

LIETUVOS MISKŲ INSTITUTAS

Jonas Grigaliūnas

Disertacijos

LIETUVOS PUSYNŲ PRIEAUGIO Į
SKERSMENĮ DINAMINĖS PUSIAUSVYROS
POSLINKIŲ ANALIZĖ

miškotyros krypties habilituoto daktaro mokslo laipsniui
įgyti

autoreferatas

Kaunas - Girionys, 1994

BENDRA DARBO CHARAKTERISTIKA

Temos aktualumas

Darbas padarytas Lietuvos miškų institute

Habilitacinis komitetas patvirtintas Lietuvos miškų instituto Senate 1994 sausio 18 d. ir suderintas su Lietuvos žemės ūkio akademijos Taryba

Habilitacinio komiteto sudėtis:

pirmininkas - Lietuvos MA narys, agrar. m. habil. dr., prof.
Leonardas Kairiūkštis (Lietuvos miškų institutas)

nariai: - gantos m. habil. dr. Teodoras Bitvinskas
(Vytauto Didžiojo universitetas);
- agrar. m. habil. dr. prof. Romualdas Deltuvas
(Lietuvos žemės ūkio akademija);
- agrar. m. habil. dr. Jonas Kenstavičius
(Lietuvos miškų institutas);
- agrar. m. habil. dr. Andrius Kuliešis
(Dubravos eksperimentinė miškų urėdija);
- agrar. m. habil. dr. prof. Imant Liepa
(Latvijos žemės ūkio universitetas);
- agrar. m. habil. dr. Juozas Ruseckas
(Lietuvos miškų institutas).

Disertacija bus ginama 1994 m.

Iki pat šių dienų svarbiausios miškų sektoriuje mokslo problemos yra susijusios su medynų sandaro dėsningumais, taksacinių rodiklių įvertinimo metodais ir tikslumu, medynų augimo eiga ir matematinio jos modeliavimu, prieaugio, praproduktyvumo ir našumo tyrimais, našių medynų formavimu, kirtimo apimčių ir jų efektyvumo optimizavimu, selekcija. Spartus aplinkos užterštumo didinimas pastaruoju metu iškėlė naują ir ypatingai svarbią miškų augimo pokyčių vertinimo problemą, glaudžiai susijusią su priverstiniais antropogeninės kilmės klimato dinaminės pusiausvyros pasikeitimais.

Teršalų poveikis miškų augimui yra dvejopas: tiesioginis (cheminėmis medžiagomis naikinamas medžių asimiliacinis aparatas) ir ryškėjantis klimato pokyčiuose. Ore esančios dujos ardo troposferos ozoną ir tuo didina ultravioletinių spindulių pralaidumą į Žemės paviršių, kurie pragaištingai veikia augaliją ir gyvūniją. Dujos, sugerdamos kosminių ir Žemės paviršiaus atspindimų ilgųjų spindulių energiją, sukelia šiltnamio efektą. Prognozuojama (R. Brown, E. Wolf, 1988), kad to pasekoje oro temperatūra gali pakilti 1.5-4.5 °C. Temperatūrinio režimo pokytis gali pakeisti drėgmės režimą, o visumoje - klimatinės sąlygas.

Tiesioginiai antropogeninės kilmės pokyčiai miškų augime jau akivaizdūs. Tą rodo gausi pasaulinė ir Lietuvos monitoringo informacija. Bet nuoseklus pokyčių įvertinimas yra sudėtingas dėl augimą veikiančių nuolat dinaminiame stovyje esančių klimatinio sąlygų ir įvairiareikšmio tiesioginio teršimo poveikio. Teršimas pradžioje gali būti tręšimo veiksmu, o vėliau iššaukti defoliaciją, žymų prieaugio sumažėjimą, ar net miškų žuvimą.

Augimas ir prieaugių dinamika vertinami įvairiais metodais, standartais bei jų matematiniais modeliais, sudarytais miškotyros ir dendroklimatochronologijos mokslų srityse. Medynų augimo eigos, bonitavimo ar prieaugių standartai bei modeliai yra skirti medynų našumui vertinti ir

klasifikuoti einamuoju momentu. Tačiau prieaugių dinaminės pusiausvyros poslinkio vertinimui jie neturi stabilios ir atviros atskaitos sistemos, tiesiogiai susietos su einamaisiais prieaugiais. Todėl tokie standartai aplinkos sąlygų dinamikos poslinkiams, kurie iššaukia ir prieaugių kitimą, vertinti nepritaikyti.

Antropogeniniams augimo pokyčiams vertinti dendrochronologijoje naudojami specialūs metodai. Vienas jų - kontrolinio medyno metodas - pagrįstas paveikto ir neliesto medynų atrinktų medžių einamųjų prieaugių sugretinimu. Tuo eliminuojama klimatinė fluktuacijų įtaka. Tačiau foninio teršimo įtaka ir klimato dinaminės pusiausvyros kitimo poveikis (kaip ir paties poslinkio egzistavimas) lieka neįvertinti, nes metodas neturi pastovios atskaitos sistemos.

Augimo svyravimams vertinti ir prognozuoti naudojamas kalibravimo - verifikavimo metodas, pagrįstas metinių prieaugių ryšiu su įvairiais klimatiniais ingredientais. Metodas mūsų tikslams taip pat nepanaudotinas, nes, keičiantis klimatinėms sąlygoms, ryšys tarp rodiklių (atsakas į aplinkos poveikį) gali pasikeisti (P.Jones, 1989) ir turimi ryšio parametrai nebegalės atspindėti nustatytų dėsningumų. Keičiantis kardinaliniams faktoriams (šiuo atveju klimato) taškams, sistema gali pasikeisti (Липа Н., 1980).

Dėl jau minėtų priežasčių dinaminės pusiausvyros poslinkiams nustatyti taip pat negalima panaudoti ir kitų dendrochronologinių - spektrinės analizės, etaloninių dendroskalių - metodų, pritaikytų prieaugių fluktuacijoms išryškinti bei einamajam prognozavimui. Klimatinės fluktuacijos augimą reglamentuoja tik dinaminio aspektu, ir, turėdamos santykinę išraišką, nieko negali pasakyti apie absoliutinį prieaugio pasikeitimą po aplinkos sąlygų pokyčio, nes pačios prieaugių laiko eilutės, kaip minėjome, neturi stabilios atskaitos sistemos, griežtai apibrėžiančios prieaugio dydį ir esančias sąlygas. Be tokios sistemos miškotyros srities ekologijos mokslas, kaip parodė ir literatūros analizė, išsamiau charakterizuoti augimo proceso pokyčių negalės. Tuo tarpu 10-tajame Pasauliniame miškininkystės kongrese (Paryžius, 1991) buvo pažymėta, kad dar nėra patikimų žinių apie apibendrintą medžių ir kitų

augalų bei dirvožemio organizmų atsaką į vykstančius fizinius (oro, temperatūros, drėgmės, radiacijos intensyvumo ir spektrinius kitimus) bei cheminius (CO_2 , teršimo) pasikeitimus atmosferoje. Klimato pokyčio imitacinis modelis dar nesudarytas. Taigi, dar ir dabar, kaip aiškiai yra pažymėjęs vienas iš daugelio tyrinėtojų - Nilsonas (Нильсон А., Кислице А, 1986) - "nėra foninių medynų (arba standartų, aut.), kurie padėtų pastebėti globalinį augimo sąlygų dreifą". Todėl dabar, dar galint analizuoti menkai foninio teršimo paliestą medžių einamųjų prieaugių retrospektyvinę informaciją, būtina ją atitinkamai struktūrizuoti, paruošiant einamųjų prieaugių kitimo vertinimo standartą. Pastebėti augimo pasikeitimai padės giliau įvertinti ir pačios aplinkos dinaminės pusiausvyros poslinkio spartą ir svarbą. O su tuo jau yra susiję ekonominės veiklos ir aplinkos ryšių valdymo ypatumai.

DARBO TIKSLAS

Darbas yra skirtas plačiausiai Lietuvoje paplitusios medžių rūšies - pušies - medynų augime viršaujančios medžių dalies radialinio prieaugio poslinkių įvertinimo metodikai sukurti, paruošiant standartinę (stabilią) atskaitos sistemą tiems pokyčiams vertinti. Darbas apima sekančius klausimus:

- faktorių, sąlygojančių einamųjų prieaugių į aukštį ir skersmenį dinamiką, analizę;
- atskaitos sistemos atvirumo ir pastovumo pagrindimą;
- einamųjų prieaugių rinkinių (failų) sudarymą ir prieaugių kitimo dėsningumų biologiniu - dendrochronologiniu aspektu tyrimą;
- statistiškai tarpusavyje nepriklausomų normuojančių rodiklių, tiesiogiai susijusių su absoliutiniu prieaugiu, parinkimą ir prieaugių kitimo vertinimo standarto struktūros pagrindimą;
- standarto preliminarinio skaitmeninio modelio sudarymą augime viršaujančių medžių einamųjų radialinių prieaugių pokyčiams įvertinti;
- einamojo prieaugio pokyčių vertinimo metodikos paruošimą praktiniam naudojimui;

- medžių skaičiaus kitimo pušynuose, augime viršaujančios medyno dalies medžių aukščio ir skersmens dinamikos modeliavimą (susietai su naujai išryškėjusiais taksacinių rodiklių dėsniniais).

MOKSLINIS NAUJUMAS

1. Yra išaiškinti nauji taksacinių rodiklių - viršaujančių augime medžių vidutinių kulminacinių prieaugių ir aukštį ir skersmenį - dėsniniai.
2. Išaiškinti einamųjų prieaugių ir aukštį ir skersmenį reakcijos ir pasikeitusias klimatinės sąlygas dėsniniam.
3. Sudaryta iki šiol miškininkystės ir dendrochronologijos moksluose neturėjusi analogo radialinių prieaugių kitimo dėl tiesioginės ir netiesioginės antropogeninės veiklos įtakos aplinkai vertinimo sistema ir jos pagrindu paruoštas preliminarinis skaitmeninis modelis pasikeitimams fiksuoti.
4. Patobulintas G. Chilmi teorinis medžių skaičiaus dinamikos modelis, pritaikant jį praktiniam naudojimui pušynuose.
5. Sudaryti pušies jaunuolynams nauji efektyvesni viršaujančios augime medyno dalies augimo ir aukštį ir skersmenį matematiniai modeliai.

PAGRINDINIAI GYNIMUI PATEIKTI TEIGINIAI

1. Pušyno viršaujančios augime medyno dalies medžių einamojo vidutinio kulminacinio prieaugio ir skersmenį satykinio stabilumo išlaikymo antropogeniškai paveiktoje aplinkoje dėsninumas.
2. Einamųjų radialinių prieaugių kitimo dėl klimato dinaminės pusiausvyros poslinkio antropogeninės veiklos įtakos įvertinimo metodika ir standarto atruktūra.
3. Patobulintas medžių skaičiaus dinamikos matematinis modelis.
4. Nauji viršaujančios medyno dalies medžių augimo ir aukštį ir skersmenį matematiniai modeliai pušies jaunuolynams.

DARBO METODIKA IR INFORMACIJA

Formuojant ir sprendžiant metodinius bei informacijos rinkimo, tvarkymo ir analizės klausimus, remtasi dendrochronologijos, miško taksacijos, miškininkystės bei matematinės statistikos mokslų pagrindais dėsniniais.

Pradiniai duomenys surinkti 1985 - 1982 m. laikinuose ir pastoviuose tyrimo bareliuose, išskirtuose 0,6 - 1,0 skalsumo nepažeistuose savaiminės ir kultūrinės kilmės sausuminių augimviečių pušynuose. Medynų amžius apėmė 30 - 120 m. laikotarpį. Bendras barelių skaičius - 88; apskaitos medžių skaičius prieaugiams ir aukštį (Zh) matuoti - 843; o radialiniams prieaugiams (Zr) - 1187; išmatuota virš 70000 rievių.

Informacija surinkta Varėnos, Marcinkonių, Veisiejų, Prienų, Dubravos, Kauno, Jurbarko, Tauragės urėdijų miškuose. Teršimo įtakai išryškinti, Jonavos azoto fabriko veikimo zonoje išskirti 9 laikini bareliai su 167 apskaitos medžiais.

Pagrindiniai medynų kriterijai - sudėties grynumas ir augimvietės tipas. Todėl šiuo požiūriu medynai ir apskaitą pateko atsitiktinai. Iha buvo atrenkami 25 augime viršaujantys medžiai. Kiekvienam medžiui 1,3 m aukštyje Preslerio grąžtu išgręžtas vienas šerdį kertantis gręžinys, kurio kryptis sekančiam medžiui buvo sistematiškai keičiama. Radialiniai prieaugiai išmatuoti mikroskopu 0,1 mm tikslumu vienodomis hidroskopinėmis sąlygomis. Matuojant naudoti "reperiniai" taškai. Keliolika medžių su labai ryškiai išsiskiriančiu augimu (dažniausiai dėl gaisrų poveikio) iš informacijos sudėties pašalinti.

