

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



Vliv klimatu na růst dominantních dřevin ruského Dálného východu

Bakalářská práce

Bc. Anna Šprdlíková

Školitel: RNDr. Jan Altman Ph.D., Botanický ústav AVČR

Konzultanti: doc. RNDr. Tomáš Kučera Ph.D., doc. Mgr. Jiří Doležal Ph.D.,

Mgr. Nela Marešová

České Budějovice 2021

Šprdlíková, A. (2021): Vliv klimatu na růst dominantních dřevin ruského Dálného východu.

[The influence of climate on the growth of dominant tree species of the russian Far East. Bachelor Thesis, in Czech] Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation:

This thesis represents a grant application for a project dealing with analysis of influence of the climate and climate change on the growth of dominant tree species of Russian Far East. Tree ring data and global climatological dataset are used in this analysis.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 11. 4. 2021

.....
Anna Šprdlíková

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat všem, kteří se podíleli na vzniku této práce. V první řadě bych ráda vyjádřila velký dík svému školiteli RNDr. Janu Altmanovi Ph.D., za trpělivost a podnětné připomínky, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. Děkuji také doc. RNDr. Tomáši Kučerovi Ph.D., a doc. Mgr. Jiřímu Doležalovi Ph.D. Dále děkuji Mgr. Vítu Pejchovi, Evě Návrátové a Mgr. Nele Marekové za výraznou pomoc při praktickém zpracování dendrochronologických dat a jejich vyhodnocování.

Upřímný dík patří také mé rodině a nejbližším za jejich neskonalou trpělivost, podporu a cenné rady.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární rešerše.....	2
2.1. Lesní ekosystémy	2
2.2. Lesní ekosystémy ruského Dálného východu	2
2.3. Globální změna klimatu.....	4
2.4. Vývoj klimatu ruského Dálného východu	6
2.5. Metody pro výzkum historického vývoje klimatu.....	8
2.6. Dendrochronologie a dendroklimatologie	9
2.7. Vliv klimatické změny na lesní ekosystémy	11
3. Projekt	13
3.1. Cíle	13
3.2. Hypotézy.....	13
3.3. Popis lokality	13
3.4. Popis studovaných druhů.....	18
3.5. Metodika.....	19
3.5.1. Sběr dat v terénu	19
3.5.2. Zpracování dat	19
3.6. Časový harmonogram.....	21
3.7. Rozpočet.....	22
3.8. Předběžné výsledky	23
3.8.1. Letokruhová analýza.....	23
3.8.2. Dendroklimatologie	26
3.8.3. Prostorová korelace.....	30
4. Závěr.....	32
Literatura:	33

1. Úvod

Klimatická změna je jedním z nejzávažnějších environmentálních problémů posledních let a její důsledky se nevyhýbají ani lesním ekosystémům. Ačkoliv je tomuto tématu věnována velká pozornost, mnohé oblasti zůstávají mimo střed hlavního zájmu.

Tato práce se věnuje výzkumu vlivu klimatu (zejména teploty a srážek) a klimatické změny na růst dřevin smíšených lesů jižní části ruského Dálného východu s využitím letokruhových analýz. Smíšené lesy Dálného východu jsou výjimečnými ekosystémy s vysokou druhovou diverzitou, na jejímž utváření se významně podílelo minulé klima. Mnohé lokality zůstaly do dnešní doby člověkem nedotčené a vliv klimatických faktorů je v nich tudíž lépe patrný než v oblastech pozměněných managementem. Tato práce si klade za cíl obohatit dosavadní znalosti o této relativně málo prozkoumané oblasti a zároveň o lesních ekosystémech obecně. Porozumění vlivu klimatu na růst dřevin může být přínosem zejména pro volbu vhodného managementu lesů v postižených oblastech. Pro srovnání byly vybrány druhy *Quercus mongolica* Fisch. Ex Ledeb. a *Abies holophylla* Maxim., které tvoří dominantu místních přirozených lesů a současně jsou vhodné pro dendrochronologické datování.

Práce z převážné části vychází z teoretických poznatků o lesních ekosystémech a historickém vývoji klimatu, který zásadně ovlivnil druhové složení lesů a jejich distribuci. Dále se opírá o výsledky letokruhových analýz a jejich srovnání s klimatickými daty.

2. Literární rešerše

2.1. Lesní ekosystémy

Lesní ekosystémy jsou definovány jako společenstva rostlin, živočichů a dalších organismů, v nichž hrají dominantní roli stromy (Spurr & Barnes, 1973). Lesy poskytují volně žijícím organismům prostor k životu, chrání půdu před erozí, zadržují zásoby vody, fixují vzdušný CO₂ a v neposlední řadě plní i funkci estetickou a rekreační (Botkin, 1993). Kromě těchto ekosystémových služeb jsou však lesy pro lidskou společnost významné i z finančního hlediska, neboť produkce dřeva nemalou měrou přispívá do světové ekonomiky (Botkin, 1993). Díky těmto a mnohým dalším funkcím mají lesní ekosystémy zcela výjimečnou pozici mezi ostatními suchozemskými ekosystémy.

Lesy zabírají přibližně 30 % plochy suchozemské části Země, uchovávají asi 45 % uhlíku a z 50 % přispívají k čisté primární produkci suchozemských ekosystémů (Bonan, 2008). Jsou dynamickými systémy, v jejichž vývoji hrají klíčovou roli disturbance, kompetice mezi jednotlivými jedinci a klima (Grebner et al., 2013; Zhang, 2015; Sousa, 1984). Z hlediska klimatické změny mají lesy dvojí pozici. Jednak jsou jí ovlivňovány, a to jak negativně, tak pozitivně, jednak mají potenciál hrát významnou roli ve zmírňování jejích procesů a dopadů (Peterman & Bachelet, 2013).

Většina poznatků o reakci lesních ekosystémů na klimatické změny pochází ze Severní Ameriky a Evropy, zatímco některé další oblasti s velkou zásobou dřevní biomasy zůstávají v tomto směru opomíjené (Zhao et al., 2019). Mezi ně patří temperátní smíšené lesy ruského Dálného východu, ačkoliv díky své vysoké druhové diverzitě a malé míře poškození mohou nabídnout mnoho cenných odpovědí na otázky ohledně reakce lesních ekosystémů na měnící se klima.

2.2. Lesní ekosystémy ruského Dálného východu

Ruský Dálný východ, někdy také nazývaný východní Sibiř, se rozkládá na severovýchodním okraji asijského kontinentu, na ploše více než 3 mil. km² (Krestov, 2003). Vegetace této oblasti přechází od polárních pustin na severu ke smíšeným lesům v jižní části. Převážnou část ruského Dálného východu (téměř 75 %) zabírá světlý boreální jehličnatý les tvořený zejména modřínovým lesem s *Larix sibirica* Ledeb. a *L. gmelinii* (Rupr.) Kuzen., který k jihu přechází do tmavého jehličnatého lesa s *Abies sibirica* Ledeb. a *Picea obovata* Ledeb. Dále na jih

postupně přechází boreální pásmo do temperátního a jehličnaté lesy jsou vystřídány lesy smíšenými. Na úplném jihu nalezneme pásmo opadavých lesů mírného pásu (Prach et al., 2009; Kolbek et al., 2003).

Na utváření místní vegetace se významně podílí vzdálenost od oceánu, podle níž je celá oblast rozdělena do 5 oblastí od podnebí suboceánského až po silně kontinentální. Vegetace tak reflektuje vlhčí oceánské klima při pobřeží, a naopak suché vnitrozemské klima s výraznými sezónními výkyvy (Grishin et al., 1995; Krestov, 2003; Krestov, 2006). Výrazně se v oblasti projevuje také význam nadmořské výšky vedoucí ke vzniku vegetačních pásů, přičemž vertikální zonalita je z hlediska druhů analogická k zonalitě horizontální. Se stoupající nadmořskou výškou se zde střídají smíšené lesy (širokolisté s *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), lesy jedlo-smrkové (*Abies sibirica*, *Picea obovata*, *A. holophylla* a *A. nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) (Maxim.), subalpínské lesy s *Betula ermanii* Cham., pásmo porostů *Pinus pumila* Turra a alpínská tundra (Grishin et al., 1996; Box & Fujiwara, 2012). Horní hranice jednotlivých pásem nicméně není konstantní a je závislá na míře kontinentality klimatu dané oblasti (Krestov, 2003; Okitsu, 2016).

Převažujícím vegetačním typem jižní části ruského Dálného východu jsou smíšené lesy s *Pinus koraiensis* (Krestov, 2003; Ishikawa et al., 1999; Omelko et al., 2018). Ve smíšených lesích jihovýchodní Sibíře se prolínají specifika jak boreální, tak temperátní vegetace, díky čemuž jsou tyto ekosystémy z hlediska druhového složení zcela unikátní. V horním korunovém patře dominují *Pinus koraiensis* a *Abies holophylla*, z listnatých druhů zde pak najdeme mimo jiné *Tilia mandshurica* Rupr. & Maxim., *Fraxinus mandshurica* Rupr. a *Quercus mongolica* (Omelko et al., 2016). Střední stromové patro je tvořeno zejména *Acer pictum* Thunb., *A. mandshuricum* Maxim. a *Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr. Rozvoj tohoto patra je vždy závislý na hustotě nejvyššího korunového patra a vlastnostech stanoviště, jako je množství živin a vody. Spodní stromové patro sestává mimo jiné z *Carpinus cordata* Blume, *Acer caudatum* subsp. *Ukurunduense* (Trautv. & C.A.Mey.) E.Murray, či *Syringia reticulata* subsp. *amurensis* (Rupr.) P.S.Green & M.C.Chang. Směrem dolů pak plynule přechází do bohatého patra keřového, v němž můžeme najít například *Berberis amurensis* Rupr. nebo *Corylus sieboldiana* var. *Mandshurica* (Maxim.) C. K. Schneid (Krestov, 2003). Stejně jako keřové, i patro bylinné je silně vyvinuté. Vzhledem k bohatosti stromové vegetace je hlavním limitujícím faktorem spodních pater zejména světlo a vyskytují se zde tedy především druhy snášející stín. Celkový počet druhů tvořících bylinné patro překračuje 600, díky velké diverzitě

přírodních podmínek je jeho druhové složení velmi heterogenní a konkrétní zastoupení se vždy odvíjí od vlastností daného stanoviště (Krestov, 2003).

K celkové výjimečnosti ekosystému přispívá také velká druhová diverzita fauny. K významným druhům, se kterými je možné se v této oblasti setkat, patří například tygr usurijský (*Panthera tigris altaica*) či medvěd ušatý (*Ursus thibetanus*), z býložravců se zde hojně vyskytuje například jelen sika (*Cervus nippon*) (Kuennecke, 2008).

Smíšené lesy ruského Dálného východu patří z hlediska druhové rozmanitosti mezi nejbohatší temperátní lesy na světě (Kolbek et al., 2003). Současně bývají považovány za jedny z nejstarších lesních ekosystémů, na jejichž utváření se výraznou měrou podílelo klima minulých geologických etap (Kuennecke, 2008; Iqarashi & Iqarashi, 1998).

2.3. Globální změna klimatu

Během žádného období nebylo klima stálé, vždy naopak bylo dynamickým systémem, který se v průběhu vývoje Země mnohokrát proměnil. Při hodnocení vývoje klimatu je tedy podstatné, v jakém časovém a prostorovém měřítku jej sledujeme (Chapin, 2002).

Z dlouhodobého hlediska Země procházela mnoha výkyvy klimatu. Během celého Pleistocénu docházelo v horizontu statisíců let ke střídání dob ledových a meziledových způsobenému především změnami v množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch a vulkanickou činností (IPCC, 2013: kap. 5). Poslední doba ledová měla své maximum zhruba před 21 tis. lety (Shakun et al., 2012). Poté se klima začalo oteplovat, úplný konec glaciálu nastal přibližně před 11 tis. lety (Kuennecke, 2008). Tato doba se však na různých místech planety liší v závislosti na rychlosti odtávání ledovce (Ruddiman, 2014; Kong, 2000). Střídání glaciálních a interglaciálních etap mělo výrazný vliv na utváření vegetace, a ještě dnes můžeme na mnoha místech najít glaciální relikty jako připomínku historických nízkých teplot (Kuennecke, 2008).

