšiřovalo moře v severní Evropě. Významný je baltický prostor, v preboreálu zalitým slaným yoldiovým

mořem. V boreálu se opět dočasně odděluje od světového oceánu, což vedlo ke vzniku ancylového jezera. Určitý vliv na kontinentalitu podnebí i v našich zemích má rozdíl v salinitě vodní nádrže v baltském prostoru. Místní prostředí výrazně mění šíření lesa, ale i mikro i mezoklima, vývoj půd i celkový obraz krajiny. Ustupují druhy otevřených ploch, nejvíce obyvatelé glaciálních stepí. Půdy se vyvíjely od málo vyvinutých po vyzrálé. Zintenzivnila migrace (metabolismu) CaCO_3 a to v důsledku velkého vzestupu vlhkosti na sklonku období, ale i pravděpodobně bujného rozvoje vegetace. Pokles biodiverzity v závislosti na osídlování různých souborů stanovišť silně ovlivňovaných vlastnostmi nejen podkladu, ale i reliéfu. Četné mokřady vznikaly většinou v charakteru bazického nebo intermediárního, ale i ve vodních nádržích často kalcitrofních. Divočící vodní toky se definitivně mění na meandrující (Ložek 2007).

Řada dalších dějů se podílí na počátek mnoha ložisek pramenných vápenců (pěnovců) i jeskynních sintrů, podobně i ložisek slatin a rašelin. Dalšími faktory je rychlost a možnost migrace organismů, jejich konkurenční vztahy, ale i postup sukcese, vzdálenost glaciálních refugií klimaticky náročných druhů, které pronikly do střední Evropy. Geofaktory prostředí ovlivnily obtížně prolínající děje, které jsou spjaté s mnoha zpětnými vazbami např. substrátem a reliéfem, ale i k nadmořské výšce nebo anemo-orografickým poměrům. Lidstvo je stále nedílnou součástí přírodních ekosystémů, protože se dosud stále živí lově a sběrem, nezakládá trvalá sídliště a záměrně se nevytváří umělé ekosystémy, které by mohlo sloužit k jeho hospodářským účelům. Časný holocén je proto plně srovnatelný s počátečními fázemi pleistocenních interglaciálů (Ložek 2011).

4.3. Globální oteplení v holocénu a proměny přírody

Jak už bylo řečeno, průměrná roční teplota vzduchu vzrostla na počátku holocénu během několika desetiletí o 7 stupňů Celsia. Sice nebyly tak prudké bouře jako v předchozím období, ale zdvojnásobilo se množství srážek. Podobně jako v jiných případech není odhalena příčina radikální klimatické změny, projevující se globálním oteplením. V této souvislosti se často diskutuje o sluneční aktivitě, jako rozhodujícím činiteli. Proces oteplování s sebou nesl nejen projevy jako zmenšení albeda, ale také změny ve složení atmosféry, což vyvolalo rozšíření vegetace do oblastí v severních a jižních zeměpisných šířkách. Teprve v holocénu se začalo vyvíjet životní prostředí, které v dnešní době považujeme jako za přirozené. Kontinenty v důsledku vzestupu mořské hladiny nabyly podoby, kterou mají dodnes. Rostliny a živočichové se ve vývoji přizpůsobili novým klimatickým podmínkám (Behringer 2010).

Bez lidské civilizace, by byl holocén nejspíše dalším v řadě obyčejných interglaciálů. V první polovině se však lidská činnost ještě velkoplošně neprojevovala. Dnes se dochází k tomu, že o klimatické podmínky asi tolik nešlo, spíše tomu tak bylo na druhém místě. Lepší je nazývat příslušné období jako „lesní optimum holocénu“ (Pokorný 2011).

5. Kvarterní geologie a ochranné problémy

Obecně platí, že teplá období přinesla rozmach lesa, naopak doby ledové (glaciály) jsou charakteristické otevřenou formací rázu drsných stepí nebo holí. Ovšem pro pleistocénní doby meziledové to platí za předpokladu, že do přírody nezasahoval člověk, který mění přírodní dění. Doba poledová (holocén) je poslední teplé období, které trvá dodnes, ale od starších teplých období se výrazně liší. V první třetině se stejně jako v interglaciálech rozšiřuje les, který se rozšiřuje na otevřené formace. Nejdéle se udržují v suchých teplých oblastech, ale pak i na horní hranici lesa v horách. Menší okrsky s teplým vysušeným substrátem a reliéfem nebrání k rozmachu dřevin (skalní stepi). Naprostou převahu lesů by měl přinést střední úsek poledové doby, tzv. klimatické optimum, jako tomu bylo podobně v dřívějších cyklech (Ložek 2011).

Člověk se, byť nechtěně, přičinil o zbytky stepních biocenóz s výraznou subkontinentální složkou. Celá středoevropská černozemní zóna je tímto přírodním i antropogenním výtvozem. Skalní stepi, zejména na vápencích v krasu mají plochy, které jsou na první pohled nepříznivé pro rozvoj lesa. V době největšího rozmachu se mohly zachovat jako nezalesněné a později sloužit jako centra, odkud se následně stepní druhy znovu začly rozšiřovat na odlesněné plochy. Platí to pro prvky vázané na biotopy, ne na druhy vázané na větší plochy stepí na hlubších půdách. Žádný z těchto druhů neměl vhodné podmínky pro přežití, ačkoliv podíl xerothermů byl vysoký, což dosvědčují fosilní doklady. Starší holocén (preboreál-boreál) se vyznačuje převahou polotevřených až otevřených formací. V teplých polohách měly ráz šipákových formací s dřínem a stepními enklávami. V chladnějších polohách převažovaly formace typu pýchavových borů. Černozemní stepi na hlubších půdách, zasahovaly na dno některých údolí, jak tomu dokládá nález staroholocenní černozemně na stepní malokofaunu (Flynt 1971).

Umělá likvidace nežádoucích náletů dřevin, která je dnes často prováděná, se jeví jako méně vhodná, než rozumně usměrněná pastva nebo zazvěření, což by však mělo být cílem ochranných opatření do budoucna (Ložek 2011).

V současné době je problematická velká likvidace mokřadů, kde sedimenty mokřadů, niv vodních toků a některých pramenů jsou vhodným prostředím pro uchování flóry a fauny. Ve vyšších polohách se soustřeďuje paleobotanický výzkum, který přináší výsledky zejména v botanice, ale i přírodovědné veřejnosti. Kriticky ohrožené jsou vápňité mokřady

a nivy v nižších polohách, které ukrývají mnoho druhů živočichů a rostlin, které se na rašelinách ve vyšších polohách nevyskytují (Hájek et al. 2006).

Ve známých polabských černavách jsou významné kvartérní lokality, které představují většinou zazemněná jezera, nebo trvalé močály s kalcitrofním režimem. Zazemnění bylo přirozené a vedlo ke vzniku vápnatých slatin – dnešních černav (Ložek 2011).

5.1. Změny geodiverzity

Interglaciály a poledová doba (holocén), jsou teplá období, která se vyznačují všeobecným zvýšením geodiverzity podmíněným klimatickou diferenciací. Následkem jsou zejména výraznější lokální klimatické rozdíly. Teplá období včetně poledové doby, ve které žijeme, vedla k vývoji hlubokých půd, které jsou spjaté s velkou migrací CaCO_3 . Na jedné straně je velké odvápnění půdních horizontů i na větralých původně vápnatých hornin (opuky, vápnité pískovce). Na druhé straně docházelo k tvorbě pramenných a potočních vápenců (pěnovců, travertinů), které tak vytvářely vápnitá stanoviště, a to i v místech, kde jinak substrát postrádá CaCO_3 (Ložek 2007).

Při zvýšení biodiverzity sehrály důležitou roli migrace teplomilných druhů z jižnějších refugií směrem do severnějších pásem, kde byly v glaciálu vytvořeny. Konfigurace a stav terénu silně ovlivňoval migraci, což mělo za následek značné diferenciaci fauny a flóry (Ložek 2011).

6. Středoasijská analogie pro středoevropskou dobu ledovou

Řada kontinentálních druhů, byly hojně zastoupeny ve středoevropských glaciálech, ale po oteplování, kdy ustupovaly ledovce se stáhly nikoliv na sever, ale na východ, a to na Sibiř a do střední Asie. Jedná se o druhy jako např. borovice limba (*Pinus cembra*, včetně východní formy *P. sibirica*) a modřín šedý (*Larix decidua* a *L. sibirica* Pokorný 2011).

Východní analogie středoevropských glaciálních ekosystémů přivedly pozornost k výzkumům na jižní Sibiři. Dokonce některé nedozírné rozlohy jižní Sibiře připomínají zvlněným reliéfem střední Evropu. Ve stejné zeměpisné šířce tu dodnes najdeme velké úseky téměř nedotčené přírody. Mnoho evropských rostlinných ale i živočišných druhů má zde východní hranici svého rozšíření. Ačkoliv sem zasahuje zvlhčený vliv vzdáleného Atlantického oceánu, tak je klima vysoce kontinentální. Léta jsou horná a slunečná, zimy nastupují náhle, téměř bez varovných signálů. Lednové teploty klesají až čtyřicet stupňů pod bodem mrazu. Hlavní roli sehrály rozdíly v lokálním klimatu závislém na orientaci svahu a údolí. Konkrétní lokalita leží na návětrné straně hřebene nebo ve srážkovém stínu. Roční úhrn srážek se pohybuje v širokém rozmezí 150 a 600 mm (Horsák, Chytrý 2010).

Oceanický vliv roste směrem k horám a otevřená krajina přechází v parkovou lesostep. Návětrná strana Západního Sajanu pokrytý boreální tajgou, připomíná poměry v někdejších Západních Karpatech. Sajany a Altaj byly v posledním glaciálu pokryty horskými ledovci, přesto některé kotliny a podhorské oblasti zůstaly nezaledněné. Mohlo by se na to poohlížet jako na pokračování glaciálních ekosystémů až do současnosti. Zatímco Evropa prošla v pozdním glaciálu a starším holocénu periodou výrazně vlhkého klimatu, tak to se netýká jižní Sibiře ani střední Asie (Pokorný 2011).

Jižní Sibiř je s největší pravděpodobností nejvíce zachovalejší refugium společenstev glaciálních druhů v severní polokouli. Na Sibiři je mnoho krajinných jevů a ekosystémů, které mají za odlišných podmínek mezi sebou křehké hranice. Dodnes jsou v bezprostředním sousedství stepní a tundrové ekosystémy, uzavřený les, ale jsou zde různé přechody do bezlesí (leostep a lesotundra). Suchá a silně kontinentální situace se může přirovnat k „stepotundře“ jakožto specifickému ekosystému. Z evropského pohledu se jedná o kuriózní mozaiku s keříčkovou tundrou s dominantní trpasličí břízou (*Betula rotundifolia*, je blízký k evropskému druhu *B. nana* Horsák, Chytrý 2010).

6.1. Boreální les v severní části Mongolska jako analogie vegetace ČR

Jestliže se chceme dnes podívat do minulosti, tak máme tady jednu z možností jak les vypadal ve střední Evropě v minulosti, můžeme tuto vegetaci spatřit v severní části Mongolska nebo na jižní Sibíři, kde je stále hojně zastoupen biom boreálního lesa. Pylové analýzy dokládají, že boreální les je zde přítomný od počátku holocénu.

Jestli chceme vidět, jak vypadal les v období pozdní doby ledové a časného holocénu, tak ten se nachází stále v Mongolsku a proto ho chceme zkoumat. Jsou zde dřeviny jako u nás v České republice a jsou zde i stejné klimatické podmínky, které mohly u nás panovat v minulosti (Kusbach et al. 2008).

V poslejších letech se v Mongolsku značně zvýšil tlak lidské aktivity na lesy, převážně v zóně přiléhající k trvalému lidskému osídlení s kontaktem pásmem stepí a ve vzdálenosti ekonomické pro transport dříví a provozování dalších komerčních aktivit. Hojný je sběr semen borovice sibiřské (*Pinus sibirica*), tzv. kedrových oříšků. Mongolské lesy jsou exploatovány (vypaseny, vytěženy a vypáleny) a půda je následně erodována. Vznikají tu rozsáhlé holiny, po těžbě dříví a požárech přirozená obnova lesa je výrazně tlumena intenzivní, neomezenou pastvou dobytka a častou frekvencí požárů, v drtivé většině zapříčiněných člověkem (NIL, 2016).

Stav lesů v zónách ovlivněných lidskou činností z hospodářského i environmentálního hlediska je alarmující. Od roku 2000 do 2012 shořelo v Mongolsku 1,2 mil ha lesů, které se přirozeně neobnovili. Je evidováno 178 lesních požárů se škodami 3,5 mil USD mezi roky 1996 a 2012 USD (Kusbach et al. 2008).

Pohoří Khaan Khentii je nejvíce zasaženo požáry, kde vyhořelo 34,7 % boreálního lesa (NIL, 2016).

Přibývá zde i nelegálních těžeb, z 913 evidovaných trestných činů (2000–2012) se jen 345 dostalo před soud. Lesa každoročně ubývá nejen vlivem požárů, pastvy a dalších nepříznivých vlivů jako jsou hmyzí kalamity, ale také působením klimatické změny, tzv. procesem desertifikace, šířením pouště na úkor lesů a lesostepí. Od roku 2000 do 2012 zaničilo v Mongolsku 289 757 ha lesa (Kusbach et al. 2008).

V Mongolsku je lesnictví spolu s ekologií lesa a krajiny mladou rozvíjející se disciplínou. Ve střední Evropě má historie moderního lesního hospodářství cca 200 let starou tradici. V Mongolsku se s podobným způsobem hospodaření teprve začíná (Kusbach et al. 2008).

7. Boreální lesy, tajga

Převládajícím zonobiomem mezi 50. a 70. rovnoběžkou na severní polokouli jsou boreální jehličnaté stromy – tajga. Posuny mořského proudu a oceánických větrů jsou ovlivňovány na západních částech kontinentu severněji než na jejich východních pobřežích. Jižní okraj svého rozšíření sousedí s opadavým listnatým lesem nebo kontinentální stepí. Sever je omezen polární hranicí lesa, kde je nejteplejší průměrná teplota 10 °C, vegetační období trvá alespoň jeden měsíc (Jeník, Pavlis 2011).

Klima tajgy je charakteristické 1–4 měsíci trvajícím vegetačním dobou, kde je průměrná teplota 10 °C. Amplituda teplot je na východní Sibiři až nad 100 °C, nízký úhrn srážek, ovšem s nízkým výparem a maximem srážek v létě. Voda není faktorem v minimu, naopak nadbytečné množství vody vede až k zamokření a rašelinění (Jeník, Pavlis 2011).

Orobiom smrčín popř. jedlin (více oceánické klima) vznikl ve vyšších nadmořských výškách mírného pásu (u nás 1 000 m n. m.), která je podobná dynamikou jako boreální tajga. Rozdílnost je fotoperioda, která odpovídá nižším zeměpisným výškám, množstvím srážek, která je několikanásobně větší u frekvence disturbancí (vichřice, laviny. Alpínská hranice lesa je horní hranicí, v našich podmínkách kolem 1300 m n. m. a odpovídá průměrné červencové teplotě 10 °C (Walter, Breckle 1986).