Prieaugiams ir aukštį matuoti buvo sukonstruotas telekopinis stiebas, leidžiantis augančiam pušiai panečiui išmatuoti aukščius iki 20 ir daugiau metrų. Matavimo trukmė su perėjimais - iki 10 min. Stiebas parankus tuo, kad nereikalauja matavimo bazės. Vidutinis matavimo tikslumas (naudojant lauko binoklį) - ± 2 cm (pateikiama formulė). Menturių žymes, kaip parodė stebėjimai, pušys priekelminėje dalyje išsaugo iki 100 ir daugiau metų žievėje.

Visa pradinė informacija saugoma kompiuteryje ir yra atspausdinta.

PUBLIKACIJOS IR DARBO APIMTYS

Pagrindiniai metodiniai sprendimai ir rezultatai yra paskelbti mokslo darbuose, Vakaruose ir Rytuose vykusiose konferencijose, žurnaluose. Paskelbta 10 darbų.

Visas darbas išdėstytas 4 - se skyriuose, talpina 35 lenteles, 27 brėžinius, 31 matematinę išraišką. Literatūros sąrašas yra 152 pavadinimai.

PROBLEMOS ANALIZĖ IR DARBO TURINYS

Medžių einamųjų prieaugių dinamika priklauso nuo amžiaus (laiko), medyno sandaros, biologinių rūšių savybių, antropogeninės veiklos ir ekologinių sąlygų visumos. Į šią visumą įeina augimvietės kokybė, cenotiniai ryšiai, daugelio kitų veiksnių (Žemės sukimasis, Saulės radiacija, kosminės erdvės bei Saulės ir Mėnulio traukos sužadaliniai, atmosferos - hidrosferos procesai) formuojamas klimatas (Schweingruber F., 1989; Ловелиус Н., 1979; Горчаковский П., Шиятов С., 1985; Битвинскас Т., 1974; kt.), o pastaruoju metu prie šių veiksnių prisidėjo ir jau minėti neigiami antropogeninės veiklos padariniai.

Dalį išvardintų veiksnių galima įvertinti tiesiogiai, dalis jų įvertinama ryšyje su lengviau apibendrinamais procesais, o likusi dalis priskiriama "informaciniam triukšmui".

Mūsų tyrimo požiūriu elementariausias, nuo nieko nepriklausantis, bet išreiškiantis augimo proceso kitimo esmę, yra visuotinai pripažintas laikas. Jame pasireiškia augimą apibrėžiančių faktorių poveikio skirtingumas, nes ryšys tarp prieaugio ir amžiaus nėra tiesialiniinis. Todėl laiko faktorius turi būti augimą fiksuojančios sistemos sudėtyje.

Salia medžių rūšių biologinių savybių augimo pobūdį didiele dalimi lemia paties medyno sandara ir pagrindiniai svarbiausias jos elementas - pirminis tankis, reglamentuojantis prieaugio absoliutinį dydį laiko eigoje (Иванов Г., 1973; Drew T., Frewelling J., 1977, 1983; Разин Г., 1980; Кузничев В., 1980; Тебера А., 1983; Кайрякштис Л.,

Подвальскис А., Ионикас Ю., Баркаускас А., 1983; Кенстевичус И., Кулешис А., 1985; Кръстанов К., 1987; kt.), ir todėl yra fiksuotinas prieaugių dinamikos tyrimuose.

Skirtinga medynų augimo eigą sąlygoja ir augimo tipai (Давидов М., 1971, 1980, Никитин А., 1983, Кулешис А., 1987, 1989), egzistuojantys visoms medžių rūšims ir skirtinguose geografiniuose rajonuose. Jų atsiradimo priežastys yra genetinio bei antropogeninio pobūdžio ir susiję su dirvožemio savybėmis. Nustatėme, kad Lietuvos pušynuose egzistuoja pagrįste du augimo i aukštį tipai - pagreitinatas (ji turi apie 17% pušynų) ir normalus (jam tenka apie 83% medynų). Priimanč dėsinesn tai, kad išankstinis augimo tipų nustatymas neapibrėžtas (o jo apibrėžimas apribotų atskaitos atvirumą), didžiausia medynų dalis turi normalų augimą, o viršaujančių augime medžių augimo charakteris toje pat augimvietėje svyruoja 20-30% ribose (Позанов М., Нестеров В., Кириенко Г., 1975) ir augimo tipai klasifikavimo požiūriu turi pereinamumą, apibendrintoje prieaugių kitimo vertinimo sistemoje augimo tipų įtaką prieaugiams tikslinga priskirti "informaciniam triukšmui", atsispindinčiam įvertintose vidurkių standartinėse klaidose.

Augimo pobūdis priklauso nuo rūšių biologinių savybių, kurios cenotiniais ryšiais, klimato fluktuacijomis ir ūkinėmis priemonėmis bei kita antropogenine veikla yra veikiamos visą medžių amžių. Biogeocenozeis, o tuo pačiu ir augimo homogeniškumui charakterizuoti siūlomos klasifikacinės sistemos su dideliu šioje srityje veikiančių faktorių diferenciacijos laipsniu (klimatinė zona, subzona, augimvietė, medyno kilmė, sudėtis, amžius, struktūra, pradinis tankis, antropogeninis poveikis ir kt.). Įjungti į vertinimo sistemos sudėtį visus klasifikacinius elementus dėl daugelio galimų jų tarpusavio ryšių netikslinga. Todėl toks detalus klasifikavimas išliko tik siūlymų lygįje. Reikia rentis bendrais medynų sandarą ir biologinius-ekologinius ryšius charakterizuojančiais išvestiniais rodikliais, kurie galimai tiksliau apibrėžtų prieaugių dinamiką ir atskaitos sistemą.

Ūkinės veiklos įtaka augimui pasireiškia medynų kilmėje (Вуевский Л., 1940; Рубцов В., 1964; Захаров В., 1964; Тимофеев В., 1985; Подвальскис А., Ионикас Ю., 1985; ir kt.). Bet skelbiami tyrimo rezultatai prieštaringi. Svarbu tai,

kad pastebėtas didesnis kultūrų našumas yra pasiekiamas tankio sąskaita, o viršaujančių medžių augimas yra panašus į savaiminės kilmės medynų augimą.

Ugdymo kirtimo įtaka jaunuolynams pasireiškia šviesinio prieaugio atsiradimu ir mechaninių taksacinių rodiklių padidiniu (Кайржкштис Л., Подвалькис А., Ионикас Ю., Баркаускас А., 1980; 1983; 1985; Лиена И., 1980; kt.). Ugdymas mažiausiai paveikia viršaujančius medžius (Кайржкштис Л., 1988; Цетковс В., 1978). Šie medžiai, panaudodami genetinį potencialą, dažnai pilnai išnaudoja aplinką ir asimiliacinį aparatą ir ryškiai didinti prieaugį neapajėgia (Фрей Т., 1978), t.y. sistemos stabilumo savireguliacijos mechanizmas lieka nesužadintas (Буш К., Иевинь И., 1984). Tačiau yra ir priešingų duomenų (Лобжанидзе Е., 1975).

Intensyviuose ugdymo kirtimuose viršaujančius medžius teršinas veikia stipriau (Ионикас Ю., Подвалькис А., 1988). Tai šiuo požiūriu pabrėžia viršaujančių medžių informatyvumą.

Viršaujantys medžiai labai retai pereina į žemesnę vytimosi klasę (Кайржкштис Л., 1988; Антанайтис В. Тебера А., Шепетене Я., 1988, kt.). Todėl prieaugių kitimo atskaitos sistemos pagrindui jie tinka geriausiai.

Didžiausius prieaugių svyravimus iššaukia klimatas. Medžių prieaugis labiausiai sumažėja didžiausių neigiamų klimatinų fluktuacijų metu (Кабуцис И., Никоденус О., Раман К., 1988; Schweingruber F., 1988; Арнодайтис К., Байчис М., 1988; Пастернак П., Ворон В., 1988; kt.). Todėl klimatinės fluktuacijas prieaugių kitimo vertinimo standarte fiksuoti yra būtina.

Sprendžiamos problemos požiūriu būtina atkreipti dėmesį ir į kitus literatūroje pateikiamus teiginius: ryškiausiai klimatinės fluktuacijas atspindi viršaujantys augime medžiai (Bohuslav V., 1988; Вуэжкин А., Дашковская И., Хлебопрос П., 1988; Гортинский Г., 1988); prieaugių kitimo vertinimui būtina turėti atskaitos sistemą (Нильсон А., Кивисте А., 1988; Скулькин В., 1988; kt.); turimos dendrochronologinės eilutės prieaugio pokyčio vertinimo problemos neišsprendžia (Grigaliūnas J., 1982, 1983); ryšys tarp rėvių ir klimatinų faktorių panašiose augimvietėse gali būti skirtingas, o tai apsunkina skalių prolongavimą (Schweingruber F., 1988); įjungiant pradinio amžiaus rėvių informaciją į prieaugio

indeksų sudėti, eilutes dažnai galima iškreipti (Grigaliūnas J., 1983); atskiri klimatiniai ingredientai su radialiniu prieaugiu turi tamprų ryšį (Жнис Р., 1980; Венцкус А., 1988; Карманова И., 1978; Кайржкштис Л., Подвалькис А., 1988), tačiau, sąlygoms keičiantis, šis ryšys kinta nuo tiesinės iki kvadratinės formos, o prie aukštų temperatūrų išreiškiamas laipsnine funkcija: $y = ax^4$ (Карманова И., 1978) ir todėl prieaugių dinamikos standarte klimatinės sąlygas tikslinga fiksuoti integruotoje formoje.

Tai, kad ūkinių priemonių įtaka augime viršaujantiems medžiams yra silpna (Лакида П., 1985; Burhard H., 1977; Pollanschutz J., 1974; Petrin P., 1987; Turner B., Bernarz R., Dargavel J., 1977; Матузанис А., Тауриныш Я., 1972; Grut M., 1977; Hagglung B., 1975, kt.), jų prieaugius tikslinga panaudoti atskaitos sistemoje augimo pokyčiams fiksuoti.

A klasės geriausio išsivystymo medžių (toliau vadinamų viršaujančiais) prieaugiai parodė, kad kiekvienos augimo į aukštį bei skersmeni kreivės padėti kreivių šeimoje gerai charakterizuoja vidutiniai prieaugiai (k_h , k_d), skaičiuoti pirmosios einaujų prieaugių kulminacijos amžiuje (A_{shmax} , A_{srmax}):

$$k_h = H_{shmax} / A_{shmax}; k_d = D_{srmax1.5} / A_{srmax}, \quad (1).$$

Šiose formulėse: H_{shmax} , $D_{srmax1.5}$ - atitinkamai aukštis (m) ir skersmuo (cm) šių rodiklių didžiausių einaujų prieaugių momentu.

Vidutiniai kulminaciniai prieaugiai atspindi kiekvieno medyno formavimosi periodą ir charakterizuoja tolinesnį viršaujančių medžių augimo pobūdį. Tai, pvz, patvirtina 1 lentelės duomenys.

Viršaujančių medžių augimo į aukštį ir skersmeni kreivės, sudarytos natūroje išmatuotų prieaugių pagrindu ir nediferencijuojant augimviečių tipais bei kilmės požiūriu, iki 50 - 60 metų amžiaus susikerta gana retai (vidutiniškai 17% dažniu) ir yra minėtų augimo tipų ir atsitiktinų padarinių. 20 - 25 metų amžiaus ribose ryšys tarp apibendrintų kreivių išsidėstymo eiliškumo ir rodiklių k_h ir k_d charakterizuojamas koreliacijos koeficientais: $r_{kh} =$

1 lentelė
Table 1

Augine viršaujančių medžių kulminacinio prieaugio į skersmenį (k_a) ryšys su skersmeniu (d_a) brūkminių pušynuose atitinkamų amžiaus grupių ribose
Relation between the diameter (d_a) and the average increment (k_a) calculated at the current radial increment culmination moment by the age groups (A) for dominant trees in the Vaccinium forest types of the pine stands

Am- žius, (A)	k_a intervalas, cm/m.	Vidut. skersmuo (d_a), cm.	Korelacio- koef. (r)	±m. Error	±m. of r , r/m	Medžių sk(N), vnt.	Skersm. kintam. (V_d), %
Age (A)	Intervals of k_a , cm/year	Average DBH, cm	Correl- ation coefficient (r).	±m. -	-	Number of trees	Variat. (V_d)% of DBH
10	0,118 - 0,705	3,3	0,496	0,054	9,2	191	42,7
20	0,118 - 0,705	9,9	0,766	0,030	25,5	191	23,3
30	0,118 - 0,705	14,2	0,740	0,037	20,0	150	22,1
40	0,118 - 0,518	17,5	0,675	0,048	14,1	126	21,7
50	0,118 - 0,506	20,7	0,656	0,055	11,9	104	21,2
60	0,118 - 0,486	23,8	0,647	0,062	10,4	88	21,2

$0,963 \pm 0,009$, $r_{kd} = 0,897 \pm 0,025$. Ryšys tarp k_a ir apibendrintų kreivių išsidėstymo 60 - 70 m. ribose taip pat glaudus: $r = 0,927 \pm 0,028$. Tai svarbus požymis, rodantis kulinacinių prieaugių tinkamumą, sudarant einamųjų prieaugių kitimo įvertinimo sistemą.

