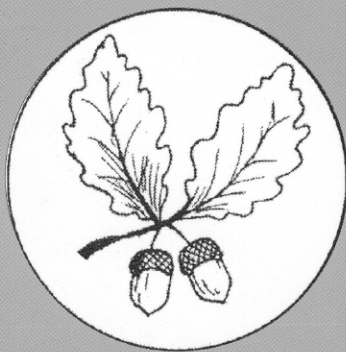


# SILVOLOGIE

**Vol. III A**

**CONTRIBUȚII ȘTIINȚIFICE ÎN DENDROMETRIE,  
AUXOLOGIE FORESTIERĂ ȘI AMENAJAREA PĂDURILOR**

**Sub redacția  
V. Giurgiu**



**EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE**

# DENDROCRONOLOGIA ÎN ROMÂNIA: REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE

IONEL POPA<sup>1</sup>

## 1. INTRODUCERE

**C**reșterea arborilor într-un areal cu variații sezoniere ale climatului (alternanță iarnă – vară sau sezon umed – sezon secetos) se caracterizează prin formarea unei singure creșteri pe perioadă de vegetație, respectiv: inelul de creștere. Inelul de creștere variază de la an la an (în cazul în care variația climatului general acesta este anuală), sau de la sezon de vegetație la sezon de vegetație (în cazul variației sezoniere a climatului cu un ciclu mai mare sau mic de un an) atât în ceea ce privește lățimea sa cât și structura și densitatea lemnului. Aceste elemente variabile conțin informații privind relațiile dintre arbore și factorii de mediu. Inelul anual constituie o arhivă, o adevărată bază de date, privind variația seculară și multiseculară a factorilor de mediu atât la nivel global cât și mezo și microzonal.

Dendrocronologia, privită în sensul larg, este chemată să elucideze cauzele care au determinat variabilitatea caracteristicilor unei secvențe multianuale de inele de creștere utilizând material și metode specifice, să identifice schimbările și evenimentele survenite în ecosistemele forestiere în retrospectivă.

Ecosistemele forestiere din România au un ridicat potențial dendrocronologic; elaborarea de serii dendrocronologice pentru principalele specii forestiere pe zone ecologice constituie o premisă a aprofundării cunoașterii dinamicii factorilor de mediu și implicit a sistemelor biologice complexe cum sunt cele forestiere. Valorificarea potențialului dendrocronologic al ecosistemelor forestiere constituie un imperativ al cercetării științifice fundamentale și aplicative din domeniul științelor mediului. Necesitatea elaborării de serii dendrocronologice pentru principalele specii forestiere reprezintă și trebuie să constituie un obiectiv al cercetării științifice cu caracter fundamental din domeniul forestier.

---

<sup>1</sup> Doctor inginer, cercetător principal gradul III, Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului, Câmpulung Moldovenesc.

## 2. REALIZĂRI ALE DENDROCRONOLOGIEI PE PLAN INTERNAȚIONAL ȘI NAȚIONAL

Primele cercetările sistematice în domeniul dendrocronologiei își găsesc originea la începutul secolului XX, prin studiile întreprinse de Andrew Ellicott Douglass la observatorul astronomic de la Flagstaff. Cercetările întreprinse de Douglass vizau ciclicitatea naturală a activității solare, respectiv relația acestora cu dinamica climatului. Neexistând înregistrări meteorologice istorice, ele utilizează creșterile arborilor drept măsură indirectă a climatului. Investigațiile lui Douglass încep în anul 1901, bazându-și cercetările pe următoarea ipoteză: creșterile anuale ale arborilor sunt dependente de cantitatea de substanțe nutritive, care la rândul lor sunt direct condiționate de disponibilitatea de substanțe minerale și apă din sol. Rezerva de apă din sol este direct legată de regimul pluviometric mai ales în regiunile secetoase cum era Arizona. Astfel Douglass ajunge la concluzia că creșterile anuale ale arborilor din regiunile cu deficit de precipitații sunt direct corelate cu regimul pluviometric. El observă, din analiza probelor de creștere, existența unei alternanțe de ani cu inele largi urmate de inele foarte înguste.