Podzoly jsou klasickým půdním typem pro boreální i tzv. horskou tajgu. Vyznačuje se akumulací surového humusu a vznikem eluviálního i humusového podzolového horizontu. Zvýšená hladina podzemní vody vede k výskytu glejů a oglejených subtypů půd a posléze až ke vzniku a vývoji organozemí. Dochází k nestabilitě vysokých mělce zakořeněných stromů a k dynamickému přemísťování půdních vrtev, tato *arboriturbace* po staletí obnovuje minerální sílu značně podzolovaných půd (Jeník, Pavlis 2011).

Jehličnany se vyznačují malým specifickým povrchem asimilačních orgánů, tlustou kutikulou a zapuštěnými průduchy. Až na výjimky (rody *Larix* a *Pseudolarix*) asimilační orgány vytrvávají řadu let. V Severní Americe je rodová a druhová diverzita výrazně vyšší ve srovnání s Euroasií. Ve větším měřítku se zde objevují, byť kontinentálně, jako dominantní druhy *Picea abies*, *P. obovata*, *Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, *Abies sibirica* a modřín *Larix sibirica*, *L. dahurica* (Walter, Breckle 1986).

Jehličnatý strom je vysoký zhruba 20–30 m, výčetní tloušťka se pohybuje kolem 1 m a dožívají se 200–400 let. Dynamika a obnova tajgy je charakteristická pro výskyt a velký rozsah disturbancí, což umožňuje regeneraci. Vývojový cyklus v evropských tajgách

zaujímá 250–300 let. Smíšený les se od listnatého liší střídáním stádia dorůstání, optimem a rozpadem menších ploch, kdežto v tajze probíhá obnova spíše velkoplošně (Walter, Breckle 1986). Během několika let růstu a vývoje se hromadí velké množství bio – a nekromasy, přičemž až 50 % organické hmoty ekosystému se shromažďuje ve formě nadložního a půdního humusu. Zde je značný podíl živin, silné holoorganické horizonty, které znemožňují vzniku náletu. Lesní ekosystém se tím obnovuje katastrofickým zánikem původního porostu v důsledku vývratu, polomů (vítr) nebo požáru. Mineralizace humusu vzniká formou sukcese přes stádia přípravného a smíšeného lesa (Jeník, Pavlis 2011).

Rašeliniště souvisí s boreální zónou. Úzce souvisí také s dalším typem jinak azoálního biomu. Představují tak mokřadní ekosystém. V pásmu opadavých lesů, v tundře se hojně vyskytují rašeniliště. Ohromné plochy rozlohy zaujímají v tajze na západní Sibiři, nebo v celé polovině Finska (Jeník, Pavlis 2011).

7.1. Klima Mongolských stepí

Meteorologické záznamy poukazují na to, že Asie zažila jeden z nejteplejších signálů na světě za posledních 30 let v rámci zaznamenávané globální klimatické změny. Prověřovala se sezónní vegetační reakce na klimatické změny na mongolských stepích, které jsou třetím největším travinným ekosystémem na světě. Pomocí vysokorychlostního radiofrekvenčního snímání (AVHRR) a normalizovaného rozdílu vegetačního indexu (NDVI) se dvakrát týdně sbírala data od ledna 1982 do prosince 1991. Zohledňovaly se i měsíční srážky a průměrná teplota. Výsledkem bylo, že taigový les severně od mongolských stepí (> 50 °N) ukázal největší nárůst zeleně. Na východním a severním okraji pouště Gobi (40° N – 50° N) byl pozorován pozdější nástup. Různé typy vegetace se lišily v klimatické variabilitě podle vegetačních charakteristik a průběhu půdní vlhkosti v daných lokalitách. Sucho způsobuje rostlinám stres a je tedy nejvýznamnějším přispěvatelem k pozdějšímu rozvoji vegetace, jak bylo pozorováno ze satelitních snímků středoasijských polopouští. Oblasti, které mají větší pokryvnost půd, byly dříve výrazněji porostlé vegetací (Yu et al. 2003)

8. Lesy a oheň

Dokonce ještě před mýtem o Prometheovi, oheň hrál na celém světě zásadní ekologickou roli. Množství rostlinných společenstev závisí na charakteristikách požáru a vytváří druhovou rozmanitost jak v čase, tak v prostoru. Bez ohně by se mnohé současné ekosystémy staly sterilními monokulturami. Nedávné snahy o potlačení požárů ve společenstvech závislých na požáru přispěly k následným intenzivnějším a škodlivým požárům. Z těchto důvodů mají lesníci, ekologové, pozemní manažeři, geografové a vědci v oblasti ochrany životního prostředí zájem o udržitelný požárový režim.

Lesní a pozemní požáry nejsou pro krajinu jihovýchodní Asie nové. Příčiny silného zakalení atmosféry zplodinami požárů jsou také výsledkem načasování požárů a některé ekosystémy přizpůsobené požáru mohou záviset na přetrvávajícím požáru. Efektivní řízení požáru je téměř nemožné, aniž by docházelo k intenzivnímu zapojení výzkumu a praktickému vyjednávání se všemi zúčastněnými stranami při důkladném prozkoumání celé škály možností správy půdy a požárů. Vyjednávání, kompenzace a kompromisy jsou téměř jistě nevyhnutelné (Murdiyarso et al. 2007).

Platí, že jehličnaté lesy se ukazují být náchylnější k hoření a požáry mají vzrůstající tendenci v porovnání s listnatými lesy (Li et al. 2000). Globální boreální lesní oblast zaznamenala v roce 1998 zhruba 17,9 milionů hektarů požárů, což může být nejvyšší úroveň desetiletí (Kasischke et al. 2002). Zdejší emise lesních požárů za tento rok byly odhadnuty na 290–383 Tg celkového uhlíku. Ruské požáry představovaly 71 % celkových emisí (French et al. 2004). Dokonce existují významné náznaky, že oficiálně hlášené rozsahy požářišť v Rusku jsou výrazně podhodnoceny (Wotawa et al. 2001).

Kolem 5–20 milionů hektarů boreálního lesa je každoročně likvidováno, hlavně v Rusku a Severní Americe. Existují však zprávy o významných rozdílech v převládajícím typu požáru mezi těmito regiony, které mohou mít významný dopad na celkové emise uhlíku, plynů a aerosolů. Výsledky podporují tvrzení o konzistentním rozdílu v intenzitě požáru a průměrné spotřebě spalitelné biomasy v Rusku a Severní Americe v důsledku rozdílů v dominantním typu požáru. Severoamerické požáry mají vyšší průměrné intenzity, které se zvyšují v poměru k procentnímu zastoupení stromů, charakteristiky ukazující pravděpodobnou dominanci korunního požáru. Ruské požáry mají nižší střední intenzitu, nezávisle na procentu pokrytí stromů, což jsou charakteristiky, které více ukazují na

povrchovou aktivitu hoření. Na jednotku spálené plochy výsledky naznačují, že ruské požáry mohou spotřebovat méně biomasy a produkují menší intenzitu znečištění atmosféry než v Severní Americe (Wooster et al. 2004).

Analýza boreálního lesního požáru zahrnuje sledování účinků skleníkových plynů, aerosolů, ukládání tmavých uhlíků na sněhu a mořském ledu a změny v intenzitě albeda povrchů. Tento výsledek znamená, že budoucí zvýšení ohně v boreální zóně nemusí zrychlit oteplování klimatu (Randerson et al. 2006).

Z pohledu fyziky jsou aplikovány časté poznatky v interpretaci dat o výskytu uhlíků. Požáry okolo jezer často nekorespondují se záznamy o křivkách z fosilního zuhelnatělého dřeva. Místní požáry, kde nedocházelo k častým požárům, vykazují stejné množství dřevěných uhlíků jako místa, kde vznikaly požáry častěji. Kvantitativní teorie zabývající se oblastí zdroje, transportu, ukládání a odběru uhlíků pro analýzy vykazují vztah mezi velikostí částic počítaných za pomoci alternativních metod analýzy a kvantitativními diagramy koncentrací uhlíků (Clark 1998).

Lesními požáry byly typické pro podstatnou část holocénu, jak ukazuje studie vysvětlující výskyt tzv. nížinné tajgy v regionu Dokeska na severu ČR (Novák et al. 2012). Nasvědčuje tomu vysoký obsah uhlíků v půdních profilech. Rozhodující faktor, který udržoval borové lesy s cyklickou posloupností, byl rekurentní (opakující se) požár. Přínos člověka k výskytu přírodních příčin požáru nelze snadno hodnotit. Paleontologická data odhalila prevalenci borovice v lokální vegetaci v časnější fázi holocénu. Z toho vyplývá, že v ekosystému zdejší nížinné tajgy dominuje borovice, protože tento stav zde existoval v podstatě během celého holocénu (Novák et al. 2012).

Satelitní snímky Země ukazují, jakou důležitou roli sehrály v současné době požáry. Obzvláště to platí pro tropické a subtropické oblasti. Vypalování se stalo běžnou součástí zemědělské praxe. Krátkodobá pozorování odhalují pouze část požárové dynamiky, za jejíž vznik je odpovědný člověk (tj. antropogenní příčina požárů). Na Zemi existují typy prostředí, kde se požáry objevují pravidelně, ale s delším časovým měřítkem (v desetiletých, spíše staletých cyklech). Jedná se o prostředí severské jehličnaté tajgy s tropicky opadavými lesy, savany a biom středomořských stálezelených lesů a jejich ekvivalentů jinde ve světě. Požárová dynamika se dlouhodobě vyhodnocuje výzkumem hodně dlouhých záznamů, a to tak dlouhých, aby pokryly časové úseky nejen celých staletí, ale i tisíciletí. První výzkumy začaly v první polovině 20. století s analýzami stop požáru v letokruzích stromů na

americkém západě a s kvantifikací malých uhlíků v pylových preparátech v evropských jezer a rašeliništ'. Z historického hlediska tyto metody dodnes zůstávají pro výzkum jako stěžejní. Jejich aplikace vytvořila teorie o požárových režimech a požárovém klimaxu. Metody výzkumu se ještě rozšířily o analýzu organických látek (jde o anhydrihy monosacharidů), které se uvolňují z hořící vegetace a jsou ve snadno měřitelném množství, všude ve světě v ledovcových vrtech (Pokorný 2011).

Jmenovaná proxy data se shromažďují v mezinárodních databázích. Umožňují tak nadregionální srovnávání a tím i globální pohled na historii ohně. Díky databázím se odhalily fakta o souvislostech o požárech. Ukazuje se, že v mnoha regionech se v minulosti objevovala frekvence a rozsah požárů daleko překonávající dnešní stav. Dokonce i nejnivnější tropické pralesy někdy zažívaly ničivé požáry a jsou jimi v dlouhodobém měřítku stále ovlivňovány. V celém Středomoří a dále do nitra Přední Asie ovlivnilo letní sucho a následné požáry k šíření uzavřeného lesa, a to po celou starší polovinu holocénu. Ukazuje se, že oheň má na formování života ekosystému naší planety mnohem větší vliv, než jsme si mohli dříve myslet. Podrobná korelace klimatických změn a výskytu požárů se v posledním glaciálu ukazuje, jako období, kde hořelo především v době s vysokou produkcí biomasy (hlavně dřeva) a s teplým a suchým klimatem. Velké množství suchého dřeva nedává příčinu ke vzniku požáru. Viníkem často bývá člověk, blesk či samovznícení hořlavých pryskyřic. Paleoekologické frekvence mikroskopických uhlíků v pylových profilech mohou ukazovat korelaci s lidskou aktivitou, ale není tomu tak ve všech případech. V listnatých lesích v mírném klimatickém pásmu (i ve středoevropském pásmu) je shoda v tom, že většina lesních požárů vznikla s přičiněním člověka. V Evropě je mnoho příkladů korelace mezi výskytem mikroskopických uhlíků i s přítomností antropogenních pylových indikátorů v sedimentárních záznamech (Clark, Robinson 1993).

Moderní etnografické analogie poukazují, že než konkrétní fosilní doklady, vedly některé z prvních evropských paleobotaniků k historickému žárovému zemědělství. Jádrem této teorie je všeobecná nadvláda lesa. Pravěká pole se rychle vyčerpávala, zarůstala nevykořenitelným plevelem, a proto musela být neustále přesouvána z místa na místo. Tím se mezitím opustila orná půda, která byla ponechána přirozené sukcesi směrem k lesu. Nová pole se zakládala buď místo primárního lesa, nebo na starších, zarostlých polích. Oheň se stal prostředkem k dobývání nových zemědělských ploch. Selo se ještě do čerstvého popela, pro obsah živin ze spálené biomasy (Clark et al. 1989).

Žárové zemědělství se stalo často zpochybňovanou teorií, dnes se došlo k závěru, že žárové zemědělství je minimálně pro středo- a západoevropské podmínky irelevantním hospodářským modelem. Nic se nemění na tom, že se dlouhodobě vypalovalo. Oheň je jedním z faktorů, který přispěl k formování lesů s převahou konkurenčně slabými, ale na požáry celkem dobře adaptovanými dřevinami – borovice a dub (Pokorný 2011).

8.1. Druhy požárů

Lesní požár je nežádoucí a nekontrolované hoření, které vznikne a šíří se v lese nebo vznikne mimo les a rozšíří se do lesa, který má minimální plochu 0,5 ha a kde korunový zápoj korun stromů tvoří alespoň 10 %, resp. 5 %. V případě, když dojde k vyhoření celého lesa, se zdá těžké rozhodnout o těchto parametrech. V lesnické praxi by se měly používat tři druhy požárů: pozemní, podzemní a korunový. V zahraniční literatuře se lesní požáry dělí na tři základní druhy a to na podzemní požár (*ground fire*), pozemní požár (*surface fire*) a požár korunový (*crown fire*) (Roy 2003; Natural resources Canada 2016). Vzhledem k tomu, že dělení je již tradiční i na území České republiky, je analogické u profesionálních hasičů (Metodický list č. 21p, 2001) je tedy vhodné rozlišovat tři druhy požárů.

Pozemní požár je takový požár, při kterém dochází v lese k zapálení půdního krytu (Roy 2003; Thomas, McAlpine 2010). Tento druh požáru se ve střední Evropě vyskytuje nejčastěji (Krakovský 2004), stejně tak v asijských zemích (Roy 2003). Thomas, McAlpine (2010) uvádějí, že většina lesních požárů začíná a končí pozemním požárem. Zdrojem požáru, bývá nejčastěji suchá tráva, opadané listí, suché jehličí a kůra, ležící větve, nízké stromy, nárosty, kmeny a suché dřevo (Krakovský 2004; Franc 2007; Thomas, McAlpine 2010). Výška plamene závisí na zdroji hoření. Jestliže hoří hustá tráva (*Nardus* sp.), kostřava (*Festuca* sp.) nebo hrabanka bez přítomnosti klestu a větví, výška plamene dosahuje 0,05–0,5 m, je-li zasaženo borůvčí, brusinka nebo třtina, jsou plameny vysoké 0,6–1,5 m. Plameny v jehličnatém podrostu v kmenovině nebo kumulovaném těžebním odpadu dosahují výšky 2–4 m (Něstěrov 1949). Šíření pozemního požáru závisí převážně na rychlosti větru (Roy 2003). Něstěrov (1949) dělí pozemní lesní požár na dvě kategorie a to letný pozemní požár a vytrvalý pozemní požár. Letný pozemní požár vzniká především v jarním a letním období. Rychlost šíření letného pozemního požáru se pohybuje v hodnotách menších než 0,5 m.min⁻¹.