Rodiklių k_n ir k_a reikšmės per jų sudėtines dalis apibrėžia biologinės rūšies savybės, medynų sandara bei ekologinės sąlygos.

Medynų sandaros įtaka pasireiškia tankio skirtingumu, nes vidutinis aukštis ar skersmuo kinta adekvačiai tankio kitimui. Tyrimai eglės biofiziniame stacionare parodė, kad vienodose auginvietais sąlygose tankio pokytis veikia tik vieną rodiklį k_a komponentą - vidutinį viršaujančių medžių skersmenį, o kulminacinis amžius išlieka nepakitęs (2 lentelė).

Akivaizdu, kad rodiklis k_a atspindi daugelyje standartų ingredientu esanti medyno tankį. Tuo tarpu teršimas keičia abi rodiklių k_n ir k_a sudėtines dalis: kulminacinius aukštį, skersmenį ir amžių. Kulminaciniam prieaugiui į aukštį (k_n), pvz., ta patvirtina 3 lentelės duomenys.

Nors teršimas ir veikia jau name amžiuje nustatomus kulinacinių prieaugių ingredientus (3 lentelė), ir rodiklis

2 lentelė
Table 2
Vidutinio viršaujančių medžių kulminacinio prieaugio į skersmenį (k_a) priklausomybė nuo medyno tankio (eglių biofizinis stacionaras)
Relation of the average culmination radial increment (k_a) of dominant trees on stand density (biophysical stationary sampling plot of spruce stand)

Tankis, vnt/ha Density, N/ha	820	1600	3000	6000	12000	23000	100000
Vidutinis skersmuo, (d), cm. Average diameter (d), cm	28,0	23,4	21,5	21,3	18,2	17,3	14,5
Vidutinis kulmi- nac.amžius (A_{max}), Average age of the radial increment culmination (A_{max}), year	12,9	12,9	11,6	11,3	10,8	12,4	13,4
Vidut.skersmuo kul- minac.amž. (D_{max}), cm. Average DBH (D_{max}) at the age of the radial incre- ment culmination	3,05	5,38	3,64	3,80	2,78	2,81	2,21
Vidutinis k_a , cm/m. Average k_a , cm/year	0,392	0,417	0,314	0,336	0,256	0,222	0,164
Stebėjimų skaičius Tree number	9	9	7	6	8	7	7

3 lentelė
Table 3

Jonavos fabriko "Azotas" oro teršimo zonoje vienodose auginvietėse augančių pušynų, pasiekusių augimo į aukštį kulminaciją prieš teršimo pradžią (vyresni medynai) ir išeitų teršimo laikotarpyje ir taip pat turinčių prieaugio į aukštį maksimumą (jaunesni medynai), viršaujančių medžių prieaugių į aukštį normaujančių rodiklių (vidutinių kulinacinių prieaugių į aukštį (k_n)) ingredientų (H_{nmax} , A_{nmax}) kitimas
The changes of the ingredients (A_{nmax} , H_{nmax}) of average culmination height increment (k_n) in relation on the pollution term and distance. The culmination of height increment of the dominant trees in the sample plots (1L, 3L, 9L) reached before a start of pollution. The stands of sample plots 2L, 4L and 5L were planted in a pollution term and also reached the height increment culmination. The conditions of growth site for compared stands is the same

Medyno Išvėis- metal- Stand plan- ted year	Ž. prie- augių kulmina- cijos m. The hei- ght inc- rement culmina- tion year	Greiti- namų bare- Nr. The num- bers of com- pared sam- ple plots	Atst. iki terš. šalt. km A di- stan- ce from poll- ution sour- ce, km	A_{nmax} , year	H_{nmax} , m at the A_{nmax} , m	k_n , m/m m/year	Differences (%)	A_{nmax}	H_{nmax}	k_n
1950 1962	1963 1973	1L, v. 2L, j.	7,0 7,0	12,60 10,50	5,29 4,72	0,418 0,446	-16,5	-10,8	+6,6	
1953 1968	1963 1981	3L, v. 4L, j.	2,0 2,0	10,53 13,40	5,51 6,72	0,523 0,501	+27,3	+22,0	-4,2	
1933 1968	1942 1983	9L, v. 5L, j.	1,3 1,0	9,20 14,55	6,23 6,37	0,460 0,437	+38,2	+50,1	-5,0	

* - vyresnių medynų taksaciniai rodikliai prilyginti 100%.

kn išlieka santykinai stabilus, bet šis stabilumas nėra sąlyga atskaitos sistemoje, nes nepažeistuose medynuose rodiklis kn (kaip ir ka) jau savaime normuoja kiekvieno atskiro medyno augimo pobūdį. Pažeistame medyne pakitus augimui, tokios pat kaip standarte, kn (ka) grupės medynai jau turės kitą prieaugį. Ta patvirtinta hipotezė ir davė teisę tokiam pažeistų ir nepažeistų medynų augimo sugretinimui kn rodiklių požįūriu.

Aki vaizdu, kad Δ_{max} ir Δ_{min} kinta gana adekvačiai ir dėl to dydis kn išlieka santykinai stabilus. Šių rodiklių kitimas priklauso nuo teršimo atstumo (teršimas pradžioje augimą gali skatinti, o vėliau - žlugdyti).

Nors teršimas ir veikia jauname amžiuje nustatomus kulinacinių prieaugių ingredientus (3 lentelė) ir rodiklis kn išlieka santykinai stabilus, bet šis stabilumas nėra būtina sąlyga atskaitos sistemoje, nes nepažeistuose medynuose rodiklis kn (kaip ir ka) jau savaime normuoja kiekvieno atskiro medyno augimo pobūdį. Pakitus pažeistame medyne augimui, tokios pat, kaip standarte, kn(ka) grupės medynai turės jau kitą prieaugį. Ta patvirtinta hipotezė ir davė teisę tokiam pažeistų ir nepažeistų medynų augimo sugretinimui kn rodiklių požįūriu.

Todėl retrospektyvinės analizės, atliktos iki ryškesnio foninio teršimo pasirodymo, rezultate sudarytos normuotos prieaugių eilutės, į kurių normuojančių rodiklių sudėtyje įeina ir vidutinis kulminacinis prieaugis, išlieka nuolatiniškai stabiliu atskaitos pagrindu prieaugių dinaminio poslinkio vertinimo sistemoje ir, kaip parodė analizė, nereikalauja sistemos sudėtyje turėti auginvietsės ar miško tipo charakteristikų.

Teršimas iššaukia priverstinį ankstyvą senėjimo procesą (Мауринь А., 1988; Юнис Р., 1990). Todėl eilės nepažeistų medynų augimo į aukštį ir skersmenį sugretinimas su panašius kn ir ka dydžius turinčių oro teršalais pažeistų medynų augimu parodė aiškų augimų skirtumą: galutiniam rezultate visi pažeisti medynai augo silpniau, nes jie, keisdami prieaugio kulminacijos amžių ir skersmenį, kartu iškreipė ir natūralią augimo eigą. Medynai, augantys arčiau teršimo šaltinio, pažeidžiami greičiau ir stipriau, o esatys toliau - pradžioje gali turėti ilgesnį tręšimo poveikį.

Pavyzdžiui, 7 km atstumu nuo teršimo šaltinio augę pušynai apie dešimtmetį naudojosi papildomu tręšimu, o vėliau jų augimas pradėjo silpnėti (4 lentelė).

4 lentelė

Table 4

Viršaujančių pušies medžių augimo į skersmenį skirtingumo palyginimas panašius kulminacinius prieaugius į skersmenį (ka) turinčiuose oro teršalais paveiktuose ir nepaveiktuose medynuose (skersmenys neišlyginti; fragmentas). Atstumas iki teršimo šaltinio (Jonavos Azotas) - 7 km.
A difference of diameters between dominant pine trees in a damaged by air pollution stands (IL) and in non-polluted stands. The culmination increments (ka) of all stands are similar. The growth is not smoothed. A distance between the nitrogen factory and s.p. IL is 7 km.

Medynų charakteristika. The characterist. of stands	Barelio Nr. Sample plot No.	ka cm/m. year	Medžių skaičius šiuose vnt. Number of trees	Viršaujančių medžių vidut. skersmenys (d) cm su žieve (skaitiklyje) ir skirtumai (vardiklyje) atitinkamuose amžiuose (A). The average diameter of dominant trees (d) cm over bark and their differences in the age groups					
				10	15	20	25	30	35
Paveiktas teršimo, - teršimo pradžia Damaged - start of pollut.	1L	0,445	15	4,98	10,66	14,81	17,87	19,27	20,17
Nepaveiktas teršimo Non-damaged	9	0,412	15	4,86	8,50	10,64	12,52	14,68	18,98
				-0,12	-2,16	-4,17	-5,15	-4,59	-3,21
stands	1736	0,428	13	2,72	7,83	12,04	14,85	17,56	20,10
				-2,26	-2,73	-2,77	-2,82	-1,71	-0,07
	2030	0,419	6	4,88	10,66	14,70	17,74	20,18	22,16
				-0,09	0,0	-0,11	+0,07	+0,82	+1,99
	365	0,432	13	6,01	10,34	12,31	13,72	—	—
				+1,15	-0,32	-2,50	-3,85	—	—
	366	0,443	8	6,62	10,85	12,57	14,26	—	—
				+1,64	+0,19	-2,24	-3,41	—	—
	367	0,442	10	5,80	10,52	12,18	13,65	—	—
				+0,82	-0,14	-2,85	-4,02	—	—

Pažeistų medžių augimas ypatingai susilpnėja po stresinių (neigiamų) temperatūrų.

Analizė parodė, kad kulminaciniai prieaugiai (kn, ka) normuojančiais rodikliais naudotini dėl šių savybių:

- kn ir ka yra išvestiniai rodikliai ir atspindi medynų sandarą;
- ilgą laiką charakterizuoja augimą į skersmenį bei aukštį;

- yra santykinai stabilūs ir išlieka atviros atskaitos sistemos pagrindu;
- kiekvienam medžiui lengvai nustatomi retrospektyviniais matavimais;
- medžiai medyje ka grupėmis pasiskirsto analogiškai skersmenims (sudarius specialų normatyvą, galima prognozuoti medyno vystymosi pobūdį).

Prieaugių kitimo įvertinimo standartą galima sudaryti einamiesiems prieaugiams i aukštį (Z_h) arba radiusą (Z_r). Informatyvesnes charakteristikas parodė radialiniai prieaugiai. Tai ir nulėmė standarto pasirinkimą.

Išaiškinti tokie prieaugių ir jų kulminacinių rodiklių kintamumai: $V_{zn}=\pm 27,5\%$, $V_{kn}=\pm 12\%$; $V_{rz}=\pm 34,5\%$, $V_{kd}=\pm 23\%$. Dendrochronologinių indeksų kintamumas kalendorinių metų ribose radialiniams prieaugiams yra mažesnis: $V_{zn}=\pm 26,7\%$, $V_{rz}=\pm 17,3\%$; prieaugių i aukštį indeksų amplitudė fazių ribose yra mažesnė; $I_{zhmin}=89,4\%$, $I_{zhmax}=107,8\%$; $I_{rzmin}=83,2\%$, $I_{rzmax}=115\%$. Mažesnis I_{rz} kintamumas ir didesnė amplitudė kalendorinių metų ribose rodo, kad, keičiantis klimatiniams sąlygoms, medžiai augimo i radiusą pobūdį keičia sutartiniau ir tuo parodo jų jautrumą.

Tų pačių objektų medžių informacijos pagrindu sudarytų prieaugio i aukštį ir skersmenį dendrochronologinių indeksų analitinis ir grafinis sugretinimai parodė, jog kalendorinių metų atžvilgiu radialinių prieaugių indeksų kreivė eina pirma I_{zh} kreivės ir tuo parodo staigesnį Z_r atsaką i pasikeitusias aplinkos sąlygas.

Radialinių prieaugių indeksų kitimo krypčių (IT_{rz}) sutapimas taip pat yra didesnis. Ir jei prieaugiams i aukštį kalendorinių metų serijoje IT_{zh} svyruoja 87 - 17% ribose ir visoje laiko indeksų eilutėje (1900 - 1982m.) nėra nei vienos "taškinės" reikšmės (atvejai, kai palankiose sąlygose visi indeksai artėja prie 100%, o nepalankiose - prie 0% ; Schweingruber F., 1989), tai I_{rz} eilutėse tokių reikšmių yra net 15. Tai ir rodo ryškesnę Z_r reakciją i pasikeitusias klimatines sąlygas.