Totuși primele studii sumare privind interdatarea seriilor de creștere și a unor evenimente climatice extreme se regăsesc în anul 1737, când naturaliști francezi Duhamel și Buffon identifică într-o serie de trunchiuri posibilitatea existenței unor înghețuri în urmă cu 29 de ani. Bazele interdatării sunt puse, în mod independent, în 1827 de către Twining, 1839 de matematicianul Babbage, 1904 de Douglass (Fritts 1976). Meritul lui Douglass este de a utiliza acest principiu drept bază pentru dezvoltarea dendrocronologiei ca știință (Douglass 1941). În 1937 se înființează la Universitatea din Arizona în Tucson, primul laborator de dendrocronologie sub conducerea lui Douglass.

În Europa, Huber la Institutul de Botanică Forestieră din Munchen inițiază primele cercetări dendrocronologice, fiind urmat de Ermich în Polonia, Hoeg în Norvegia, Eklund în Suedia. Cercetările dendrocronologice în laboratoarele din Europa au vizat în special cuantificarea impactului activității industriale și al poluării asupra creșterii arborilor. Utilitatea analizei inelelor anuale ale arborilor în cuantificarea și datarea vătămărilor produse de poluare sunt recunoscute încă din 1871 prin cercetările lui Stoeckhardt. Dendroclimatologia este o știință relativ tânără, în Europa comparativ cu cercetările întreprinse pe continentul american, în prezent existând numeroase rețele de dendrocronologie care au permis analiza dinamicii climatului în urmă cu peste două milenii.

Dezvoltarea rapidă a dendrocronologiei având drept rezultat elaborarea unui număr mare de serii dendrocronologice de referință pentru diferite zone geografice de pe mapamond a condus la înființarea în 1974 a Băncii Internaționale de Dendrocronologie – ITRDB – *International TRee-Ring DataBase* ca organizație profesională, ca bancă de date pentru toate

tipurile de date dendrocronologice cu sediul inițial al Laboratorului de dendrocronologie din Tucson – Arizona – SUA. Din 1990 în cadrul Programului Paleoclimatic al Administrației Naționale a Oceanelor și Atmosferei (SUA) – NOAA – *Paleoclimatology Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration* a fost stabilit centrul mondial al datelor de dendrocronologie la *National Geophysical Data Center* (NGDC) în Boulder, Colorado, SUA.

Cercetările întreprinse în domeniul dendroclimatologiei au permis atât fundamentarea teoretică a metodelor de analiză statistică (Bitvinskas 1974; Fritts 1976; Cook și Kairiukstis 1990; Schweingruber 1985, 1996) cât și reconstituirea dinamicii climatului în ultimele secole și milenii (Hughes et al. 1982; Villalba 1990; Jacoby și D'Arrigo 1996; Schulmann 1958; Serre-Bachet 1992; Eckstein și Aniol 1981; Schweingruber et al. 1987; Briffa et al. 1990; Schweingruber și Eckstein 1990).

La noi în țară, în domeniul dendrocronologiei, cercetările au avut un pregnant caracter ecologic, de evaluare prin metode de dendroecologie a impactului mediu al degradării, mai ales sub influența poluării, asupra creșterii arborilor și arboretelor. Analiza istorică a studiilor de dendrocronologie permite identificarea a trei etape distincte.

O primă etapă reprezentată de *studii și cercetări cu caracter explorator al tehnicilor de dendrocronologie*, acestea fiind efectuate mai ales în cadrul auxologiei forestiere (Giurgiu 1967, 1974, 1977, 1979) fiind puse în evidență variațiile ciclice ale creșterilor la brad și alte specii forestiere (Giurgiu 1967, 1974), elaborându-se seriile de indici de creștere la *Pinus cembra* din masivul Rodna și Retezat, în baza unui număr mic de arbori (1–2 runde) (Pânzaru și Soran 1983; Soran și Gârlea 1981; Seghedin 1977) sau seria dendrocronologică pentru un trunchi fosil de stejar din albia Siretului (Dumitriu – Tătăranu și Popescu, 1983) la care s-au aplicat metode statistice de analiză a variației sezoniere și de eliminare a influenței vârstei.