Požáry se dělí podle rychlosti větru na slabé (rychlost $< 1 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), střední ($1\text{--}3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) a silné ($> 3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). Pozemní požáry lze rozlišit výškou plamene jako slabé požáry (plamen $< 0,5 \text{ m}$), střední ($0,5\text{--}1,5 \text{ m}$) a silné $> 1,5 \text{ m}$ (Krakovský 2004).

Pozemní požáry nejsou pro přírodu i člověka tak nebezpečné, když suchá tráva a spodní části kmenů dřevin neposkytují velké množství hořlavého materiálu pro vytvoření velkého požáru (Pfeffer 1961). Mezi pozemní požáry se řadí vyhořelé kultury a výsadby, protože při korunovém požáru obecně platí, že se oheň zapálí větve (Metodický list č. 21p, 2001). Tento stav většinou nastává až od porostního stadia mlaziny, kdy je na stromech již viditelně odlišena korunová část (Simon, Vacek 2008).

Korunový požár je nejnebezpečnějším druhem lesního požáru (Metodický list č. 21p, 2001). Hlavní nebezpečí spočívá v jeho velmi rychlém šíření a těžké zvládatelnosti (Alexander, Lanoville 1989; Krakovský 2004). Ke vznícení dochází v porostech, kde rostou hluboko zavětvené stromy a v podrostu je vysoká buřeň, keře, mlaziny nebo další nárost. Vyskytuje se na kraji porostů nebo v porostech s přirozeným zmlazením či v tyčovinách (Kunt 1967; Roy 2003). Forma korunového požáru je závislá na složení porostů a intenzitě hoření. Pokud v korunách stromů vzplanou drobné větévky, dochází k vytvoření ohňového valu přesahujícího výškou 30 m tzv. vysoký požár (Metodický list č. 21p, 2001). Korunový požár se velmi rychle šíří porostem ($> 10 \text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$) a je extrémně nebezpečný. Tento typ požáru je označován jako náhlý korunový požár se zpravidla velmi krátkým trváním (Thomas, McAlpine 2010). Při tomto požáru se uvolňuje velmi vysoká tepelná energie ale, hoří při tomto požáru pouze olistění a větve velmi malých rozměrů (Thomas, McAlpine 2010). Postup hoření tohoto korunového požáru je ve vlnách (Krakovský 2004). V prořídlech starších porostech vzniká vytrvalý korunový požár, kdy hoří drobné větvičky i silnější větve a ze zasažených stromů zůstávají ohořelé pahýly se zuhelnatělou kůrou. Šíření tohoto požáru je pomalé ($5\text{--}8 \text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$; Něstěrov 1949), pozvolně přecházející v korunách. Při korunovém požáru dochází rovněž k vypálení hrabanky až na minerální půdu a ke vznícení kořenů a pařezů (Pfeffer 1961). Ačkoli se jedná o požár celého porostu, protože hoří celá řada nadzemních složek lesa, je tento typ požáru označen za korunový. Počátek korunového požáru je závislý na dvou faktorech. Prvním faktorem je intenzita pozemního požáru a množství vyprodukovaného tepla, které přenosem do korun vysouší olistění a vytváří další hořlavý materiál. Druhým faktorem je výška nasazení koruny stromů. Když je výška nasazení koruny poměrně nízká, dochází ke vznícení dostatečně vysušeného materiálu

a vzniká náhlý korunový požár (Thomas, McAlpine 2010). Pouze vzrostlé, staré stromy s vysoce nasazenou korunou a velmi silnou borkou odolávají korunovému požáru (Mařáková 2012) nebo stejnorodé porosty severoamerických sekvojí, které byly v mládí zasaženy opakovaně požáry (Weatherspoon 1990). Korunové požáry nejsou příliš časté, ale zasahují velké plochy. Největším nebezpečím jsou v oblastech s řídkým osídlením a s extenzivním lesním hospodářstvím (Pfeffer 1961). Je velmi složité korunový požár zdolávat pomocí normálních hasičských technik, proto je jeho zdolání nejčastěji závislé na změně počasí, množství hořlavé hmoty nebo topografii požářiště (Thomas, McAlpine 2010).

Korunní požáry převládají v boreálním lese ze dvou obecných důvodů.

Výskyt určitých středních troposférických povětrnostních podmínek, které způsobují jak extrémní vysušení biomasy, tak i konvektivní bouře, které vytvářejí blesky.

Struktura a uspořádání biomasy (kontinuální baldachýn převážně jehličí uspořádaného na mnoha malých větvích), které podporují plamenné žebříky a aktivní šíření korunových požárů. Ve střední šířce atmosféry dominuje západní proudění vzduchu. Příležitostně tento tok vychází z vysokotlakých systémů, které trvají déle než 8 dní. Tyto troposférické vzorce se často nazývají blokové systémy, protože zabraňují normálnímu střídání západoevropského pohybu oblastí s vysokým a nízkým tlakem v regionu, odklonění toku na sever nebo na jih. Protože přetrvávající tlakové výše vedou k jasnému počasí a vysokým teplotám na jaře a v létě, jsou spojeny s rychlým vysycháním. Tyto blokující výšky jsou výsledkem neúplných atmosférických procesů, ale některé mají velmi charakteristické vzory (Burton et al. 2003).

Podzemní požár se většinou vyskytuje v místech s vysokou akumulací surového humusu, v ložiscích rašeliny, aktivního vápence (Roy 2003; Krakovský 2004). Podzemní požár na rašelinách často prostupuje i do spodních vrstev (Francel 2007), kde se zastavuje až na hranici minerálního podloží (Thomas, McAlpine 2010). Podzemní požár se šíří podél doutnajících kořenů zbylých pařezů, ve žhnoucí rašelině dochází k poškození kořenů zdravých stromů, u nichž se zvyšuje stabilita, možnost vývratu i úhynu. Podzemní požár nevytváří skoro žádný plamen (Roy 2003). Teplota podzemní požáru vystupuje pouze na 300 °C (Zanon et al. 2008), což je výrazné odlišení od ostatních druhů lesních požárů. Lokalizovat podzemní požár je velmi složité, důležitou pomocí je přítomnost nepřítis hustého dýmu vycházejícího kolem kořenů a pařezů (Thomas, McAlpine 2010), nebo lze využít termokamery (Calle et al. 2006). Podzemní požár nebývá často obvyklý, ani příliš rozsáhlý. Frekvence výskytu požáru je podmíněna průběhem suchého letního počasí, kdy dostatečně

vyschnou vrstvy rašeliny (Francl 2007). Tento druh požáru bývá velmi vytrvalý a může hořet týdny i měsíce (Kunt 1967), v méně přístupných oblastech dokonce i roky (Thomas, McAlpine 2010). Je to nebezpečný požár, který může relativně snadno přejít do požáru pozemního. Šíření je velmi pomalé, dosahuje maximálně několik milimetrů až centimetrů za hodinu (Zanon et al. 2008). Rychlost podzemního požáru nepřesahuje 2 až 5 m za den (Kra-kovský 2004; Zanon et al. 2008). Podzemní požár může hořet a šířit se i pod sněhovou pokrývkou (Thomas, McAlpine 2010).

9. Vývoj vegetace podle pylových záznamů

Pro území České republiky je k dispozici ve výzkumu celkem devatenáct pylových záznamů, kde je popsán dlouhodobý vývoj vegetace s dostatečnou chronologickou přesností. Ovšem je zde nerovnoměrnost v prostorovém rozložení těchto lokalit. Největší absence je v oblastech „sekundární ekumena“. Tato území se přitom podle archeologických nálezů předpokládá, že zde proběhl nejdramatičtější vývoj, který se vyznačuje „kolapsovou“ dynamikou. Pozornost by se měla soustředit do opomenutých regionů (Pokorný 2011).

V období starším než 200 let před n. l. (počátek doby bronzové) byl vliv člověka natolik minimální, že ho pylové analýzy nejsou schopny reflektovat. Dokonce i pro primární ekumen platí, že většina krajiny byla zalesněná. Z tohoto důvodu se nedá z pylových dat vyvozovat žádné závěry o antropogenní vegetační dynamice v průběhu neolitu a eneolitu. V době bronzové se již vyskytují pylové profily lokalizovaných v primární ekumene rozvoj kulturní krajiny je spojený s odlesňováním a se šířením synantropní vegetace. Tento stav však není setrvalý, proto dochází k návratu k přírodnějšímu stavu a k zalesňování (Pokorný 2011).

V době železné je období absolutního pravěkého maxima osídlení. Expanze kulturní krajiny je ve větším rozsahu. Týká se to nejen primárních ekumenů, ale i prvně některých lokalit, ležících na oscilující periférii. V prvním století našeho letopočtu, v době římské, dochází ke stěhování národů. Dochází tak k návratu k přírodnějšímu stavu. V raném středověku narůstá vliv lidí na vegetaci. Po roce 100 n. l. na prahu vrcholného středověku vývoj kulminuje. Odlesnění a rozvoj kulturní krajiny se poprvé týká většiny sledovaných lokalit (Pokorný 2011).

Na základě pylových analýz se dostáváme k tomu, že vrcholně středověká proměna opravdu znamenala nesmírně hluboký zásah do přírodního vývoje na celém území České republiky. Platí to nejen pro nově kolonizovaná území („pravěké divočiny“), ale i pro primární ekumenu, která se více méně jeví jako zalesněná pro celý zemědělský pravěk. Pravěká kulturní krajina je pestrou mozaikou přírodních a antropogenních biotopů. Vesnice s poli a pastvinami byly prostorově omezené s poměrně stabilní enklávou uvnitř přírodních, převážně lesnatých celků. Pro pravěkou ekonomiku byly lesy nesmírně důležité, a to nejen jako zdroj palivového dříví, ale i jako krmivo pro dobytek a jako prostor pro lesní pastvu (Pokorný 2011).

10. Antrakologie

Přirozenost je pojem, který je důležitý pro koncepci lesního udržitelného hospodaření a biologické ochrany. Stupeň přirozenosti v lesním systému je vyhodnocována na základě nejen ekologického lesnictví, ale také pomocí relativně krátkých časových rozlišení (např. dendroekologická indikace). Současný stav ekologických systémů má výsledek v procesu, kde se vyskytují ve vzájemném působení různých hierarchických propojených nejen prostorových ale i časových měřítkách, je zde zahrnuto dlouhodobé rozlišení (např. Stupnice holocénu). V konečném důsledku je potřeba posoudit stupeň přirozenosti ekologických systémů, ale je i důležité zohlednit různé časové a prostorové stupnice. Důležitý je paleoekologický přístup (např. palynologie), ale i přítomnost archivních míst příznivých pro poskytnutí paleoekologických proxy, protože jsou to omezující faktory. Pedoantrakologie zkoumá dynamiku lesa v místním prostorovém měřítku (potenciálně všude a pro delší časové rozlišení; Robin et al. 2013).

Antrakologické analýzy jsou jednou ze základních archeobotanických metod. Antrakologie je analytická metoda, která zkoumá uhlíky pomocí mikroskopickými metodami dendrologie. Výsledkem jsou informace, které pojednávají o složení stromového patra zaniklé vegetace v prostoru prehistorického nebo historického sídelního areálu. Dále jsou to informace o charakteru archeologické vrstvy, výplně nebo objektu. Archeologie a paleoekologie využívá také analýzy nespálených dřevin. Řídí se podobnou, za to specifickou metodologií. Odpovědi na archeologické, archeobotanické a paleoekologické otázky jsou důvodem k získávání xylotomických a antrakologických dat. Míra zapojení dřevin, taxonomická struktura dřevin, ovlivnění stromového patra vegetace člověkem vysvětluje řadu procesů, kterými jsou hospodaření s palivem, prosvětlování lesní vegetace pastvou dobytka, uspořádání sídelních areálů, ale také celkový vývoj krajiny na úrovni mikroregionu. Antrakologické a xylotomické analýzy jsou nejen prospěšné v botanice, kde se zabývají zejména spálenými dřevinami k archeologické problematice, ale také v paleobotanice a paleoekologii, kde skýtají vhodný protipól analýze pylu dřevin. Antrakologická metoda se dále člení na uhlíky jako objekty makrozbytkové analýzy, tedy prostým okem viditelnými fragmenty spálených dřev. Dále je to analýza mikroskopických uhlíků, jež se uplatňuje většinou v paleoekologických studiích. Zde se sleduje kvantita uhlíků v mikroskopických preparátech jako indikátor přirozených a uměle vytvořených požárů (Beneš 2008).

10.1. Antrakologická analýza

Určování taxonů ze zuhelnatělého dřeva je v podstatě stejný proces jako ke sledování souboru anatomických znaků k určování z čerstvého dřeva. Rozdíl se shledá v pozorovatelnosti jednotlivých znaků a tím i použitelnosti u zuhelnatělého materiálu, který prochází různými přeměnami. Uhlíky, které prošly přeměnou spalování, mění celkovou strukturu nenávratně, mění se podoba fragmentace a nastává změna objemu nebo popraskání. Co zůstává rozlišitelné jsou anatomické znaky. Určování uhlíků je proto méně přesné než u čerstvého dřeva, kde probíhá obvykle určování do úrovně rodu, někdy i vyšší skupiny (*Pomoidea*), nebo jako dvojice špatně rozlišitelných rodů (*Salix/Populus*, *Larix/Picea*). Znaky, které určují druhy, sice u uhlíků a některých rodů existují, ale na druhou stránku jsou hůře definované, nebo náročné na techniku pozorování. V případě, že jen jediný zástupce přichází reálně v úvahu, používá se u zástupce určeného druhu i druhové určení (Schweingruber 1990).

Mikroskopické techniky se používají u analýz antrakologických a xylogických. Nejdětalnější a zároveň nejnákladnější technikou pro přípravu preparátů je skenovací elektronová mikroskopie. Výsledky pro determinaci jsou ideální, ale z praktických důvodů se tolik neuvžívají. Další z možností je klasická mikroskopie v procházejícím světle. Pro danou metodu je důležitá příprava tenkých řezů. Postup je takový, že se nejdříve vzorek zalije do fixačního média, např. vosku, epoxidové pryskyřice a následně se s pomocí mikrotonu vytváří jednotlivé řezy (např. Igersheim, Cichocki 1996). Nevýhodou je zdlouhavá příprava a technika u křehkých uhlíků je poněkud náročná (Schweingruber 1990).

Nejpoužívanější metodou z pohledu časové náročnosti a detailnosti obrazu je pozorování čerstvých lomových ploch uhlíků na mikroskopu s odráženým světlem skrz objektiv, označován jako metalografický. Vzhledem k tomu, že jsou uhlíky spíše znečištěné a křehkostí se mohou poškodit, tak je potřeba nalámat vzorek ještě před determinací. Dá se to provést ručně, nebo pomocí žiletky či skalpelu. Nejčastěji používané zvětšení je 50×, 100×, 200× i 500×. Determinační znaky jsou ve třech různých rovinách vzorku, proto se pozorují tři různé roviny řezu a to transversální (příčnou), radiální (podélnou) a tangenciální tečnou (Schweingruber 1978).