Klima se výrazně měnilo také během éry Holocénu. Během Preboreálu, zhruba v období před 11 tis. lety, se zemská osa začala vychylovat, což v kombinaci s výkyvy v oběhu Země následně vedlo ke zvýšení množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch. Přesto však v Severní Americe zůstal po další 2 tisíciletí ledový kryt zachován a působil chladivým efektem na klima severní polokoule (Wanner et al., 2008). Postupně v důsledku pokračujícího vyššího letního oslunění došlo k ubývání ledového krytu v Severní Americe, snížil se jeho chladivý efekt, a mohlo tak přijít další oteplování. Vysoká míra oslunění trvala až do období

Atlantiku (Wanner et al., 2008). V této etapě, přibližně před 5 až 6 tis. lety, nastalo zejména na severní polokouli tzv. „holocenní optimum“ (Ruddiman, 2014). Toto období však bylo pravděpodobně ovlivněno jednak sezónními výkyvy, jednak zeměpisnou šířkou a jeho projevy tak byly na různých místech planety zásadně odlišné (IPCC, 2013: kap. 5).

V posledních dvou tisíciletích – během takzvaného pozdního Holocénu – nedošlo k výraznější změně planetárních podmínek působících na klima (např. výkyvy zemské osy) (Ruddiman, 2016). Přesto klima během této etapy prošlo několika významnými výkyvy. Jedním z nich bylo teplejší období středověku (přibližně mezi lety 900 a 1300 n. l.), tzv. středověké klimatické optimum, kdy došlo k nárůstu teploty o 1-4 °C (Easterbrook, 2016). Po teplejší středověké periodě následovalo období prudkého ochlazení pravděpodobně způsobené zejména vulkanickou činností spolu s výkyvy ve sluneční aktivitě (Büntgen, 2020). Tato tzv. malá doba ledová, trvala s několika teplejšími obdobími od 15. až do 18. století (Lamb, 1972; Grove, 2004). Přinesla chladné zimy a chladná vlhká léta, což mělo devastující následky na úrodu a následně i na lidskou populaci (Ladurie, 1971).

Klima tedy kolísalo po celou dobu vývoje Země. Mezi nejvýraznější faktory ovlivňující klima posledního tisíciletí můžeme zařadit vulkanickou aktivitu a výkyvy v množství dopadajícího slunečního záření (Büntgen, 2020). Je známým faktem, že v porovnání s jakýmkoliv obdobím v uplynulých dvou staletích došlo od předindustriálního období (1850-1900) do současnosti (2018) na severní polokouli k nárůstu průměrné teploty nad zemským povrchem o 1,53 °C (IPCC, 2019). Ze srovnání s vývojem klimatu v předchozích dekádách vyplývá, že vulkanismus a zvýšená sluneční aktivita měly na vývoj klimatu nepopiratelný vliv (Altman et al., 2021). Využití klimatických modelů v kombinaci s daty z přímých pozorování umožnilo jednotlivé faktory srovnávat z hlediska intenzity. Díky tomu je zřejmé, že prudký nárůst teplot v posledních 200 letech je v největší míře vysvětlitelný působením antropogenních vlivů, a to zejména vyšší koncentrací skleníkových plynů v atmosféře (IPCC, 2013).

Globální klimatická změna neznamena pouze nárůst teplot, nýbrž s sebou přináší mnoho dalších environmentálních změn. Mezi ty nejvýraznější patří změny v hydrologickém cyklu a v dostupnosti vody. Dále může docházet ke vzestupu hladiny moří, acidifikaci oceánů a častějšímu výskytu extrémních jevů, jako jsou bleskové záplavy a vlny mimořádných veder a sucha (IPCC, 2019). Klimatická změna významně působí na mnoho ekosystémů, které se jí do velké míry dokáží přizpůsobit (Janda et al. 2021). Pokud jsou však změny příliš silné a

dlouhodobé, může dojít k jejich nenávratnému poškození či odumírání (IPCC, 2019). Tématu vlivu klimatické změny konkrétně na lesní ekosystémy se detailněji věnuje kapitola 2.7.

Vývoj klimatu zdaleka nebyl na všech místech planety stejný, vždy se projevíly konkrétní podmínky prostředí. Palynologická data však ukazují, že paleoklimatické změny a následné environmentální změny na území Dálného východu s globálními změnami klimatu silně korelovaly (Bazarova et al., 2007; Iqarashi & Iqarashi, 1998).

2.4. Vývoj klimatu ruského Dálného východu

Mezi prvními se výzkumu vývoje klimatu Dálného východu věnoval N. A. Khotinsky, který na konci 20. století sjednotil dostupná paleoklimatická data z této oblasti. Vycházel při tom jednak z výsledků pylových analýz z rašelinných či jezerních sedimentů, jednak z radiokarbonového datování (Groisman et al., 2013). Pylové záznamy obsažené v rašelinných sedimentech jsou i dnes významným zdrojem informací o klimatických změnách a s nimi souvisejících proměnách vegetace (Bazarova et al., 2007).

Zásadní vliv na rozvoj druhové diverzity této oblasti mělo období Pleistocénu, neboť území Dálného východu pravděpodobně nebylo postiženo dobami ledovými tak silně jako například evropská část kontinentu. (Kuennecke, 2008). Roli však hrála také orientace horstev, která umožnila migraci druhů (Doležal et al., 2012). Díky tomu bylo mnoho druhů ušetřeno vymírání a v tamních lesích zůstala zachována vysoká druhová rozmanitost (Kuennecke, 2008). Na konci Pleistocénu během posledního glaciálu (13 000 – 10 300 před současností) byla vegetace ruského Dálného východu tvořena převážně křovinami zástupců rodů *Betula* a *Alnus* s občasným výskytem *Pinus pumilla* (Pall.) Regel. Během teplých období (např. Alleröd) byla křovinná vegetace nahrazena spíše stromovou s občasným výskytem jehličnanů, jako jsou zástupci rodů *Larix* a *Picea* (Bazarova et al., 2007; Groisman et al., 2013). Klima všech chladných period Pleistocénu, přineslo snížení teploty i srážek. To spolu s intenzivnějším zimním monzunem umožnilo transport velkého množství prachových částic ze středního Mongolska na velké vzdálenosti a přispělo tak k utváření sprašových půd (Bazarova et al., 2007).

Počátkem raného Holocénu (10 300 – 9 300 př. souč.) došlo z hlediska rozvoje vegetace ke zlomovému okamžiku. Klima se začalo mírně oteplovat, což spolu s vysokými úhrny srážek umožnilo rozšíření lesů po celém území ruského Dálného východu. Ty byly převážně smíšené s výskytem zástupců rodů *Picea*, *Abies* a místy *Pinus*. Lesy jižní části této oblasti byly tvořeny

spíše širokolistou vegetací, v níž se mimo jiné hojně vyskytoval *Quercus mongolica*. Toto oteplení bylo možné díky tzv. boreálnímu fenoménu, který byl pravděpodobně způsoben snížením zalednění v Arktické oblasti. Díky němu bylo umožněno pronikání teplých mořských proudů z Atlantského oceánu do Barentsova moře, což vedlo k přenosu teplých vzdušných mas z Fennoskandinávie a nárůstu teploty a srážek na Sibiři (Groisman et al., 2013). Konec raného Holocénu byl doprovázen opětovným ochlazením, které znamenalo ústup listnatých druhů a vyšší zastoupení křovin (Bazarova et al., 2007).

Oteplení na počátku středního Holocénu (kolem 7 000 př. souč.) bylo doprovázeno rozšířením převážně jehličnatých lesů se zástupci rodů *Larix*, *Picea* a *Betula* v severní části Amurské pánve, zatímco na jihu Sibiře převažovaly lesy listnaté s dominantními zástupci rodů *Quercus* a *Ulmus*. Okolo let 6 000 př. souč. došlo ke krátkému ochlazení, což způsobilo snížení výskytu mnoha listnatých dřevin, a naopak vyšší zastoupení rodů *Picea* a *Betula*. Pro konec středního Holocénu (5 700 – 5 000 př. souč.) bylo charakteristické tzv. holocénní klimatické optimum, které mělo pro rozvoj druhové diverzity v oblasti Dálného východu velký význam. V tomto období došlo k nárůstu teplot a srážek nad dnešní hodnoty, což bylo doprovázeno expanzí mnoha druhů dřevin (Groisman et al., 2013). V lesích vzrostlo zastoupení širokolisté stromové vegetace, v níž převládali zástupci rodů *Quercus*, *Ulmus* a *Tilia* (Bazarova et al., 2007).

Počátkem pozdního Holocénu okolo 4 900 let př. souč. bylo toto teplé období vystřídáno prudkým ochlazením, které v jižní části Sibiře znamenalo pokles rozšíření mnoha širokolistých druhů, a naopak stoupl zastoupení jehličnanů. Následné oteplení v letech 1 800 - 800 př. souč. přineslo v jižní části Dálného východu významné rozšíření smíšených lesů s dominantní *Pinus koraiensis*, doprovázenou zástupci rodů *Abies*, *Quercus*, *Picea*, *Betula* a *Ulmus* (Bazarova et al., 2007). Toto druhové složení zde bylo v podstatě v nezměněné podobě zachováno až do dneška, což činí ze smíšených lesů Dálného východu zcela unikátní ekosystémy (Kuennecke, 2008).

Současné klima ruského Dálného východu je velmi heterogenní, a to zejména kvůli vlivu dvou hlavních klimatických gradientů typických pro severovýchodní Asii – jedním je zeměpisná šířka, druhým pak vzdálenost od oceánu. Klimatické podmínky jsou z velké části závislé na monzunových cyklech, které způsobují velkou variabilitu teplot během roku (Groisman et al., 2013). V zimních měsících Sibiřská tlaková výše přináší chladný a suchý vzduch, což má za důsledek suché zimy s lednovými teplotami klesajícími k -22 až -26 °C. Během letního monzunu to této oblasti v časném létě proudí chladný vlhký vzduch, během

července a srpna pak teplý a velmi vlhký vzduch od moře. Díky tomu jsou léta bohatá na srážky s průměrnými teplotami mezi 15 a 20 °C v závislosti na míře kontinentality dané lokality (Krestov, 2003).

V posledním století dochází na Dálném východě podobně jako na dalších místech planety k oteplování. Tato oblast patří k těm, kde je nárůst teplot nejsilnější. Teploty zde stoupají o 1,39 °C/100 let, což je výrazně více ve srovnání s průměrným nárůstem o 0,98 °C na severní polokouli (Groisman et al., 2013; Lindsey & Dahlman, 2021). Z výzkumů Pavla Groismana vyplývá, že v zeměpisných šířkách nad 55° s. š. došlo k nárůstu srážek, tento trend však není možné pozorovat na celém území. V teplém období roku nebyl žádný nárůst srážek zaznamenán, což v kombinaci se zvyšováním teplot může způsobovat výraznější a delší suchá období. Ta pak mohou vést k častějšímu výskytu period extrémního sucha, lesních požárů a v dlouhodobějším horizontu až k posunu některých ekosystémů směrem k severu (Groisman et al., 2013).

Způsobů, jak získat data o vývoji klimatu, existuje mnoho. Změnu klimatu je možné rekonstruovat pomocí počítačových modelů, které do určité míry umožňují predikci vývoje do budoucnosti. Pro celkové pochopení klimatického systému však samotné modely nestačí a je vždy nutné provést jejich srovnání s empirickými daty z přímých či nepřímých měření (Ruddiman, 2014).

2.5. Metody pro výzkum historického vývoje klimatu

Přímá měření pro výzkum klimatu existují pouze za několik málo minulých staletí, pro pohled hlouběji do historie jsou proto využívána nepřímá (proxy) data (Frelich, 2002). Metod, ze kterých můžeme vycházet, je velké množství. Žádná z metod není použitelná univerzálně a volba té nejvhodnější se vždy odvíjí od informace, kterou potřebujeme získat. Pro výzkum historického vývoje klimatu jsou využívány například záznamy z ledovcových vývrtů, či rašelinných sedimentů (Chambers, 2011), je-li však středem našeho zájmu klima ve vztahu k lesům, nabízí se mnoho dalších metod.

Pro výzkum (pre)historického vývoje lesních ekosystémů jsou velmi dobře využitelné fosilní záznamy ze sedimentovaného pylu a částí rostlin (Ruddiman, 2014). Tato data nám mohou poskytnout poznatky o změnách v druhovém složení vegetace v řádu stovek až tisíců let nazpět, stejně jako o proměnách prostorového rozšíření jednotlivých rostlin. Jejich nevýhodou je však poměrně nízké prostorové a časové rozlišení a často také nemožnost přesného

taxonomického zařazení nalezených vzorků. Určování tak mnohdy probíhá na úrovni čeledí, maximálně rodů, což může výsledky zkreslovat (Frelich, 2002).

