
Ekoklimatinių fluktuacijų dinamikos analizė etaloninėse dendroskalėse ir aplinkos užterštumo poveikio medžių radialiniam prieaugiui retrospektyvi paieška

V. Stravinskienė,
J. Vencloviene

Vytauto Didžiojo universitetas,
Aplinkotyros katedra,
Vileikos 8, 3035 Kaunas,
Lietuva
Lietuvos miškų institutas,
4312 Kaunas–Girionys,
Lietuva

Straipsnyje pateikiama mūsų anksčiau sudarytų (Стравинскене, 1980, 1981 ir kt.) ir pačių naujausių, siekiančių net 1996 metus, etaloninių dendroskalių (ilgalaikių metinio radialinio prieaugio eilių) pastarųjų 116–166 metų (nuo 1830–1870 iki 1996 metų) harmoninė ir spektrinė analizė. Kadangi medžių metinio radialinio prieaugio svyravimai indikuoja ciklišką klimato kaitą ir antropogeninį poveikį aplinkai, tiriant etalonines dendroskalės, ieškoma prieaugio nukrypimų nuo normalios fluktuacijos, siejant tai su antropogeninės taršos poveikiu miško ekosistemoms ir aplinkai. Analizuojama skirtingos lajų defoliacijos (0–10, 20, 40, 60, 80%) medžių radialinio prieaugio dinamika dėl foninio aplinkos užterštumo.

Raktažodžiai: aplinkos būklė, etaloninės dendroskalės, spektrinė ir harmoninė analizė, medžių radialinis prieaugis, užterštumo poveikis miško ekosistemoms

ĮVADAS

Medžių metinis radialinis prieaugis, atspindėdamas klimato svyravimus, labai kinta laike. Šiuos pokyčius atspindi medžių metinių rievėjų pločiai ir struktūra (ankstyvoji ir vėlyvoji metinės rievės dalys). Dendrochronologija – mokslas, nagrinėjantis medžių rievėjų dinamiką ir struktūrą bei jos ryšius su aplinkos veiksniais, padeda išryškinti natūralią prieaugių dinamiką laike ir indikuoti gamtines anomalijas, vykusias praėityje. Dendrochronologiniai ir dendroindikaciniai gamtinės aplinkos tyrimo metodai yra antropogeninio poveikio miško ekosistemoms ir medžių augimui vertinimo kriterijų paieškų pagrindas. Vienas iš dendrochronologinių metodų taikymo gamtinės aplinkos būklės pokyčių indikacijai būdų – ilgalaikės didelio tikslumo etaloninės dendroskalės (medžių metinio radialinio prieaugio duomenų eilutės).

Medžių metinio radialinio prieaugio indeksų ritmiką ir jos ryšius su gamtoje vykstančiais procesais nagrinėjo daugelis autorių [2; 9; 3 ir kt.]. Dauguma jų konstatuoja radialinio prieaugio svyravimo rodiklių – amplitudžių, fazių ir ciklų ilgio (periodo) kitimus dendroskalėse. Tikėtina, kad šie rodikliai kinta taip pat cikliškai, ir jų kitimo ciklų ilgiai atspindi tam tikrus procesus, vykstančius Žemės aplinkoje ir Visatoje. Todėl aplinkotyros tikslais verta panagrinėti šių parametru kitimo dinamiką.

TYRIMO OBJEKTAI IR TRUMPA METODIKA

Pušynų, eglynų ir juodalksnyų etaloninėms dendroskalėms sudaryti panaudoti 1726 augančių medžių metinio radialinio prieaugio analizės duomenys. Kiekvienam skirtingam augimvietės sąlygų ir miško tipui sudaroma atskira dendroskalė. Labai panašiomis augimvietės sąlygomis augančių ir panašioms miško tipams priskirtinų medynų metinio radialinio prieaugio duomenis galima jungti į vieną dendroskalę prieš tai datuojant ir sinchronizuojant lokalinių dendroskalių duomenis.

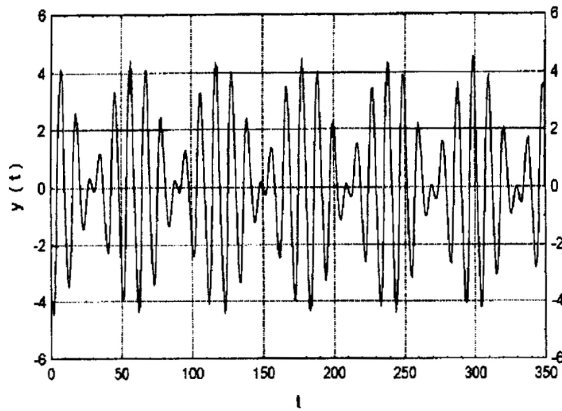
Dendroskalių spektriniai tankiai skaičiuoti, taikant Hemming'o formulę [6] su svoriais 0,0357; 0,2411; 0,4464; 0,0357. Naudotas programų paketas STATISTIKA.

Dendroskalių metinio radialinio prieaugio dinamikai vertinti naudoti modeliai [2; 4]:

$$z(t) = a + \sum_{j=1}^k A_j(t) \varphi_j(t) + \varepsilon_t; \quad (1)$$

čia ε_t – stacionarus atsitiktinis procesas, $\varphi_j(t)$ – ciklinė dedamoji $\cos(2\pi t / T_{2j}(t) + \psi_j)$ arba autoregresijos-slenkančio vidurkio procesas, ($T_{2j}(t)$ – kintamo ilgio periodas, φ_j – svyravimo fazė), $A_j(t)$ – funkcija, aprašanti $\varphi_j(t)$ amplitudės kitimą. Funkcija $A_j(t)$ gali būti periodinė

$$A_j(t) = \alpha_j (1 + \cos(2\pi t / T_{1j})), \quad A_j(t) = \alpha_j |\cos(2\pi t / T_{1j})|; \quad (2)$$



1 pav. Funkcijos $y(t) = 4,5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2,1)$ grafikas
Fig. 1. The curve of function $y(t) = 4.5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2.1)$

čia $T_{1j} \gg T_{2j}$ (amplitudės svyravimo periodas daug didesnis už paties ciklinio svyravimo ilgį),

$$A_j(t) = \alpha_j \cos(\pi t / T_{1j}); \quad (3)$$

čia $T_{1j} \gg T_{2j}(t)$. Šiuo atveju periodiškai keičiasi ne tik ciklinio svyravimo amplitudė, bet ir fazė. 1 paveiksle matome funkcijos