Următoarea etapă o constituie *aprofundarea cercetărilor de dendrocronologie aplicată (dendroecologie)*, remarcându-se cercetările privind cuantificarea impactului poluării asupra ecosistemelor forestiere (Ianculescu 1975, 1977, 1987; Ianculescu și Tisescu 1989; Tisescu 1988, 1989; Barbu 1989, 1991; Flocea 1992) precum și cele din domeniul analizei modificărilor structurale ale ecosistemelor forestiere, fiind posibilă stabilirea unor criterii de clasificare a curbelor de creștere în raport cu poziția cenotică și modificările structurale (Cenușă 1992, 1993, 1996, 1998; Iacob 1998).

*Elaborarea primelor serii dendrocronologice*, conforme cerințelor ITRDB, s-a realizat în ultimii ani pentru molid (Schweingruber 1985; Popa 2002), brad (Popa 2002), zâmbru (Popa 2002), gorun și stejar (Tisescu 1991; Borlea 1999; Popa 2002). În domeniul dendroarheologiei se remarcă cercetările privind datarea bisericilor de lemn din Maramureș (Babos și Eggertsson 2002).

### 3. REALIZĂRI ACTUALE ÎN DOMENIUL DENDROCRONOLOGIEI ÎN ROMÂNIA

#### 3.1. REȚEAUA ACTUALĂ DE DENDROCRONOLOGIE

Potențialul dendrocronologic ridicat al ecosistemelor forestiere din România coroborat cu o lipsă a integrării cercetărilor românești din domeniu în circuitul internațional (Giurgiu, 1987, 2002), au constituit elemente determinate pentru factorii de decizie din cercetarea silvică, concretizate prin includerea în programul național de cercetare ORIZONT 2000, în cadrul obiectivului fundamental *Fundamentarea gestionării durabile a pădurilor pentru potențarea funcțiilor lor ecologice, economice și sociale*. a unui subobiectiv distinct privind impulsionarea cercetărilor dendrocronologice – *Fundamente dendrocronologice, dendroclimatologice și dendroecologice pentru gestionarea durabilă a pădurilor*. În cadrul acestui program s-au derulat în perioada 2000–2002 un număr de două teme de cercetare vizând elaborarea seriilor dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie, respectiv cercetări privind schimbările climatice.

În cadrul temei de cercetare *Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroecologie și dendroclimatologie*, au fost elaborate și validate un număr de 16 serii dendrocronologice (fig. 1, tabelul 1) acoperind condiții ecologice diverse, altele 3 fiind în curs de analiză.