Pro získání dat o vývoji ekosystémů mohou dobře posloužit také psané historické záznamy o významných disturbancích a vývoji klimatu v dané oblasti. Tyto informace bývají prostorově a časově velmi přesné, jsou však limitovány na oblasti s tradicí vedení psaných záznamů. Obvykle se navíc nezaměřují na vývoj ekosystémů jako takový, ale spíše dopadů meteorologických událostí na lidskou společnost (Frelich, 2002). Jsou tedy využitelné spíše jako doplněk k jiným proxy datům z dané lokality, než jako samostatný zdroj informací (Kyncl, 2016; Amoroso et al., 2017).

Poznatky o vývoji stanoviště poskytují také výzkumy vývrátů. Tyto však slouží spíše pro studium dynamiky porostu po disturbanci než pro spolehlivé určení dlouhodobého historického vývoje stanoviště (Frelich, 2002).

Další možností, jak získat údaje o vývoji stanoviště, jsou letecké snímky, které v případě pravidelného opakování mohou poskytnout poměrně detailní informace (Yang, 2013). Jejich nevýhodou je však relativně krátká doba, po kterou je toto snímkování prováděno, proto se metoda hodí pouze pro výzkum několik posledních dekad (Frelich, 2002).

Ideální cestou pro zkoumání vývoje lesních ekosystémů ve vztahu ke klimatu je využití letokruhové analýzy, neboť letokruhy v sobě uchovávají jednak informace o klimatických podmínkách dané oblasti, jednak o ekologii stanoviště a proběhlých disturbancích (Fritts, 1971). Tato metoda tak umožňuje získat detailní poznatky o každoročních změnách environmentálních podmínek v horizontu až několika tisíciletí (Frelich, 2002).

2.6. Dendrochronologie a dendroklimatologie

Dendrochronologie neboli letokruhová analýza, je vědou zabývající se čtením záznamu obsaženého v letokruzích stromů (Kyncl, 2016; Amoroso, 2017). Jejím cílem je přiřazení konkrétního roku ke každému letokruhu, což následně umožňuje chronologicky seřadit jednotlivé události vývoje stromu (Schweingruber, 2007). Obvykle je prováděno měření šířky jednotlivých letokruhů, což nám poskytuje znalosti o radiálním růstu stromu v různých stádiích jeho života. Často je také věnována pozornost anatomickým nepravidlostem a abnormalitám, jako jsou chybějící či zdvojené letokruhy, tvorba reakčního dřeva či změny v

denzité (Schweingruber, 2007; Schweingruber, 1996). Dále je využívána analýza stabilních izotopů, hustoty dřeva a kvantitativní analýza anatomických znaků dřeva (Speer, 2010).

Na radiální růst stromu má vliv mnoho faktorů, a to jak biotických, jako jsou genetika či věk, tak abiotických (např. světlo, teplota, srážky, mechanické poškození) (Schweingruber, 1996). Abiotické faktory působí na strom současně a mohou ovlivňovat jeho růst v jakémkoliv čase a s různou intenzitou. Z toho důvodu je mnohdy obtížné odlišit vliv pouze jednoho konkrétního faktoru. Jednotlivé stromy se navíc s vlivy prostředí mohou vyrovnávat odlišně v závislosti na věku, zdravotním stavu či vlastnostech stanoviště. Tudíž je vždy nutné analyzovat co největší počet jedinců, aby bylo možné spolehlivě stanovit příčinu variability v meziročních přírůstech (Cook & Kariukstis, 1990).

Nespornou výhodou dendrochronologie je přesné časové zařazení jednotlivých událostí a silná statistická korelace s klimatickými daty (Ruddiman, 2014). Proxy data z letokruhových analýz patří mezi nejčastěji využívané metody výzkumu biologické reakce dřevin na klima, neboť poskytují dlouhé časové řady s vysokým časovým a prostorovým rozlišením. Díky tomu umožňují zpětně analyzovat změny růstu jednotlivých druhů v rozdílných ekologických podmínkách a odhadnout další vývoj v závislosti na měnícím se klimatu (Altman, 2020).

Z dendrochronologie vychází množství odvozených disciplín jako například dendroekologie, která se věnuje proměnám lokálního prostředí (Fritts, 1971; Amoroso, 2017). Mezi dalšími je možné jmenovat dendroglaciologii zkoumající vliv pohybu ledovců či dendrohydrologii zabývající se vlivem vodního režimu. Disciplínou využívanou v této práci je dendroklimatologie, která zkoumá radiální přírůst stromů ve vztahu k minulému a současnému klimatu (Fritts, 1971). Dendroklimatologie vychází z předpokladu, že je možné pozorovat vztah mezi klimatickými podmínkami a šířkou letokruhů (Schweingruber, 1996). Z dendrochronologických dat tak můžeme získat mimo jiné informace o minulých sezónních teplotách a srážkách, respektive suchu (Ruddiman, 2014). K tomuto účelu jsou v největší míře využívány korelace výsledků letokruhových analýz s meteorologickými či klimatickými daty. Pozornost je však také věnována například prasklinám způsobeným mrazem nebo poškození kroupami (Schweingruber, 1996). Pro získání informací o klimatu ve starších geologických obdobích je možné k dendrochronologickému datování využít fosilizované dřevo ze sedimentů (Torbenso, 2015).

2.7. Vliv klimatické změny na lesní ekosystémy

Klima patří k nejdůležitějším faktorům působícím na růst (Altman et al., 2017) a geografické rozšíření dřevin (Kirschbaum, 2000). Klimatické podmínky zásadním způsobem působí na míru fotosyntézy a respirace lesních ekosystémů a přímo ovlivňují četnost disturbancí, jako jsou například vichřice a lesní požáry (Thompson et al., 2009). Klima nepřímo ovlivňuje celkový zdravotní stav lesů a jejich schopnost odolávat nemocem či náletům hmyzích škůdců (Spurr & Barnes, 1973). Lesní ekosystémy jsou klimatickou změnou postiženy obzvláště silně, neboť jednotlivé stromy na ni přímo reagují změnami růstu, což se v dlouhodobém horizontu odráží na změně biodiverzity (Altman et al., 2016).

Ve vztahu ke klimatické změně mají lesy dvojí postavení. V první řadě se s ní samy musí vyrovnávat a reagovat na nové podmínky, mohou k ní však rovněž přispívat či ji naopak zmírňovat. Je odhadováno, že zdravé a fungující lesní ekosystémy mají potenciál absorbovat a uchovat přibližně jednu desetinu veškerých emisí CO₂ vytvořených v následujících 50 letech, na druhou stranu však jejich těžba a degradace k těmto emisím významně přispívá (FAO, 2020). Proto je nutné reakci lesních porostů na měnící se klima věnovat zvýšenou pozornost.

Obecně existují tři cesty, kterými se vývoj ekosystémů může v reakci na klimatickou změnu ubírat: persistence prostřednictvím migrace, adaptace na nové podmínky a v extrémním případě až lokální vyhynutí (Aitken et al. 2008). Schopnost vyrovnat se s novými podmínkami vždy záleží na konkrétních faktorech, které jsou pro daný ekosystém limitující (Allen et al. 2009). V chladných a vlhkých oblastech je za nejsilnější faktor klimatické změny považována rostoucí teplota, což je patrné například na změně druhového složení tundry či na posunu lesů do vyšších nadmořských výšek. Naopak v teplých oblastech hrají nejdůležitější roli proměny srážkových režimů a s nimi související obsah vody v půdě (Altman et al., 2017).

Současné změny klimatu nemají v posledních dvou tisíciletích obdoby (Neukom et al., 2019). Předpokládá se, že klimatické změny v budoucnosti přinesou častější a déle trvající období lesních požárů, a to i v oblastech, kde lesní požáry dříve nebyly problémem (FAO, 2020). Zejména u temperátních lesů oteplení pravděpodobně povede k posunu areálu směrem k severu do boreálního pásma a do vyšších nadmořských výšek (Buckley & Hillerislambers, 2009). Bylo zjištěno, že oteplení může u druhů na teplejším okraji boreálního pásma vést ke snížení fotosyntetické aktivity, a naopak k jejímu zvýšení v případě druhů na chladnějším okraji temperátního pásma (Reich et. al, 2015). Oteplení vede

k prodloužení vegetační sezóny, což může vést ke zvýšením produktivity. V mnoha případech jsou však dřeviny během letních měsíců vystavovány stresu vysokými teplotami a suchem, což spolu s vyšší respirací na podzim jejich celkovou produktivitu snižuje. Limitující jsou rovněž častější disturbance. Korelace mezi rostoucí teplotou a vyšší produktivitou je tedy vždy závislá na konkrétních podmínkách prostředí (Boisvenue & Running, 2006).

Případné změny v rozšíření dominantních druhů dřevin mohou silně ovlivnit biodiverzitu a ekosystémové služby lesů, což může následně mít zásadní vliv i na mnohé socioekonomické faktory lidské společnosti. Pochopení reakce lesních ekosystémů na klimatickou změnu je tudíž klíčové pro porozumění klimatické změně jako takové a odhadování jejích následků (Altman et al., 2020; Millar et al. 2007).

3. Projekt

3.1. Cíle

Hlavním cílem projektu je využití dendrochronologických a klimatických dat pro získání poznatků o vlivu klimatu na radiální přírůst dominantních dřevin ruského Dálného východu.

3.2. Hypotézy

- Reakci dřevin na klimatické podmínky (zejména teplotu a srážky) je možné zkoumat pomocí dendrochronologických metod.
- Recentní projevy globální změny klimatu působí negativně na radiální přírůst dřevin.
- Dřeviny z různých taxonomických skupin reagují na změny klimatu odlišně.

3.3. Popis lokality

V rámci projektu byl studován přirozený smíšený les na okraji Vladivostoku na 43,2° s. š. a 131,9° v. d. v nadmořské výšce okolo 150 m n. m. (Obr. 1). Tato plocha je součástí Botanického ústavu Ruské akademie věd.



Obr. 1: Studovaná oblast. Lokalita sběru vzorků je vyznačena červeně.

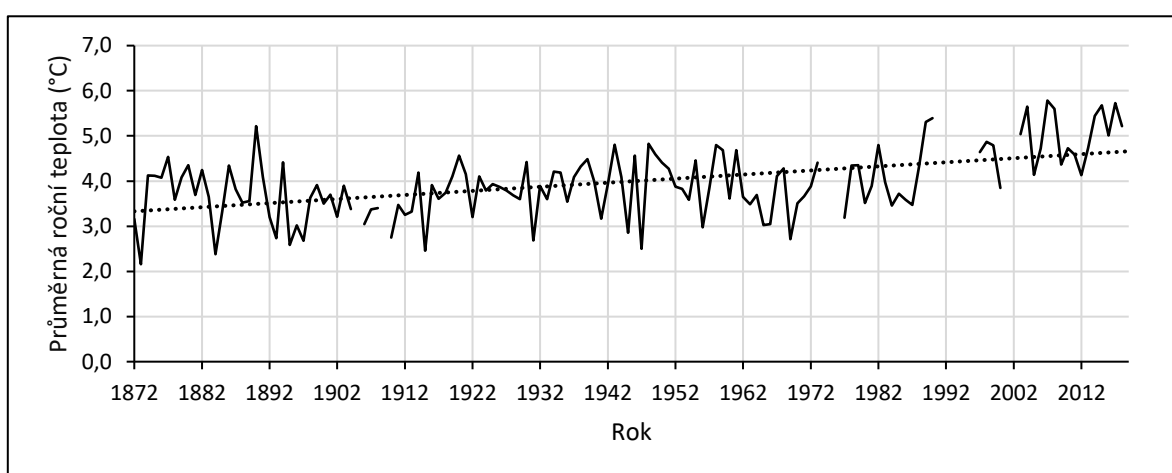
V posledních desetiletích zde z hlediska managementu neprobíhaly žádné aktivity, porost je tudíž velmi zachovalý a dobře reprezentuje druhové složení lesů této zeměpisné polohy a nadmořské výšky.

Z hlediska biodiverzity je studovaná plocha druhově bohatá s většinou druhů typických pro danou oblast. Mezi nejvíce zastoupené dřeviny patří *Carpinus cordata*, *Abies holophylla*, *Tilia amurensis*, *Quercus mongolica*, *Ulmus japonica* a *Betula dahurica* (Tabulka 1).

Tabulka 1: Jednotlivé druhy zastoupené na zkoumané ploše a jejich celkový počet.