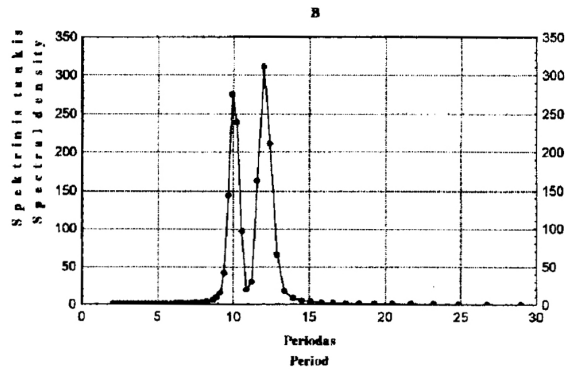
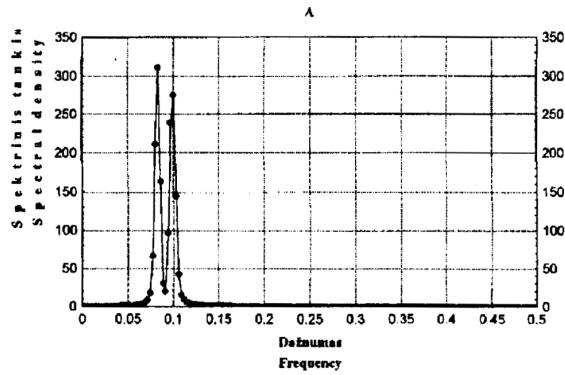
$$y(t) = 4,5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2,1), \quad (4)$$

$t = 1, \dots, 350$, kitimo grafiką (tai funkcijos $z(t)$, kur $A_j(t)$ apibrėžta (3) formule, atskiras atvejais). Pastebime, kad funkcijose (1)–(3) amplitudžių svyravimų periodų T_{1j} tiesiogiai neįmanoma nustatyti slenkančio vidurkio ar spektrinės analizės metodais. Funkcijos

$$A_j(t) \cos(2\pi t / T_{2j} + \psi_j); \quad (5)$$

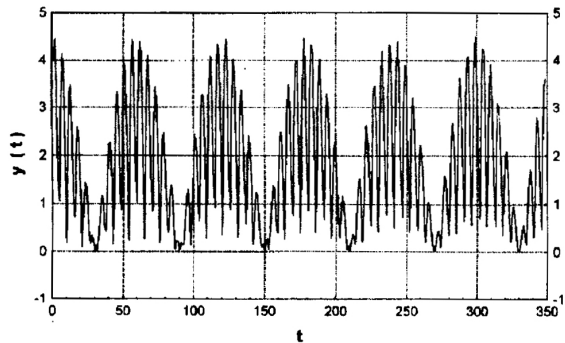
čia $A_j(t)$ apibrėžta (2–3) formulėmis, o $T_{1j} \gg T_{2j}$, spektrinis tankis siaurose dažnumo $1/T_{2j}$ (arba periodo T_{2j}) juostose turės keletą pikų ir bus nereikšmingas periodams, artimiems T_{2j} (arba mažiems dažnumams). 2 paveiksle pavaizduotas funkcijos (4) spektrinis tankis priklausomai nuo dažnumo ir periodo ilgio. Dažnumas ir periodas yra atvirkštiniai dydžiai. Šios funkcijos spektrinis tankis turi du pikus dažnumuose 0,083 ir 0,101 arba perioduose 12 ir 9,94. Dažnumams, mažesniems nei 0,75, arba periodams, ilgesniems nei 20, šios funkcijos spektrinis tankis nereikšmingas.

Atsižvelgdami į funkcijos išraišką (5) ir turėdami dažnumus ν_1 ir ν_2 , kuriuose yra spektrinio tankio pikai, galime apskaičiuoti $T_{1,1}$ ir $T_{2,1}$ reikšmes. Jeigu mūsų nagrinėjama laiko eilutė yra keleto ciklinių komponentų ir atsitiktinio triukšmo suma, amplitudžių kitimo ciklą nustatymas pagal spektrinio tankio pikus yra problemiškas. Todėl siekiant išryškinti funkcijos

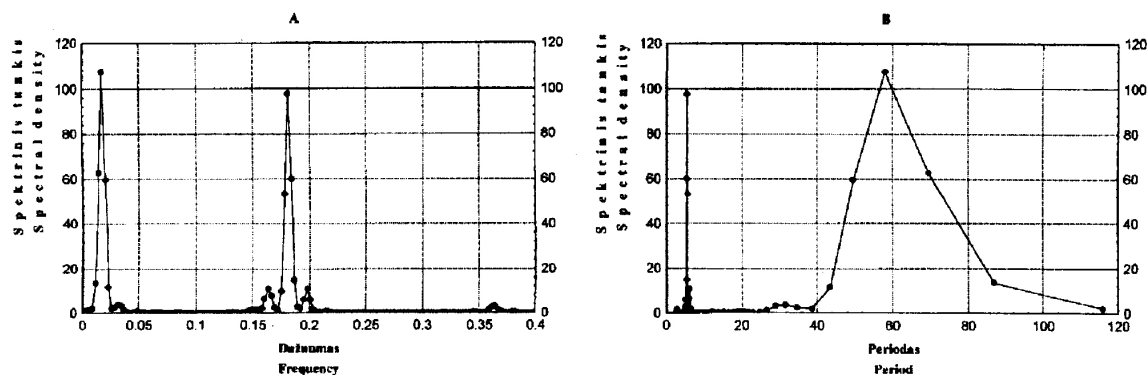


2 pav. Funkcijos $y(t) = 4,5 \cos \pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2,1)$ spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnumo (A) ir periodo ilgio (B)
Fig. 2. Dependence of function $y(t) = 4.5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2.1)$ spectral density on frequency (A) and period length (B)

$A_j(t)$ svyravimus, vietoj funkcijos $A_j(t) \varphi_j(t)$ bandysime nagrinėti funkciją $|A_j(t) \varphi_j(t)|$ – šios funkcijos absoliučius atsilenkimus nuo svyravimų centrų. Trečiame paveiksle pavaizduotas (4) funkcijos absoliutinių dydžių $|y(t)|$ grafikas. Vizualiai matomą šios funkcijos kas 60 metų pasikartojančio ilgio ciklą galima aptikti