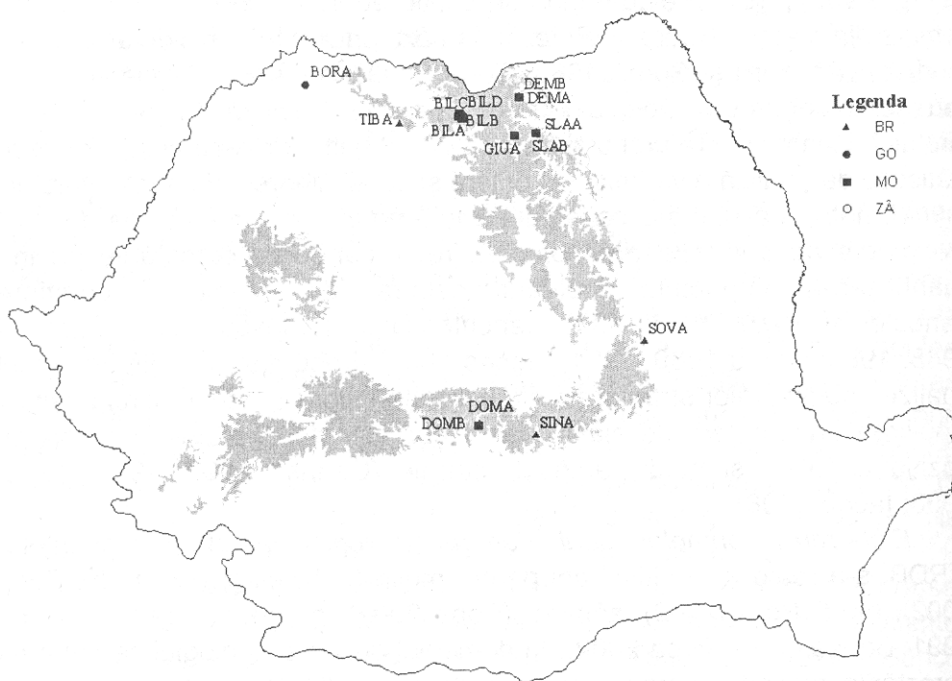


Fig. 1. Localizarea seriilor dendrocronologice elaborate și în curs de validare.

Tabelul 1

## Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice

Specia	Cod serie dendrocronologică	Latitudine	Longitudine	Altitudine (m)	Lungime serie (ani)	Sensibilitate medie	Raportul semnal/zgomot
Molid	PUTA	47°33'	24°49'	1550	1793–2000 (208)	0,14	8,32
	PUTB	47°33'	24°49'	1500	1748–2000 (253)	0,14	11,15
	PUTC	47°33'	24°49'	1500	1732–2000 (269)	0,14	7,50
	TOMA	47°32'	24°51'	1650	1822–2000 (179)	0,15	10,27
	BILA	47°31'	24°55'	1500	1769–2000 (232)	0,13	9,28
	BILB	47°31'	24°55'	1600	1831–2000 (170)	0,13	9,74
	BILC	47°31'	24°52'	1650	1818–2000 (183)	0,14	8,09
	GIUA	46°26'	25°26'	1300	1738–2000 (263)	0,17	12,39
	SLAA	47°27'	25°38'	1300	1753–2000 (248)	0,15	7,41
Brad	TIBA	47°29'	24°16'	1250	1667–2001 (335)	0,15	6,78
	SLAB	47°27'	25°38'	830	1670–2000 (331)	0,19	7,86
	DEMA	47°39'	25°30'	1100	1670–2001 (332)	0,11	5,14
	SOVA	45°58'	26°37'	800	1710–2001 (292)	0,14	7,76
	SINA	45°21'	25°32'	1050	1715–2001 (287)	0,16	5,25
Zâmbru	BILD	47°31'	24°52'	1650	1672–2000 (329)	0,15	6,88
Gorun	BORA	47°37'	23°15'	220	1777–2001 (225)	0,13	7,43

Seriile dendrocronologice elaborate, prin metodologia utilizată, reprezintă serii de indici de creștere de referință pentru zonele cercetate, urmând a fi incluse în baza de date internațională – ITRDB. Aceste serii de indici de creștere evidențiază clar, indiferent de specie sau zonă geografică, marile perioade de regres auxologic accentuat cum este cel dintre ani 1945–1947. Se remarcă de asemenea perioade cu creșteri radială redusă, specifice pentru fiecare zonă ecologică (Rodna anii 1913–1915, 1875–1880).