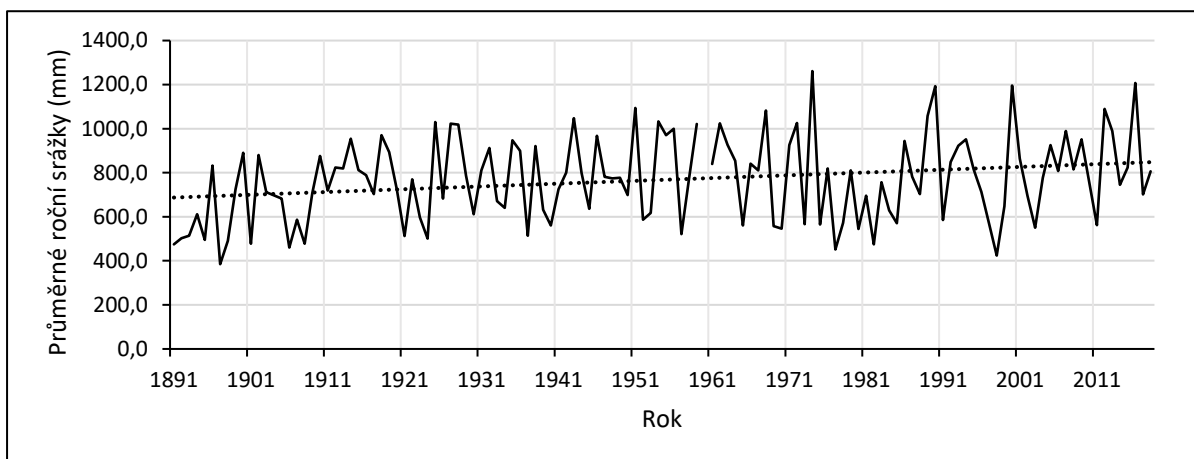
Druh	Počet celkem
<i>Carpinus cordata</i> Blume	484
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	155
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	83
<i>Abies holophylla</i> Maxim.	66
<i>Acer pictum</i> Thunb.	43
<i>Betula dahurica</i> Pall.	41
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	30
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	19
<i>Ulmus lacinata</i> (Trautv.) Mayr	15
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	16
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	8
<i>Fraxinus chinensis</i> subsp. <i>rhynchophylla</i> (Hance) A.E.Murray	6
<i>Betula platyphylla</i> Sukaczew	6
<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	5
<i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i> (Rupr.)	3
<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.	2
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	2
<i>Acer barbinerve</i> Maxim.ex Miq.	2
<i>Betula lanata</i> (Regel) V.N.Vassil.	1
<i>Padus maacki</i> (Rupr.) Kom. & Aliss.	1
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc	1

Studovaná lokalita se nachází v severní temperátní zóně, která je výrazně ovlivňována jak oceánským, tak kontinentálním klimatem. Střídání těchto vlivů vede k velkým teplotním rozdílům během roku, což se projevuje nízkými zimními teplotami a poměrně teplými vlhkými léty (Krestov, 2003). Průměrné zimní teploty v této oblasti klesají až k $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, naproti tomu v létě se denní průměry pohybují okolo $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Variabilita teplot během roku je tedy poměrně značná (KNMI Climate Explorer). Z grafu vývoje průměrných ročních teplot (Obr. 2) je patrné, že ačkoliv zde dochází k výrazným meziročním výkyvům, z dlouhodobého hlediska se teplota neustále mírně zvyšuje. Od počátku měření v druhé polovině 19. století do dnešní doby dochází k nárůstu průměrné teploty.



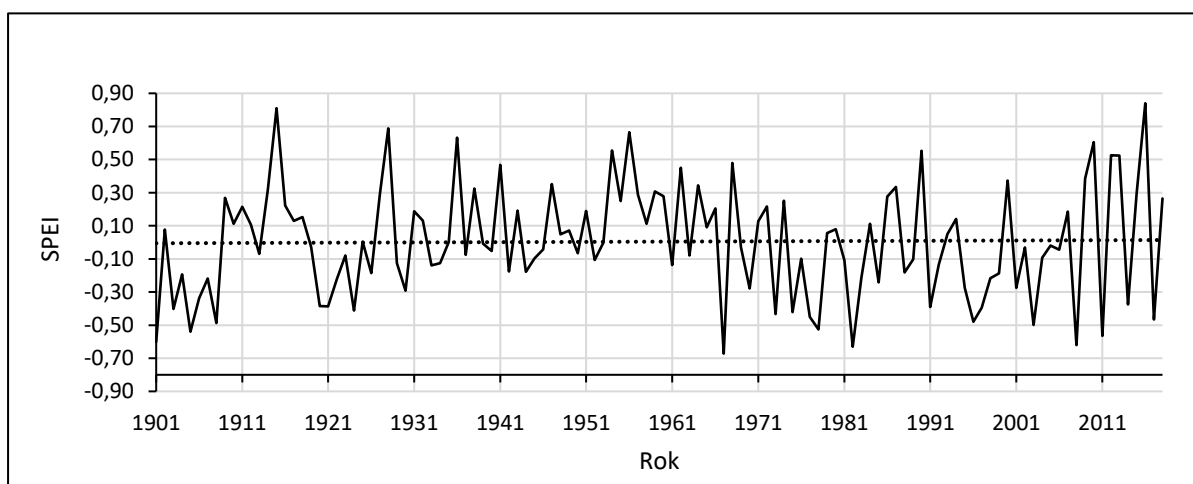
Obr. 2: Vývoj průměrných ročních teplot. Klimatická stanice Vladivostok (NOAA/ NCEI). 43,12N, 131,93E, 184 m. Tečkovaně lineární spojnice trendu, $R^2=0,26$.

Vlhká léta se projevují vysokými úhrny srážek, jejichž měsíční průměry se během letních měsíců obvykle pohybují okolo 100 – 200 mm, mohou však dosáhnout až 400 mm za měsíc. Oproti tomu v zimních měsících se srážky pohybují pouze v řádech nižších desítek milimetrů za měsíc (KNMI Climate Explorer). Následující graf (Obr. 3) zobrazuje vývoj průměrných ročních srážek od konce 19. století do současnosti. Z uvedených hodnot vyplývá, že podobně jako v případě teploty, i u srážek došlo během uplynulého století k nárůstu.



Obr. 3: Vývoj průměrných ročních úhrnů srážek. Klimatická stanice Vladivostok (NOAA/ NCEI). 43,12N, 131,90E, 15 m. Tečkovaně lineární spojnice trendu, $R^2=0,0597$.

Kromě teploty a srážek je dalším hojně využívaným parametrem index sucha, kterým je možné hodnotit délku trvání a intenzitu sucha a umožňuje srovnávat míru ohrožení suchem. Parametrů pro hodnocení sucha je více, v této práci je konkrétně využíván index SPEI (standardized precipitation-evapotranspiration index). Ten je komplexnější oproti dříve využívanému PDSI (Palmer drought severity index), neboť umožňuje identifikaci odlišných typů sucha a jejich důsledků v kontextu globálního oteplování (spei.csic.es). Pro výpočet SPEI je využíván rozdíl úhrnu srážek a potenciální evapotranspirace vegetace za dané období (Vicente-Serrano, 2010). Existuje 7 kategorií sucha, které se pohybují v rozsahu od $\geq 2,0$ v extrémně vlhkých oblastech, až po $\leq -2,0$ značící extrémní sucho. Hodnoty mezi 0,99 a -0,99 jsou definovány jako normální (Kurniasih, 2017). Hodnoty indexu sucha ze sledované oblasti (Obr. 4) se pohybují zhruba mezi 0,80 a -0,70, z toho lze usuzovat, že oblast není výrazně ohrožena ani suchem, ani extrémně vlhkými podmínkami. Rovněž je patrné, že ačkoliv index sucha vykazuje výraznou meziroční variabilitu, na dlouhodobé škále je téměř stabilní (KNMI Climate Explorer).



Obr. 4: Průměrný roční index sucha. KNMI Climate Explorer, oblast 130,50E – 131,00E., 42,50N - 43,00N. Tečkovaně lineární spojnice trendu, $R^2=0,0003$.

3.4. Popis studovaných druhů

Pro výzkum vlivu klimatu na radiální růst byly vybrány druhy *Abies holophylla* (ABHO) a *Quercus mongolica* (QUMO), a to zejména proto, že zvolené druhy jsou dominantními dřevinami temperátních lesů východní Asie. Zvolené druhy mají rozdílné ekologické požadavky, a tudíž se předpokládá, že budou na změnu klimatických podmínek reagovat rozdílně. Pro účely výzkumu bylo vhodné provést srovnání zástupců dřevin krytosemenných a nahosemenných. Zahrnutí dřevin z odlišných skupin pomůže lepšímu porozumění dané problematice a umožní aplikaci výsledku na další druhy. Rovněž je třeba použít druhy, které jsou vhodné pro dendrochronologické datování díky anatomii jejich dřeva s dobře viditelnými hranicemi letokruhu jarního a letního dřeva.

ABHO je mohutný strom tvořící nejvyšší korunové patro smíšených lesů ruské části Dálného východu. Dorůstá obvykle výšky 35 - 40 metrů a šířky kmene 50 - 80 cm, na úživných stanovištích může dosáhnout až 50 metrů (Nakamura & Krestov, 2005). Strom je silně tolerantní k zastínění, díky čemuž dobře zmlazuje i pod zapojenými korunami v prostředí s horšími světelnými podmínkami (Lee et al., 2012). Preferuje spíše vlhčí stanoviště, příležitostně však může růst i na lokalitách s nedostatkem vody (Cerny et al., 2015). Nikdy se však nevyskytuje na zcela podmáčených stanovištích (Nakamura & Krestov, 2005). Dobře snáší nízké teploty okolo -23 až -28 °C, nicméně v případě extrémních mrazů se na kmenech mohou tvořit mrazové praskliny (Bannister & Neuer, 2001). Jedle je poměrně náchylná k vyhnívání a její relativně mělký kořenový systém ji činí citlivou k vývrátům (Lee et al., 2012). ABHO je rozšířena zejména v severovýchodní Číně, v oblasti jihovýchodní Sibíře a na jihu Koreje, a to až do nadmořské výšky 1500 m n. m. (Krestov, 2014; Farjon, 2017).

Druhým studovaným druhem je QUMO. Dorůstá výšky okolo 30 metrů a spolu s ABHO je dominantně zastoupen ve svrchním korunovém patře smíšených lesů severovýchodní Asie (Doležal et al., 2009; 2012; 2020). Na rozdíl od ABHO je tento druh spíše světlomilný, kvůli čemuž bývá často vytlačen konkurenčními druhy lépe snášejícími zastínění (Nakamura & Krestov, 2005). Objevuje se u něj označení tzv. dlouhověký pionýr („long-lived pioneer“), neboť pro úspěšné rozmnožování ze semen často vyžaduje rozsáhlé disturbance. Poté rychle přeroste okolní vegetaci a vytvoří svrchní stromové patro, v němž se může dožít věku více než 300 let. Kromě regenerace ze semen také úspěšně vegetativně zmlazuje z výhonků (Doležal et al., 2009). Dobře snáší nízké teploty až do -30 °C. Druh je rozšířen po celém Korejském poloostrově, v Japonsku, severovýchodní Číně a na Sibíři. Roste

nejčastěji v nadmořských výškách okolo 700 metrů, může se však vyskytovat až do 1700 m n. m. (Suh & Lee, 1998).

3.5. Metodika

3.5.1. Sběr dat v terénu

Pro výzkum bude vytyčena plocha 1 ha, která bude pro lepší orientaci rozdělena do čtverců 10 x 10 metrů. Každý strom bude zařazen do druhu a bude změřen jeho průměr ve výšce 130 cm nad zemí (DBH¹). Pomocí laserového zaměřovacího přístroje bude zaměřena poloha všech stromů DBH > 7 cm. V případě potřeby budou zaznamenány důležité charakteristiky týkající se zdravotního stavu, které by mohly hrát roli při letokruhové analýze a dalším zpracování dat. Pro potřeby dendrochronologického datování budou provedeny vývrty ze všech změřených stromů, u nichž nehrozí nebezpečí, že by tím došlo k jejich výraznému poškození. Odběr vzorků bude prováděn pomocí Presslerova přírůstového nebozezu. Získaná data poskytnou komplexní a detailní informace o druhovém složení dřevin, jejich věkové struktuře, zdravotním stavu jednotlivých stromů a o citlivosti na klima.