3 pav. Funkcijos $|y(t) = 4,5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2,1)|$ grafikas
Fig. 3. The curve of function $|y(t) = 4.5 \cos(\pi t / 60) \cos(2 \pi t / 11 + 2.1)|$



4 pav. Funkcijos $|y(t) = 4,5 \cos(\pi t / 60) \cos(2\pi t / 11 + 2,1)|$ spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnumo (A) ir periodo ilgio (B)
 Fig. 4. Dependence of function $|y(t) = 4.5 \cos(\pi t / 60) \cos(2\pi t / 11 + 2.1)|$ spectral density on frequency (A) and period length (B)

naudojant 11 metų slenkantį vidurkį. Funkcijos (4 pav.) spektrinis tankis turi ryškius pikus 0,017 ir 0,180 dažnumuose arba 58 ir 5,5 metų ilgio perioduose. Taikant harmoninę analizę buvo patikslinta, kad pikas 58 atitinka 60 metų periodą. Ši metodika taikoma medžių metinio radialinio prieaugio svyravimo ciklams išaiškinti.

5 pav. Medžių metinio radialinio prieaugio indeksų dinamika etalonišose dendroskalėse: A – kiškiakopūstinių ir mėlynių-kiškiakopūstinių eglynų dendroskalė (1870–1996); B – brukninių ir brukninių-mėlynių pušynų dendroskalė (1830–1995); C – viksvinių-kiminių pušynų dendroskalė (1840–1996); D – viksvinių juodalksnyų dendroskalė (1970–1996)

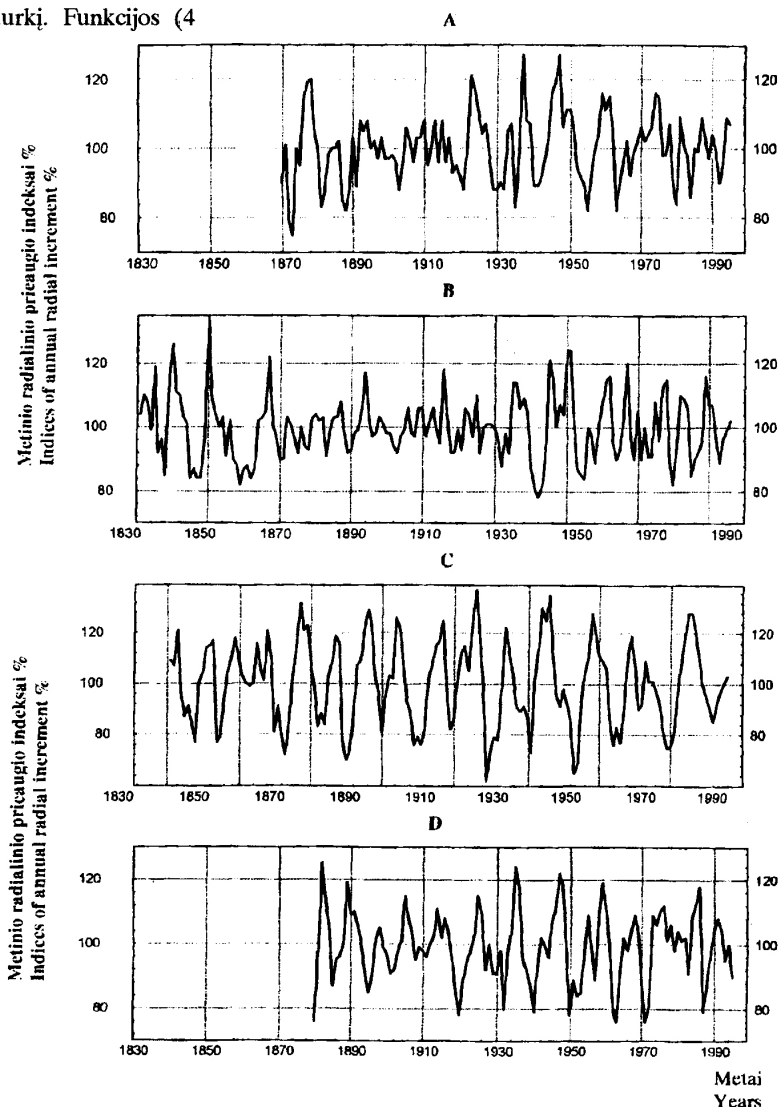


Fig. 5. Dynamics of tree annual radial increment in masterchronologies: A – Spruce (*Pice abies* (L.) Karsten) chronology in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites (1870–1996); B – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vaccinosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites (1830–1995); C – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum carecoso-sphagnosum* forest site (1840–1996); D – Black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) chronology in *Alnetum carecosum* forest site (1970–1996)

Siekiant įvertinti skirtingos lajų defoliacijos medžių metinio radialinio priaugio dinamiką 1970–1996 metais, tirtas Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje, Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje bei Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje augančių pušų, kurių lajų defoliacija 0–10, 20, 40, 60 ir 80%, metinis radialinis priaugis.

priaugio ekstremumais, t. y. charakteringais minimumais ir maksimumais.

Sausesnėse ir normalaus drėgnumo augimvietėse augančių medynų etaloninėse dendroskalėse stebimas ryškus 8–14 metų radialinio priaugio ciklas.

Pastoviai perteklingo drėkinimo ir pelkinių augimviečių pušynų miško ekosistemoms būdingas 11

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Straipsnyje pristatomos etaloninės dendroskalės sudarytos pagal medžių rūšis, augimvietės sąlygų ir miško tipus. Labai artimi augimviečių bei miško tipai sujungti, sudarant platesnį augimviečių sąlygų diapazoną indikuojančias dendroskales.