Atskirų medžių Z_r ir Z_h ir jų indeksų dinamikos sugretinimas su sudarytų dendrochronologinių skalių indeksų dinamika išryškino atvejus, kai šių prieaugių dinamika jauname amžiuje yra asinchroniška apibendrintų skalių indeksų dinamikai. Tai atvejai, kai medžio (medyno) augimo pradžia

nesutampa su klimatinio fluktuacijų faze. Tada augimo sinchronizavimasis prasideda tik po 15 - 18 metų. Todėl, sudarant ar prailginant dendrochronologines skales, šio amžiaus prieaugių informacija nenaudotina. Tai kartu apibrėžia ir pradinį amžių standarte.

Analizės metu buvo išaiškintas prieaugių i aukštį sumažėjimo dėsningumas. Pasiekęs kulminaciją, prieaugis staigiai "krenta", nors klimatinio sąlygų fluktuacijos fazė yra teigiama ir didėja. Nustatytos prieaugio kritimo trukmės ir gylis ryšio su kn rodikliu matmeninės išraiškos.

Kompleksiniai temperatūros ir kritulių kiekio rodikliai (Сравнинские В., 1981) rodo Lietuvos mastu vienodą klimatinio fono dinamiką. Todėl prieaugių informaciją galima apjungti visos teritorijos apimtyje. Tą patvirtino ir mūsų informacijos pagrindu skaičiuoti prieaugių kitimo sinchronizacijos rodikliai.

Sudarant dendrochronologines indeksų eilutes, būtina turėti pagrįstą slystamąjį vidurkį amžiaus itakai eliminuoti, kuris geriausiai išryškintų dažniausiai pasitaikančius prieaugių periodus ir mažiausiai iškreiptų jų absoliutines reikšmes. Nukrypimų tarp pirminių ir indeksuotų prieaugių kvadratų suma parodė, kad tam atitinka 11 metų periodas, kuris ir buvo panaudotas radialinių prieaugių indeksavimui, sudarant vieno iš standarto normuojančių rodiklių - dendrochronologinių indeksų - grupes. Be to, šis periodas artimiausiai siejasi su Saulės aktyvumo ciklišku, nedaug iškreipia absoliutinių prieaugių reikšmes ir mažiausiai reaguoja i ūkines priemones.

Trumpųjų ciklų prieaugių fluktuacijas sąlygoja ilgųjų ciklų svyravimai. Fazėms sutapus, teigiami arba neigiami trumpųjų ciklų indeksai bus didesni. Todėl siekta prieaugių kitimo įvertinimo standartui panaudoti galimai platesnio laikotarpio informaciją (buvo panaudoti 1882-1958 metų laikotarpyje atsiradusių medynų 1882-1992 m. laikotarpio einamieji prieaugiai).

Statistiniam standarto rodiklių vertinimui ir naudojimui, (chi-kvadrato) kriterijaus pagalba buvo ištirtas amžiaus (A), radialinių prieaugių indeksų (I_{rz}) ir vidutinių einamųjų kulminacinių prieaugių i skersmenį (ka)

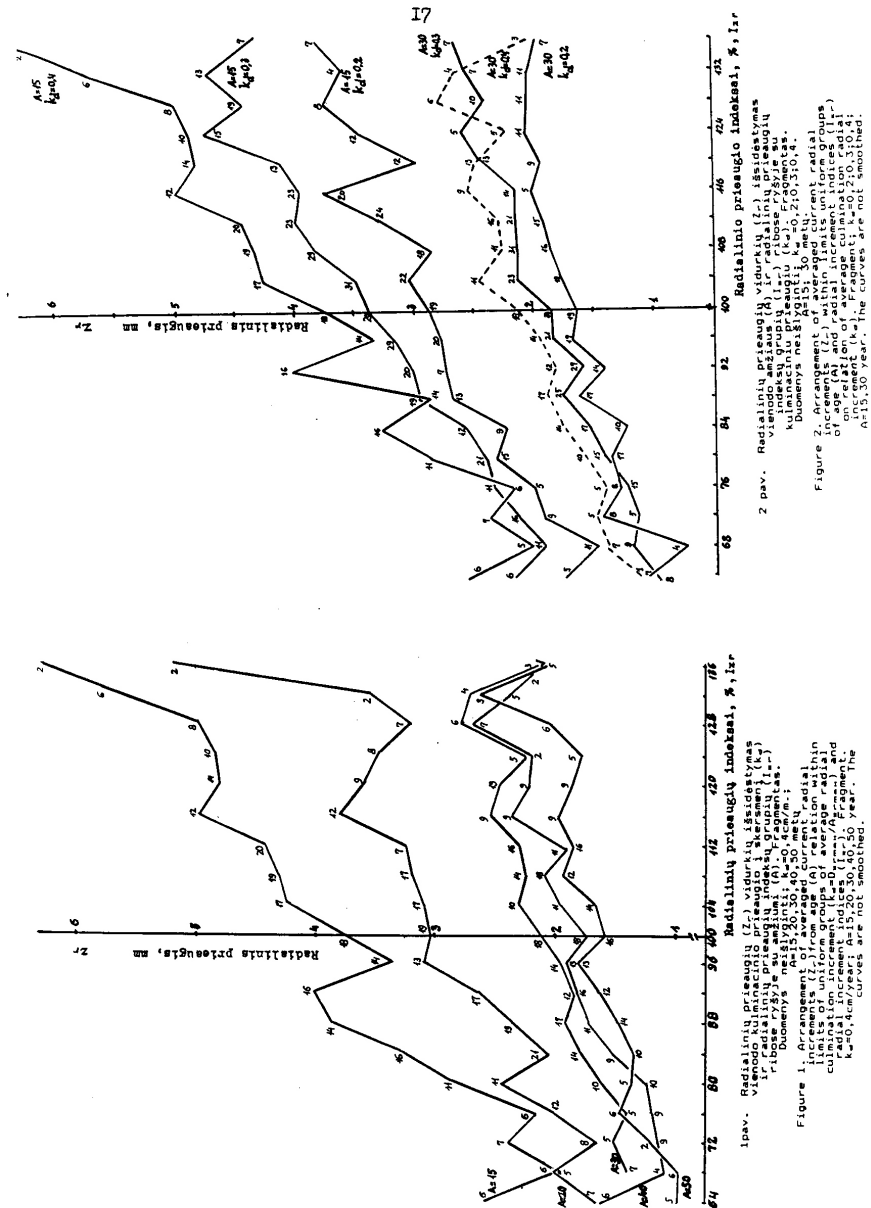
grupėse formuojamų absoliutinių radialinių prieaugių (Z_r) pasiskirstymo normalumas. 30-ties stebėjimų apintyje (Z_r) pasiskirstymas priartėja prie normalinio.

Aukščiau padarytų sprendimų bazėje (standarto funkcijos pagrindu naudoti radialinius prieaugius; normuojančių rodiklių sudėtyje naudoti tarpusavyje nesusietus rodiklius: amžių, vidutinį einamąjį kulminacinį prieaugį ir skersmenį ir radialinių prieaugių indeksus (normuojantys rodikliai stadarte turi užtikrinti atskaitos sistemos pastovumą ir atvirumą); radialinių prieaugių duomenis rinkti teršimo nepakenktuose sausuminių auginvielių pušynuose, apimant galinai platesnį laikotarpį; minimaliausia amžių standarte priimti 15 metų; atskaitos sistemos pagrindą turi sudaryti viršaujantys augime medžiai (25 vnt./ha); prieaugių flutuacijas standartizuoti 11 metų slystamuoju vidurkiu; klimato fluktuacijas išreikšti bendrame pavidale, neskaidant į komponentinius ryšius; prieaugių informaciją sisteminti individualių medžių pagrindu) kompiuterio pagalba radialiniai prieaugiai buvo susisteminti A, kd ir I_{xx} grupėmis (grupių intervalai; A=1m., kd=0,1cm/m., $I_{xx}=4\%$). Atitinkamoms grupėms priskirtų radialinių prieaugių vidurkių išsidėstymas (1 pav.) yra visiškai dėsningas; amžiui didėjant, prieaugis mažėja; klimatinėms sąlygoms gerėjant, prieaugis didėja. Toks dėsningumas egzistuoja ir likusioms ka (0,2;0,3) grupėms.

2 pav. parodytas prieaugių vidurkių išsidėstymas ryšyje su vidutinių kulminacinių prieaugių dydžiais. Išsidėstymas dėsningas: tame pačiame amžiuje ir prieaugių indeksų grupėse kulminaciniam prieaugiui didėjant, einamasis prieaugis ir radiusą didėja. Radialinių prieaugių vidurkliai dėsningai išsidėsto ir kituose amžiuose.

Funkcijos $Z_r=f(A;ka=const.,I_{xx}=const.)$ reikšmės taip pat išsidėsto dėsningai.

Analiitiškai išlyginus prieaugių kreives normuojančių rodiklių atžvilgiu ($Z_r=f(I_{xx},A=const.,ka=const.)$, $Z_r=f(A,ka=const.,I_{xx}=const.)$), iš visų 15 kreivių tik trys kreivės dėl mažo informacijos kiekio, kraštinėse I_{xx} grupėse dalinai iškreipė dėsningą bendrą visos jų šeimos išsidėstymo tvarką. Todėl gauti funkcijos $Z_r=f(A,ka,I_{xx})$ skaitmeniniai dydžiai leidžia teigti, kad radialinių prieaugių kitimo dėl klimato dinaminės pusiausvyros polinkio



įvertinimo standartas teoriniu požiūriu yra objektyvus ir jo struktūra priimtina praktiniam naudojimui. Standarto skaitmeninis preliminarinis modelis pateiktas 5 lentelėje.

Kiekvienam parinktam A bei ka ir I_{xx} grupės radialinių prieaugių vidurkiui yra skaičiuoti statistiniai rodikliai, įvertintos vidurkių klaidos ir rasti pasikliautiniai itevalai. Čia iliustravimo tikslu pažymėsime, kad visiems paimtiems amžiams ir ka grupėms, atsižvelgiant į atrankos dydį grupėje, vidutinės pasikliautinių intervalų reikšmės visai eilutei, kai I_{xx}=64% yra Sy'=0,211 mm, kai I_{xx}=100%, tai Sy'=0,198 mm, o kai I_{xx}=136%, tai Sy'=0,207 mm.

Kiekvienam radialinių prieaugių vidurkiui turimi statistiniai rodikliai sudaro galimybę šiuos standartinius vidurkius grupių ribose sugretinti su tyrimo objektuose išmatuotais prieaugiais ir spręsti apie prieaugių pasikeitimus. Darbe yra pateiktas standarto ir objektų duomenims sugretinti algoritmas.

Papildžius standartui ruošti naudota informacija naujų objektų duomenimis, standarte pateikti prieaigų vidurkiai gali kiek tikslėti.

Kulminaciniai prieaugiai λ aukštį ir skersmenį buvo panaudoti augime viršaujančios medyno dalies medžių augimui modeliuoti. Sudaryti augimo λ aukštį ir skersmenį matematiniai modeliai, o modifikuojant Chilmi (Хилми Г., 1955) formulę - pušynų retinimosi modelis.

Bazinė medynų retinimosi formulė

$$N_t = \bar{N} (N_0 / \bar{N})^{-\phi(t-t_0)} \quad (2)$$

buvo modifikuota ir įgijo tokią išraišką:

$$N_t = \bar{N} \left(N_A / \bar{N} \right) e^{-\lambda_k(t - A_m)}, \quad (3).$$

Siose formulėse: N_t - medyno tankis momentui (t); $\bar{N}$ - ribinis tankis ploto vienetė; N_0 - pradinis medyno tankis ploto vienetė; N_A - tankis tyrimo momentu ploto vienetė; e - natūrinis logaritmų pagrindas; α_k - atitinkamai pastovus ir dinaminis retinimosi koeficientai; t_0 - pradinis amžius; A_m - amžius tyrimo momentu. Dinaminis retinimosi koeficientas (α_k) išreiškiamas formule:

$$\mathcal{L}_k = a_0 \exp[a_1 A_m + a_2 A_m^2 + a_3 A_m^3] \quad , \quad (4) ,$$

5 lentelė
Table 5

Lietuvos pušynų augimie viršaujančių medžių radialinių prieaugių kitimo lytertinio standartas, registras radialinių prieaugių (Z_r), priklausančių nuo amžiaus (A), vidutinio kulminacinio prieaugio (K), ir radialinio puošaujo indeksų (I_r).

Standart of radial increment of lithuanian pine stands dominant trees to assess of growth changes by changes of environmental conditions. Standard based on relation of current radial increment (Z_r) with age (A), average radial culmination increment (K) of radial increment indices (I_r).