3.5.2. Zpracování dat

Naměřené hodnoty z terénu spolu se zjištěnými informacemi o druhu a případně zdravotním stavu stromů budou dále zpracovány v tabulkovém procesoru MS Excel.

Vývrty budou umístěny do dřevěných lišt a pomocí sáňkového mikrotomu seříznuty tak, aby vznikla rovná plocha s dobře patrnými letokruhy pro potřeby následujícího měření (Gärtner & Nievergelt). Pro vizuální zvýraznění přechodu mezi buňkami jarního a letního dřeva bude seříznutá plocha lehce potřena křídou.

Vzorky budou dále analyzovány pomocí digitální měřicí sestavy Lintab se stereomikroskopem Olympus SZ61-TR. Ve směru od středu ke kůře budou měřeny meziroční přírůsty jarního a letního dřeva, což je možné díky vizuálním rozdílům buněk, které jsou u studovaných dřevin dobře patrné. Jarní dřevo je tvořeno většími tenkostěnnými buňkami, zatímco buňky letního dřeva jsou spíše drobnější se silnější stěnou (Drápela & Zach, 1995). Naměřené hodnoty budou zaznamenávány počítačovým programem TSAP a posléze exportovány do programu Past 5 (SCIEM). Pomocí tohoto programu bude provedeno jejich další vyhodnocení technikou

¹ Diameter at breast height

křížového datování, což je metoda, pomocí které je možné přesně určit kalendářní rok, v němž byl daný letokruh vytvořen (Speer, 2010). Následně budou pomocí téhož programu srovnány růstové křivky všech měřených jedinců a bude vytvořena průměrná chronologie zvlášť pro každý druh. Díky tomu bude umožněno odfiltrování meziroční růstové variability jednotlivých stromů a zvýraznění společného klimatického signálu. Naměřená data budou dále zpracována pomocí statistického programu R (R Core Team, 2020). Na závěr bude provedena dendroklimatologická analýza (tj. zjištění vztahu mezi chronologií a s klimatickými daty) prostřednictvím statické a posuvná korelace s využitím balíku „treeclim“ (Zang & Biondi, 2014). Posuvná korelace na rozdíl od statické umožňuje sledovat odpověď dřevin na klima měnící se v čase. Pro zjištění vlivu klimatu na prostorové škále budou provedeny prostorové korelace, kdy budou dendrochronologická data korelována s celosvětovými klimatickými daty a bude sledována síla a směr korelace.

3.6. Časový harmonogram

Projekt je plánován na necelé 3 roky od července 2022 do konce roku 2024. V prvních měsících se počítá s přípravou na samotný projekt – předpokládá se nutnost nákupu nového vybavení, vyřízení nezbytných povolení a cestovních dokladů. Následuje fáze samotného odběru vzorků v terénu, která je na základě klimatologických poznatků plánována na období září a října po skončení letního monzunu. Projekt počítá s vytvořením dvou výzkumných ploch, přičemž se předpokládá, že práce na každé z nich zaberou třem pracovníkům maximálně 14 dní. Samotný odběr vzorků v terénu tedy potrvá přibližně jeden měsíc. Následuje fáze zpracování a vyhodnocení dat v laboratoři a následná publikace výsledků. Celý časový harmonogram po jednotlivých měsících je rozepsán v Tabulce 2.

Tabulka 2: Časový harmonogram projektu.

	2022											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Příprava na sběr dat												
Terénní sběr dat												
Vyhodnocení dat												
Publikace práce												
	2023											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Příprava na sběr dat												
Terénní sběr dat												
Vyhodnocení dat												
Publikace práce												
	2024											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Příprava na sběr dat												
Terénní sběr dat												
Vyhodnocení dat												
Publikace práce												

3.7. Rozpočet

Předběžný rozpočet vychází z plánovaného zaměstnání tří osob po dobu trvání projektu a počítá s celkovými výdaji 2,88 mil. Kč. Kromě mzdových nákladů je do něj započítán nákup vybavení a cestovní a provozní náklady. Žádost je předkládána Grantové agentuře České republiky. Celkový rozpočet je rozepsán v Tabulce 3.

Tabulka 3: Předpokládané finanční náklady

Věcné náklady	Částka
Dlouhodobý hmotný majetek	80 000
Doplňkové (režijní) náklady	480 000
Cestovní náklady	200 000
Osobní náklady	
Mzdy pracovníků	1 700 000
Zákonné odvody	540 000
Mzdy celkem	2 120 000
Celkové náklady projektu	2 880 000

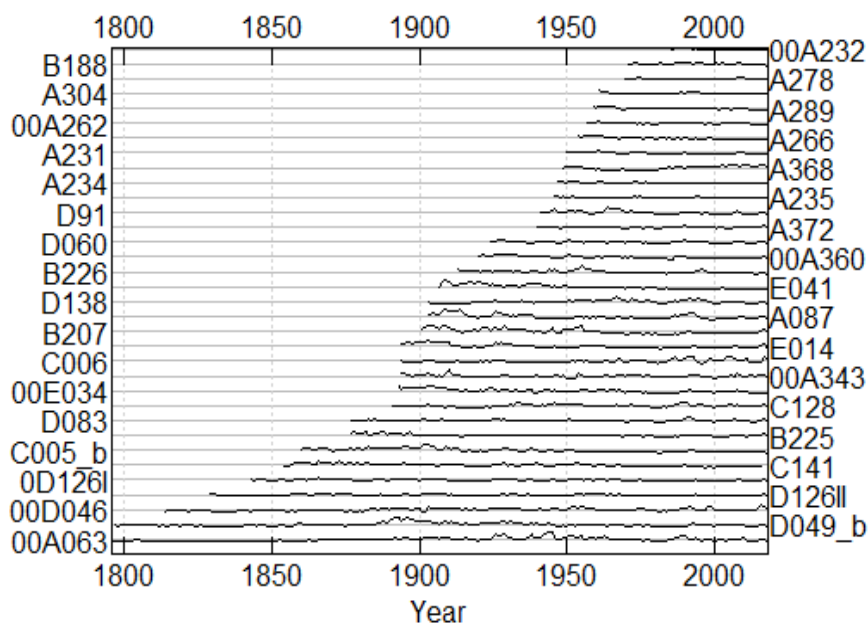
V položce Dlouhodobý hmotný majetek jsou zahrnuty náklady na pořízení technického vybavení nezbytného pro realizaci projektu jako je laserový zaměřovač a Presslerovy přírůstkové nebozezy. Žádný dlouhodobý nehmotný majetek ani materiál nakupován nebude. Doplnkové (režijní) náklady představují výdaje spojené s využíváním laboratoří AV ČR včetně jejich zařízení a dalších prostor a tvoří 20 % z veškerých nákladů. Položka Osobní náklady zahrnuje finanční odměnu tří stálých pracovníků (plný úvazek navrhovatele projektu a 50% úvazek 2 odborných spolupracovníků) včetně povinných zákonných odvodů na zdravotním a sociálním pojištění. Cestovní náklady představují nákup zpátečních letenek do Ruska, náklady spojené s cestováním a pobytem v místě výzkumu a cestovní pojištění.

3.8. Předběžné výsledky

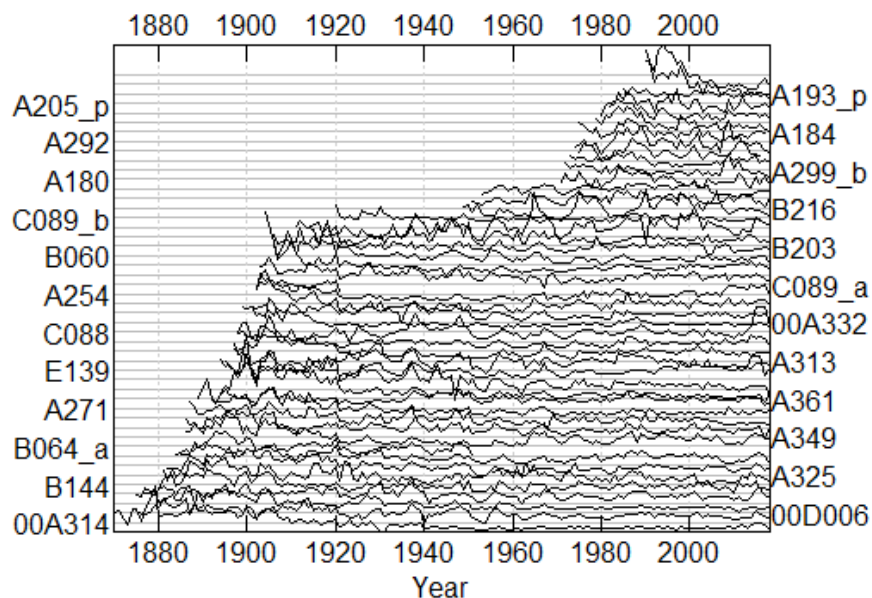
Předběžné výsledky byly zpracovány na základě vyhodnocení vzorků odebraných pracovníky BÚ AV v roce 2018. Jejich cílem je doplnit informace z literární rešerše o praktické poznatky.

3.8.1. Letokruhová analýza

Pomocí Presslerova přírůstového nebozezu bylo odebráno celkem 110 vzorků. Ty byly následně změřeny a bylo na nich provedeno vizuální křížové datování. Základním kritériem pro posuzování byl Gleichläufigkeit (Glk), což je parametr stanovující míru podobnosti dvou chronologií a směru jejich trendu (Speer, 2010). Určující hodnotou použitelnosti chronologií pro další analýzu bylo $Glk > 65\%$, přičemž bylo vybráno 34 vzorků *Abies holophylla* (ABHO) a 48 vzorků *Quercus mongolica* (QUMO). Obr. 5 a 6 zobrazují špagetové grafy všech datovaných hodnot.

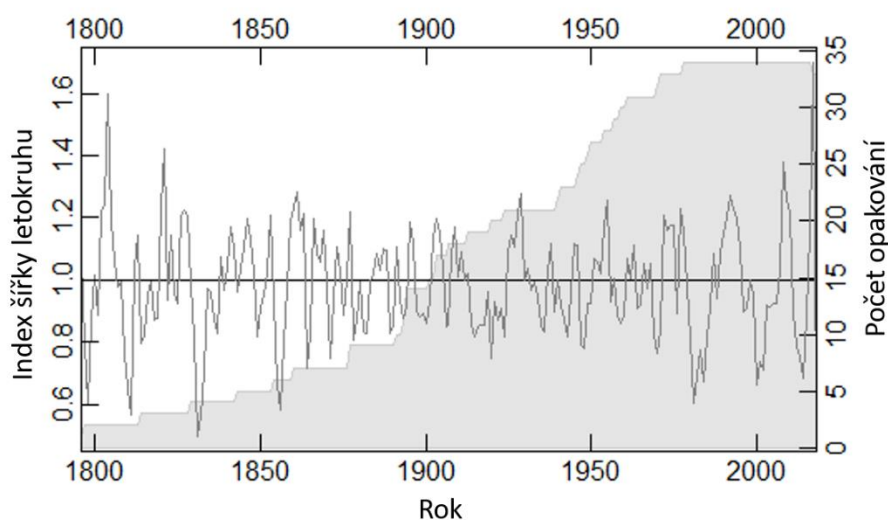


Obr. 5: Špagetový graf se zobrazením všech datovaných letokruhových sérií ABHO, $Glk > 65\%$. Na svislých osách jsou zobrazeny názvy jednotlivých chronologií, na vodorovných jejich stáří.

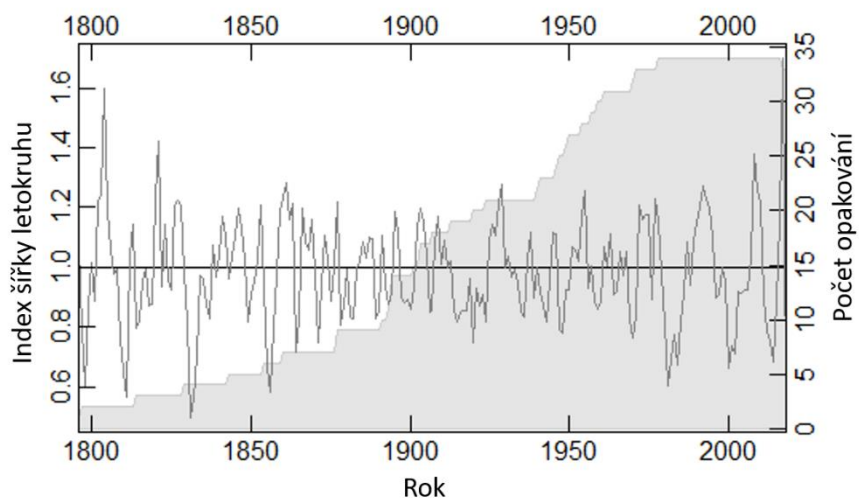


Obr. 6: Špagetový graf se zobrazením všech datovaných letokruhových sérií QUMO, $Glk > 65\%$. Na svislých osách jsou zobrazeny názvy jednotlivých chronologií, na vodorovných jejich stáří.