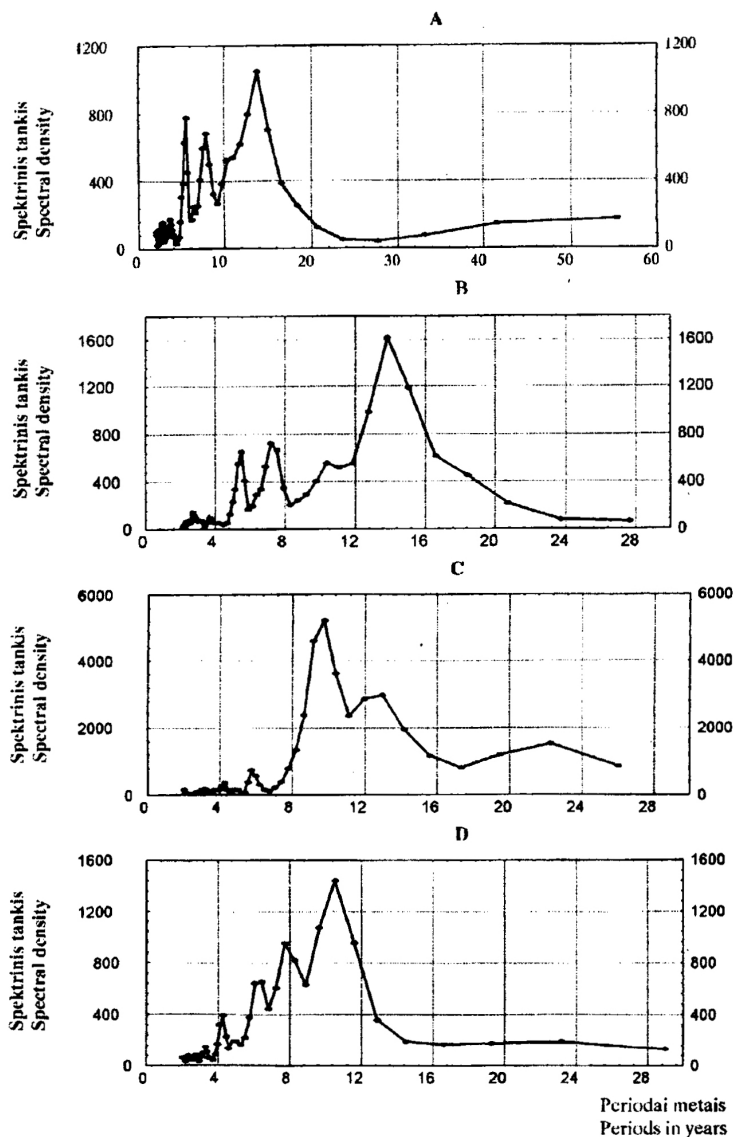
Kiškiakopūstinių ir mėlynių-kiškiakopūstinių eglynų etaloninė dendroskalė sudaryta atskirais laikotarpiais panaudojant nuo 178 iki 347 medžių priaugio analizės duomenis. Ji apima 1870–1996 metus, apibūdindama ilgalaikę eglynų metinio radialinio priaugio dinamiką (5 pav., A kreivė).

Brukninių ir brukninių-mėlynių pušynų etaloninė dendroskalė (5 pav., B kreivė) yra 166 metų ilgio, t. y. nuo 1830 iki 1995 metų. Jai panaudoti 509 augančių medžių metinio radialinio priaugio duomenys. Iš jų pastarųjų 1983–1995 metų radialinio priaugio būklę atspindi 137 medžių duomenys.

Viksvinių-kimininių pušynų etaloninė dendroskalė (5 pav., C kreivė) pagrindas – 304 medžių radialinio priaugio duomenys. Šios dendroskalės trukmė – 156 metai (1840–1995).

Viksvinių juodalksnyų etaloninė dendroskalė (5 pav., D kreivė) – trumpiausia. Šios dendroskalės trukmė – 180 metai (1840–1996). Ji sudaryta panaudojus seniausių Lietuvos juodalksnyų metinių rievių duomenis. Juodalksnis nėra ilgą laiką medžių rūšis.

Visų pristatomų etaloninių dendroskalių metinio radialinio priaugio indeksų dydžiai labai skiriasi, tačiau jos gana sinchroniškos



6 pav. Etaloninių dendroskalių indeksų spektriniai tankiai:

A – kiškiakopūstinių ir mėlynių-kiškiakopūstinių eglynų dendroskalė; B – brukninių ir brukninių-mėlynių pušynų dendroskalė; C – viksvinių-kimininių pušynų dendroskalė; D – viksvinių juodalksnyų dendroskalė
 Fig. 6. Spectral densities of masterchronologies: A – Spruce (*Pice abies* (L.) Karsten) chronology in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites; B – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vacciniosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites; C – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum carecoso-sphagnosum* forest site; D – Black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) chronology in *Alnetum carecosum* forest site

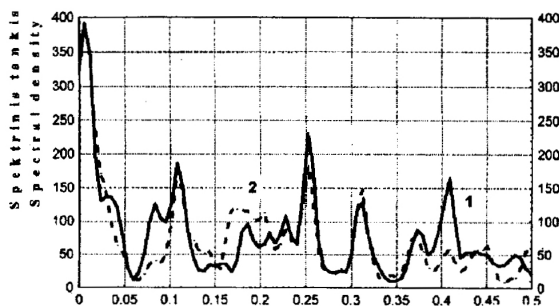
metų ciklas su ryškesniais ekstremumais kas 22 metai, juodalksnynams – 11 metų prieaugio ciklas [7, 8]. Tai patvirtino ir naujausių dendroskalių analizė.

Sausesnėse miškų augimvietėse taip pat stebimi silpniau išreikšti 5,5; 7 ir 8 metų metinio radialinio prieaugio ciklai, o šlapesnėse – 7,5 ir 13 metų ciklai. Dendroskalėse pastebimas šių svyravimų amplitudžių pasikartojantis mažėjimas ir didėjimas, taip pat ciklinių svyravimų ilgio pasikeitimai (žr. 5 pav. visas kreives). 6–14 ir 20–25 metų ciklinių dedamųjų amplitudžių svyravimai aiškiai matyti pušynų, augančių normalaus drėgnumo ir sausesnėse augimvietėse, prieaugio indeksų eilutėse. 1870–1920 m. pastebimos mažos ciklinių dedamųjų amplitudės, o 1830–1870, 1940–1970 m. – didelės amplitudės. Amplitudžių svyravimai pasikartoja maždaug kas 100 metų.