Amzius A. Mēnētis (M) year	kg, cm. year	Radialiniņu prieaugļu indeksai, (I _{pr}), %												Radial increment indices (I _{pr}), %											
		Radialiniņu prieaugļi, (Z _r), mm/m												Radial increment (Z _r), mm/year											
		64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136					
15	0.2 0.3	1.68 1.89	1.81 2.09	1.94 2.33	2.06 2.50	2.19 2.68	2.32 2.85	2.44 3.03	2.57 3.22	2.70 3.40	2.82 3.50	2.95 3.60	3.08 3.71	3.20 3.81	3.33 3.92	3.45 4.03	3.58 4.14	3.73 4.26	3.89 4.37	4.00 4.40					
20	0.2 0.3	1.31 1.51	1.44 1.72	1.54 1.91	1.65 2.05	1.75 2.18	1.85 2.29	1.96 2.42	2.06 2.51	2.17 2.61	2.27 2.76	2.37 2.81	2.48 2.91	2.58 3.00	2.69 3.10	2.79 3.20	2.90 3.31	3.01 3.41	3.12 3.46	3.23 3.58					
25	0.2 0.3	1.16 1.44	1.24 1.54	1.33 1.65	1.41 1.75	1.50 1.83	1.58 1.91	1.66 2.00	1.75 2.20	1.83 2.31	1.91 2.42	2.00 2.54	2.08 2.65	2.17 2.77	2.25 2.89	2.33 3.00	2.42 3.14	2.49 3.26	2.57 3.25	2.65 3.39					
30	0.2 0.3	1.05 1.19	1.13 1.25	1.21 1.33	1.28 1.41	1.36 1.50	1.44 1.58	1.52 1.66	1.60 1.75	1.68 1.83	1.75 1.92	1.83 2.01	1.91 2.11	2.00 2.21	2.07 2.29	2.14 2.32	2.23 2.40	2.30 2.48	2.38 2.57	2.47 2.65					
35	0.2 0.3	0.90 1.20	0.97 1.26	1.05 1.35	1.12 1.43	1.20 1.50	1.27 1.60	1.35 1.68	1.42 1.75	1.50 1.83	1.57 1.91	1.65 2.00	1.72 2.09	1.80 2.19	1.88 2.28	1.96 2.36	2.04 2.45	2.11 2.54	2.20 2.62	2.28 2.68					
40	0.2 0.3	0.95 1.04	1.03 1.11	1.10 1.18	1.18 1.26	1.25 1.34	1.33 1.42	1.40 1.49	1.47 1.57	1.55 1.64	1.62 1.72	1.70 1.79	1.77 1.86	1.84 1.93	1.92 2.01	1.99 2.08	2.07 2.15	2.14 2.23	2.22 2.32	2.30 2.39					
45	0.2 0.3	0.82 0.88	0.88 0.95	0.97 1.05	1.05 1.13	1.13 1.20	1.20 1.28	1.28 1.35	1.37 1.45	1.45 1.53	1.53 1.61	1.59 1.67	1.66 1.74	1.74 1.81	1.81 1.89	1.89 1.97	2.04 2.12	2.12 2.20	2.20 2.28	2.28 2.36					
50	0.2 0.3	0.88 0.95	0.95 1.03	1.03 1.10	1.10 1.18	1.18 1.25	1.25 1.33	1.33 1.40	1.41 1.48	1.48 1.56	1.56 1.63	1.63 1.71	1.71 1.79	1.79 1.86	1.86 1.94	1.94 2.02	2.02 2.10	2.10 2.18	2.18 2.26	2.26 2.34					

Aproksimavimo tikslumas $\eta = 0,9995$ (aproksimuoti augimo eigos lentelių duomenys). Parametrai Lietuvos pušynams: $a_0 = 0,0352957$; $a_1 = -0,00559082$; $a_2 = -0,00005875$; $a_3 = 0,00000177$.

Ribinis tankis susietas su kulminaciniu prieaugiu (k_d):

$$\bar{N} = 607,1875 - 1038,699463k_d + 830,559814k_d^2 \quad (5);$$

$$\eta = 0,541.$$

Formulės ypatumai ir pranašumai: medžių skaičių leidžia prognozuoti kiekvienam medynui atskirai; nereikalauja dažnai neapibrėžiamo pirminio tankio; nereikalauja (dažnai kintančios) bonitetinės klasės; neįjungia kitų prognozuojamų rodiklių (skersmens, aukščio, kt.); prognozavimo tikslumo nesieja su prognozės periodo ilgiu. Visa tai duoda priimtina tankio $\pm 12\%$ prognozės tikslumą (bazinės formulės tikslumas $\pm 30\%$).

Viršaujančios medynų dalies augimo į aukštį modelis yra išreikštas formule:

$$H_A = 10k_n h_b \text{th}[aA][1,3 - 1,3/(1+A)^b] \quad (6).$$

Joje: H_A - aukštis (m) amžiuje (A); k_n - kulminacinis prieaugis į aukštį (m/m.); h_b - hiperbolinis tangentas; h_b - aukštis baziniame amžiuje (100 -te metų); A - amžius, metai; a, b - parametrai.

Funkcija atitinka visus augimo funkcijoms keliamus reikalavimus; prasideda koordinatų susikirtime, yra griežtai auganti, asimptotiškai artėja prie abscisės paralelės, turi vieną persilenkimo tašką, pirmoji išvestinė prasideda koordinatų susikirtime, prieaugio kreivė abiejose maksimumo pusėse turi po vieną lūžio tašką.

Modelio parametrai skaičiuoti normalaus ir pagreitinto augimo tipams. Naudoti natūroje pamečiui išmatuoti aukščiai.

Parametrai (a, b) formule yra susieti su rodikliu k_n atskirų bazinių kreivių apimtyje ir išreikšti bendra lygtimi visai aukščių kreivių šeimai. Tokie skaičiavimai padaryti ir su ryšio etalonu - Mičerlichio funkcija. Nukrypimų kvadratų sumas atskiroms kreivėms kiek mažesnes duoda Mičerlichio funkcija, tačiau kreivių šeimos atžvilgiu tikslesnius aproksimavimo rezultatus parodė (6) formulė, nes a ir b parametrų sklaida, lyginant su Mičerlichio funkcijos parametrais (m, k), yra mažesnė.

Mičerlichio funkcijos parametrams skaičiuoti reikia trijų aukščių matavimų atskiruose amžiuose. Jaunuolynuose tie matavimai amžiaus atžvilgiu galimi tik greta, o tai gali iškreipti augimo pobūdį. To galima išvengti, naudojant apibendrintus 6 funkcijos parametrus. Funkcija naudotina dinaminiam bonitavimui, o susiejus ją su vidutiniu aukščiu - ir šio ridiklio prognozavimui.

Analogišką tikslumo interpretaciją turi ir augimo viršaujančios pušyno dalies medžių augimo į skersmenį matematinis modelis:

$$D_A = 10 k_d d_b \text{th}[aA][3,0 - 3,0/(1+A)^b], \quad (7).$$

Modelyje: d_b - skersmuo baziniame amžiuje cm; k_d - vidutinis kulminacinis prieaugis į skersmenį, cm/m.

Išaiškinus viršaujančios medynų dalies skersmens ir vidutinio skersmens santykį, modelį galima naudoti vidutinio skersmens prognozavimui. Prasmė yra tame, kad prognozė bus susieta su stabilios medyno dalies augimu ir staigių vidutinio skersmens pakeitimų atvejais (dėl ugdymo), ji liks apsaugota nuo augimo pobūdžio iškrypimo.

АНАЛИЗ СДВИГОВ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ В РАДИАЛЬНЫХ ПРИРОСТАХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЛИТВЫ

Йонас Григалинас
Литовский институт леса

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора габилитации в области лесоведения
Каунас - Гиренис, 1994

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и состояние проблемы

До настоящего времени основные проблемы в лесном секторе связаны с изучением строения насаждений, методами и точностью оценки таксационных показателей, ходом роста насаждений и его математическим моделированием, исследованиями прироста, продуктивности и производительности, формировании высокопродуктивных насаждений, оптимизацией рубок, селекцией. Высокие темпы загрязнения природной среды в последнее время выдвинули новую и весьма важную проблему оценки изменений в росте насаждений, тесно связанную с принудительными (антропогенного происхождения) сдвигами динамического равновесия климатических условий.

Воздействие загрязнения на окружающую среду имеет двойственный характер: прямым воздействием химических веществ уничтожается ассимиляционный аппарат растений, а при воздействии на климатические условия вызываются изменения в характере их роста. Более того, уничтожением газани слоя озона в тропосфере усиливается проникновение опасных для растений ультрафиолетовых лучей. С другой стороны, газы своим поглощением космических и отраженных от земной поверхности длинноволновых лучей создают тепличный эффект. Прогнозируется (R. Brown, E. Wolf, 1988), что в результате такого эффекта температура воздуха поднимется на 1,5 - 4,5°C. Это повлечет изменение режима влажности, а в конечном итоге - климатических условий.

Результаты отрицательного антропогенного воздействия на рост лесных насаждений, как показывают мониторинговые данные мира и Литвы, весьма очевидны. Но последовательная оценка этих изменений из-за динамичности климатических условий роста и различного прямого воздействия загрязненной среды на лес весьма сложная. Загрязнение в определенных условиях сначала может показать положительное влияние на рост, а затем вызвать дефолиацию, постепенное уменьшение прироста и даже гибель целых лесных массивов.

Рост и динамика прироста оцениваются различными методами, стандартами или их математическими моделями, разработанными в областях лесоведения и дендроклиматохронологии. Стандарты или модели хода роста, бонитирования, прироста предназначены для оценки производительности и классификации древостоев в текущем периоде. Но для оценки сдвигов в динамическом равновесии прироста эти методы не имеют открытой и стабильной системы отсчета, непосредственно связанной с текущим приростом и судить значимости сдвигов динамического равновесия климатических условий, вызывающих упомянутые изменения в росте, по ним возможности нет.

Антропогенное воздействие на изменение роста в конкретных объектах оценивается по чувствительным специальным моделям (Либа И., 1980), методу контрольного древостоя. Методом элиминируется влияние климатических флуктуаций. Но в историческом аспекте судить об изменениях в росте из-за отсутствия постоянной системы отсчета методы не позволяют.

Для оценки и прогнозирования климатических флуктуаций используется метод калибровки-верификации, основан на связях текущего прироста с определенными климатическими ингредиентами. Применение данного общепризнанного метода в наших целях ограничивается постоянством указанных связей, которые при сдвиге динамического равновесия климатических условий будут изменены (P. Jones, 1989) и имеющиеся стандартные параметры связей не смогут отобразить новых закономерностей. Изменение кардинальных точек ведущих факторов всегда меняет характер связей (Либа И., 1980).

В связи с указанными причинами в наших целях не могут быть использованы и другие дендрохронологические (спектрального анализа, эталонных дендрошкал) методы,

предназначенные для выявления относительных флуктуаций прироста и его прогнозирования. Рост относительными климатическими флуктуациями регламентируется только в текущем динамическом аспекте, и приросты в относительном выражении не в силах охарактеризовать изменение их абсолютных величин, так как временные ряды приростов не увязаны со стабильной системой отсчета, регламентирующей величину прироста в конкретных условиях с учетом их сопоставимости в будущем. Без такой системы экологическая наука в области лесоведения, как показал и литературный анализ, оценить происходящие изменения не сможет. Не случайно на 10-ом Мировом лесоводственном конгрессе (Париж, 1991) было отмечено, что, несмотря на многочисленные исследования, обобщенных данных о реакции деревьев, других растений и почвенных организмов на происходящие серьезные физические (температура воздуха, влажность, интенсивность радиации, спектральные изменения) и химические (CO_2 , прямое загрязнение воздуха) изменения в атмосфере нет. В связи с тем и имитационная модель климатических изменений не разработана. Поэтому верно обобщающее мнение эстонского исследователя А. Нильсона в том, что "до сих пор отсутствуют фоновые насаждения, которые позволили бы занести глобальный дрейф растительных условий". Под такими "фоновыми насаждениями" мы понимаем научно обоснованную и постоянно действующую систему отсчета, позволяющую выявить значимость сдвигов динамического равновесия климатических условий на основе оценки изменения динамики текущего прироста деревьев лесных сообществ. В этих целях, имея возможность ретроспективно анализировать фоновым загрязнением слабо поврежденные текущие приросты, необходимо их соответственно структурировать и разработать указанную систему в виде стандарта. Выявление изменений в росте представит возможность более глубоко оценить скорость происходящих изменений и определить особенности связей между природной средой и экономической деятельностью.

Цель работы

Работа предназначена для изучения динамики текущего радиального прироста доминирующей части древостоев самой распространенной главной породы Литвы - сосны -, создания системы оценки сдвигов динамического равновесия текущих приростов и разработки предварительной числовой модели стандарта оценки.

Работа охватывает следующие вопросы:

- анализ факторов, обуславливающих динамику текущих приростов в высоту и диаметр;
- обоснование стабильности и открытости системы отсчета для оценки происходящих изменений в росте;
- создание файлов текущих приростов по высоте и диаметру и выявление закономерностей их изменения в биологическом и дендрохронологическом аспектах;
- изучение и подбор текущий радиальный прирост нормирующих показателей и обоснование структуры стандарта по оценке изменений в росте;
- разработку предварительной числовой модели стандарта по оценке изменений по радиальному приросту для доминирующей части древостоев;
- подготовку методики для практического применения разработанной системы оценки изменений в росте;
- моделирование динамики густоты сосновых древостоев; моделирование хода роста по высоте и диаметру доминирующей части древостоев сосны (с учетом выявленных закономерностей таксационных показателей).