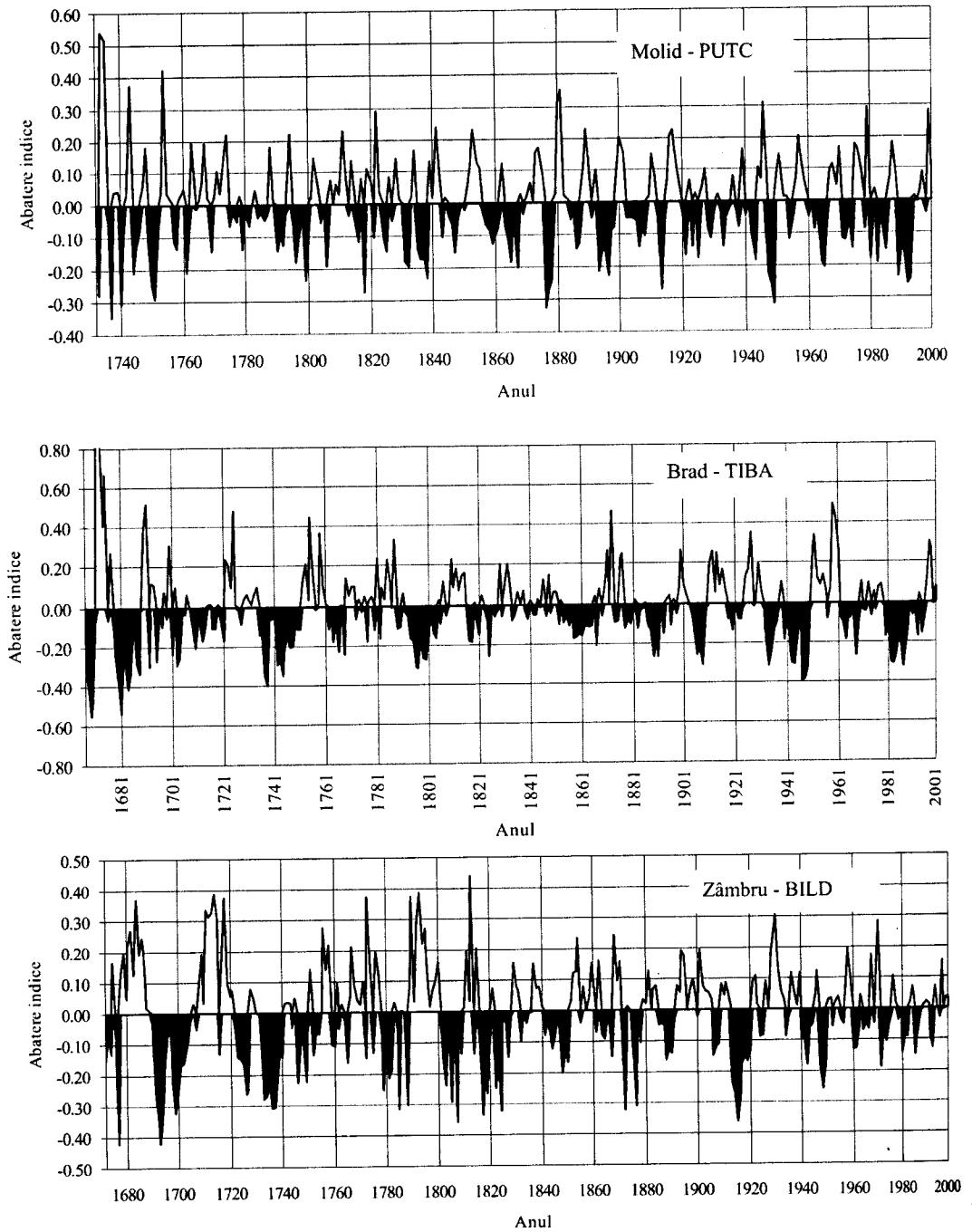


Fig. 2. Exemple de serii dendrocronologice

### 3.2. PRINCIPIILE ȘI METODA DE CERCETARE ÎN DENDROCRONOLOGIE

Dendrocronologia (*dendron* – lemn, *chronos* – timp, *logos* – știință) poate fi definită drept știința care utilizează inelul anual, datat din anul exact al formării sale. Conform *Websters Ninth New Collegiate Dictionary*, dendrocronologia este definită drept știința datării evenimentelor și a variației factorilor de mediu, prin studiul comparativ al inelelor de creștere ale arborilor și vârsta reală a lemnului (anul exact al formării inelului de creștere).