Obvykle se postupuje tak, že se nejdříve pozoruje při menším zvětšení (50×) transversální řez, kde je podle struktury možno rozhodnout, zda se jedná o jehličnatý nebo listnatý strom. U jehličnanů se dále pozoruje, zda se v řezu objevuje přítomnost nebo absence pryskyřičných kanálků a u listnáčů se porovnává struktura rozmístění cév. Radiální

řez se používá při zvětšení 100–200×. Důležité znaky jsou nejen u listnáčů, ale i u jehličnanů póry (ztenčeniny), v křížení tracheid a dřevných paprsků, ale i přítomnost spirálovitého vyztužení tracheid nebo cév. U listnáčů je napojení jednotlivých článků cév na sebe, buď jednoduchého napojení, nebo pomocí perforovaných destiček. Dalším klíčovým znakem u listnatých stromů je šířka dřevných paprsků, která se nejlépe pozoruje na tangenciálním řezu, kde se dále dá pozorovat napojení článků cév (Schweingruber 1990).

Taxony se určují podle identifikačních klíčů, nebo pomocí referenční sbírky. Komplikace mohou nastat při určování rozdílnosti zachování jednotlivých kusů uhlíků. Rozdíly jsou v růstu jednotlivých částí stromu, kdy morfologie může být odlišná u části procházejících ze silného kmene stromu oproti tenké koncové větvičky (Schweingruber 1990). Informace o taxonech jsou důležité, ale významné je hlavně zaznamenávat dendrologické údaje. Celková váha uhlíků extrahovaných ze vzorků je takzvaná *anthracomass*. Vyjadřuje se v podobě váhy uhlíků na kilogram vzorku (Carcaillet, Thinon 1996). Mohou se i zařazovat jednotlivé fragmenty do velikostních kategorií podle průměru části stromu (křoviny), a to na základě zakřivení letokruhů (Théry-Parisot et al. 2011). Tyto parametry jsou spolehlivé jen u velikostně větších uhlíků. Drobnější uhlíky mohou u zakřivených letokruhů pravděpodobně procházet pouze z místní nepravidelnosti růstu, nebo mohou být prakticky nepostihnutelné. Často zaznamenaným údajem je šířka jednotlivých letokruhů (Dufraisse 2006). Jedná se o roční přírůst daného stromu. Změny mohou poukazovat na změnu managementu (Schwarz, Oegg 2013). Radiální praskliny se v uhlíkách mohou lišit a tím se může odlišit, zda bylo dřevo spáleno mrtvé, čerstvě skácené nebo živé (Théry-Parisot, Henry 2012). Pro přesnost ohledně stavu spáleného dřeva může přispět i zaznamenání přítomnosti houbových hyf nebo požerků hmyzu (Marguerie, Hunot 2007).

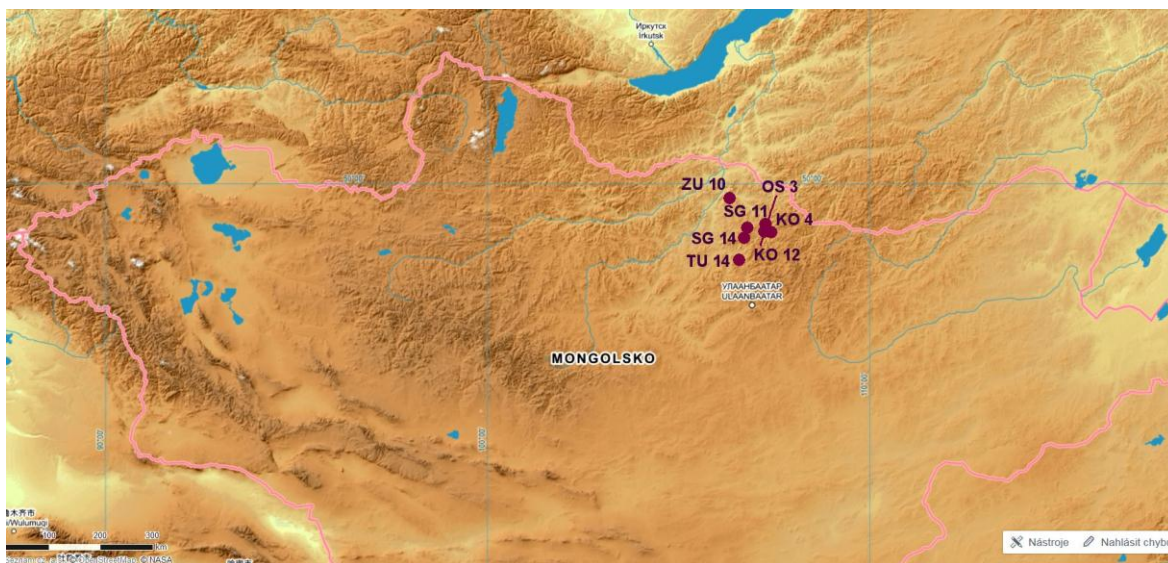
11. Metodika

11.1 Studijní oblast

Extrémně důležitou součástí mongolské převážně aridní krajiny jsou horské oblasti, které generují vodu, která představuje zásadní zdroj pro přežití rostlinných a živočišných druhů včetně člověka (Sharkhuu 2003). V severních horských oblastech Mongolska je krajina z většinou pokryta lesy. Převažují zde lesy subboreální někdy označované také jako hemiboreální (Ermakov et al. 2000), protože v centrální a v severní části masivu Khaan Khentii je zvýšené zastoupení lesů boreálních, resp. tmavé tajgy (např. Muehlenberg et al. 2011). Mezi 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 (označované také jako světlá tajga, Muehlenberg et al., 2011), s nízkou pokryvností stromového patra a s druhově velmi bohatým podrostem. K nejbohatším lesům mírného pásma z hlediska diverzity cévnatých rostlin vztažených na jednotku plochy patří hemiboreální lesy (Chtrý et al. 2012). Mozaika hemiboreálních lesů představuje široké aluvie velkých řek a expozičních lesostepí v geomorfologicky členitých oblastech horských pohoří je místem s největší biodiverzitou v Mongolsku (Muehlenberg et al., 2011). Nejvíce můžeme tento fenomén spatřit v pohoří Khaan Khentii.

11.1.1 Geomorfologie

Studijní oblast se nachází v severozápadní části pohoří Khaan Khentii. Západní část této horské oblasti leží ve vegetačně-geomorfologické formaci Daurian-Mongolian forest mountain steppe, subprovincii Orkhon-Selenge a východní část se nachází v provincii Khentii mountain taiga. Nejnížší polohy této lokality leží ve výškách okolo 650–700 m n. m. v oblasti stepí a nejvyšší polohy dosahují výšky 1850 m n. m. (je to oblast nazývaná tmavá tajga se smrkem, jedlí a borovicí sibiřskou neboli kedrem). Většinu studijní oblasti (800–1200 m n. m.) zaujímají pahorkatiny, které pokrývá lesostep a světlá tajga, kterou tvoří zejména borovice lesní, modřín sibiřský a bříza mandžuská (Muehlenberg et al. 2011).



Obr. 1: Situační mapka studované oblasti se zakreslením poloh zkoumaných sond v pohoří Khann Khentii v severním Mongolsku.

11.1.2 Hydrografie

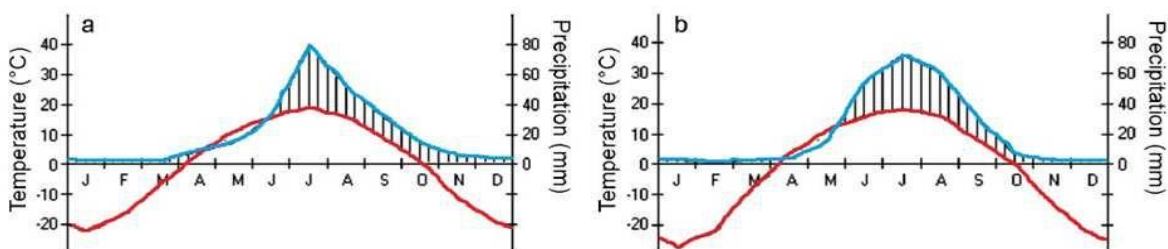
Studijní oblast leží v úmoří Severního ledového oceánu. Tato oblast je odvodňována řekou Selengou, která je nejvodnatějším zdrojem jezera Bajkal. Do této řeky jsou vody zájmové oblasti přiváděny řekou Orkhon a hlavními svodnicemi řekami Eröo a Sharyn Gol. Geologická struktura pohoří a jeho klimatické podmínky podporují výskyt vysokohorských mokřadů, slatinišť a rašelinišť, které jsou včetně trvale zmrzlé půdy (permafrostu) hlavním zdrojem vody pro navazující stepní krajinu.

11.1.3 Klima

Studijní oblast patří k nejvlhčím a nejstudenějším oblastem Mongolska. Působí zde sibiřské klima s boreální tajgou a nastupuje stepní klima, které přechází do pouštní oblasti Gobi. Zájmová oblast se tak nachází na přechodu chladného boreálního klimatu do klimatu suchého stepního (Mühlenberg et al. 2011). Je zde typicky kontinentální klima s velkými rozdíly mezi létem a zimou, krátkým jarem a podzimem. Tuhé zimy mají za důsledek pozdní nástup jara a poměrně krátkou vegetační dobu. Extrémní klima v regionálním měřítku je umocňováno topografií terénu, tedy mezoklimatem (např. Hais et al. 2016). Nejvíce je tento fenomén patrný na prudších severně a jižně orientovaných svazích, kdy je na jižním svahu často vyvinuta expoziční lesostep až step s mělkou suchou půdou a silným kolísáním teplot během dne. Naproti tomu na vlhkostně přijatelnějších severních svazích jsou zapojené lesní

porosty s hlubokou půdou a rovnoměrnějším chodem teplot během dne. V Mongolsku je velký problém získat reprezentativní klimatická data, která by detailně charakterizovala průběh klimatu (Kusbach et al. 2008).

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. 2; Dulamsuren et al. 2005).



Obr. 2. Klimadiagramy meteorologických stanic v zájmové oblasti: a) Bugant (období 1988–2009, cca 800 m n.m., 49°25'36"N, 107°16'57"E); b) Eröo (období 1961–2009, cca 700 m n. m., 49°44'33"N, 106°40'03"E). Červená linie ukazují průměrnou teplotu a modrá linie znázorňuje průměrné měsíční srážky.

11.1.4 Geologie a pedologie

Jedná se o geologicky velmi staré pohoří, které je tvořeno hlubinnými plutonickými horninami z velké části prvohorního stáří. Tyto horniny jsou převážně přeměněny, v severozápadní lesostepní části jsou překryty čtvrtohorními překryvy různého druhu a to převážně sprašemi a sprašovými hlínami a vátými písky. V údolích menších toků a řek docházelo k čtvrtohorní sedimentaci a tvorbě organických půd, slatinišť a rašelinšť (Geologická mapa Mongolska, 1998).

11.2 Práce v terénu

Celkem bylo provedeno 7 půdních sond pro pedoatraccologickou analýzu v severní části Mongolska. Profily byly schromážděny podél nadmořské výšky od 807–1483 m n. m. Na všech lokalitách byly vykopány půdní profily a v analogické terenní situaci byla zvolena poloha profilů se sklonem 5–22 %. Půdní profily byly vykopány 1,5 m dlouhé a byly

rozšířeny směrem dolů k podloží. Každý vzorek půdy byl tvořen z 10 litrů jemnozrné půdy. Ze sklaního podloží směrem k povrchu půdy byly odebrány vzorky půdy po půdních horizontech v místních podmínkách. Antracologické vzorky byly nejčastěji rozděleny na vrstvy o tloušce 10 cm. Půdní horizonty byly popsány na základě "Světové referenční základny pro půdní zdroj" (FAO 2006). Klimatická data byla stažena ze serveru www.worldclim.com, velikost pixelu ca 1 km. Data mi byla poskytnuta Ing. Antonínem Kusbachem (Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita Brno).

11.3 Analýza uhlíků

Extrakce fragmentů uhlíků se provádí standartním mokrým proséváním za mokra za použití stupňovitých sít s velikostí ok 1 mm. Vzorky byly vysušeny a uhlíky byly vybrány z prose- tých frakcí. Nejmenší velikost uhlíků, které bylo možno analyzovat byly od 1 mm. Uhlíky byly identifikovány jako druhy/rody pomocí referenční sbírky a standartních anatomických klíčů (Gregus 1972; Schweingruber 1978) za použití stereomikroskopu odrážející světlo (Olympus BO 71 SZH 10) s kontinuálním zvětšením max. 70×.

Analýza uhlíků byla provedena pomocí standartní metodiky (Schweingruber 1990). Byla provedena pomocí skalpelu, determinační znaky byly sledovány ve třech různých rovinách vzorku, proto byly provedeny tři různé roviny řezu, a to transversální (příčnou), radiální (podélnou) a tangenciální tečnou.

Jednotlivé taxony byly zváženy s přesností na 0,0001 g a půdní antrakomasa (mg uhlíku na kg půdy; Talon et al., 1998) byl stanoven z uhlíků větší než 1 mm. Výsledné hodnoty byly zobrazeny pomocí programu Tilia v. 1.7.16 (Grimm 2011).

11.4 Statistické metody

Pro zjištění vazby mezi druhovou skladbou uhlíků a proměnnými prostředí (půda, nadmořská výška, klimatické podmínky) byla použita mnohorozměrná statistická analýza v programu Canoco v. 5 (Šmilauer, Lepš 2014). Také antrakomasa byla testována jako proměná prostředí ovlivňující druhovou skladbu. Pro všechny ordinace byla použita logaritmická transformace procentních dat a centrování podle druhů. Byla použita DCA analýza vzhledem k tomu, že délka gradientu byla 5,57 jednotek směrodatné odchylky.

12. Výsledky

Celkově bylo provedeno 2057 taxonomických určení a bylo zjištěno těchto deset taxonů: *Abies* sp., *Betula* sp., *Caragana* sp., *Ericaceae*, *Picea/Larix*, *Pinus cembra* sp., *Pinus sylvestris*, *Populus* sp., *Rhododendron* sp., *Ulmus* sp.

12.1 Vzájemné srovnání antrakologických výsledků sond

Sonda SG 11

Tato sonda byla provedena vzhledem k přítomnosti modřínu, který je v tomto regionu relativně vzácný. Pozice této sondy je 49°14'35" N, 106°44'27" E, v nadmořské výšce 1214 m n. m. Jednalo se o středně prudký svah se sklonem 12 stupňů, který měl orientaci severoseverovýchod (20°). Terén představoval středně prudký svah, střední část, stinný porost. Půdním typem byla eutrofní skeletovitá kambizem. Opad byl hluboký 9 cm, horizont A měl mocnost 8–15 cm, horizont B byl mocný 15–35 cm, horizont B/Cr byl mocný 35–50 cm, Cr 50 +. Druhovou skladbu zastupoval modřín se zastoupením 10 %, bříza se zastoupením 5 %, borovice se zastoupením 3 %. Tato sonda představovala mezoklimatické refugium modřínu.