Visų dendroskalių spektriniuose tankiuose (6 pav.) yra ryškūs pikai, atitinkantys pagrindinį prieaugio svyravimo ciklą. Ciklai, esantys indeksų eilutėse, dažniausiai išskiriami slenkančio vidurkio metodu arba spektrinės ir harmoninės analizės metodais prieš tai atlikusių eilučių filtraciją. Filtracija padeda išryškinti tam tikro ilgio ciklus ir eliminuoti kitų ciklų įtaką. Naudojant harmoninę analizę ar spektrinio tankio įverčius 100-mečiams ciklams nustatyti, 130–160 metų dendroskalės yra per trumpos. Todėl vietoj 5 paveiksle pateiktų dendroskalių indeksų eilučių z_t nagrinėsime šių eilučių absoliutaus atsilenkimo nuo vidurkio eilutes $\bar{z}_t = |z_t - \bar{z}_t|$, arba kitaip vadinamus transformuotus metinio radialinio prieaugio indeksus. Kaip rodo 7 paveikslas kreivės, iliustruojančios transformuotų radialinio prieaugio indeksų spektrinius tankius, 1 kreivės dendroskalių eilučių transformuotų indeksų \bar{z}_t spektriniuose tankiuose atsiranda pikai, atitinkantys mažus dažnumus ($< 0,025$). Tuo tarpu z_t spektrinio tankio reikšmės šiuose taškuose nesiskyrė nuo balto triukšmo reikšmių (žr. 6 pav.). Eilučių z_t spektrinių tankių reikšmės, atitinkančios periodus, didesnius nei 40, buvo nereikšmingos, o eilučių \bar{z}_t spektrinių tankių reikšmės (žr. 7 pav.), atitinkančios periodus, didesnius nei 40, yra reikšmingos. Tai patvirtina prielaidą, kad radialinio prieaugio duomenų eilutėse \bar{z}_t slepiasi ilgi (ilgesni už pusę eilutės ilgio) ciklai.

Ilgiesiems ciklams patikimai vertinti harmoninės ar spektrinės analizės metodais aukščiau iliustruotos dendroskalių indeksų eilutės yra per trumpos. Tokius ciklus galima patikimiau atskleisti slenkančio vidurkio su 11 m. slenkančiąja metodu. Analizuojant ilgalaikius ciklus, pastarojo dešimtmečio įverčiams buvo panaudotos ir etaloninių dendroskalių prognozės, sudarytos pagal ciklinį modelį.

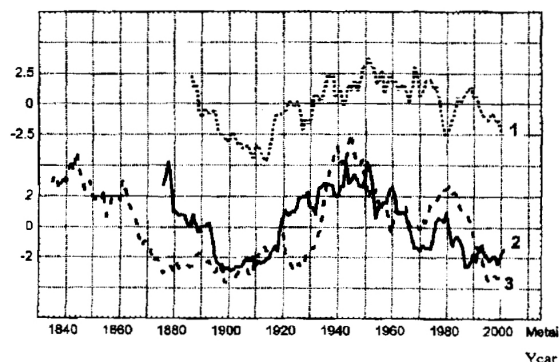
Nustatyta, kad normalaus drėgnumo augimvietėse augančių eglynų ir pušynų, taip pat pelkinių augimviečių šlapiuose dirvožemiuose augančių juodalksnynų transformuotų indeksų slenkančiosiose aiškiai išsiskiria dideli prieaugio indeksų amplitudžių svy-



7 pav. Transformuotų radialinio prieaugio indeksų spektriniai tankiai etaloninėse dendroskalėse: 1 – kiškiakopūstinių ir mėlyninių-kiškiakopūstinių eglynų dendroskalė; 2 – brukninių ir brukninių-mėlyninių pušynų dendroskalė
Fig. 7. Spectral densities of transforming indices of radial increment in masterchronologies: 1 – Spruce (*Pice abies* (L.) Karsten) chronology in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites; 2 – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vaccinosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites

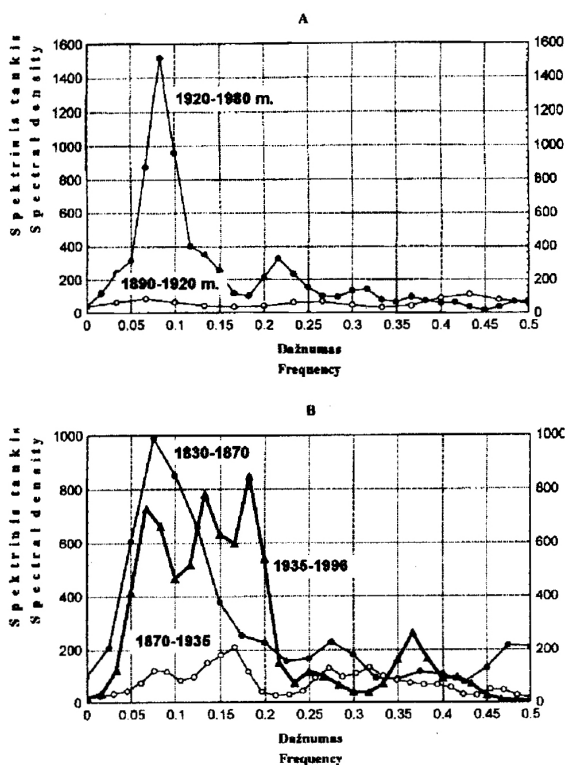
ravimo ciklai (8 pav.). Mažiausi prieaugių svyravimai stebimi 1895–1915 metais būtent normalaus drėgnumo augimvietėse augančiuose eglynuose bei pušynuose ir šlapiuose juodalksnynuose. Antrasis radialinio prieaugio indeksų minimalaus amplitudžių svyravimo periodas stebimas pastaraisiais metais.

Ciklinių radialinio prieaugio svyravimų dinamika įvairiais laikotarpiais gerokai skirtinga. Net vizualiai etaloninėse dendroskalėse matyti 1830–1870, 1870–



8 pav. Transformuotų metinio radialinio prieaugio indeksų amplitudžių svyravimo ciklai (1 – viksvinių juodalksnynų dendroskalė; 2 – brukninių ir brukninių-mėlyninių pušynų dendroskalė; 3 – kiškiakopūstinių ir mėlyninių-kiškiakopūstinių eglynų dendroskalė)

Fig. 8. Cycles of transforming indices of annual radial increment fluctuation amplitudes (1 – Black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) chronology in *Alnetum carecosum* forest site; 2 – Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vaccinosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites; 3 – Spruce (*Pice abies* (L.) Karsten) chronology in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites)



9 pav. Kiškiakopūstinių ir mėlyninių-kiškiakopūstinių eglynų (A) ir brukninių bei brukninių-mėlyninių pušynų (B) etaloninių dendroskalių spektrinis tankis skirtingais periodais

Fig. 9. Spectral density of Spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites (A) and Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vaccinosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites (B) chronologies in different periods

1890 ir 1920–1980 metų laikotarpiuose vyraujantys kas 12–15 metų pasikartojantys cikliniai svyravimai. Tačiau 1870–1935 metais šio ilgio cikliniai svyravimai kai kuriose dendroskalėse pranyksta, o atsiranda 3–6 metų ilgio svyravimai. Minėtais periodais ciklinių svyravimų ilgių pasikeitimą rodo ir šių dendroskalių spektriniai tankiai (9 pav.).