Научная новизна

1. Выявлены новые закономерности у средних кульминационных приростов по высоте и диаметру доминирующих в росте деревьев.
2. Установлены закономерности реакции текущих приростов по высоте и диаметру на изменившиеся климатические условия и условия роста.
3. Разработана не имеющая аналогов в лесоводственной и дендрохронологической науках система оценки изменений, происходящих в росте деревьев из-за прямого и косвенного

антропогенного воздействия на окружающую среду, и на ее основе для текущих радиальных приростов доминирующих деревьев составлена предварительная числовая модель для фиксации этих изменений.

4. Усовершенствована теоретическая модель (Г.Хильни) динамики густоты сосновых древостоев.

5. На основе доминирующих деревьев разработаны новые более эффективные для сосновых молодняков математические модели хода роста по верхней высоте и диаметру.

На защиту вынесенные основные положения

1. Закономерность относительной стабильности среднего кульминационного прироста по диаметру ($k_m = D_{гг\max} / A_{гг\max}$) доминирующих деревьев, сохраняющейся при натуральном изменении природных условий роста или интенсивном антропогенном воздействии на окружающую среду. Показатель (k_m) отражает дальнейший рост, в стохастическом аспекте нормирует текущий прирост по диаметру и способствует его сопоставлению с приростами стандарта.

2. Методика и структура стандарта для оценки отклонения текущего радиального прироста от нормы в установленных условиях (оценки сдвигов динамического равновесия прироста), происходящего при антропогенном изменении окружающей среды.

3. Усовершенствованная модель динамики густоты сосняков.

4. Новые для сосновых молодняков математические модели роста по верхней высоте и диаметру.

Методика и информация

Вопросы сбора, обработки и анализа информации решены по общепринятым положениям в лесной таксации, лесоводству, дендрохронологии и математической статистике.

Данные собраны на постоянных и временных пробных площадях (пп), выделенных в: чистых по составу, не подвергнутых загрязнению, имеющих полноту 0,6-1,0 и 30-120-летний возраст сосновых древостоях естественного и культурного происхождения, растущих в условиях сухих и свежих нестопопроизрастаний. Использовано 89 пп, текущие приросты по высоте (Z_n) измерены у 643, а радиальные (Z_r) - у 1187 доминирующих деревьев. Общее количество измеренных годовых

колец превышает 70000. Информация собрана в районах преобладания сосновых древостоев. С целью выявления эффекта прямого загрязнения на рост деревьев, в зоне Ионавской фабрики азотных удобрений выделено 9 временных пп.

Ввиду того, что основными критериями при подборе пп являются условия нестопопроизрастания и чистота состава, принятие в учет древостоев следует считать случайным.

Исходя из расчета, что на 1 га необходимо выбрать 25 доминирующих (по толщине) деревьев, на пп выбиралось в среднем 10-15 учетных деревьев, для каждого из которых на высоте 1,3 м с буравом Пресслера бралась одна, обязательно пересекающая сердцевину дерева, проба. Направление бурения для каждого последующего дерева систематически менялось на 90°. Толщина годовых колец измерена бинокулярным микроскопом (строго соблюдая перпендикулярность) с точностью 0,1 мм в одинаковых гидроскопических условиях.

С целью исключения ошибок в количестве годовых колец, при измерении использованы "реперные точки". Несколько деревьев, имевших исключительно другой характер роста, из состава информации было исключено.

Текущие приросты по высоте измерялись с помощью сконструированной телескопически выдвижной намоты, позволяющей выполнять измерения до 20 и более м. Преимущество намоты в том, что при измерении она не требует базиса. Представленная формула показывает среднюю ± 2 -сантиметровую точность измерения (см. литературу). Следы нувок, как показали наблюдения, сохраняет кора до 100 и больше лет.

Вся собранная информация хранится в компьютерной памяти и в отпечатках.

Публикации и объем работы

Основные методические решения и результаты исследований опубликованы в научных трудах, на Востоке и Западе организованных конференциях, журналах. Опубликовано 10 специализированных работ.

Диссертация включает 4 раздела, помещает 35 таблиц, 27 рисунков, 31 математическое выражение. В списке литературы - 152 наименования. Общий объем работы - 148 стр. компьютерного текста.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Динамика текущего прироста деревьев зависит от возраста (времени), строения древостоя, биологических особенностей породы, антропогенной деятельности и совокупности экологических условий. В эту совокупность входит качество нестопоизрастания, ценоотические связи и множеством других факторов (вращение Земли, радиация Солнца, возбуждения космического пространства и гравитационных сил Солнца и Луны, процессы атмосферы и гидросферы) формируемый климат (Schweingruber F., 1989, Ловелиус Н. 1979; Горчаковский П., Шиятов С., 1985; Битвинскас Т., 1974; др.). А в последнее время к этим факторам добавились упомянутые последствия отрицательного антропогенного воздействия. Влияние некоторых факторов возможно оценить непосредственно, воздействие других оценивается в обобщенном виде в связи с совокупностью процессов, а влияние некоторой их части приходится отнести к "информационному шуму".

Самым элементарным, но выражающим суть изменения процесса роста является время. Только во времени выражены особенности воздействия роста обуславливающих факторов, так как связь между приростом и возрастом не является прямолинейной. В связи с этим фактор времени должен быть включен в состав роста фиксирующей системы.

Кроме биологических особенностей древесной породы, характер роста в большей мере определяется строением самого древостоя и в основном главным его элементом - первичной густотой, регламентирующей величину абсолютного прироста в течении времени (Иванов Г., 1973; Drew T., Frewelling J., 1977, 1983; Разин Г., 1980; Тебера А., 1983; Кайрюкштис Л., Юдвалкис А., Ионикас Ю., Баркаускас А., 1983; Кенставичюс И., Кулешис А., 1985; Кузничев В., 1980; Кръстанов К., 1987; др.). Поэтому при изучении динамики текущего прироста строению древостоев следует уделить особое внимание.

Различия в росте отображают и типы роста (Давидов М., 1971, 1980; никитин А., 1983; Кулешис А., 1987, 1989; др.), существующие для всех древесных пород и географических районов. Возникновение их обусловлено генетическими, антропогенными и почвоструктурными факторами. Определили,

что в сосняках Литвы встречаются в основном два типа роста: ускоренный (17%) и нормальный (примерно 83% древостоев). Учитывая то обстоятельство, что более подробная структуризация информации по типам роста в наших целях ограничена (понижение роста в ранки дополнительных нормирующих показателей лишило бы открытости системы отсчета), подавляющая часть древостоев имеет нормальный тип роста, а примерно 20-30% деревьев из числа доминирующих в одинаковых условиях нестопоизрастания имеют различный характер роста (Розанов М., Нестеров В., Кириенко Г., 1975) и тем самым перекрывают различия между типами роста, также имеющими промежуточные положения (континуум), в обобщенной системе по оценке изменений роста влияние типов роста целесообразно отнести к " информационному шуму". Возникающие из-за этого погрешности в абсолютных величинах прироста тогда будут отражены в оценочных стандартных ошибках.

Характер роста во многом зависит от биологических особенностей породы, на которые всю жизнь дерева влияют ценоотические связи, климатические флуктуации, лесохозяйственная и другая антропогенная деятельность. Для характеристики биогеоценозов, а тем самым и гомогенности роста, предлагаются сложные системы классификации, содержащие целый ряд нормирующих показателей (климатическая зона, субзона, происхождение древостоя, тип нестопоизрастания, возрастная структура, породный состав, первичная густота, антропогенное воздействие и др.). Включение всех этих классификационных элементов в состав системы оценки изменений роста из-за существующих между ними связей не целесообразно. Поэтому такие классификации и остались только на уровне предложений. Следует использовать обобщенные, характеризующие биолого-экологические связи, производные показатели, наиболее точно отображающие динамику прироста и соответствующие другим требованиям системы отсчета.

Рост связи с происхождением древостоев (Вуевский Д., 1940; Рубцов В., 1964; Захаров В., 1964; Тимофеев В., 1965; Юдвалкис А., Ионикас Ю., 1985; др.). Выявленная наибольшая производительность лесных культур достигается за счет большей их густоты. Но рост доминирующих деревьев насаждений естественного и искусственного происхождения довольно сходный.

Влияние рубок ухода в молодняках прослеживается появлением светового прироста и по механическому сдвигу средних таксационных показателей (Кайрюкштис Л., Юдвалькис А., Ионикас Ю., Баркаускас А., 1980, 1983, 1985; Либа И., 1980 др.). Но рубки ухода слабо влияют на рост доминирующих деревьев (Кайрюкштис Л., 1989; Цветков В., 1978). Упираясь на свой генетический потенциал, эти деревья часто полностью используют свой ассимиляционный аппарат и пространство и значительно увеличивать прирост уже не в сила (Фрей Т., 1978), т.е. некоторое увеличение пространства произрастания не способно возбудить механизм саморегуляции и система остается стабильной (Буш К., Иевинь И., 1984). Но имеются и противоположные данные (Лобжанидзе Е., 1975).

Также известно, что: влияние загрязнения окружающей среды на рост доминирующих деревьев после рубок ухода увеличивается (Ионикас Ю., Юдвалькис А., 1986) и эти деревья для нашей цели становятся более информативными; доминирующие деревья редко меняют свой ранг в древостое (Кайрюкштис Л., 1989; Антанайтис В., Тебера А., Шепетене Я., 1986, др.). Сказанное подтверждает, что при построении стабильной системы отсчета для оценки изменений в росте во всех отношениях следует использовать информацию только доминирующих деревьев и в частности из-за того, что влияние лесохозяйственных мероприятий на их рост является наименьшим (Лакида П., 1985; Burhard H., 1977; Pollanschutz J., 1974; Petrin P., 1987; Turner B., Bernarz R., Dargavel J., 1977; Матузанис А., Тауриньш Я., 1972; Grut M., 1977; Haggglung B., 1975; др.).

Наибольшую динамичность прироста вызывают климатические флуктуации. Наиболее ярко они отражаются на доминирующих деревьях (Bohuslav V., 1986; Бузыкин А., Дашковская И., Хлебопрос П., 1986; Гортинский Г., 1986) и при больших отрицательных их фазах (Кабуцис И., Никодемус О., Раман К., 1986; Schweingruber F., 1989; Арнолайтис К., Вайчис М., 1986; Пастернак П., Ворон В., 1986). Поэтому фиксирование климатических флуктуаций в стандарте обязательно.

При решении методических вопросов построения стандарта учтены также и следующие положения: для выявления изменений в росте необходимо иметь систему отсчета (Нильсон А., Кивисте А., 1986; Скулькин В., 1986); связь между радиальным приростом и климатическими факторами в одинаковых условиях нестопроизрастания может быть достаточно различная, что

значительно осложняет пролонгацию дендрошкал (Schweingruber F., 1989), и также из-за этих различий (шкалы не сохраняют особенностей роста индивидуальных деревьев) имеющиеся обобщенные дендрохронологические шкалы не могут быть использованы при оценке сдвигов в динамическом равновесии прироста (Григалиюнас Я., 1992, 1993); включение приростов в молодон возрасте в состав дендрошкал часто эти шкалы (из-за отсутствия синхронизации между приростом и климатическими флуктуациями) искажает (Grigaliūnas J., 1993); связь между отдельными климатическими ингредиентами и радиальным приростом довольно тесная (Юкнис Р., 1980; Венцкус А., 1986; Карманова И., 1976; Кайрюкштис Л., Юдвалькис А., 1986), но при изменении климатических условий форма связи меняется от прямолинейной до квадратной, а при более высоких температурах выражается функцией $y = ax^4$ (Карманова И., 1976), что свидетельствует о необходимости климатические условия в стандарте фиксировать в интегральной форме.

Анализ приростов доминирующих деревьев (наилучшего развития из части А класса по Крафту) показал, что место каждой кривой во всем семействе кривых роста по высоте (H) и диаметру (D) характеризуется средним кульминационным приростом (k_h или k_d), вычисленным в момент кульминации текущих приростов ($Z_{\max}$ или $Z_{\max 1,2}$, соответственно (уравнение 1)). Средний кульминационный прирост вычисляется в момент первой кульминации текущего прироста. Показатели k_h и k_d отражают начальный период формирования древостоя и характеризуют дальнейший рост доминирующих деревьев (таблица 1).

Существует возможность k_h или k_d вычислять в момент их максимума (это решило бы вопрос учета типов роста), но тогда учет деревьев примерно до 35 лет станет невозможным (кульминация наступает свыше 35 лет).

На основании в натуре измеренных текущих приростов по высоте и диаметру составленные кривые хода роста доминирующих деревьев без учета нестопроизрастания и происхождения до 50-60 -летнего возраста почти не пересекаются. Связь между порядком расположения обобщенных кривых хода роста по высоте и диаметру в пределах 20-25 -летнего возраста и величинами k_h и k_d характеризуется высоким коэффициентом корреляции: $r_{kh} = 0,963 \pm 0,009$;

$r_{ka}=0,897\pm0,025$. Связь между таким же расположением кривых и k_a в пределах 60-70 -летнего возраста также тесная: $r=0,827\pm0,028$. Этот признак свидетельствует о возможности использования кульминационных приростов k_h и k_a в качестве нормирующих показателей в системе отсчета при оценке изменений роста.