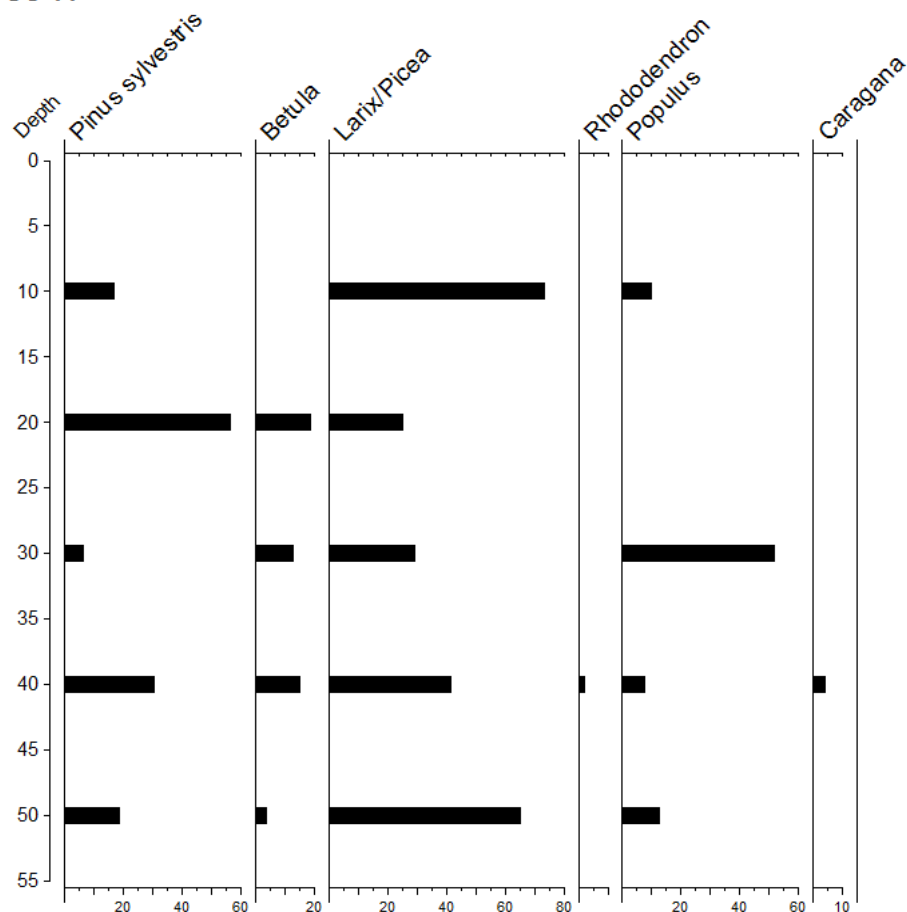
Srážky: podzim 16 mm, zima 3,0 mm, jaro 10,0 mm, léto 74,3 mm, suma ročních srážek 310 mm.

Teplota: podzim -3,97 °C, zima -23,80 °C, jaro -2,31 léto 16,53 °C, roční průměrná teplota -2,05 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/1425,4 mg/kg, 20/868,5 mg/kg, 30/243 mg/kg, 40/27 mg/kg, 50/48,1 mg/kg.

Celkově bylo určeno 226 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 55 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Rhododendron*, *Populus*, *Caragana*. Nejvíce byl zastoupen *Larix/Picea* a to v celém období. Dále byla hojně zastoupena *Pinus sylvestris* ve vrstvě 20 cm a *Populus* ve vrstvě 30 cm. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 10 cm, a to 540 mg/kg a nejméně v 40 cm, kde dosahovala 27 mg/kg.

SG 11



Obr. 3: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.

Sonda SG 14

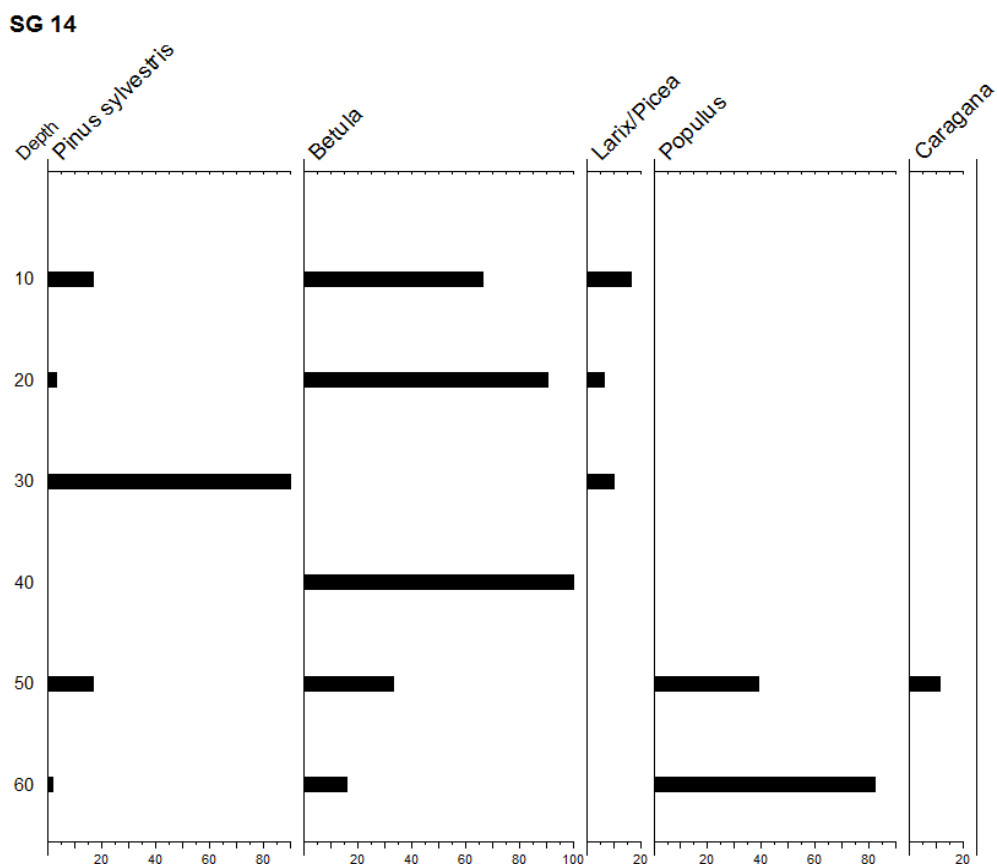
Tato sonda byla provedena vzhledem přítomnosti břízy. Pozice této sondy je 49°04'01" N, 106°40'12" E, v nadmořské výšce 1483 m n. m., orientace byla 10 se sklonem 8 stupňů. Jednalo se o mírný svah se sklonem 8 stupňů, který měl orientaci severoseverovýchod (10°). Terén představoval mírný svah, střední část. Půdním typem byla skeletovitá modální luvi-zem. Opad byl hluboký 6 cm až 6–19 cm, horizont E byl mocný 19–30 cm, horizont Bt byl mocný 30–45 cm, horizont BtCr byl mocný 45–70. Druhovou skladbu zastupovala bříza se zastoupením 21 % a borovice se zastoupením 1 %. Tato sonda byla vykopána v březovém komplexu, které vznikly vytěžením borovice.

Srážky: podzim 17 mm, zima 3,3 mm, jaro 11,7 mm, léto 77,3 mm, suma ročních srážek 328 mm.

Teplota: podzim -7,5 °C, zima -23,73 °C, jaro -3,02 léto 15,20 °C, roční -2,85 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/99 mg/kg, 20/340,4 mg/kg, 30/464,7 mg/kg, 40/152,7 mg/kg, 50/7,4 mg/kg, 60/21,2 mg/kg.

Celkově bylo určeno 373 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 60 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Populus* a *Caragana*. Nejvíce byla zastoupena *Betula* a to ve všech zastoupených vrstvách, kromě vrstvy v 30 cm. Dále byla hojně zastoupena *Pinus sylvestris* ve vrstvě 30 cm a *Populus* ve vrstvách 50 a 60 cm. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot ve vrstvě 30 cm 464,7 mg/kg a nejméně v 50 cm, kde dosahovala 7,4 mg/kg.



Obr. 4: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.

Sonda KO 4

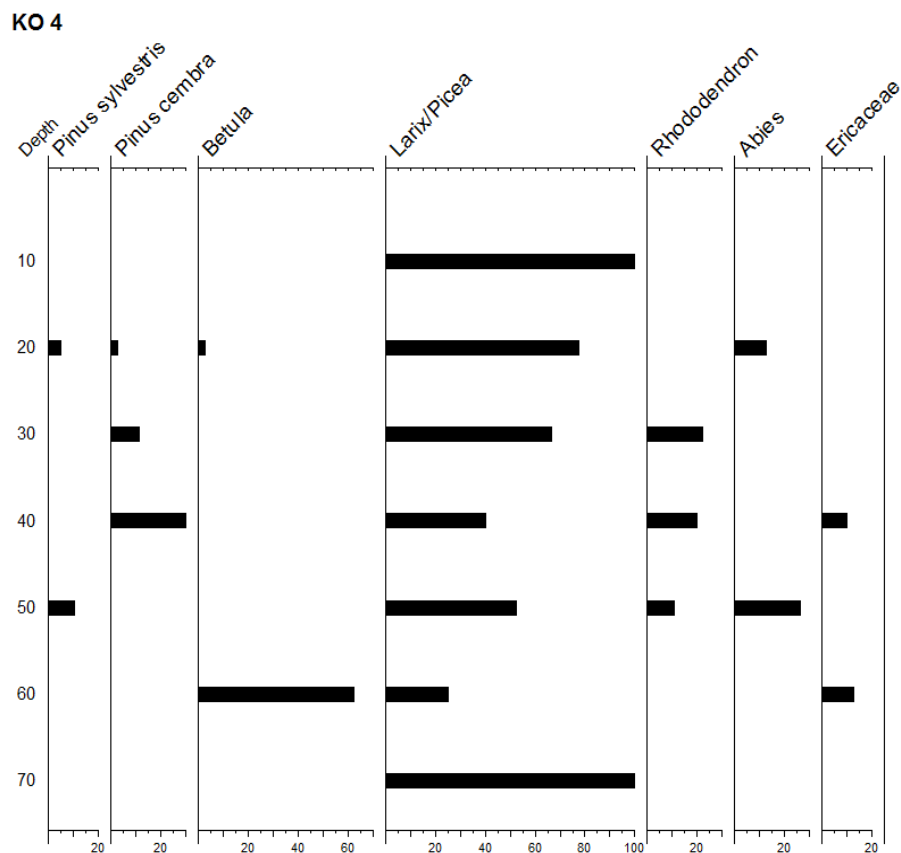
Tato sonda byla provedena vzhledem přítomnosti modřínu, který je v tomto regionu relativně vzácný. Pozice této sondy je 49°07'15" N, 107°25'40" E, v nadmořské výšce 967 m n. m. Jednalo se o zvlněné deluvium nad řekou se sklonem 5 stupňů, který měl jihozápadní orientaci (230°). Půdním typem byla luvická hnědozem. Půda byla tvořena horizonty Drn H, který byl mocný 5,5 cm, horizont A byl mocný 30 cm, horizont E byl mocný 58 cm, horizont Bt byl mocný 73 cm, horizont C byl mocný 95 cm. Druhovou skladbu zastupoval modřín se zastoupením 17,5 %. Byly zde nalezeny významné makrouhlíky v horizontu H, který se vytvořil po katastrofickém požáru, tento požár vznikl v roce 2006.

Srážky: podzim 15,3 mm, zima 2,7 mm, jaro 9,0 mm, léto 72,7 mm, suma ročních srážek 299 mm.

Teplota: podzim -0,17 °C, zima -22,77 °C, jaro -1,88 léto 17,27 °C, roční průměrná teplota -1,24 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/734,8 mg/kg, 20/10,9 mg/kg, 30/2,3 mg/kg, 40/3,8 mg/kg, 50/6,9 mg/kg, 60/3,1 mg/kg, 70/8,3 mg/kg.

Celkově bylo určeno 156 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 70 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Rhododendron*, *Abies* a *Ericaceae*. Nejvíce byl zastoupen *Larix/Picea* a to ve všech zastoupených vrstvách. Dále byla hojně zastoupena *Betula* ve vrstvě 60 cm. Ostatní druhy byly zastoupeny ve vrstvách od 20 do 60 cm. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 10 cm 734,8 mg/kg a nejméně v horní vrstvě 30 cm, kde dosahovala 72,3 mg/kg.



Obr. 5: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologického diagramu.

Sonda KO 12

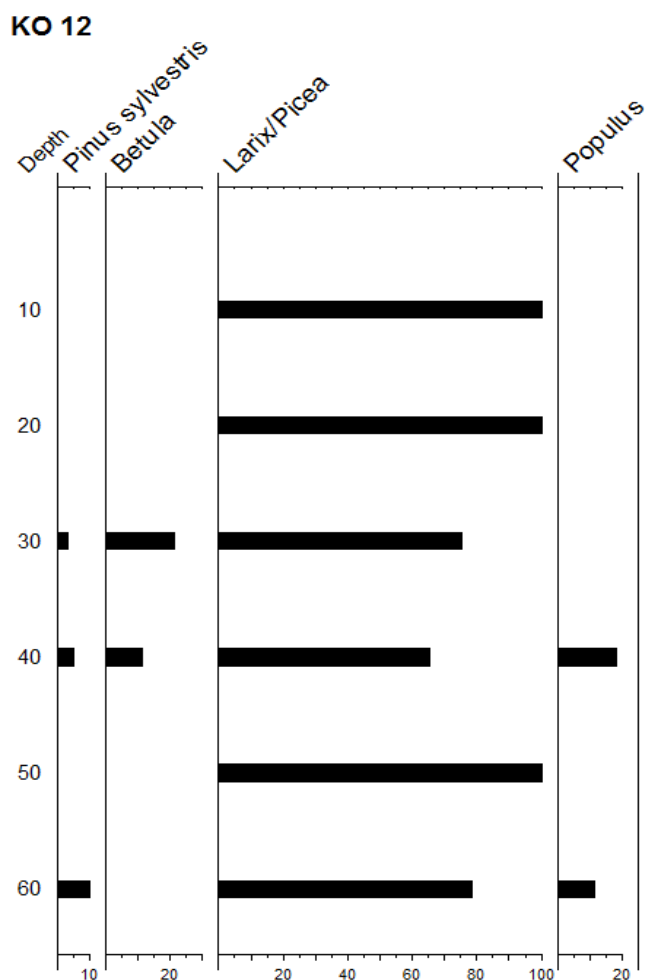
Ekosystém tvořila jedle, bříza, smrk a modřín. Pozice této sondy je 49°06'23" N, 107°15'55" E, v nadmořské výšce 1346 m n. m. Jednalo se o mírný svah se sklonem 10 stupňů, který měl orientaci jihovýchod (150°). Terén představovalo stinné, úzké a vlhké údolí potoka. Půdním typem byla eutrofnískeletovitá mělká regozem na koluviu, mírně zahliněná. Půda byla tvořena horizonty Drn H, který byl mocný 5 cm, horizont A byl mocný 60 cm, byly zde zastoupeny mocné rankery, horizont A/Cr byl mocný 60 +. Druhovou skladbu zastupovala borovice se zastoupením 9,5 %, smrk 1 % a modřím 1 %. Byly zde nalezeny uhlíky do 10 cm, stabilita byla (ve smyslu pohybu uhlíku) stanoviště byla sporná.

Srážky: podzim 15,7 mm, zima 2,7 mm, jaro 10,0 mm, léto 74,3 mm, suma ročních srážek 308 mm.

Teplota: podzim -2,80 °C, zima -23,20 °C, jaro -2,27 léto 16,57 °C, roční průměrná teplota-1,81 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/5556,7 mg/kg, 20/764,8 mg/kg, 30/260,3 mg/kg, 40/252,1 mg/kg, 50/145,1 mg/kg, 60/127,1 mg/kg.

Celkově bylo určeno 362 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 60 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Populus*. Nejvíce byl zastoupen *Larix/Picea* a to ve všech zastoupených vrstvách. Neméně byla zastoupena *Pinus sylvestris*. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 10 cm 5556,7 mg/kg a nejméně v nejnižší vrstvě 60 cm, kde dosahovala 127,1mg/kg.