Kiškiakopūstinių ir mėlyninių-kiškiakopūstinių eglynų etaloninėje dendroskalėje (9 pav., A) 1920–1980 metų laikotarpiu yra ryškus 12 metų ciklas, o 1890–1920 metais – nedideli prieaugio padidėjimai taškuose, atitinkančiuose 2, 4, bei 15 metų ciklus.

Brukninių ir brukninių-mėlyninių pušynų etaloninėje dendroskalėje (9 pav., B) 1830–1870 metų tarpsnyje spektriniame tankyje ryškūs maksimumai, atitinkantis 13,3 metų ilgio ciklą, 1870–1935 metais išryškėja panašūs į 6; 13,2 ir 3,5 metų ilgio ciklus pikai, o 1935–1996 metais – pikai, atitinkantys 15; 7,5 ir 5,5 metų ilgio ciklus. Tikėtina, kad metinio radialinio prieaugio ciklų ilgių ir amplitudžių kaita

minėtais laikotarpiais susijusi su šimtamečių ciklų poveikiu. Šių ciklų poveikis pagal prieaugio sumažėjimą (poveikis, sukeltis kiekybinius pokyčius) indeksų eilutėse nepagaunamas, nes jis “patenka” į medžio augimo kreivę, kurios įtaka prieaugio dydžiui eliminuojama, faktinius prieaugio matavimų duomenis perskaičiuojant į indeksus. Taigi nagrinėjamosiose 116–166 metų ilgio etaloninėse dendroskalėse ilgųjų ciklų (daugiau kaip 70 metų ilgio) poveikis gali pasireikšti tik per kokybinius ciklinių dedamųjų parametru pokyčius.

Nagrinėdami Vakarų Sibiro dendroskales, S. G. Šijatovas ir V. S. Mazepa [9], be trumpųjų (10–12, 21–24, 34–36 ir 54–60 metų) ciklų, randa šimtamečius (72–78, 90–93, 110–114 metų) bei ilguosius (170–180, 300–350 metų) ciklus. Šimtamečiai ir ilgieji (76–84, 90–93, 110–117, 170–173 metų) radialinio prieaugio ciklai taip pat aptikti nagrinėjant dendroskales iš Kolas pusiasalio, Karelijos, Šiaurės Uralo ir Taimyro, atspindinčias aplinkos sąlygų kaitą tuose regionuose 1103–1975 metais [3]. Medžių metinio radialinio prieaugio svyravimų ciklas dendroskalėje – tai pikas dendroskalės spektriniame tankyje siauroje dažnumų juostoje. Atstumai tarp atitinkamų ciklų minimumų ar maksimumų svyruoja apie ciklo vidurkį, bet jie nėra pastovūs. Dėl šių priežasčių dendroskalių negalima laikyti griežtai stacionariomis eilutėmis. Net vizualiai galima pastebėti, kad trumpųjų ciklų dinamika labai kinta.

Remiantis S. G. Šijatovo ir V. S. Mazepos [9] ciklinių dedamųjų tyrimais, taip pat mūsų atliktais Kolas pusiasalio, Karelijos, Šiaurės Uralo, Taimyro bei Lietuvos dendroskalių harmoninės analizės duomenimis, tikėtina, kad ateinančio šimtmečio pradžioje lauktinas metinio radialinio prieaugio minimumas. Prieaugio sumažėjimą prognozuoti sunku, nes šimtamečių ciklų dinamika nėra pastovi.

Išanalizavus medžių metinio radialinio prieaugio dinamikos dėsningumus, kurie savo ruožtu atspindi klimato svyravimų dėsningumus ir indikuoja aplinkos sąlygas [1], atsiranda galimybė tiksliau vertinti antropogeninės taršos poveikį miškams. Svarbu atsekti, kada prasidėjo miškų degradacija dėl atmosferos užterštumo poveikio šioms ekosistemoms. Specialioje literatūroje nėra patikimų metodų degradacijos pradžia nustatyti. Tačiau prielaida yra – naudojant medžių metinio radialinio prieaugio eilučių analizę, galima ieškoti prieaugio nukrypimų nuo normalios fluktuacijos. Žinoma, jeigu natūrali prieaugio fluktuacija chronologiškai teisingai išnagrinėta ir atskleista.

Analizuojant pušų, kurių lajų defoliacija nedidelė (0–10, 20%), metinį radialinį prieaugį 1970–1996 metais, jo eilučių dinamikoje aiškiai matyti ekoklimatinio fono poveikis – ryškus minimumas 1979–

1980 metais bei pakilimas 1972–1973 metų trumpalaikių ciklų grandinėje. Daug mažiau šie klimatiniai svyravimai atsispindi stipriau defoliuotų (lajų defoliacija 40, 60 ir 80%) medžių radialinio prieaugio eilutėse.

Visos analizuotos radialinio prieaugio eilutės rodo, kad, didėjant medžių lajų defoliacijai, metinio radialinio prieaugio fluktuacijos turi tendenciją mažėti. Apskaičiavę visų šių eilučių krypties koeficientus gavome, kad beveik visi jie yra reikšmingi ir neigiami. Sąlyginai sveikų medžių, kurių lajų defoliacija nedidelė (0–10, 20%), radialinio prieaugio duomenų eilutė reikšmingo krypties koeficiento neturi. Ryškus prieaugio sumažėjimas pastebimas beveik visų defoliuotų medžių (lajų defoliacija 40, 60 ir 80%) radialinio prieaugio eilutėse 1970–1980 metais. 1981–1996 metams būdingi prieaugio svyravimai apie pastovų vidurkį.

Atlikus skaičiavimus paaiškėjo, kad 1970–1980 metų laiko atkarpoje defoliuotų medžių radialinio prieaugio eilučių krypties koeficientai reikšmingai mažesni už visos eilutės krypties koeficientus, o 1981–1996 metų laiko atkarpos eilučių krypties koeficientai arba nereikšmingi net imant 20% pasiklovimo lygmenį, arba teigiami su 9 ir 14% pasiklovimo lygmeniu. Todėl galima hipotezė, kad tam tikrais metais atsiradęs ir kurį tikrą laiką pastoviai veikęs taršos veiksnys (galbūt nulėmęs medžių lajų defoliacijos laipsnį) sukėlė prieaugio mažėjimą.