Z naměřených sérií byla pro každý druh zvlášť vytvořena průměrná růstová chronologie. Dále byly odstraněny neklimatické individuální růstové trendy spojené s věkem jednotlivých stromů. K tomu účelu bylo využito detrendování pomocí negativní exponenciály a funkce spline (25 let). Obr. 7 a 8 zobrazují průměrné chronologie po detrendování metodou spline (Speer, 2010).



Obr. 7: Standardní chronologie ABHO. Index šířky letokruhu je růstový index vypočítaný zprůměrováním detrendovaných sérií.



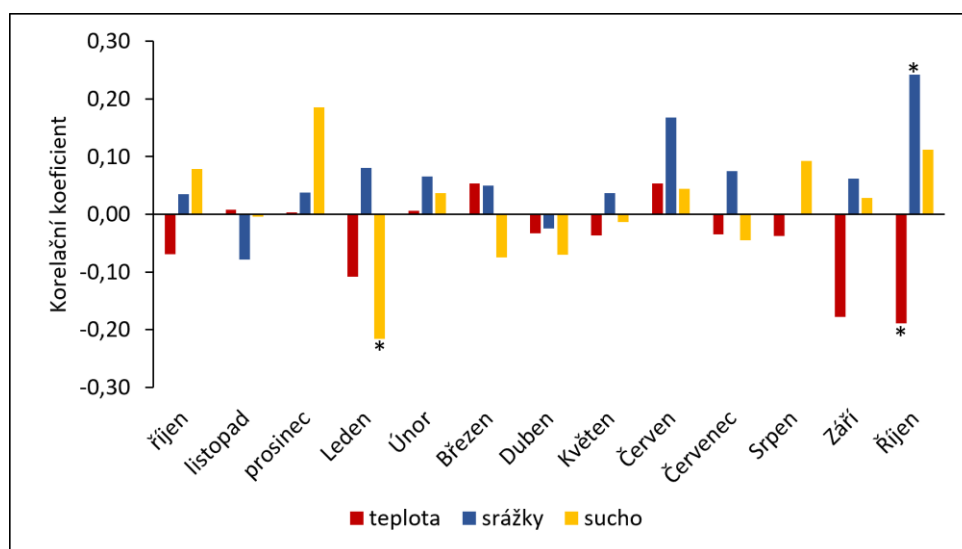
Obr. 8: Standardní chronologie QUMO. Index šířky letokruhu je růstový index vypočítaný zprůměrováním detrendovaných sérií.

Vizuálním hodnocením chronologií obou druhů lze pozorovat odlišnosti v růstu analyzovaných druhů, kdy QUMO (Obr. 8) vykazuje výraznější meziroční variabilitu než ABHO (Obr. 7).

3.8.2. Dendroklimatologie

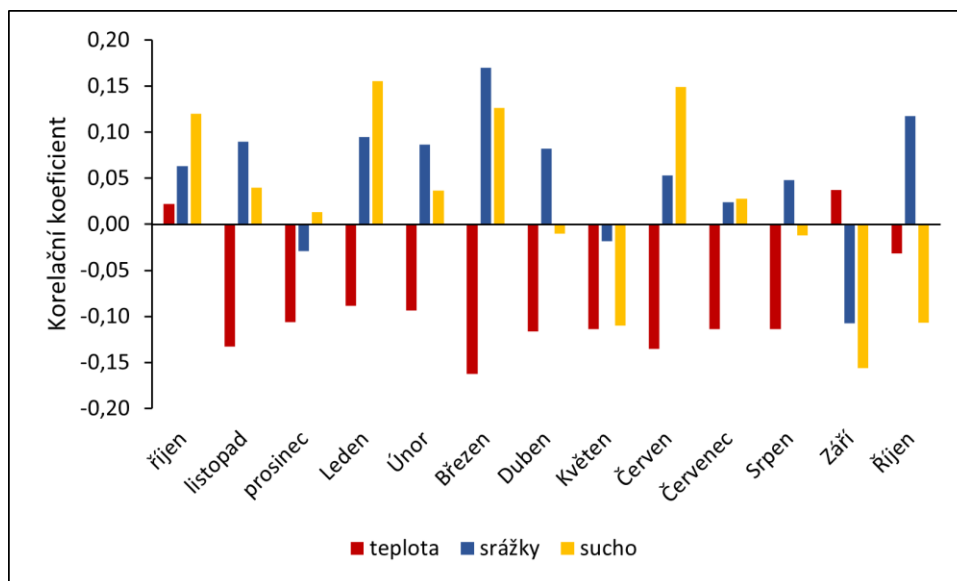
Nejprve byla pro každý druh vypočítána statická korelace. Růstová odpověď je založena na korelaci mezi standardizovanou chronologií a průměrnou měsíční teplotou, srážkami a indexem sucha pro období 1902 – 2018. Korelace byla počítána pro období od října předchozího roku do října roku současného, čímž byl zohledněn i vliv klimatických podmínek v měsících před začátkem vegetační sezóny.

ABHO (Obr. 9) vykazuje mírně pozitivní vztah mezi růstem a srážkami v říjnu. Jako negativní se naopak ukázal vliv teploty na růst v říjnu a index sucha v lednu.



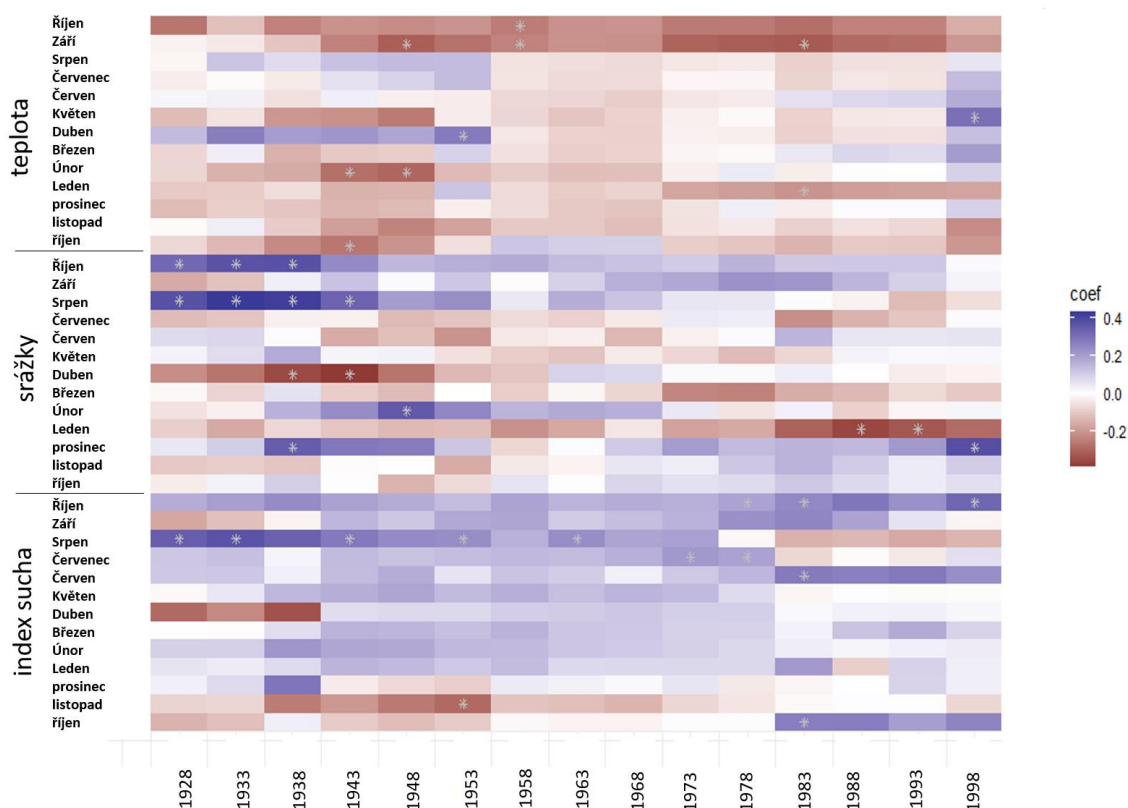
Obr. 9: Vztah mezi klimatickými faktory a šířkou letokruhů ABHO v období od minulého října (malá první písmena) do října letošního roku (velká první písmena). Hvězdičkami jsou označeny signifikantní hodnoty korelace, $p < 0,05$.

V případě QUMO nebyl identifikován žádný průkazný vztah mezi růstem a klimatem (Obr. 10).



Obr. 10: Vztah mezi klimatickými faktory a šířkou letokruhů QUMO v období od minulého října (malá první písmena) do října letošního roku (velká první písmena). Hvězdičkami jsou označeny signifikantní hodnoty korelace, $p < 0,05$.

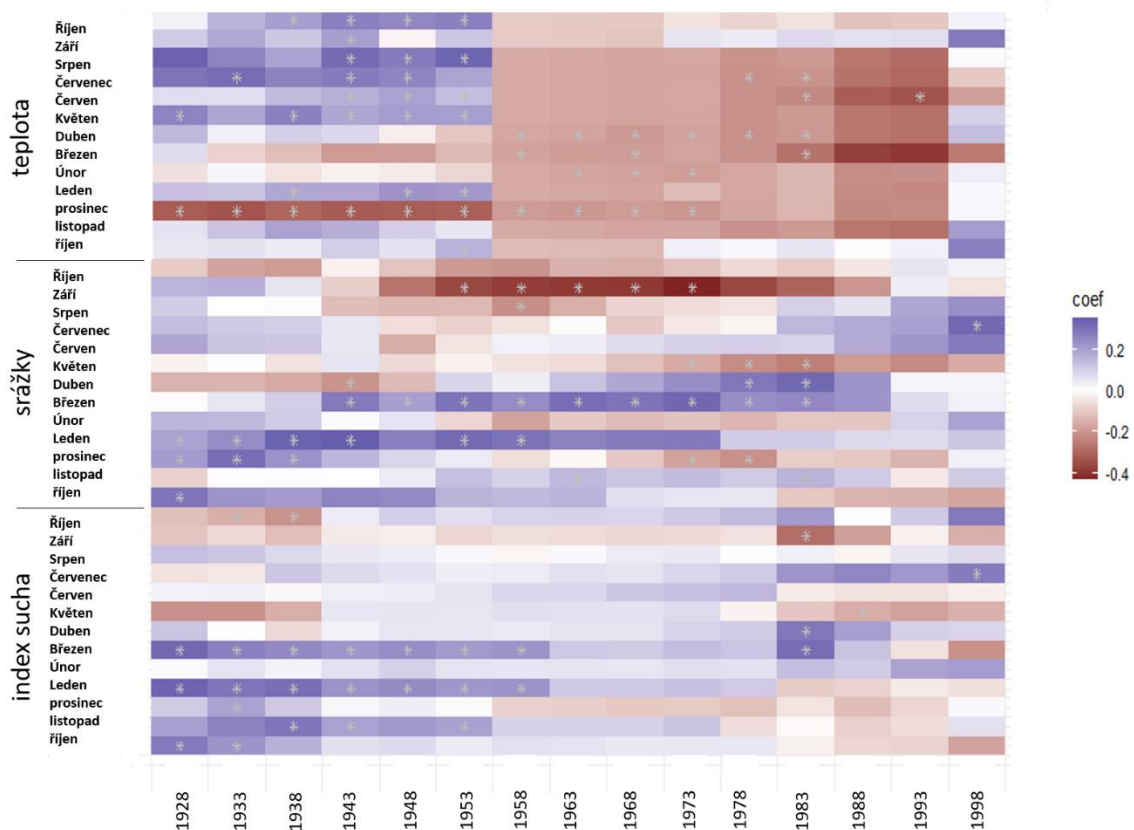
V dalším kroku byla počítána posuvná korelace s teplotou, srážkami a indexem sucha pro období 1902 – 2018 (Obr. 11 a 12).