Obr. 6: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.

Sonda ZU 10

Ekosystém tvořila borovice a jilm. Pozice této sondy je 49°31'10" N, 106°14'59" E, v nadmořské výšce 807 m n. m. Jednalo se o prodší svah, střední část se sklonem 22 stupňů, který měl orientaci k jihu (180°). Půdním typem byla dystrická navátá arenická regozem na podkladu čistého písku. Druhovou skladbu zastupovala borovice a jilm se zastoupením pouze 3 %. Tato sonda byla vykopána v duně.

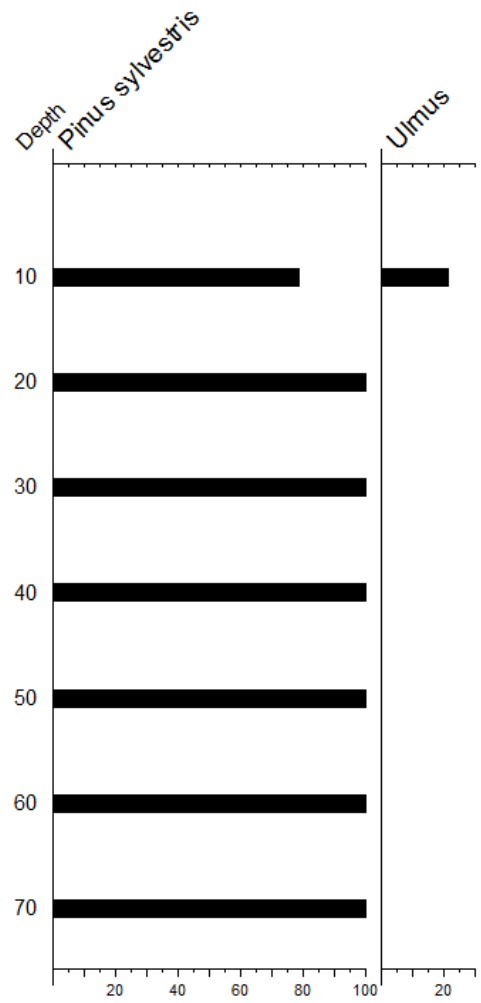
Srážky: podzim 17,0 mm, zima 3,0 mm, jaro 10,0 mm, léto 74,3 mm, suma ročních srážek 313 mm.

Teplota: podzim -0,90 °C, zima -23,20 °C, jaro -1,78 léto 17,27 °C, roční průměrná teplota -1,37 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/13,9 mg/kg, 20/0,5 mg/kg, 30/0,1 mg/kg, 40/0,3 mg/kg, 50/0,2 mg/kg, 60/0,1 mg/kg, 70/0,4 mg/kg.

Celkově bylo určeno 20 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 70 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris* a *Ulmus*. Nejvíce byla zastoupena *Pinus sylvestris* a to ve všech vrstvách. Je zajímavé, že pouze v jedné vrstvě byl zastoupen jilm. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 10 cm 13,9 mg/kg a nejméně shodně ve vrstvách 30 cm a 60 cm, kde dosahovala 0,1 mg/kg.

ZU 10



Obr. 7: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.

Sonda OS 3

Tato sonda byla provedena vzhledem přítomnosti borovice. Pozice této sondy je 49°19'22" N, 107°08'29" E, v nadmořské výšce 1303 m n. m. Jednalo se o středně prudký svah se sklonem 15 stupňů, který měl orientaci západoseverozápadní (290°). Terén tvořil středně prudký svah. Půdním typem byl aluvická prachovitá hnědozem. Opad byl mocný 11 cm, horizont A byl mocný 11–24 cm, horizont AE byl mocný 24–32 cm, horizont E byl mocný 32–50 cm, horizont Bt1 byl mocný 50–60 cm, horizont Bt2 byl mocný 60–80 cm, horizont byl mocný Cr 80–100 cm. Druhovou skladbu zastupovala borovice se zastoupením 14 % bříza se zastoupením 10 % a osika se zastoupením 1 %. Byl to blízce přírodní porost tvořen borovicí, byla zde provedena minimální těžba. Na lokalitě bylo pár pařezů nad plochou.

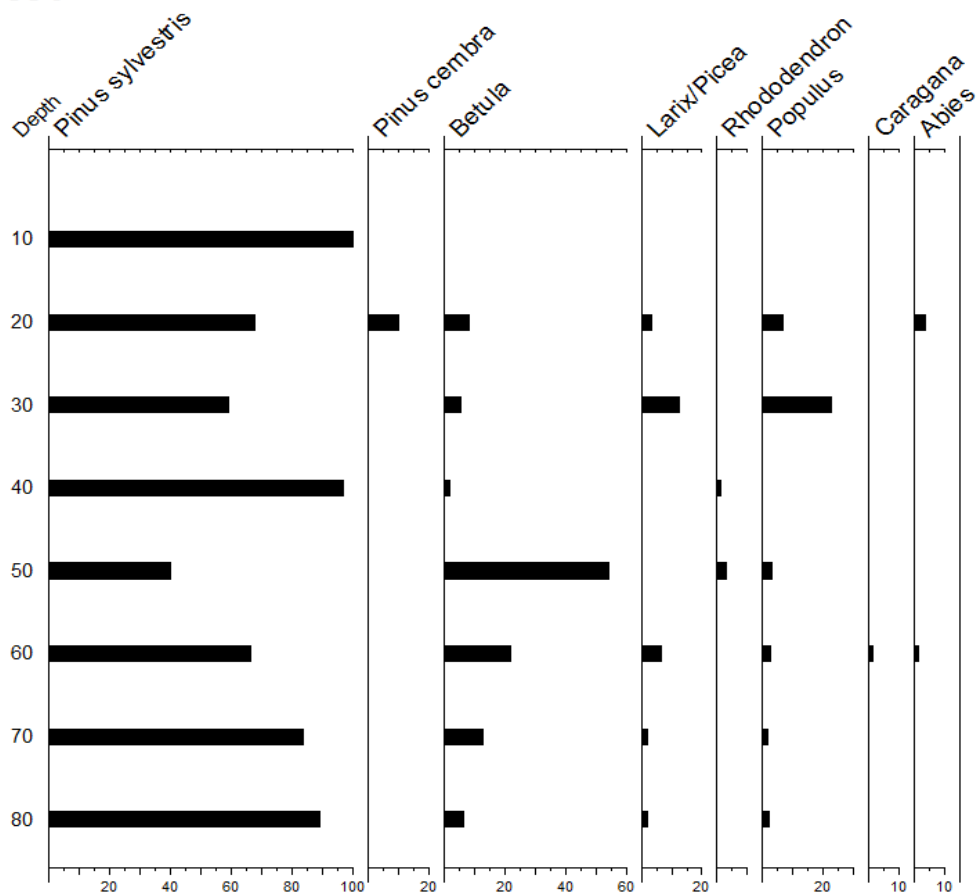
Srážky: podzim 17,0 mm, zima 3,3 mm, jaro 10,7 mm, léto 78,7 mm, suma ročních srážek 329 mm.

Teplota: podzim -5,97 °C, zima -24,00 °C, jaro -2,79 léto 15,97 °C, roční průměrná teplota -2,53 °C.

Antrakomasa: 10/6844,5 mg/kg, 20/33464,7 mg/kg, 30/4008,7 mg/kg, 40/239,7 mg/kg, 50/123,2 mg/kg, 60/69,3 mg/kg, 70/36 mg/kg, 80/6,4 mg/kg.

Celkově bylo určeno 590 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 80 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Rhododendron*, *Populus*, *Caragana* a *Abies*. Nejvíce byla v této sondě zastoupena *Pinus sylvestris* a to ve všech zastoupených vrstvách. Dále byla hojně zastoupena *Betula* a to ve vrstvě 50 cm. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 20 cm 33464,7 mg/kg a nejméně ve spodní vrstvě 80 cm, kde dosahovala 6,4 mg/kg.

OS 3



Obr. 8: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.

Sonda TU 14

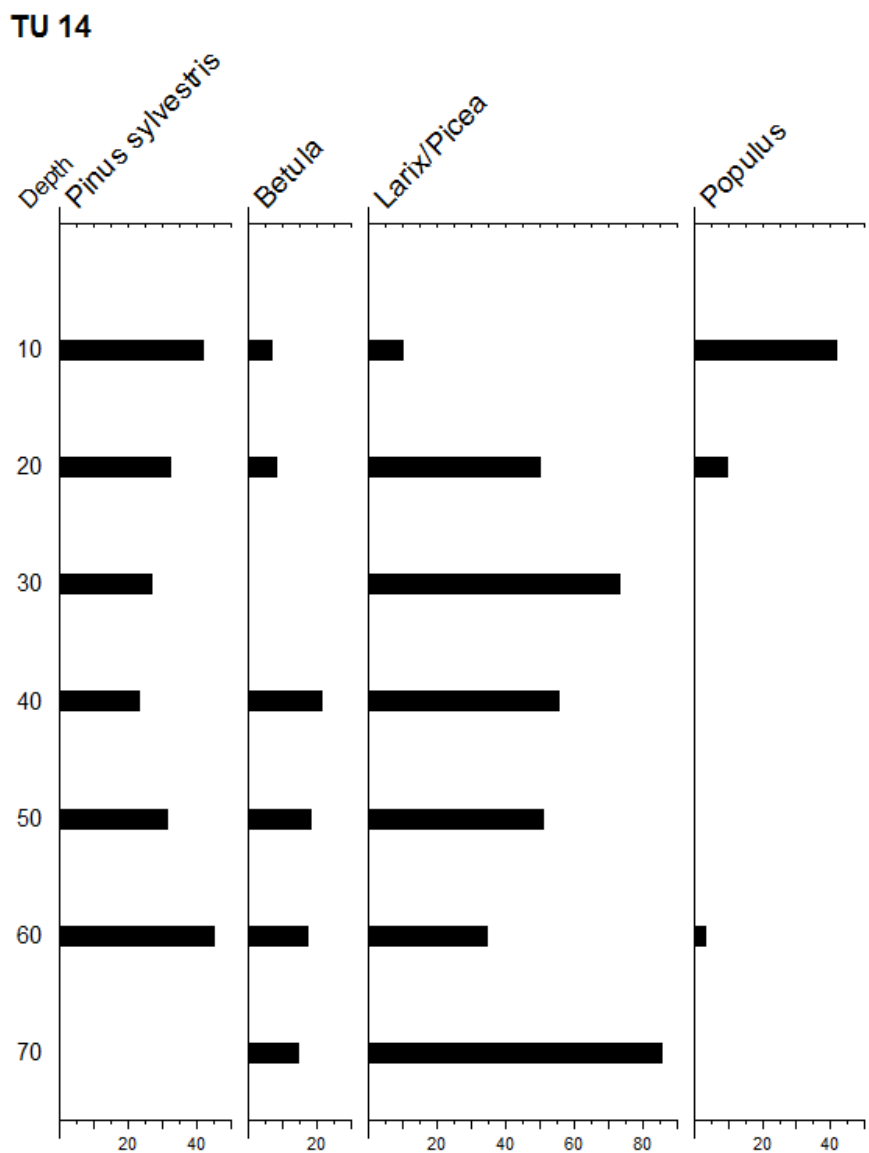
Ekosystém tvořila bříza. Pozice této sondy je 48°35'50" N, 106°33'41" E, v nadmořské výšce 1386 m n. m. Jednalo se o mírný svah pod sedlem se sklonem 5 stupňů, který měl orientaci na jihojihozápad (190°). Půdní typ byla modální hlinitá luvizem. Půda byla zastoupena horizonty Drn, který byl mocný 5 cm, horizont A byl mocný 5–18 cm, horizont E byl mocný 18–30 cm, horizont B byl mocný 30–80 cm. Druhovou skladbu zastupovala pouze bříza se zastoupením 23 %. Byla zde nalezena 4–6 cm hluboká vrstva uhlíků.

Srážky: podzim 15,0 mm, zima 2,7 mm, jaro 10,0 mm, léto 67,7 mm, suma ročních srážek 286 mm.

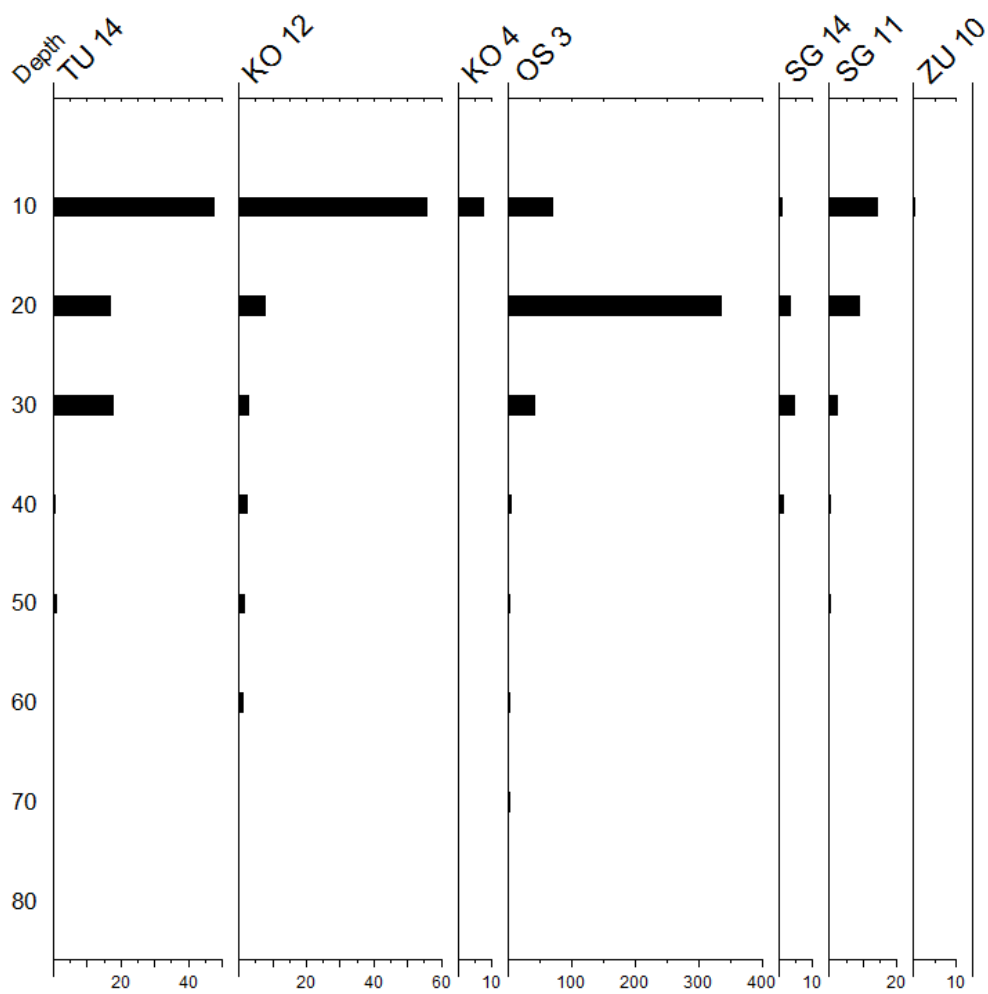
Teplota: podzim -4,37 °C, zima -22,20 °C, jaro -2,6 léto 15,63 °C, roční průměrná teplota -2,03 °C.