Величины k_h и k_a характеризуются биологическими особенностями породы, строением древостоев и экологическими условиями.

Влияние строения древостоев выражается различием первичной густоты. Исследования на биофизическом стационаре ели показали, что при одинаковых условиях нестопопроизрастания густота меняет только компоненту показателя k_a - средний диаметр, а кульминационный возраст остается без изменений (таблица 2). Таким образом показатель k_a отражает густоту древостоя, которая является нормирующим фактором во многих лесохозяйственных стандартах.

Аналогично условиям нестопопроизрастания, загрязнение окружающей среды меняет оба ингредиента показателей k_h и k_a . Для k_h , например, это видно по данным таблицы 3. Очевидно, что ингредиенты A_{nhmax} и N_{nhmax} у деревьев сравнимых древостоев, достигших кульминации текущего прироста по высоте до начала загрязнения (пп 1L, 3L, 9L) и созданных при его наличии и также достигших кульминации прироста (пп 2L, 4L, 5L), при близких k_h меняются довольно сильно, но сами величины k_h изменяются незначительно. Изменение этих ингредиентов зависит от расстояния до источника загрязнения (некоторое время поллютанты могут способствовать росту, а затем довести древостой до гибели).

В таблице 3 была показана относительная стабильность кульминационного прироста, но она при сопоставлении текущих приростов в системе отсчета не обязательна, так как каждая кривая роста в нормальных условиях характеризуется только ей свойственной величиной k_h и k_a . Эта закономерность и представляет возможность для сопоставления роста поврежденных и не поврежденных древостоев. Приросты у поврежденных и неповрежденных (принятых в качестве стандарта) древостоев, имеющих одинаковые показатели k_h или k_a и другие нормирующие признаки, будут различными. Это поясняется появлением в поврежденных древостоях процесса принудительного преждевременного старения (Пауринь

А., 1986; Юнис Р., 1990). В поврежденных древостоях, как было показано раньше, изменение точки кульминации текущего прироста одновременно искажает и натуральный ряд развития древостоя. Сказанное иллюстрируют данные таблицы 4. В таблице сопоставлен рост по диаметру поврежденного (1L) и ряда неповрежденных, имеющих сходные k_a , древостоев. Расстояние фабрики азотных удобрений от пп 1L - 7 км. Процесс загрязнения проявил себя неоднозначно. Сначала прирост на пп 1L по сравнению с приростами других пп примерно 10 лет увеличивался, а затем начал угасать.

Возможность сопоставления роста древостоев на базе нормирующих показателей указывает на необходимость составления нормированных рядов текущих приростов (Z_h или Z_r), которые станут постоянной основой отсчета в системе оценки изменений в росте. Эти ряды должны быть составлены на ретроспективной информации до появления более ощутимого фонового загрязнения.

Завершая характеристику кульминационных приростов, следует отметить, что они в качестве нормирующих показателей могут быть использованы по следующим соображениям:

- k_h или k_a являются производными показателями и отображают строение древостоев;
 - долгое время характеризуют рост по высоте или диаметру;
 - являются относительно стабильными и составляют открытую систему отсчета;
 - для каждого дерева легко определяются ретроспективно.
- Система оценки изменений в росте может быть разработана на основе прироста по высоте (Z_h) или по радиусу (Z_r). Анализ показал, что более информативным является Z_r , что и определило выбор основы стандарта.

Выявлена такая Z_r и Z_h и их кульминационных приростов изменчивость:

$V_{nh}=\pm 27,5\%$, $V_{kh}=\pm 12\%$; $V_{nr}=\pm 34,5\%$, $V_{kr}=\pm 23\%$. Изменчивость дендрохронологических индексов у радиальных приростов (I_{nr}) значительно ниже: $V_{1nr}=\pm 26,7\%$, $V_{1nr}=\pm 17,3\%$; амплитуда индексов прироста по высоте в пределах фазы меньше у Z_h : $I_{nhmin}=89,4\%$, $I_{nhmax}=107,8\%$; $I_{nrmin}=83,2\%$, $I_{nrmax}=115\%$. Меньшая изменчивость I_{nr} и расширенная амплитуда в пределах календарных лет показывает, что при климатических флуктуациях характер радиального прироста

меняется более однозначно и тем самым демонстрирует их чувствительность. Графическое сопоставление на идентичном материале разработанных дендрохронологических шкал для приростов по высоте и диаметру показало, что индексная кривая радиальных приростов в отношении календарных лет лежит вопреки индексной кривой приростов по высоте и тем показывает более резкую реакцию на изменившиеся условия. Кроме того, совпадение направлений изменения индексов у радиальных приростов ($I_{\text{мх}}$) также выше. И если $I_{\text{мх}}$ в пределах серии календарных лет колеблется в пределах 87-17% и в пределах всего индексного ряда (1900-1982гг.) нет ни одного "точечного значения" (случаи, когда при благоприятных условиях все индексы приближаются к 100%, а при неблагоприятных стремятся к 0% (Schweingruber F., 1989)), то в рядах $I_{\text{мх}}$ таких "точек" 15.

Сопоставление приростов $Z_{\text{х}}$ и $Z_{\text{н}}$ и динамики их индексов с динамикой индексов дендрохронологических шкал выявило случаи, когда в молодом возрасте динамика приростов и индексов полностью асинхронна динамике индексов обобщенных дендрошкал. Это случаи, когда начало роста дерева (древостоя) не совпадает с фазой климатических флуктуаций. В тех случаях синхронизация роста и климатических условий начинается примерно в 15-18-летнем возрасте. В этот промежуток времени входит и период спада текущего прироста по высоте, проявляющегося после достижения его кульминации. Эта закономерность существует при любых климатических флуктуациях и выражается математическими связями продолжительности и "глубины" спада прироста с кульминационным приростом $k_{\text{н}}$. Поэтому при составлении и пролонгации дендрохронологических шкал информация о приростах в молодом возрасте не должна быть использована. Этим же определяется и минимальный возраст в разрабатываемом стандарте.

Вопрос возможности объединения информации в объеме территории Литвы был снят с учета с помощью расчета показателя синхронности изменения радиальных приростов, который в пределах календарных лет никаких различий в этом не показал.

При составлении дендрохронологических рядов используется скользящая средняя. Выбор ее величины для расчета индексов радиальных приростов (нормирующих величин)

связан со способностью отобразить наиболее часто проявляющиеся периоды флуктуаций с наименьшим искажением абсолютных радиальных приростов. При помощи расчета сумм квадратов отклонений между первичными и индексированными приростами была выявлена целесообразность использования 11-летнего периода. Этот период наиболее близок к цикличности солнечной активности, мало искажает абсолютные приросты и наименее реагирует на лесохозяйственные мероприятия.

Амплитуды кратковременных циклов регламентируются длиннопериодическими циклами. При совпадении фаз, амплитуды положительных или отрицательных кратковременных циклов всегда по своей абсолютной величине будут выше. Поэтому при разработке стандарта оценки изменений прироста необходимо использовать информацию, собранную за широкий промежуток времени (использованы текущие радиальные приросты за период 1882-1992гг.).

С целью статистической оценки радиальных приростов стандарта, с помощью критерия хи-квадрат была проверена нормальность их распределения в пределах групп нормирующих показателей ($k_{\text{д}}$, $I_{\text{мх}}$) и возраста. При объеме 30 наблюдений распределение $Z_{\text{х}}$ приближается к нормальному.

На основе ранее принятых решений (в качестве функции в стандарте использовать радиальные приросты; в состав нормирующих показателей принять между собой не связанные возраст, средний кульминационный прирост по диаметру и индексы радиальных приростов; основным источником информации о радиальных приростах считать не поврежденные сосновые древостои сухих и свежих условий нестопопроизрастания с наибольшим временным диапазоном по их происхождению; за минимальный возраст в стандарте принять 15 лет; основу системы отсчета должны составлять доминирующие в росте деревья (25 ед/га); флуктуации приростов стандартизировать по 11-летнему периоду (климатические флуктуации при этом рассматриваются в интегральном виде); информацию по радиальным приростам в отношении нормирующих приростов систематизировать на основе отдельных деревьев), обеспечивающих постоянство и открытость системы отсчета, радиальные приросты с помощью компьютера были распределены по возрасту и группам $k_{\text{д}}$ и $I_{\text{мх}}$. Интервалы групп: $A=1$ год; $k_{\text{д}}=0,1 \text{ см/г.}$; $I_{\text{мх}}=4\%$. Фрагмент распределения средних радиальных приростов по данным группам (рис.1) отображает

систему элиминирования климатических флуктуаций в связи с другими показателями и является полностью закономерным: с увеличением возраста, прирост уменьшается; с улучшением климатических условий прирост увеличивается. Такие же закономерности существуют и для других групп k_d (0,2;0,3).

На рис.2 показано распределение средних значений текущих радиальных приростов в связи со средними кульминационными приростами k_d . Распределение также закономерное: с увеличением кульминационного прироста, текущий радиальный прирост при том же сечном возрасте и группах индексов увеличивается. Средние значения текущих радиальных приростов закономерно распределяются и при других возрастах. Величины функции $Z_x=f(A; k_d=const; I_{xx}=const)$ так же разноточны закономерно.

Аналитическое выравнивание кривых разноточности приростов в отношении нормирующих показателей ($Z_x=f(I_{xx}, A=const, k_d=const)$, $Z_x=f(A, k_d=const, I_{xx}=const)$) для возрастов $A=15, 20, 30, 40, 50$ лет, индексов прироста 64-136% и трех групп кульминационного прироста (0,2;0,3;0,4) показало, что только 3 кривые (из 15) из-за некоторого недостатка информации отображали в крайних значениях I_{xx} в отношении остальных кривых несколько иной вид разноточности приростов.

Полученные числовые выражения зависимости $Z_x=f(A, k_d, I_{xx})$ представляют возможность утверждать, что стандарт оценки сдвигов динамического равновесия в радиальных приростах сосновых насаждений в теоретическом аспекте является объективным, а его структура приемлема для практического применения. Предлиминарная числовая модель стандарта представлена в таблице 5.

Для усредненных текущих радиальных приростов (Z_x) каждой группы A, k_d и I_{xx} нормирующих показателей имеются статистические показатели, оцененные стандартные ошибки средних и вычисленные доверительные интервалы. Сдесь лишь в качестве грубого примера отметим, что для всех возрастов и групп k_d с учетом величины выборок, усредненные величины доверительных интервалов для всей линии таковы: $Sy'=0,211$ ($I_{xx}=64\%$); $Sy'=0,196$ ($I_{xx}=100\%$); $Sy'=0,207$ ($I_{xx}=136\%$).

Имеющиеся статистические показатели для каждого усредненного радиального прироста в стандарте необходимы при сопоставлении этих Z_x в пределах возраста и групп k_d и I_{xx} с приростом изучаемых объектов. В работе представлен алгоритм подготовки информации к сопоставлению.

Стандартные радиальные приросты отдельных нормирующих групп при включении дополнительной информации могут быть несколько уточнены.

Кульминационные приросты по высоте и диаметру использованы для моделирования роста доминирующей части сосновых древостоев. Разработаны новые математические модели роста по высоте и диаметру и модифицирована теоретическая модель Хильни (Хильни Г., 1955) для прогноза изреживания сосновых насаждений.

Базовая модель Хильни и модифицированная модель приведены в уравнениях 2 и 3. В них: N_t - густота древостоя в момент (t); $\bar{N}$ - предельная густота на $1га$; N_0 - начальная густота на $1га$; N_A - густота в момент исследования на $1га$; $e=2,718281$; α и α_k - постоянный и динамический (соответственно) коэффициенты изреживания; t_0 - начальный возраст; A_m - возраст в момент исследования. Параметры α_k для сосняков Литвы приведены рядом с характеристикой 4-ого уравнения. Связь предельной густоты с кульминационным приростом приведена в уравнении 5.

Особенности и преимущества модифицированной модели таковы: представляет возможность прогнозировать густоту для каждого отдельного древостоя; не требует первичной густоты; не требует определения бонитетного класса; не включает других прогнозируемых показателей; точность прогноза не увязывает с продолжительностью периода прогноза. Модель обеспечивает приемлемую $\pm 12\%$ -ную точность прогноза (точность базового варианта $\pm 30\%$).