Obr. 11: Posuvná korelace ročního radiálního přírůstu ABHO s klimatickými faktory v jednotlivých měsících předchozího (malá první písmena) a současného roku (velká první písmena). Na ose x jsou střední hodnoty 40-tiletých intervalů, pro které byly korelace počítány, s pětiletým odstupem mezi intervaly. Hvězdičkami jsou označené signifikantní hodnoty korelace, $p < 0,05$.

Z grafu posuvné korelace (Obr. 11) je patrné, že v celém sledovaném období, zejména přibližně od roku 1938, vykazuje ABHO relativně stabilní negativní korelaci s teplotou na konci vegetačního období, tedy během září a října. Z toho je zřejmé, že stoupající teplota má na růst ABHO negativní vliv.

Rovněž je v celém období patrná pozitivní korelace s indexem sucha, a to opět zejména ke konci růstové sezóny. Z toho usuzují, že vyšší hodnoty SPEI, tedy vlhčí podmínky během posledních měsíců vegetačního období, mají na růst ABHO pozitivní vliv.



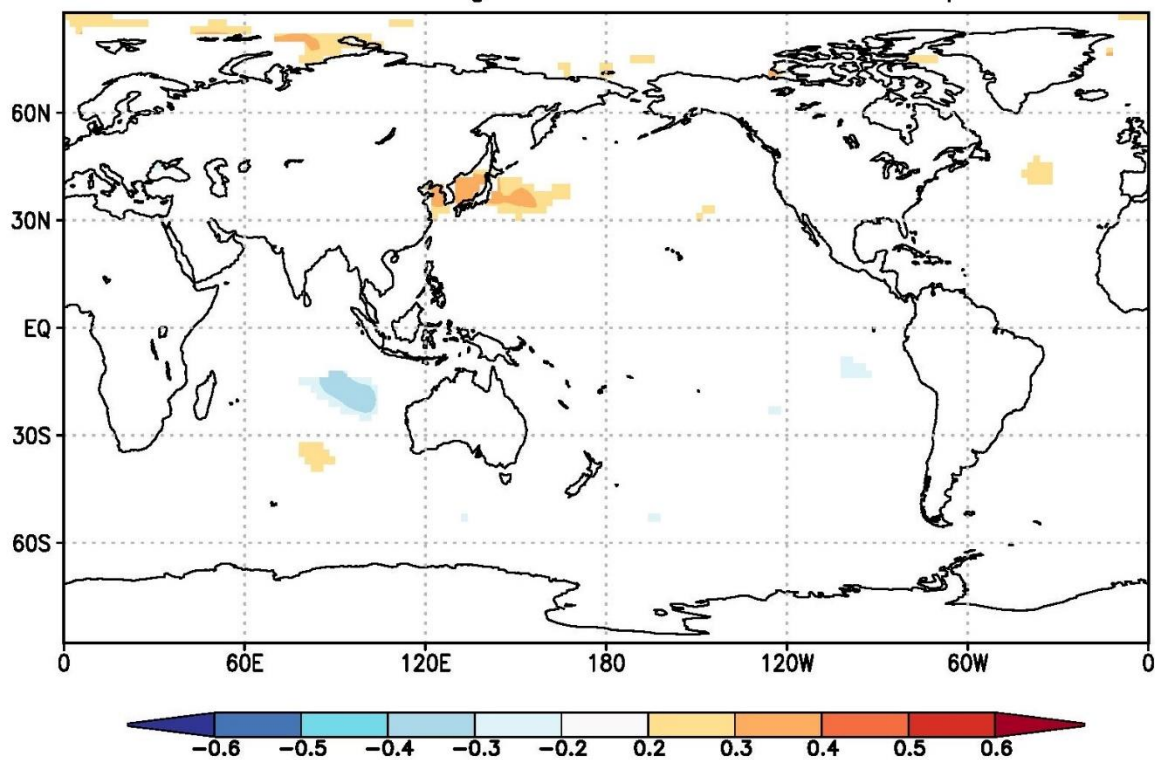
Obr. 12: Posuvná korelace ročního radiálního přírůstu QUMO s klimatickými faktory v jednotlivých měsících předchozího (malá první písmena) a současného roku (velká první písmena). Na ose x jsou střední hodnoty 40-tiletých intervalů, pro které byly korelace počítány, s pětiletým odstupem mezi intervaly. Hvězdičkami jsou označeny signifikantní hodnoty korelace, $p < 0,05$.

Na Obr. 12 je dobře patrná reakce QUMO na změnu klimatických podmínek. Hodnoty korelace s teplotou byly v první polovině sledovaného období relativně stabilně kladné, a to zejména v měsících vegetační sezóny (duben až říjen). V druhé polovině však došlo k proměně korelace přírůstu s teplotou do záporných hodnot. Z toho usuzují, že stoupající teplota má na růst QUMO negativní vliv.

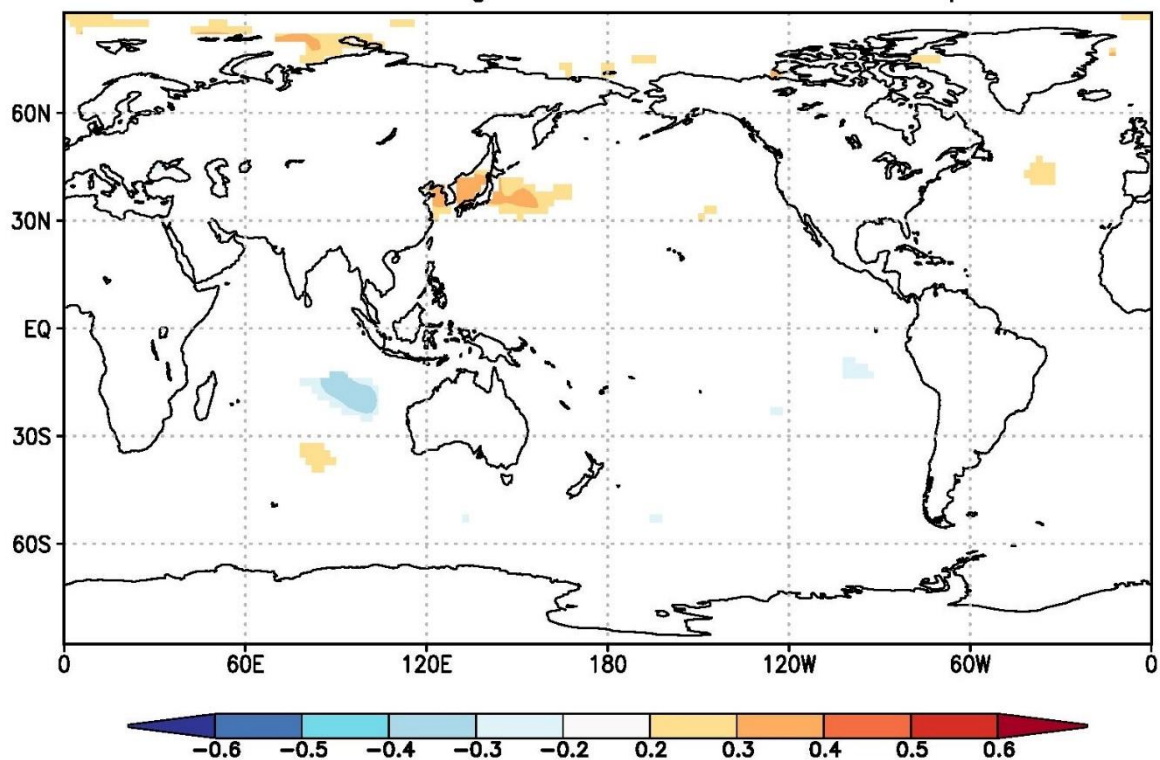
Korelace přírůstu QUMO s indexem sucha byla pozitivní v první polovině sledovaného období během měsíců mimo vegetační sezónu (předchozí říjen až březen). Zhruba od roku 1958 tato korelace slábne a ke konci sledovaného období se zejména v podzimních měsících předchozího roku dokonce mění v negativní. Z toho je zřejmé, že rostoucí srážky zejména v měsících mimo vegetační období mohou na růst QUMO působit negativně.

3.8.3. Prostorová korelace

Ze všech zkoumaných klimatických proměnných byla v případě obou druhů zcela nejsilnější korelace zjištěna s povrchovou teplotou moře v prostoru Japonského moře během zimních měsíců (viz Obr. 13 a 14).



Obr. 13: Prostorová korelace ročního radiálního přírůstu QUMO s teplotou povrchu moře (ERSST v5) v letech 1950 – 2017. Časové rozmezí zaokrouhлено na 3 měsíce (prosinec – leden), $p < 10\%$.



Obr. 14: Prostorová korelace ročního radiálního přírůstu ABHO s teplotou povrchu moře (ERSST v5) v letech 1950 – 2017. Časové rozmezí zaokrouhleno na 3 měsíce (prosinec – leden), $p < 10\%$.

Povrchová teplota moře je jedním z klíčových klimatických parametrů a je také významným ukazatelem globální změny klimatu. Teplota moře významně ovlivňuje teplotu vzduchu na pevnině. V případě zkoumané oblasti hraje důležitou roli teplota Japonského moře a Tichého oceánu v těsné blízkosti japonských ostrovů. Zatímco během zimních měsíců průměrné teploty v okolí Vladivostoku mohou klesnout až pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, Japonské moře má v těchto měsících v hloubce do 25 metrů průměrnou teplotu mezi $7\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NOAA), a tím pádem zásadně ovlivňuje teplotu vzduchu na souši, která by bez tohoto vlivu dosahovala výrazně nižších hodnot. Z mapy prostorové korelace je patrné, že oba studované druhy na vyšší teploty moře během zimních měsíců reagují pozitivně zvýšením přírůstu v následující růstové sezóně. Tento závěr však bude nutné ověřit dalším výzkumem.

4. Závěr

Klimatická změna je stále palčivějším problémem dnešní doby. Jak naznačují předběžné výsledky, různé druhy reagují na klimatickou změnu odlišně. Druhy, které jsou senzitivní například na nárůst teploty, jsou klimatickou změnou výrazně ohroženy. To je patrné například na výsledku posuvné korelace teploty a přírůstu druhu *Quercus mongolica*. Naproti tomu jiné druhy mohou díky klimatické změně profitovat. Z toho důvodu je nezbytné rozšiřovat naše povědomí o reakci jednotlivých dřevin na změny klimatických podmínek, což umožní predikovat další vývoj lesních ekosystémů.

Přínosné mohou být také výsledky prostorových korelací, neboť díky nim získáme informaci o tom, která klimatická proměnná ovlivňuje růst dřevin nejsilněji. Nabízí se také možnost využití výsledků výzkumu růstové reakce dřevin pro rekonstrukci minulého vývoje klimatických proměnných, jako je například povrchová teplota moře zmiňovaná v této práci.

Klima zásadně ovlivňuje vývoj lesních ekosystémů. V současnosti je však mnoho lesů natolik poznamenáno lidskou činností, že je často obtížné vliv klimatu odlišit. Proto je nezbytné provádět výzkum v co možná nejpřirozenějších porostech, neboť právě v nich je vliv jednotlivých faktorů dobře patrný. Z toho důvodu se projekt věnuje právě smíšeným lesům Dálného východu, neboť ty byly lidskou aktivitou pozměněny jen málo.

Projekt přinese cenné informace o reakci lesních ekosystémů na jednotlivé klimatické faktory, a to jak v lokálním, tak v globálním měřítku. Díky těmto znalostem bude možné například přizpůsobit management hospodářských lesů takovým způsobem, aby i do budoucna byly schopné lépe reagovat na měnící se podmínky prostředí.