Antrakomasa: 10 [hloubka půdy]/4749,1 mg/kg, 20/1682,4 mg/kg, 30/1770,1 mg/kg, 40/38,7 mg/kg, 50/70,1 mg/kg, 60/3,1 mg/kg, 70/1 mg/kg.

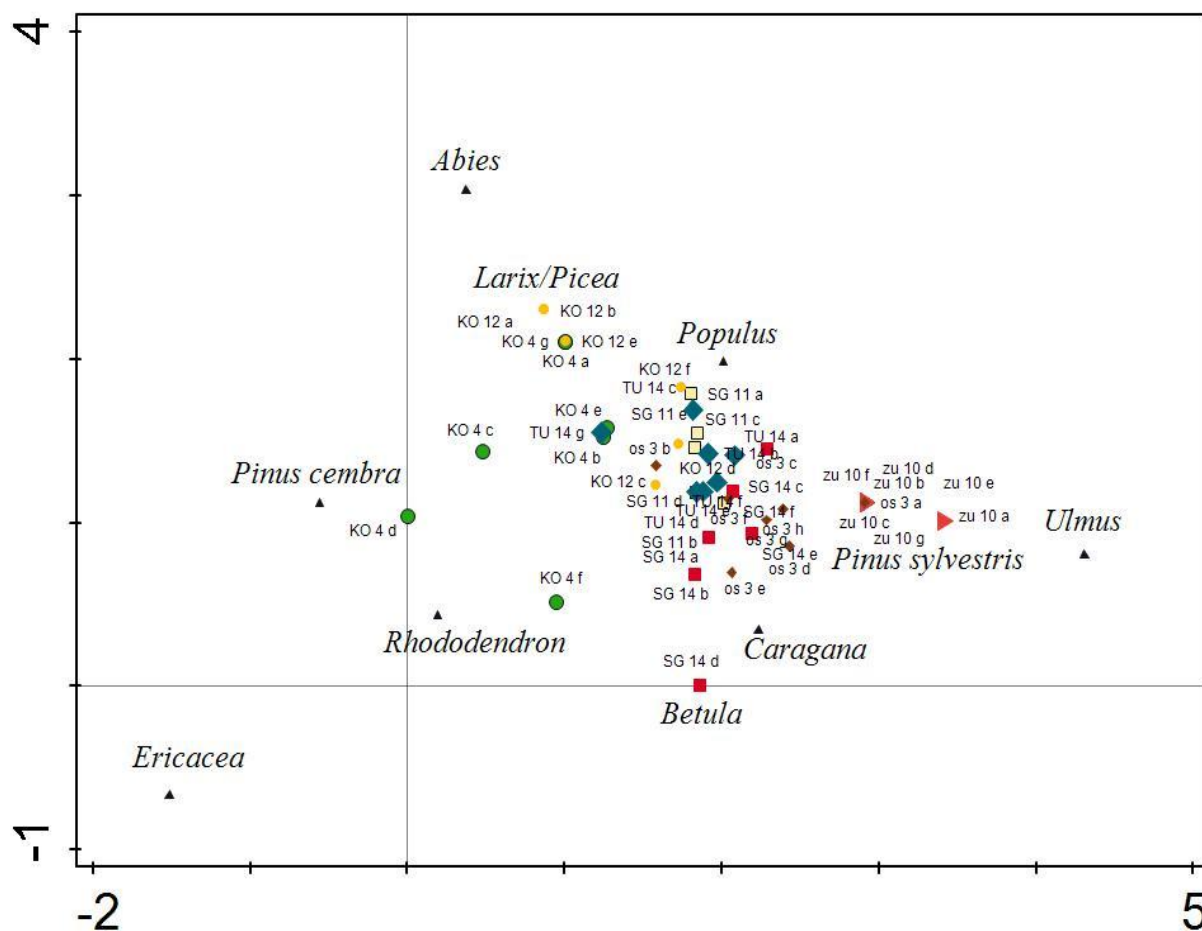
Celkově bylo určeno 330 uhlíků. Sonda byla vykopána do hloubky 70 cm s determinovanými druhy *Pinus sylvestris*, *Betula*, *Larix/Picea*, *Populus*. Nejvíce byl zastoupen *Larix/Picea*, významně byla zastoupena *Pinus sylvestris* a *Populus* ve vrstvě 10. Antrakomasa dosahovala nejvyšších hodnot v horní vrstvě 10 cm 4749,1 mg/kg a nejméně ve nejnižší vrstvě 70 cm, kde dosahovala 1 mg/kg.



Obr. 9: Osa x popisuje relativní počty určení a osa y představuje hloubku jednotlivých vzorků profilu. Zaznamenané taxony jsou uvedeny latinským názvem v horní části pedoantrakologickém diagramu.



Obr. 10: Osa x určehodnoty antrakomasy v jednotlivých vrstvách v mg/kg, osa y představuje hloubku jednotlivých vrtev. V horní části pedoantrakologickém diagramu je označení jednotlivých sond.



Obr. 11: Ordinační diagram, který zobrazuje výsledky analýzy DCA uhlíkových taxonů a půdních profilů. První osa vysvětlila 20,8% variability a první dvě osy spolu vysvětlovaly 31,4% variability. První část uvedené zkratky identifikuje půdní profil (např. KO 4) a uvedené malé písmeno označuje vrstvu (a: 0-10cm; b: 10-20cm, c: 20-30cm; d: 30-40cm; e: 40-50cm; f: 50-60cm; g: 60-70cm; h: 70-80 cm).

13. Diskuze

V krajině tajgových porostů a přechodů k lesostepi v severních Mongolsku má požár zásadní význam, stejně jako v jiných oblastech s výrazně kontinentálním klimatem (Byambasuren 2011). Výsledky předložené diplomové práce toto tvrzení prokázaly. Oheň je zde jeden z nejvýznamějších činitelů, který ovlivňuje místní lesní vegetaci. V jehličnatém lese hoří častěji než v listnatých lesích. Borové lesy jsou více náchylné k požáru než porosty s dominantami rodů *Abies* a *Picea* (Engelmark et al. 1993) nebo listnaté stromy. Obvyklý cyklus požárových událostí je obvykle jednou za 200 let (Adámek et al. 2016). Vysoký obsah dřevěných uhlíků v rámci všech profilů však naznačuje lesní požáry ve studované oblasti během významné části holocénu. Oheň postihuje borovice přednostně tím, že spálí ostatní stromy, navíc semena z borovice jsou úspěšnější v kolonizaci spálených ploch (Agee, 1998). Tyto mechanismy tvorby dřevěného uhlí mají za následek velkou kvantitativní a kvalitativní proměnlivost uhlíkových soustav, např. mikro- až makroskopické záznamy (Scott, Damblon 2010, Mooney, Tinner 2011). Tyto různé mechanismy se posléze vztahují k mnoha parametrům, jako jsou typy požárů, počasí a intenzita a typ lidského faktoru (Braadbaart, Poole 2008). Vzhledem k široké škále zdrojů spalování uhlíků a depozičnímu kontextu lze konstatovat, že fosilní uhlíky jsou všudypřítomnými přispěvateli ke kvartérní dynamice.

Ve studovaném regionu jsou velmi časté požárové události, které jsou s vysokou frekvencí zapříčiněny lidmi a také přírodními vlivy. Je těžké odlišit, co je častější příčinou – zda člověk nebo přírodní vliv. Z jakého důvodu místní lidé zakládají úmyslně lesní požáry? Předpokládám, že na vině jsou zdejší pastevci, kteří způsobují požáry pravděpodobně svou nedbalostí, i když nelze vyloučit umyslné jednání. Jejich úmysl je hlavně v okrajových částech v místech, kde les navazuje na pastviny. Jejich nepřipustným konáním výměra severomongolských lesů rapidně ubývá. Jeden z důsledků tohoto nezodpovědného konání může být v budoucnu nedostatek vody v Ulánbátaru (hlavní město Mongolska) a další vysychání už přirozeně vysušené krajiny.

Moje studie názorně dokládá rozdíly mezi jednotlivými sondami. Nejnižší položená sonda byla ZU 10. Tato sonda je charakteristická nejmenšími hodnotami antrakomasy. Jakým může být důvod? Tato sonda se vyskytovala v otevřených stepních borech. V těchto borech bylo málo odumřelé biomasy, málo opadu na zemi, byly to řídké lesy a proto tu bylo malé zastoupení uhlíků. Z pohledu množství uhlíků je nápadné vylišení

stepních borů v sondě ZU 10, jejichž charakterem je výskyt v nižších nadmořských výškách a na písčitém podkladu. Myslím si, že písčité podklad ovlivňuje vysychání půdy a to může podporovat častější požáry. Niklason, Drakenberg (2001) zjistili, že ve středověku opakující se požárový interval je asi 20 let v jihovýchodních hemiboreálních lesích ve Švédsku, kde dominuje *Pinus sylvestris*. Tím dospěli k závěru, že tato četnost byla čtyřikrát vyšší než v borových lesích v severním Švédsku. V lesích severního Švédska byla také prokázána poměrně nízká závažnost požáru (Niklasson, Granstrom 2000).

Na stepní bory navazuje světlá tajga, která je charakteristická dominancí *Pinus silvestris* nebo *Larix sibirica*. Tato vegetace může mít řadu sukcesních stádií se zastoupením rodů *Populus* či *Betula*. Příkladem jsou sondy SG 11, SG 14, OS 3, TU 14 a KO 4. Oproti stepním borům je světlá tajga charakteristická vyššími hodnotami antrakomasy. Domnívám se, že to může být způsobeno nižší frekvencí požárů, ale tyto požáry mají však vyšší intenzitu. Je pravděpodobné, že zde dochází ke korunovým požárům, které vedou k destrukci lesa. Dobrým příkladem destrukce lesa vlivem požáru je sonda OS 3, kde ve vrstvě 20 cm byly zjištěny největší hodnoty antrakomasy ze všech studovaných sond. Následně na těchto plochách dochází k sukcesním procesům. Tyto raně sukcesní stadia jsou typická přítomností rodů *Betula* a *Populus*. Ovšem i tato raně sukcesní stadia mohou být ovlivněna požáry, jak dokládají výsledky ze sondy SG 14. Tato sonda dokládá nejhojnější zastoupení rodů *Betula* a *Pinus*, naopak je zajímavé, že v těchto spodních vrstvách je dominantní *Populus*. V sondě KO 4 byla v 60 cm zachycena vrstva březových uhlíků, což může naznačovat na sukcesní stádium, které zachycuje tato sonda. Největší hodnoty antrakomasy bývají v horních vrstvách sondy, což poukazuje na situaci, že požárové události byly mnohem ničivější. Domnívám se, že požáry v nedávné minulosti byly častější a souvisí často s vlivem lidí. Přetrvávání lesů dominovaných borovicemi je důsledkem cyklické posloupnosti iniciované lidským dopadem, omezenou dynamikou mezer a rozsáhlými narušeními, jako jsou požáry, které významně mění strukturu porostů. Lidský tlak na místní krajinu je přítomen již od prehistorie. Dynamika přírodních mezer je jedním z hlavních procesů zodpovědných za regeneraci boreálních lesů (Kuuluvainen 1994, McCarthy 2001).

Dalším typem vegetace byla tmavá tajga. Je zajímavé, že tmavá tajga byla přítomna v centrálnější části pohoří Khaan Kenteii. Porosty tmavé tajgy mají vyšší zápoj stromového patra. Myslím si, že to souvisí s jevem, kdy se do centra pohoří nedostávají v takové míře pastevcí, kteří ovlivňují charakter lesa. Nacházejí se zde fragmenty tmavé tajgy s *Abies* a

Pinus cembra. Tmavou tajgu dokládá i pedoantrakologický záznam v sondě KO 12. Tato sonda leží v nadmořské výšce 1346 m n. m. Je to druhá nejvýše položená sonda a je pravděpodobné, že přítomnost tmavé tajgy stím souvisí. Není zde však přímá úměra mezi nadmořskou výškou, klimatickými podmínkami a druhovou skladbou.

V této diplomové práci jsem použil dostupnou environmentální informaci (klimatickou, topografickou a půdní) k vylišení tří typů vegetace (stepní bory, světlá tajga, tmavá tajga). Je zajímavé, že klimatické rozdíly mezi sondami jsou relativně malé (Pojar et al. 1987, Kusbach et al. 2017). Nápadný rozdíl ve vegetaci je do značné míry ovlivněn lidským managementem, který souvisí s polohou sondy (okraj/centrální část pohoří).

Na struktuře, rozšíření a druhovém složení lesních ekosystémů severního Mongolska se kromě relativně stabilních environmentálních faktorů podílí i disturbance. Tato může být přirozená (požár, lesní těžba, hmyz, klimatická změna), tak člověkem podmíněná (pastva, lesní těžba, požár a klimatická změna). V této diplomové práci jsem zkoumal historii lesní vegetace na základě dochovaných zbytků uhlíků po lesních a stepních požárech. Tyto uhlíky byly konzervovaných po dlouhou dobu v půdách.

Taxonomickým určením, vážením antrakomasy (hmotnosti makrouhlíků ve vrstvách 10 cm) jsem získal informace o rozšíření lesních společenstev v minulosti, druhu požáru a jeho chování. Velkou část makroskopických uhlíků stepních borů a světlé tajgy (KO 4, SG 14, SG 11, ZU 10) tvořily uhlíky z borových šišek a větviček. Toto zjištění může upozorňovat na relativně časté požáry, ale nižší intenzity. Na opačné straně, vysoké hodnoty antrakomasy (TU 14, KO 12, OS 3) dokládají významné požárové události katastrofického charakteru, které pravděpodobně nedávno byly způsobeny člověkem, při kterých s velkou pravděpodobností došlo k destrukci stromového patra.

Dá se konstatovat, že výsledky DCA ordinace dat získaných pedoantrakologickou analýzou jsou konzistentní a potvrzují správnost členění geo-vegetačních zón. Rostlinná společenstva jsou zde ovlivněna zejména makroklimatickými podmínkami a přirozenými disturbancemi, zejména požárem. Studie moderních požárů ukázaly, že mezi uhlíky a vegetací existuje korelace bez přítomnosti transportu (Scott et al. 2000). Existuje také úzký vztah mezi výskytem místních požárů a vrcholů koncentrace v makroskopických uhlících (Garden, Whitlock 2001). Studovaná oblast byla nepochybně ovlivněna požárem po významnou část holocénu. Nemůže být vyloučen vliv vichřic nebo hmyzích útoků jako příčiny porušení porostů následovaných obnovou lesa. Úlohu lidských a přírodních příčin těchto událostí

nelze z našich dat přesněji hodnotit (Novák et al. 2010, Talon, 2010). Uhlíky lze extrahovat pro analýzu z celé řady depozičních kontextů, kde mohou být zaznamenány a uchovávány v čase, protože vyhořelý organický materiál je velmi odolný vůči mikrobiologickému rozkladu (Thery 2010). Tento vyhořelý organický materiál může dobře absorbovat důležité ekologické půdní procesy, které mohou být prospěšné pro produktivitu a funkci ekosystému v boreálních lesích (Zackrisson et al. 1996).