În orice știință se produce o acumulare a unui set de cunoștințe cu caracter esențial, cu putere generalizatoare. Aceste generalități, bazate pe observații repetate și experiență pot fi descrise drept principii sau concepte care întruchiează adevăruri fundamentale. Dendrocronologia ca și alte științe este guvernată de un set de principii sau reguli științifice. Principiile dendrocronologiei au fost și ele supuse tendinței generale de perfecționare în acord cu dezvoltarea cercetărilor de dendrocronologie și în direcțiile particulare (dendroecologie, dendroclimatologie etc.). Unele principii sunt general valabile și își au originea la 1785 – *Principiul uniformității* – altele sunt relativ recente – *Principiul modelului agregat al creșterii arborilor*, 1982. Unele sunt specifice dendrocronologiei – *Principiul interdatării* – altele sunt caracteristice științelor ecologice – *Principiul factorilor limitativi* – sau altele sunt general valabile în știință – *Principiul repetabilității*.

*Principiul uniformității.* În ordinea naturii a fost enunțat de geologul James Hutton în 1785 – „*Prezentul este cheia trecutului*”. În plus dendrocronologia realizează o completare a acestui principiu cu dictonul – „*Trecutul este cheia viitorului*”. Cu alte cuvinte cunoașterea și analiza condițiilor de mediu care au operat în trecut permite prognoza condițiilor de mediu din viitor. Aplicat în dendrocronologie, principiul uniformității prezintă o serie de implicații de ordin metodologic și conceptual: procesele fizice și biologice care realizează legătura dintre mediul actual și variația actuală a creșterii arborilor trebuie să fi fost operaționali și în trecut; caracteristicile inelului anual sunt determinate de aceleași condiții de mediu atât în prezent cât și în trecut sau viitor; condițiile de mediu asociate unei caracteristici prezente a inelului anual au existat și în trecut când parametrul respectiv apare. Acest principiu nu implică ca factorii de mediu sau condițiile de creștere să fie aceleași în trecut ca și în prezent, condiția fiind similaritatea relațiile ce guvernează legătura factori de mediu – creștere. Astfel spus aceleași condiții de mediu afectează aceleași procese de creștere atât în trecut cât și în prezent sau viitor, ceea ce variază fiind frecvența, intensitatea și localizarea factorilor de influență ai creșterii.

*Principiul factorilor limitativi.* Creșterea arborilor este determinată de o multitudine de factori, fiecare influențând procesul complex de creștere în mod diferit atât spațial cât și temporal. Este binecunoscută legea biologică a factorilor limitativi definită astfel – *un proces biologic cum este creșterea*



arborilor nu poate avea o intensitate mai mare decât cea permisă de factorul cel mai limitativ. Același factor poate avea un caracter limitativ pentru mai mulți ani, dar gradul și durata efectelor limitative variază de la an la an. Dacă factorul se schimbă și nu mai are un caracter limitativ, rata și intensitatea proceselor de creștere se accentuează până la nivelul la care un alt factor devine limitativ. De exemplu în zona de stepă și silvostepă temperatura nu constituie un factor limitativ, în schimb cantitatea de precipitații reprezintă un factor care limitează creșterea arborilor. În opoziție sunt zonele alpine și subalpine unde temperatura reprezintă un factor de creștere limitativ. Acest principiu este extrem de important în dendrocronologie deoarece interdatarea seriilor de creștere se poate realiza numai dacă unul sau mai mulți factori de mediu devin limitativi, și persistă pe o perioadă de timp suficient de lungă și acționează pe o arie geografică suficient de largă pentru a determina aceeași reacție la un număr mare de arbori. Principiul implică ipoteza conform căreia creșterea anuală minimă oferă informații mult mai pertinente privind condițiile climatice limitative decât creșterile anuale ridicate.