Literatura:

- Aitken, S. N., Yeaman, S., Holliday, J. A., Wang, T., Curtis-McLane, S.** (2008) Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary applications* 1(1), 95-111.
- Allen, C. D., Macalady, A., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J., Allard, G., Running, S., Semerci, A., Cobb, N.,** (2009) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- Altman J., Fibich P., Leps J., Uemura S., Hara T. & Dolezal J.** (2016) Linking spatiotemporal disturbance history with tree regeneration and diversity in an old-growth forest in northern Japan. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 21, 1-13.
- Altman J., Fibich P., Santruckova H., Dolezal J., Stepanek P., Kopacek J., Hunova I., Oulehle F., Tumajer J. & Cienciala E.** (2017) Environmental factors exert strong control over the climate-growth relationships of *Picea abies* in Central Europe. *Science of the Total Environment* 609, 506-516.
- Altman, J., Treydte, K., Pejcha, V., Cerny, T., Petrik, P., Srutek, M., Song, J., Trouet, V., Dolezal, J.** (2020) Tree growth response to recent warming of two endemic species in Northeast Asia. *Springer Nature*.
- Amoroso, M. M., Daniels, L., Baker, P. J., Camarero, J. J.** (2017) *Dendroecology. Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies*. Springer.
- Araújo, M. B. & Rahbek, C.** (2006) How Does Climate Change Affect Biodiversity? *Science*, 313, 1396-1397.
- Bazarova, V., B., Klimin, M. A., Mokhova, L. M., Orlova, L. A.** (2007) New pollen records of Late Pleistocene and Holocene changes of environment and climate in the Lower Amur River basin, NE Eurasia. *Quaternary International* 179, 9–19.
- Boisvenue, C. & Running, S. W.** (2006) Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12, 862-882.
- Bonan, G. B.** (2008) Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320, 1444-1449.
- Botkin, D. B.** (1993) *Forest dynamics: An Ecological Model*. New York, Oxford University Press.
- Box, E. O. & Fujiwara, K.** (2012) A comparative look at bioclimatic zonation, vegetation types, tree taxa and species richness in Northeast Asia. *Botanica Pacifica* 1(1):1–20.
- Bunn, A. G.** (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28/4, 251–258.

- Černý, T., Kopecký, M., Petřík, P., Song, J.-S., Šrůtek, M., Valachovič, M., Altman, J., Doležal, J.** (2014) Classification of Korean forests: patterns along geographic and environmental gradients. *Applied Vegetation Science*, 18/1: 2-22.
- Clark, P. U., Dyke, A. S., Shakun, J. D., Carlson, A. E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J. X., Hostetler, S. W., McCabe, A. M.** (2009) The Last Glacial Maximum. *Science*. 325, 710-714.
- Cook, E. R. & Kairiukstis, L. A.** (1990) *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer-Science+Business Media, B. V.
- Crowley, T. J.** (2000) Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science*. 289, 270-277.
- Dahlman, L. & Lindsey, R.** (2021) *Climate Change: Global Temperature*. NOAA National Centers for Environmental Information. Online, staženo 22. 3. 2021.
dostupné na: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Doležal, J., Song, J., Altman, J., Janeček, Š., Černý, T., Srutek, M., Kolbek, J.** (2009) Tree growth and competition in a post-logging *Quercus mongolica* forest on Mt. Sobaek, South Korea. *Ecological Research*, 24, 281-290.
- Doležal, J., Matsuki, S., Hara, T.** (2009) Effects of dwarf-bamboo understory on tree seedling emergence and survival in a mixed-oak forest in northern Japan: a multi-site experimental study. *Community Ecology*, 10, 225–235.
- Doležal, J., Altman, J., Kopecký, M., Černý, T., Janeček, Š., Bartoš, M., Petřík, P., Šrůtek, M., Lepš, J., Song, J-S.** (2012) Plant Diversity Changes during the Postglacial in East Asia: Insights from Forest Refugia on Halla Volcano, Jeju Island. *Plos One*.
- Doležal, J., Fibich, P., Altman, J., Lepš, J., Uemura, S. Takahashi, K., Hara, T.** (2020) Determinants of ecosystem stability in a diverse temperate forest. *Oikos*, 129/11, 1692-1703.
- Easterbrook, D. J.** (2016) *Evidence-Based Climate Science: Data Opposing CO2 Emissions as the Primary Source of Global Warming*. Elsevier.
- FAO and UNEP** (2020) *The State of the World's Forests 2020. Forests biodiversity and people*. Rome. Online, staženo 22. 3. 2021.
Dostupné na: <http://www.fao.org/state-of-forests/en/>
- Frelich, L. E.** (2002) *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate Evergreen-Deciduous Forest*. New York, Cambridge University Press.
- Fritts, H. C.** (1971) Dendroecology and Dendroclimatology. *Quaternary Research*, 1, 419-449.
- Gärtner, H. & Nievergelt, D.** (2010) The core-microtome: A new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. *Dendrochronologia*, 28/2, 85-92.
- Grebnér, D. L., Bettinger, P., Jacek, P. S.** (2013) *Introduction to Forestry and Natural Resources*. Elsevier.

- Grishin, S. Yu.** (1995). The boreal forests of north-eastern Eurasia. *Vegetation* 121:11–21.
- Grishin, S. Yu., Krestov, P. V., Okitsu, S.** (1996) The subalpine vegetation of Mt. Vysokaya, central Sikhote-Alin. *Vegetation* 127:155–172
- Groisman, P. Ya. & Gutman, G.** (2013) Climate Changes in Siberia. *Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences, Springer Environmental Science and Engineering.* 57-109.
- Grove, J. M.** (2004) *Little Ice Ages: Ancient and Modern*, Routledge, London (2 volumes).
- Chapin, F. S., III, Matson, P. A., Mooney, H. A.** (2002) *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York, Springer.
- Iqarashi, Y. & Iqarashi, T.** (1998) Late Holocene vegetation history in south Sakhalin, northeast Asia. *Japan J Ecol* 48: 231–244.
- Ishikawa, Y., Krestov, P.V., Namikawa, K.** (1999) Disturbance history and tree establishment in old-growth *Pinus koraiensis*-hardwood forests in the Russian Far East. *Journal of Vegetation Science*, 10: 439-448.
- IPCC** (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Online, staženo 27. 3. 2021. Dostupné na: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- IPCC** (2019) *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Online, staženo 22. 3. 2021. Dostupné na: <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Kirschbaum, M. U. F.** (2000) Forest growth and species distribution in a changing climate. *Tree Physiology*, 20: 309–322.
- Kolbek, J., Šrùtek, M., Box, E.** (2003). *Forest Vegetation of Northeast Asia*. Kluwer, Dordrecht
- Kong, W. S.** (2000) Vegetation history of the Korean Peninsula. *Global Ecol Biogeogr*, 9: 391–402.
- Krestov, P. V.** (2003) *Forest Vegetation of Easternmost Russia (Russian Far East)*. Vladivostok, Institute of Biology and Soil Science. 93-180.
- Krestov, P. V., Song, J. S., Nakamura, Y., Verkholat, V. P.** (2006) A phytosociological survey of the deciduous temperate forests of mainland Northeast Asia. *Phytocoenologia* 36: 77–150.
- Kurniasih, E.** (2017) Use of Drought Index and Crop Modelling for Drought Impacts Analysis on Maize (*Zea mays* L.) Yield Loss in Bandung District. *Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Kuennecke, B. H.** (2008) Temperate Forest Biomes. *Greenwood Guides to Biomes of the World*. Westport, Greenwood Press

- Kyncl, J.** (2016) *Letokruhy jako kalendář i záznamník: Zajímavosti z dendrochronologie*. Grada.
- Ladurie, E. L. R.** (1971). *Times of Feast, Times of Famine: a History of Climate Since the Year 1000*. Barbara Bray. Garden City, NY: Doubleday
- Lamb, H. H.** (1972). „*The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800*“. *Climate: present, past and future*. London: Methuen. p. 107.
- Lee, K., Kim, S., Shin, Y., Chung, Y.** (2012) Spatial pattern and association of tree species in a mixed *Abies holophylla*-broadleaved deciduous forest in Odaesan National Park. *Journal of Plant Biology* 55, 242-250.
- Loveloy, T. E. & Lee, H.** (2019) *Biodiversity and Climate Change. Transforming the Biosphere*. New Haven & London, Yale University Press.
- Millar, C. I., Stephenson, N. L., Stephens, S. L.** (2007) Climate Change and Forests of the Future: Managing in the Face of Uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8): 2145–2151.
- Nakamura, Y. & Krestov, P. V.** (2005) Coniferous Forests of the Temperate Zone of Asia. *Coniferous forests. Ser. Ecosystems of the World*, 6, 163-220.
- Neukom, R., Steiger, N., Gómez-Navarro, J. J., Wang, J., Werner, J. P.** (2019) No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. *Nature*, 571(7766): 483-484.
- Okitsu, S.** (2016) Vegetation comparison between the Russian Far East and the Taisetsu Mountains, Central Hokkaido, northern Japan. *Botanica Pacifica*. 5(1): 3–18.
- Omelko, A., Ukhvatkina, O., Zhmerenetsky, A.** (2016) Disturbance history and natural regeneration of an old-growth Korean pine-broadleaved forest in the Sikhote-Alin mountain range, Southeastern Russia, *Forest Ecology and Management*, 360: 221-234.
- Omelko, A., Ukhvatkina, O., Zhmerenetsky, A., Sibirina, L., Petrenko, T., Bobrovsky, M.** (2018) From young to adult trees: How spatial patterns of plants with different life strategies change during age development in an old-growth Korean pine-broadleaved forest, *Forest Ecology and Management*, 411: 46-66.
- Peterman, W. & Bachelet, D.** (2012) Climate Change and Forest Dynamics: A Soils Perspective. *Issues in Environmental Science and Technology*, 35, 158-182.
- Prach, K., Štech, M., Říha, P.** (2009) *Ekologie a rozšíření biomů na Zemi*. Praha, Scientia.
- R Core Team** (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reich, P. B., Sendall, K. M., Rice, K., Rich, R. L., Stefanski, A., Hobbie, S. E., Montgomery, R. A.** (2015). Geographic range predicts photosynthetic and growth response to warming in co-occurring tree species. *Nature Climate Change*, 5(2), 148–152.
- Rohrig, E. & Ulrich, B.** (1991) *Ecosystems of the world: Temperate deciduous forests*. Amsterdam, Elsevier.

- Ruddiman, W., F.** (2014) Late Holocene climate: Natural or anthropogenic? *Reviews of Geophysics*, 54, 93–118.
- Ruddiman, W., F.** (2016) *Earth's Climate: Past and Future*. New York, W. H. Freeman and Company.
- Salinger, M.** (2005) Climate variability and change: Past, present and future - An overview. *Climatic Change*, 70, 9-29.
- Shakun, J., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C., Liu, Y., Otto-Bliesner, B., Schmittner, A., Bard, E.** (2012) Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*. 484, 49-55.
- Schweingruber, F. H.** (1996) *Tree ring and environment dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Bern, Stuttgart, Vienna, Haupt.
- Schweingruber, F. H.** (2007) *Wood Structure and Environment*. Springer Series in Wood Science.
- Sousa, W. P.** (1984) The Role of Disturbance in Natural Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 353-391.
- Speer, J. H.** (2010) *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Indiana State University.
- Spurr, S. H. & Barnes, B. V.** (1973) *Forest ecology*. New York, Ronald Press.
- Suh, M. H. & Lee, D. K.** (1998) Stand structure and regeneration of *Quercus mongolica* forests in Korea. *Forest Ecology and Management*, 106, 27–34.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A.** (2009) *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43.
- Torbenson, M. C. A.** (2015) Dendrochronology. *Geomorphological Techniques*, sec. 2.8. (Online Edition). London, British Society for Geomorphology.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I.** (2010) A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Wang, H., Pan, Y., Chen, Y.** (2017) Comparison of three drought indices and their evolutionary characteristics in the arid region of northwestern China. *Atmospheric Science Letters*, 18/3, 132-139.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T. J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J. O., Küttel, M., Müller, S. A., Prentice, I. C., Solomina, O., Stocker, T. F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M.** (2008) Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*. 27, 1791–1828.

Yang, J., Gong, P., Fu, R., Zhang, M., Chen, J., Liang, S., Xu, B., Shi, J., Dickinson, R. (2013) The role of satellite remote sensing in climate change studies. *Nature climate change*. 3, 875-883.

Zang, C. & Biondi, F. (2014). Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38/4, 431–436.

Zhang, J., Huang, S., Hea, F. (2015) *Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate*. PNAS Early Edition.

Zhao, S., Pederson, N., D'Orangeville, L., HilleRisLambers, J., Boose, E., Penone, C., Bauer, B., Jiang, Y., Manzanedo, R. D. (2019) The International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) revisited: data availability and global ecological representativity. *Journal of Biogeography*, 46, 355–368.

Online zdroje:

Abies holophylla - <https://www.iucnredlist.org/species/42287/2969916#habitat-ecology>
Webové stránky Mezinárodního svazu ochrany přírody (IUCN)

<https://botany.cz/cs/abies-holophylla>
Online atlas rostlin Botany

<https://www.nodc.noaa.gov/cgi-bin/OC5/PACIFIC2009/showclimatmap.pl>
Webové stránky National Oceanic and Atmospheric Administration

<http://climexp.knmi.nl/start.cgi>
Webové stránky služby KNMI Climate Explorer, World Meteorological Organisation

<https://spei.csic.es/index.html>
Webové stránky služby monitoringu sucha