Kilo mintis įvertinti radialinio prieaugio mažėjimo greitį. Prieaugio mažėjimo greitis rodo jo mažėjimo tempus. Mes analizavome stipriai defoliuotų medžių prieaugio mažėjimo greitį, palyginti su sąlyginai sveikų medžių prieaugiu, t. y. nagrinėjome laiko eilučių y_t = medžių prieaugis su 0–10% defoliacija / prieaugio su 80% defoliacija dinamiką. Jei eilutės su 80% defoliacija mažėjimo greitis didesnis nei eilutės su 0–10% defoliacija, tai eilutė y_t turi būti didėjanti. Jos krypties koeficientas turėtų būti teigiamas. Šią prielaidą patikrinome visoms mūsų turimoms trimis y_t eilutėms, t. y. tikrinome, ar teisingas modelis

$$y_t = a + b(t - 1969).$$

Gavome šiuos koeficientų įverčius:

Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje $a = 2,725 \pm 0,627$; $b = 0,17 \pm 0,04$; $b > 0$ su 0,1% pasiklovimo lygmeniu.

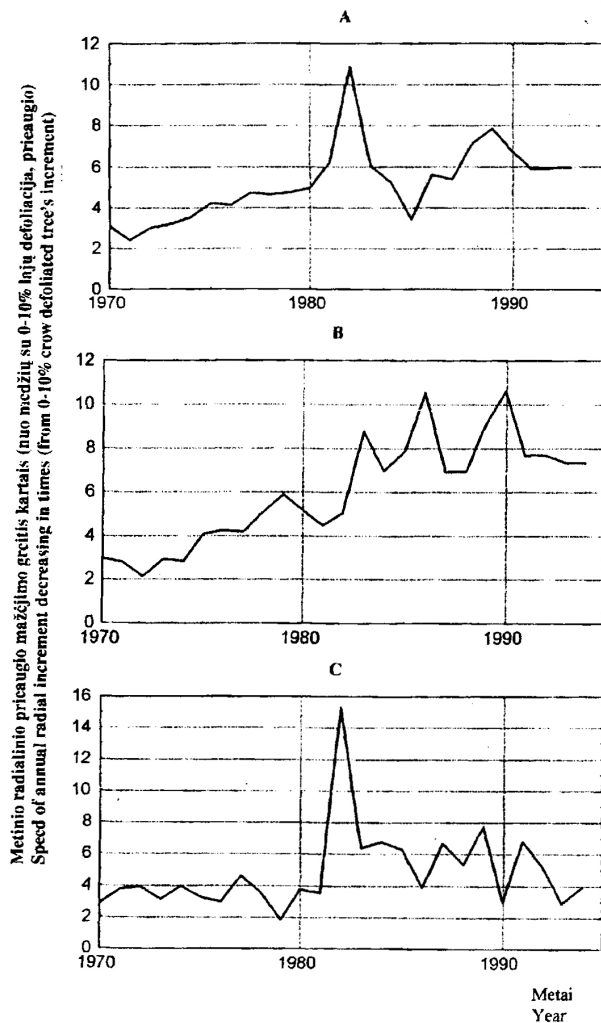
Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje $a = 2,324 \pm 0,468$; $b = 0,193 \pm 0,03$; $b > 0$ su 0,1% pasiklovimo lygmeniu.

Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje $a = 2,325 \pm 1,11$; $b = 0,104 \pm 0,07$; $b > 0$ su 14% pasiklovimo lygmeniu.

Įvertinus a ir b koeficientus bei jų paklaidas, galėtume apytikriai nustatyti, kada y_t artima vienetui, t. y. nustatyti, kada atsirado apčiuopiamas neigiamas taršos poveikis medžių radialiniam prieaugiui.

Spręsdami lygtį $1 = a + b(t - 1969)$, gauname $t = 1969 + (1 - a)/b$.

Kadangi koeficientai a ir b įvertinti su tam tikromis paklaidomis: $a = a_0 + \Delta a$; $b = b_0 + \Delta b$, tai



10 pav. Stipriai pažeistų pušų (lajų defoliacija 60–80%) metinio radialinio prieaugio mažėjimo greitis 1970–1996 metais: A – Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje; B – Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje; C – Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje

Fig. 10. Rate of annual radial increment decrease of severely damaged pine trees (crown defoliation 60–80%) in 1970–1996: A – in Veisiejai forest enterprise Kapčiamiestis forestry; B – in Trakai forest enterprise Strėva forestry; C – in Druskininkai forest enterprise Merkinė forestry

nario $(1 - a)/b$ paklaida $\Delta t = \frac{\Delta a}{b} + \frac{(1 - a)\Delta b}{b^2}$ arba $t = t_0 + \Delta t$; čia $t_0 = 1969 + (1 - a)/b$.

Visų trijų minėtų girininkijų pušynams gavome tokius rezultatus:

Kapčiamiesčio g-ja: $(1 - a)/b \cong -10$; $t_0 = 1957$; $\Delta t = 6$;
 $t = 1957 \pm 6$;

Strėvos g-ja: $(1 - a)/b \cong -7$; $t_0 = 1960$; $\Delta t \cong 4$;
 $t = 1960 \pm 4$;

Merkinės g-ja: $(1 - a) / b \cong -22$; $t_0 = 1945$; $\Delta t \cong 26$;
 $t = 1945 \pm 26$.

10 paveiksle pateiktas stipriai pažeistų pušų (lajų defoliacija 60–80%) metinio radialinio prieaugio mažėjimo geitis 1970–1996 metais: *A* kreivė – Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje; *B* kreivė – Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje; *C* kreivė – Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje.

Matome, kad visuose tyrimo objektuose prieaugio mažėjimo greitis nuo 1970 metų laipsniškai didėjo. Didžiausia prieaugio mažėjimo reikšmė Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje (11 kartų mažesnis, lyginant su nedefoliuotų medžių prieaugiu) ir Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje (net 15 kartų mažesnis, lyginant su nedefoliuotų medžių prieaugiu) užfiksuota apie 1982 metus. Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje – apie 1986 ir 1990 metus (10 ir daugiau kartų).