*Principiul amplitudinii ecologice.* Fiecare specie, deci și forestieră, în raport cu bagajul său genetic, care în interacțiune cu factorii de mediu determină fenotipul, poate crește și reproduce între anumite limite ale habitatului. Aceste limite se referă la amplitudinea ecologică a fiecărei specii. Unele specii prezintă o amplitudine ecologică relativ redusă fiind limitate numai la anumite tipuri de habitate, altele au o amplitudine ecologică ridicată cuprinzând în cadrul arealului lor zone geografice foarte largi. În zona centrală a arealului geografic specia întrunește condiții de mediu favorabile pentru creștere și rareori factorii de mediu devin limitativi (anii cu condiții climatice extreme, condiții staționale limitative particulare). Spre limita arealului natural condițiile de mediu devin limitative, pentru specia respectivă, inducând o limitare a proceselor fiziologice, implicit a creșterii.

*Principiul modelului agregat al creșterii arborilor.* Modelarea creșterii radiale a arborilor în directă corelație cu factorii de creștere a constituit și constituie una dintre provocările majore din domeniul dendrocronologiei, ecologiei, biometriei sau fiziologiei. Primele modele clasice în dendrocronologie au pornit de la modelarea sistemului creștere – climat, evoluând ulterior spre o modelare creștere – mediu, incluzând pe lângă factorii strict climatici și alți factori ai ecosistemului forestier (ex. concurența inter și intraspecifică). Fritts (1976) propune o serie de modele cu baze fiziologice și biochimice privind legătura dintre lățimea inelului anual și variația factorilor climatici, respectiv temperatură și precipitații. Alte modele propun o cuantificare energetică a relației dintre arbore și mediu. Wilson (1964) introduce în dendroecologie un model complex privind dinamica activității cambiale la conifere în relație cu factorii climatici. Principala deficiență a aplicării acestor modele cu baze fiziologice și biochimice în cercetarea dendrocronologică este dată de dificultatea elaborării și implementării de

tehnici specifice de cuantificare și separare a diferitelor influențe utilizând caracteristicile macroscopice și unele elemente microscopice, măsurabile ale inelului anual. Cu toate că utilizarea inelului anual în studiul variației factorilor de mediu este larg răspândită, extragerea informației, a semnalului dorit, poate fi dificilă și incertă. Semnalul este definit în acest caz, în sensul unei ipoteze testate statistic, drept o informație derivată din parametrii inelului anual (lățime, structură etc.) relevant pentru studiul unei anumite probleme. Zgomotul este definit ca o informație nerelevantă în raport cu obiectivele studiului. Așadar inelul anual, respectiv seria de creștere radială poate fi analizată și asimilată cu o serie statistică de timp rezultată din agregarea mai multor semnale – componente ale seriei de timp – diferența dintre zgomot și semnal relevant putându-se face numai în contextul unor ipoteze și aplicații practice.

Deci problema esențială în dendrocronologie este extragerea semnalelor relevante prin dezagregarea, prin metode și algoritmi statistici, a lățimii inelului anual într-un număr finit de semnale care reprezintă suma influențelor factorilor de mediu asupra creșterii radiale a arborilor. Pornind de la această teoretizare a inelului anual Graybill (1982) propune un model agregat al creșterii arborilor, model preluat și dezvoltat ulterior de Cook (1990), care sintetizează ansamblul complex al factorilor de mediu în patru semnale:

- curba de creștere biologică de diferite forme;
- semnalul macroclimatic general al zonei;
- perturbările endo și exogene;
- zgomotul sau eroare inerentă.

Modelul agregat al inelului anual poate fi redată sintetic astfel (Cook, 1990):

$$R_t = A_t + C_t + \gamma D1_t + \gamma D2_t + E_t$$

unde:

- $R_t$  – lățimea inelului anual în anul  $t$ ;
- $A_t$  – relația creștere-vârstă, determinată de procesele fiziologice normale de îmbătrânire;
- $C_t$  – semnalul climatului general comun pentru toți arborii dintr-o anumită zonă geografică – variația macroclimatului;
- $D1_t$  – perturbările locale de natură endogenă cu origine în procesele de competiție inter și intraspecifică caracteristică ecosistemelor forestiere;
- $D2_t$  – perturbările locale de natură exogenă cauzate de factori cu originea în afara arboretului cum ar fi atacurile de insecte, înghețuri târzii sau timpurii, doborâturile produse de vânt;
- $E_t$  – variabilitatea interanuală neexplicată – zgomotul;
- $\gamma$  – variabilă binară (0 sau 1) care exprimă prezența sau absența unei perturbări locale de origine endo sau exogenă.