14. Závěr

Pedoantrakologický výzkum se věnuje analýze půdních uhlíků. Uhlíky lze separovat z půdy, protože jsou velmi odolné proti mikrobiologickému rozkladu a tím pádem mohou být po dlouhou dobu uchovány v čase. Výsledky mé diplomové práce potvrdily skutečnost, že v krajině severního Mongolska má oheň velký význam na utváření místní lesní vegetace. Oheň je zde jeden z nejvýznamějších činitelů. V této oblasti jsou velmi často požárové události, které jsou zapříčiněny jak místními lidmi tak i přírodními činiteli. Místní lidé pravděpodobně zakládají lesní požáry do jisté míry svou nedbalostí a jejich důsledkem dochází k rozvratu lesních ekosystémů.

Výsledky diplomové práce vylišují na základě pedoantrakologické analýzy tři typy lesní vegetace, a to: stepní bory, světlá tajga a tmavá tajga. Má studie dokládá významné rozdíly mezi jednotlivými sondami. Niže položené sondy mají velmi malé hodnoty obsahu antrakomasy, což je pravděpodobně zapříčiněno malým množstvím opadu. V těchto stepních borech se vyskytuje písčité půda, která ovlivňuje zásadním způsobem vodní bilanci prostředí a tím i pravděpodobně častější možnost výskytu požárů. Vyšší hodnoty antrakomasy byly zastoupeny ve světlé tajze, kde je pravděpodobnost požárů častější a jejich účinek je destruktivnější. S největší pravděpodobností tu také dochází ke korunovým požárům. V důsledku těchto událostí se zde hojně vyskytují i raná sukcesní stádia. Výzkum odhalil, že nejvyšší hodnoty antrakomasy jsou zastoupeny v horních vrstvách sond. To upozorňuje na ničivé požárové události v nedávné minulosti.

Dalším zkoumaným typem vegetace byla tmavá tajga, která se rozkládala v centrálnější části pohoří Khaan Kenteei. Tyto porosty mají větší korunový zápoj než porosty stepních borů a světlé tajgy. Tato skutečnost může být zapříčiněna tím, že do centrální části pohoří se nedostávají v takové míře pastevcí, který by negativně ovlivnili charakter lesa.

Pedoantrakologickou analýzou jsem zjistil informace o rozšíření lesních společenstev, které tu byly zastoupeny v minulosti, druhu požáru a jeho chování. Z výsledků DCA ordinace lze konstatovat správnost členění geo-vegetačních zón, ve kterých jsou rostlinná společenstva ovlivněna makroklimatickými podmínkami a přirozenými disturbancemi, a to zejména požárem. Předpokládám, že severomongolská lesní společenstva byla ovlivněna požárem po významnou část holocénu.

15. Seznam literatury a použitých zdrojů

ADÁMEK M. & HADINCOVÁ V. & WILD J. (2016): Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. – *Forest Ecology and Management*, 380:285–295.

AGEE JK (1998): Fire and pine ecosystems. In: RICHARDSON DM (ed.). *Ecology and Biogeography of Pinus*. – Cambridge: Cambridge University Press, pp.: 193–218.

ALEXANDER M.E. & LANOVILLE R.A. (1989): Predicting fire behavior in the black spruce-lichen woodland fuel type of western and northern Canada. – Northern Forestry Centre.

BEHRINGER W. (2007): *Kulturní dějiny klimatu. Od doby ledové po globální oteplování* – Paseka, Praha.

BRRAADBAART F. & POOLE I. (2008): Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. – *Journal of Archaeological Science* 35: 2434–2445.

BURTON P.J. & MESSIER C. & SMITH D. W. & ADAMOWICZ W.L. (Eds.). (2003): *Towards sustainable management of the boreal forest*. – NRC Research Press,– Ottawa.

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.

CALLE A. & CASANOVA J.L. & ROMO A. (2006): Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) data. – *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 111: G04S06 (online version).

- CARCAILLET CH. & 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.
- CLARK J.S. & ROBINSON J. (1993): Palaeoecology of Fire. In: CRUTZEN P.J. & GOLL-DAMMER J.G. (eds.), *Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*. – John Wiley and Sons Ltd. Pp. 193–214.
- CLARK J.S. & MERKL J. & MÜLLERS H. (1989): Post glacial fire, vegetation, and human history on the northern Alpine foreland, south-western Germany. – *Journal of Ecology* 77: 897–925.
- CLARK J.S. (1988): Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. – *Quaternary Research* 30: 67–80.
- DUFRAISSE A. (2006): Firewood economy during the 4th millennium BC at Lake Clairvaux, Jura, France. – *Environmental Archaeology* 11: 87–99.
- 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.
- ENGELMARKO. & BRADSHAW RHW & BERGERON Y. (1993): Disturbance dynamics in boreal forest. – *Journal of Vegetation Science* 4: 729–732.
- ERMAKOV N. & DRING J. & RODWELL J. (2000): Classification of continental hemiboreal forests of North Asia. – *Braun-Blanquetia* 28: 1–131.
- FAO (2006): World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resources Reports*. – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FLINT R.F. (1971): *Glacial and Quaternary Geology*. – J. Wiley & Sons, N. York – London – Sydney – Toronto: 892 pp.

FRANCL R. (2007): Lesní požáry v České republice z pohledu hasičů. – Lesnická práce, 8: 16–19.

FRENCH N.H. & GOOVAERTS P. & KASISCHKE E. S. (2004): Uncertainty in estimating carbon emissions from boreal forest fires. – Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109, D14S08, doi: 10.1029/2003JD003635.

GARNER JJ. & WHITLOCK C. (2001): Charcoal accumulation following a recent fire in the Cascade Range, northwestern USA, and its relevance for fire-history studies. – The Holocene 11: 541–549.

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.

GREGUSS P. (1972): Xylotomy of the Living Conifers. – Budapest: Akademiai Kiado, 329 pp.

GRIMM E.C. (2011): Tilia Software v.1.7.16. – Illinois State Museum, Springfield.

HAISM. & 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.

HÁJEK M. & HORSÁK M. & HÁJKOVÁ P. & DÍTĚD. (2006): Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardise fen terminology in ecological studies.– Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 8(2): 97–114.

HORSÁK M. & CHYTRÝ M. (2010): Krajiny zamrzlé v čase. II. Jižní Ural – současná analogie střední Evropy ve starém a středním holocénu. – *Živa* 4/2010: 166–167.

CHYTRÝ M. & ERMAKOV N. & DANIHELKA J. & HÁJEK M. & HÁJKOVÁ P. & HORSÁK M. & KOČÍ M. & KUBEŠOVÁ S. & LUSTYK P. & OTÝPKOVÁ Z. & PELÁNKOVÁ B. & VALACHOVIČ M. & ZELENÝ D. (2012): High species richness in hemiboreal forests of the northern Russian Altai, southern Siberia. – *J Veg Sci* 23: 605–616.

CHYTRÝ M. & KUČERA T. & KOČÍ M. & GRULICH V. & LUSTYK P. (2010): Katalog biotope České republiky. Druhé vydání. – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha.

IGERSHEIM A. & CICHOCKI O. (1996): A simple method for microtome sectioning of prehistoric charcoal specimens, embedded in 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA). – *Review of Palaeobotany and Palynology*, 92(3-4): 389–393.

JANKOVSKÁ V. & POKORNÝ P. (2008): Forest vegetation of the last full-glacial period in the Western Carpathians (Slovakia and Czech Republic). – *Preslia* 80: 307–324.

JENÍK J. & PAVLIS J. (2001): Terestické biomy. – Medelova univerzita, Brno, 238 p.

KASISCHKE E.S. & BRUHWILER L.P. (2002): Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998. – *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107, 8146, doi: 10.1029/2001JD000461, 2002.

KRAKOVSKÝ A. (2004): Lesné požiare. – Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 78 s.

KUNEŠ P. & POKORNÝ P. & JANKOVSKÁ V. (2007): Post-glacial vegetation development in sandstone areas of the Czech Republic. In: HÄRTEL H. & CÍLEK V. & HERBENT T. & JACKSON A. & WILLIAMS R. – *Sandstone Landscapes*. Academia, Praha. Pp 244–257.

KUNT A. (1967): Lesní požáry. – Praha, Československý svaz požární ochrany: 313 s.

KUSBACH A. & ŠTĚRBA T. & NOVÁK J. & MIKITA T. (2018): Klasifikace krajiny v pohoří Khaan Khentii, Mongolsko. In: HRUBÁ V. & FRIEDL M. (eds), (2018): Geobiocenologie a lesnická typologie a jejich aplikace v lesnictví a krajinářství. – Geobiocenologické spisy, svazek č. 17. – Sborník recenzovaných příspěvků z mezinárodní konference konané 15.-16. února 2018 v Brně. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 2018.

KUULUVAINEN T. (1994): Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. – *Annales Zoologici Fennici* 31: 35–51.

LI Z. & NADON S. & CIHLAR J. (2000): Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: Development and application of the algorithm. – *International Journal of Remote Sensing*, 21(16): 3057–3069.

LOŽEK V. (2007): Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru. – Dokořán s.r.o., Praha.

LOŽEK V. (2011): Po stopách pravěkých dějů. O silách, které vytvářely naši krajinu – Dokořán s.r.o., Praha.

MARGUERIE D. & HUNOT J-Y. (2007): Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. – *Journal of Archaeological Science*, 34(9): 1417–1433.

MAŘÁKOVÁ M. (2012): Jak se vypořádáme s následky velkého požáru lesa na lokalitě Moravská Sahara u Bzence. – *Lesu zdar*, 11–12: 10–21.

MCCARTHY J. (2001): Gap dynamics of forest trees: A review with particular attention to boreal forests. – *Environmental Reviews* 9: 1–59.

METODICKÝ LIST ČÍSLO 21 P. (2001): Lesní požáry. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu. Praha, MV GŘ HZS ČR: 3 s.

- MIYANISHI K. (2001): Forest Fires: Behavior and Ecological Effects. – Academic Press.
- MOONEY S.D. & TINNER W. (2011): The analysis of charcoal in peat and organic sediments. – *Mires and Peat* 7: 1e18.
- MURDIYARSO D. & LEBEL L. & GINTINGS A.N. & TAMPUBOLOM S.M.H. & HEILA. & WASSON M. (2004): Policy responses to complex environmental problems: insights from a science–policy activity on transboundary haze from vegetation fires in Southeast Asia. – *Agriculture, ecosystems & environment*, 104(1): 47–56.
- MURDIYARSO D. & LEBEL L. (2007): Local to global perspectives on forest and land fires in Southeast Asia.– *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1): 3–11.
- MÜEHLENBERG M. & AYUSH E. & MÜHLENBERG-HORN E. (2011): Biodiversity Survey at Khonin Nuga Research Station, West-Khentey, Mongolia: 302 s.
- NATURALRESOURCES CANADA (2016): Fire behaviour. [online]. Kanada, Government of Canada. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na [www: http://www.nrcan.gc.ca/forests/fire-insects-disturbances/fire/13145](http://www.nrcan.gc.ca/forests/fire-insects-disturbances/fire/13145).
- NESTĚROV V.G. (1949): Ochrana proti požiarom. Bratislava. – s. 233.
- NIL (2016): Mongolian multipurpose National Forest Inventory 2014–2016, 1. vydání, Mongolian Ministry of Environment and Tourism, Ulaanbaatar.
- NIKLAKSSON M. & GRANSTROM A. (2000): Numbers and sizes of fires: Long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. – *Ecology* 81: 1484–1499.
- NIKLAKSSO M. & DRAKENBERG B. (2001): A 600-year tree-ring fire history from Norra Kvills National Park, southern Sweden: implications for conservation strategies in the hemiboreal zone. – *Biological Conservation* 101: 63– 71.

NOVÁK J. & PETR L. & TREML V. (2010): Late-Holocene human-induced changes to the extent of alpine areas in the East Sudetes, central Europe. – *The Holocene* 20: 895–905.

NOVÁK J. & SÁDLO J. & SVOBODOVÁ H. (2012): Unusual vegetation stability in a lowland pine forest area (Doksy region, Czech Republic). – *The Holocene* 22: 947–955.

PFEFFER A. (ed.) (1961): *Ochrana lesů*. – Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 838 s.

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

POKORNÝ P. (2011): *Neklidné časy. Kapitoly ze společných dějin přírody a lidí*. – Dokořán, Praha, 369 s.

SCOTT A.C. & CRIPPS J.A. & COLLINSON M.E. et al. (2000): The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and the implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164: 1–31.

SCOTT A.C. & DAMBLOM F. (2010): Charcoal: taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291: 1e10.

SCHWARZ A.S. & OEGGL K. (2013): Vegetation change during the Bronze Age studied in a multi-proxy approach: Use of wood linked to charcoal analysis. – *Vegetation History and Archaeobotany*, 22(6): 493–507.

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

SCHWEINGRUBER F.H. (1990): *Anatomy of European woods*. – Paul Haupt, Bern.

RANDERSON J.T. & LIU H. & FLANNER M.G. & CHAMBER S.D. & JIN Y. & HESS P.G. & CHAPIN F. S. (2006): The impact of boreal forest fire on climate warming. – *Science*, 314(5802): 1130–1132.

TALON B.&CARCAILLET C.& THINOM M. (1998): Études pédoanthra - cologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'Holocène dans les Alpes françaises. – *Géographie Physique et Quaternaire* 52: 195–208.

ŠMILAUER P.& LEPSŠ J. (2014): *Multivariate Analysis of Ecological data using CANOCO 5*. – Cambridge University Press, Cambridge, 362 p.

THÉRY-PARISOT I.& CHABAL L. & CHRZAVZEZ J. (2010): Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 291: 142–153.

THÉRY-PARISOT I. & DUFRAISSE A.& CHRZAVZEZ J. & HENRY A. & PARADIS-GRENOUILLET S. (2011): Charcoal analysis and wood diameter: inductive and deductive methodological approaches for the study of firewood collecting practices. – *SAGVNTVM extra*, 11: 31–32.

THÉRY-PARISOT I. & HENRY A. (2012): Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. – *Journal of Archaeological Science*, 39(2): 381–388.

THOMAS E.A. & MCALPINE R.S. (2010): *Fire in the forest*. – Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, Delhi, Dubai, Tokyo, Mexico City, Cambridge Univ. Press: 225 s.

WALTER.H. & BRECKLE SIEGMAR-W. (1986): *Ecological Systems of the Geobiosphere: 3 Temperate and Polar Zonobiomes of Northern Eurasia*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong, Stuttgart.

WEATHERSPOON C.P. (1990): *Sequoiadendron giganteum*(Lindl.) Buchholz Giant Sequoia. – *Silvics of North America* 1: 552–562.

WOTAWA G. & NOVELLI P.C. & TRAINER M. & GRANIER C. (2001): Inter-annual variability of summertime CO concentrations in the Northern Hemisphere explained by boreal forest fires in North America and Russia. – *Geophysical Research Letters*, 28(24): 4575–4578.

WOOSTER M. J. & ZHANG Y. H. (2004): Boreal forest fires burn less intensely in Russia than in North America. – *Geophysical Research Letters* (online), 31(20): L20505.

YU F. & PRICE K.P. & ELLIS J. & SHI P. (2003): Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. – *Remote Sensing of Environment*, 87(1): 42–54.

ZACKRISSON O. & NILSSON M.C. & WARDLE D.A. (1996): Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest. – *Oikos*, 10–19.

ZANON V. & VIVEIROS F. & SILVA C. & HIPÓLITO A.R. & FERREIRA T. (2008): Impact of lightning on organic matter-rich soils: influence of soil grain size and organic matter content on underground fires. – *Natural Hazards*, 45: 19–31.