Рост по верхней высоте выражен уравнением 6. В уравнении: H_A - высота в возрасте A (м); k_h - кульминационный прирост по высоте (м/год); th - гиперболический тангенс; h_0 - высота в базовом возрасте (в 100 лет); A - возраст, годы; a, b - параметры. Функция соответствует всем требованиям (начинается в начале координат, строго возрастающая, асимптотически приближается к параллели абсцисс, имеет одну точку перегиба, первая производная начинается в пересечении координат, кривая прироста по обе стороны максимума имеет по

одной точке перегиба). Параметры модели рассчитаны для нормального и ускоренного типов роста сосняков. Использованы в натуре измеренные текущие приросты. Параметры (а и b) увязаны с аргументом k_n в пределах отдельных кривых сенеиства и выражены в обобщенном виде для всего сенеиства. Аналогичные расчеты выполнены и по уравнению Мичерлиха. Суммы квадратов отклонений для отдельных кривых несколько выше у уравнения 8, но аппроксимация обобщенного вида для этого уравнения более точная, так как разбросанность параметров а и b по сравнению с параметрами функции Мичерлиха (a, k) - меньшая.

Расчет параметров функции Мичерлиха для конкретного древостоя требует трех измеренных высот между отдаленными возрастными. Такие измерения в молодняках возможны только в узком возрастном диапазоне, что модель Мичерлиха может привести к полной непригодности.

Функция (8) может быть использована для динамического моделирования сосняков Литвы по верхней высоте, так как легко поддается коррекции, а при увязке со средней высотой - и для ее прогнозирования.

Аналогичные расчеты по оценке точности выполнены и для разработанной модели хода роста по верхней диаметру (уравнение 7). В уравнении: k_n - кульминационный прирост по диаметру (см/год); d_0 - базовый диаметр (при A=100 лет, см).

Уравнение по отдельным кривым также незначительно уступает модели Мичерлиха, но параметры его обобщения (для всего сенеиства кривых) лучше, чем при обобщении модели Мичерлиха.

Определив соотношение между верхним и средним диаметрами, ее возможно использовать и для прогноза среднего диаметра. Суть состоит в том, что прогноз будет увязан с ростом стабильной части древостоя и при резких изменениях среднего диаметра (рубки ухода), он (Dcp.) будет защищен от искажения.

ANALYSIS OF DYNAMIC EQUILIBRIUM SHIFTS IN RADIAL INCREMENT OF PINE STANDS IN LITHUANIA

JONAS GRIGALIONAS

Lithuanian Forest Research Institute
Girionys, Kaunas, 1994

Theses of dissertation in the field of forest
science for habilitated doctor's degree.

The 10-th World Congress on silviculture (Paris, 1991) has shown that in spite of numerous research works in this field generalized data of the reaction of trees, other plants and soil organisms upon the significant physical (air temperature, humidity, radiation intensity, spectral changes) and chemical (CO_2 , air pollution) changes taking place in the atmosphere do not exist. Therefore, there has been no simulation model of the climatic variations worked out as yet.

An Estonian researcher A. Nilson has introduced a fair generalizing idea: "Until now there are no background forest stands which might allow to observe a global drift of the vegetative conditions". These "background stands" may be understood as a scientifically substantiated and permanently functioning assessment system, allowing to reveal the shifts of dynamic equilibrium of the climatic conditions and resting upon the basis of assessment of the dynamics of the current increment of trees of forest associations.

The work covers: an analysis of the existing silvicultural and dendroclimatological standards and methods in respect to the assessment of variations in growth; an analysis of factors stipulating dynamics of the current increments on height (Z_h) and radial (Z_r), and revealing of

independent between each other variables to use them as normalizing indices when generalizing the dynamics of the increments; revealing of biological and dendroclimatological regularities of current increments, assessment of their informativity and the development of a system to assess variations in increments as a standard; the development and assessment of preliminary numerical model of the standard and algorithm of its practical application.

There have been revealed:

1) the application of silvicultural standards (models of growth, valuation, increment) and dendrochronological methods (control forest stand, calibration - verification, spectral analysis, etc.) for the assessment of changes in growth is not possible because they do not possess any open and stable assessment system;

2) as a basis of the function of the standard should be taken a current radial increment (Z_r) of dominant trees. Z_r in comparison with Z_h (Z_r indices precede I_{sh}) reacts more sharply and more uniquely to the variations of climatic conditions (within 1900-1982 15 "base points" by interval trend (Schweingruber F. 1989) were observed, when all indices were about 100% or 0%); the variability of I_{sr} within one calendar year was smaller ($V_{sr} = \pm 17,3\%$; $V_{sh} = \pm 26,7\%$) though the amplitude of their fluctuations was higher ($I_{shmin} = 89,4\%$, $I_{shmax} = 107,8\%$; $I_{srmin} = 83,2\%$, $I_{srmax} = 115\%$); the variability of Z_r little exceeds V_{sh} ($V_{sr} = \pm 34,5\%$, $V_{sh} = \pm 27,5\%$); measurement process of Z_r is less problematic;

3) as normalizing indices one should take to dominant (prevailing in respect to growth by A class of Craft) trees: age of trees (A), average radial culmination increment (k_d) and radial increment index (I_{sr}).

The index k_d is defined by Equation 1 where D_{srmax} is the diameter in the time of first maximum Z_r (in all line of increments), cm; A_{srmax} is the age in moment of Z_{rmax} , in year. The index k_d expresses the growth of trees within long term (Table 1). In the family of diameter growth curves each curve (formed from yearly measurements Z_r of dominant trees) is being distributed according to the level of k_d : the arrangement of the curves in accordance to k_d in the age of A=20-25 years is characterized by the high correlation

coefficient: $r = 0,897 \pm 0,025$, and at A=60-70 years $r = 0,927 \pm 0,028$; k_d reflects the initial density (Table 2); k_d (and k_h , Table 3) maintains a relative stability even when exposed to contamination; this influence changes at the same time both ingredients of k_d (D_{srmax} and A_{srmax}), while the structure of the forest stand (Table 2) changes only one. Aforesaid confirms a hypothesis about the possibility of using k_d as a normalizing index: in future forest stands, at the equal k_d , will have close Z_r (in the limits of variability and assumed "information noise", because the growth types, for example, due to small number of forest stands (17%), having another type of growth, and due to the fact that at the same site conditions forest stand up to 20-30% of trees have different character of growth and thus exceed the features of growth types, are not being taken into consideration. But under the air pollution (Table 4), when k_d are close (in the fragment the diameters (d) of the damaged sample plot 1L are being compared with (d) undamaged stands (I_x - start of influence)) the growth varies: at first some positive influence of outbursts (growth in 1L increases) is being observed and then - oppressive one. The index k_d has allowed to notice the changes of the growth and the index I_{sr} allows to eliminate the dynamic fluctuations;

4) retrospective information of trees which have not been damaged by air pollution must be used as a base of standard. The information must be collected on a dry and fresh sites. It is necessary that the increment data should cover the long period as possible. In respect to hundred-year-old Z_r fluctuations the data of 1882-1992 term have been used (70000 measurements);

5) to determine, as a minimum, 15 years age in the standard; it has been revealed that at the younger age the start of the growth may have an opposite character to the generalized series of dendrochronological indices; this should be taken into consideration in prolongation of the dendroscales;

6) the primary level of the assessment system stability should be made up of 25 dominant sample trees per ha; they react more effectively upon the climatic fluctuations, they

are almost insensitive to the economic activities in a forest stands, under concrete conditions have higher limit of increment and almost do not change the rank;

7) the indices of radial increments must be computed according to 11-year sliding period then the absolute increments are being distorted least of all and the periodicity of fluctuations is expressed quite enough;

8) to assess integrally the influence of the climatic conditions upon the variability of increment in the construction of standard. The varying climatic conditions change not only the character of relation with increment (from linear to 4-th order exponent, I. Karmanova, 1976), but, also, relations between ingredients themselves. Therefore, the ascertained relations Z_r with separate ingredients and with their seasonal fluctuation may accept other character, and the existing models will be distorted;

9) the normalizing indices should provide openness of the assessment (reading) system (Z_r in relation to time should not be limited by constant values of indices which are not amenable to assessment at the shifts of the dynamic equilibrium of the climatic conditions);

10) the information about increments according to the groups of $I_{\Sigma r}$, k_d and separate years should be systematized after the data of individual trees. The value of the groups is: $I_{\Sigma r}=4\%$; $k_d=0,1\text{cm/year}$.

The obtained results (Fig.1) show the validity of the solutions: as the age (A) increases Z_r decreases; when the climatic conditions are being improved ($I_{\Sigma r}$), Z_r increases (the same is valid for the other $k_d=0,2;0,3$ groups). The arrangement of averaged Z_r follows regularly also in the limits of the groups A and $I_{\Sigma r}$ (Fig.2): when k_d increases Z_r also increases (the same is valid for other groups after A). The data of the function $Z_r=f(I_{\Sigma r}, k_d=\text{const}, A=\text{const})$ are also arranged in regular order. Therefore, the structure of the standard ($Z_r=f(A, k_d, I_{\Sigma r})$) is proved scientifically and acceptable in practice. The distribution of Z_r after A and groups $k_d, I_{\Sigma r}$ at $N=30$ approaches to normal, and this has allowed to form the confident intervals taking into account the total number of the groups (Nikitin K., Shvidenko A., 1978). There are statistical indices to compare data when using a standart. The algorithm of comparison has been

worked out. The preliminar numerical data of standard, after the analytical-graphic smoothing, are illustrated in Table 5.

The revealed properties of k_d have been used in modification of basic model Chilmi (Chilmi G., 1955) of density dynamics of pine forests (Equation 2 - 5; average accuracy of prognosis is $\pm 12\%$ against $\pm 30\%$ of basic one), also in the design of growth models in hight (Eq.6) and diameter (Eq.7).

In the equations 2-5: N_t - stand density in a moment (t) (number of trees per ha); $\bar{N}$ - limit of density (number of trees per ha) in old age; N_A - density at the observation moment; $e=2,718281828$; α, β - stable and dynamical coefficients of tree rarefaction (respectively); t_0 - start age; A_m - age at the observation moment.

In the equations (6) and (7) a, b are parameters; th - hyperbolic tangent; d_b, h_b are corresponding basic diameter (at the $A=100$ year) in cm and height in m. The models (6) and (7) in a generalized form (for family of curves) have shown somewhat better results in comparison to the generalized ones after Mitscherlich's model. In younger age the use of models, after the relationships h_{aom}/h_{av} and d_{aom}/d_{av} have been revealed, is rational in that they are more accurate and are linked with the limit of growth. Measurements of heights or diameters in young trees at three different ages in more distant points after A are not possible, while measurements in immediately adjacent ones might lead to the distortions of growth, and Mitscherlich's model would loose insignificant advantages in accuracy for the individual stands. It is advisable to use the model (6) for the dynamic valuation according to the upper height.

STRAIPSANIAI IR PRANESIMAI

ARTICLES AND REPORTS

I. Grigaliūnas J. Pušynų augimo į aukštį vertinimo sistema // Ž. Girios, 1987, Nr. 6, p. 6-8.

II. Grigaliūnas J. Pušynų augimo prognozavimo sistemos ūkinei veiklai planuoti elementai // XXXIV dėsytųjų mokslinės konferencijos pranešimai. Kaunas - Akademija, 1989.

III. Kairiukstis L., Grigaliūnas J., Skuodiene L., Stravinskiene V. Physiological and dendrochronological indications of forest decline and their application for monitoring // Presentation at the Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences to be held in Krakow, Poland. 23-28 March, 1987.

IV. Kairiukstis L., Skuodiene L., Vaicys M., Ozolincius R. Armolaitis K., Petniunas V., Stravinskiene V., Grigaliūnas J., Kilikevičius G. Forest decline and Environmental Assessment. Kaunas - Girionys, 1992, p. 31-32.

V. Grigaliūnas J. Application of average increment at the time of its maximum for establishment of baseline of tree growth independent from environmental fluctuation // Presentation at the International Workshop on Dendrochronology "Tree rings studies and forest decline", Lithuania, Kaunas, June 21-26, 1993; Vytautas Magnus University, Lithuanian Forest Research Institute.

VI. Григалиюнас Я.И. Поиск стратегии прогнозирования роста сосновых древостоев // Стабильность и продуктивность лесных экосистем. Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Стабильность и энергетическая эффективность высокопродуктивных биогеоценозов" (29-31 октября), Тарту, 1985, с. 38-40.

VII. Григалиюнас Я. Способ измерения прироста деревьев хвойных пород в высоту и устройство для его выполнения // Ж. Лесное хозяйство, 1988, № 8, с. 42-43.

VIII. Григалиюнас Я. Динамика роста сосняков в высоту в системе прогноза и мониторинга // Всесоюзная научно-техническая конференция "Роль проектных и научных разработок в ускорении научно-технического прогресса лесохозяйственного производства". Тезисы докладов. Москва, 1988 г. с. 172-174.

IX. Григалиюнас Я. Прогнозирование динамики количества деревьев в сосновых древостоях Литвы // ж. Лесоведение, 1991, № 3, с. 14-19.

X. Григалиюнас Я. Основы системы оценки изменений в росте сосновых древостоев по высоте в результате загрязнения среды и сдвигов в динамическом равновесии природных условий // Lietuvos miškų institutas, Mokslo darbai, Miškų ūkis. Vilnius - Mokslas, 1991, 31 t., p. 81-97.