Galime daryti prielaidą, kad Druskininkų miškų urėdijos Merkinės girininkijoje foninis taršos poveikis pušims pasireiškė apie 1945 metus, Veisiejų miškų urėdijos Kapčiamiesčio girininkijoje – apie 1957 metus, Trakų miškų urėdijos Strėvos girininkijoje – apie 1960 metus, sukeldamas laipsnišką jų prieaugio mažėjimą, medynų nusilpimą ir degradaciją.

IŠVADOS

1. Etaloninės dendroskalės (metinio radialinio prieaugio duomenų eilutės) indikuoja tam tikrų augimviečių ir miško tipų gamtinę aplinką ir gali būti naudotinos kaip standartas (kontrolė ar norma) miškų degradacijos vertinimui.

2. Sausesnėse ir normalaus drėgnumo augimvietėse augančių medynų etaloninėse dendroskalėse stebimas ryškus 8–14 metų radialinio prieaugio ciklas. Pastoviai perteklingo drėkinimo ir pelkinių augimviečių pušynų miško ekosistemoms būdingas 11 metų ciklas su ryškesniais ekstremumais kas 22 metai, juodalksnynams – 11 metų prieaugio ciklas. Sausesnėse miškų augimvietėse taip pat stebimi silpniau išreikšti 5,5; 7 ir 8 metų metinio radialinio prieaugio ciklai, o šlapesnėse – 7,5 ir 13 metų ciklai.

3. Etaloninių dendroskalių harmoninės analizės duomenys rodo, kad ateinančio šimtmečio pradžioje tikėtinas metinio radialinio prieaugio minimumas. Prieaugio sumažėjimą prognozuoti sunku, nes šimtamečių ciklų dinamika nėra patovi.

4. Visos analizuotos radialinio prieaugio eilutės rodo, kad, didėjant medžių lajų defoliacijai, prieaugio fluktuacijos turi tendenciją mažėti.

Gauta
1997 11 26

Literatūra

1. Eckstein D. Qualitative assessment of past environmental changes. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1989. P. 220–223.
2. Frits H. C. *Tree rings and climate* (Reprinted by courtesy of Academic Press). Warsaw, 1987. Vol. 2. 567 p.
3. Kairiukstis L., Dubinskaite J. Harmonic Analysis for Ecological Prognoses. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1989. P. 308–323.
4. Берри Б. Л., Либерман А. А., Шиятов С. Г. Периодические колебания индексов прироста лиственницы сибирской в Тазовской лесотундре и их прогноз. *Экология*, 1979, No 6. С. 22–26.
5. Битвинскас Т. Т. *Дендроклиматические исследования*. Ленинград. Гидрометеиздат. 1974. 172 с.
6. Бриллинджер Д. *Временные ряды. Обработка данных и теория*. Москва: Наука. 1980. 535 с.
7. Стравинскене В. П. *Дендроклиматологический анализ прироста деревьев в гидромелиоративных лесах Литовской ССР (дендроиндикация лесоосушения)*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Москва. 1981. 21 с.
8. Стравинскене В. П. Единые дендрохронологические шкалы осоково-сфагновых и долгомошных сосняков Литвы. *Дендроклиматические шкалы Советского Союза*. Часть 2. Каунас. 1981. С. 39–46.
9. Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Климатически обусловленные колебания радиального прироста деревьев в восточных районах СССР. *Временные и пространственные изменения климата и годовичные кольца деревьев*. Часть 2. Каунас, 1987. С. 69–84.

V. Stravinskienė, J. Vencloviene

ANALYSIS OF ECOCLIMATIC FLUCTUATIONS DYNAMICS IN MASTERCHRONOLOGIES AND THE RETROSPECTIVE SEARCH OF ENVIRONMENTAL POLLUTION EFFECTS ON RADIAL INCREMENT OF TREES

S u m m a r y

New masterchronologies of spruce, pine and black alder are presented: Spruce (*Pice abies* (L.) Karsten) chronology

gy in *Piceetum oxalidosum* and *Piceetum myrtillo-oxalidosum* forest sites (1870–1996); Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum vaccinosum* and *Pinetum vaccinio-myrtillosum* forest sites (1830–1995); Pine (*Pinus sylvestris* (L.)) chronology in *Pinetum carecoso-sphagnosum* forest site (1840–1996); Black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) chronology in *Alnetum carecosum* forest site (1970–1996). These masterchronologies can be used as a control for indication of forest ecosystems status and assessment of environmental status changes.

Using the methods of spectral and harmonic analysis, the cycle lengths, amplitudes and spectral densities of radial increment fluctuations in masterchronologies have been estimated. These parameters can be used for environmental status assessment and prognosis.

The rate of annual radial increment decreasing of severely damaged pine trees (crown defoliation 60–80%) in 1970–1996 in Veisiejai forest enterprise (Kapčiamiestis forestry), Trakai forest enterprise (Streva forestry) and Druskininkai forest enterprise (Merkine forestry) have been established.

Key words: environmental status, masterchronologies, spectral and harmonic analysis, tree radial increment, environmental pollution effects on forest ecosystems

В. Стравинскене, И. Венцловене

АНАЛИЗ ЭКОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ В ЭТАЛОННЫХ ДЕНДРОШКАЛАХ И РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ПОИСК ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ

Резюме

Представлены эталонные дендрошкалы (ряды годичного радиального прироста) ели (*Pice abies* (L.) Karsten), сосны (*Pinus sylvestris* (L.)) и ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) в типах леса *Piceetum oxalidosum* и *Piceetum myrtillo-oxalidosum* (1870–1996), *Pinetum vaccinosum* и *Pinetum vaccinio-myrtillosum* (1830–1995), *Pinetum carecoso-sphagnosum* (1840–1996) и *Alnetum carecosum* (1970–1996). Эти дендрошкалы могут служить в качестве контроля при индикации повреждения лесных экосистем вследствие загрязнения окружающей среды.

Методами гармонического и спектрального анализа дендрошкал определены продолжительность циклов, амплитуды колебания радиального прироста и спектральные плотности.

При изучении рядов годичного радиального прироста деревьев с различной дефолиацией их крон (0–10, 20, 40, 60 и 80%) определена скорость снижения радиального прироста сильнодефолированных деревьев.

Ключевые слова: состояние окружающей среды, эталонные дендрошкалы, гармонический и спектральный анализ, радиальный прирост деревьев, влияние загрязнения на лесные экосистемы.