Exprimarea într-o formă liniară a inelului anual facilitează analiza conceptuală a fiecărei componente din model. Ipoteza liniarității și indepen-

dentei componentelor modelului nu este în totdeauna verificată, cunoscut fiind faptul că unele proprietăți ale inelului anual sunt multiplicative. De altfel, prin transformări adecvate, relațiile neliniare se pot liniariza, seria de creșterii fiind, intrinsec, un proces liniar. Acceptând aceste ipoteze de liniaritate și independență, modelul oferă un instrument eficient de identificare și separare a diferitelor tipuri de influențe. Semnalele  $A_t$ ,  $C_t$  și  $E_t$  sunt prezente în orice serie de creștere, iar  $D1_t$  și  $D2_t$  pot sau nu fi prezente în funcție de existența unor perturbări în anul  $t$ .

Procesul  $A_t$  este un proces nestaționar care reflectă constrângerile geometrice privind adăugările de volum prin creșterea radială a trunchiului. În cazul în care acest tip de limitare este principala sursă a acestui semnal forma generală a trendului  $A_t$  este exponențială diminuându-se în raport cu vârsta. Acest tip de curbă este caracteristică arborilor care vegetează în teren liber unde competiția inter și intraspecifică sunt minime (fig. 3).

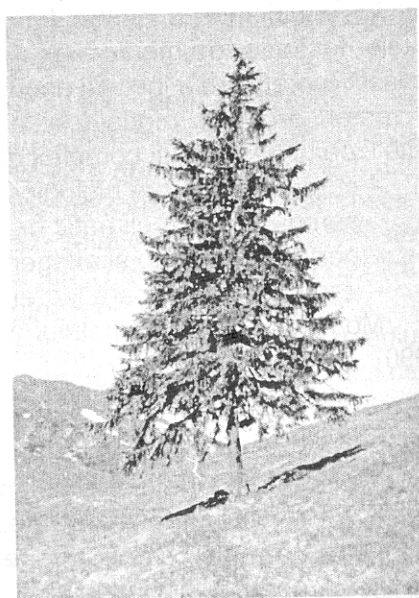
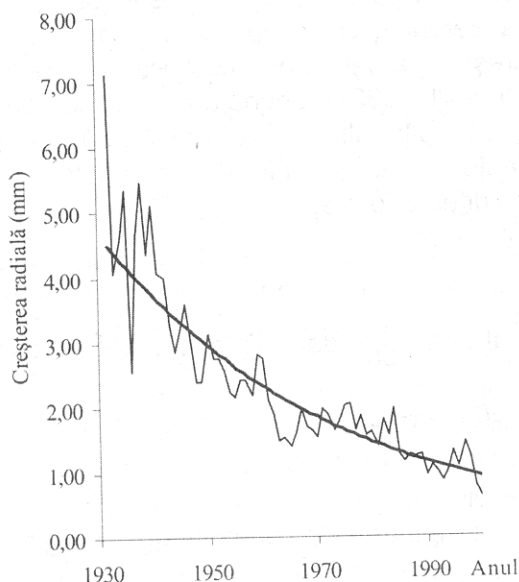


Fig. 3. Variația exponențială a semnalului  $A_t$  la un arbore de molid în teren liber - Ocolul silvic Borșa.

În acest caz semnalul indus de vârstă poate fi modelat și separat prin intermediul modelelor matematice deterministe, prin netezirea curbei de creștere cu o funcție matematică. Însă, cel mai frecvent, influența strictă a vârstei asupra creșterii radiale este distorsionată datorită competiției și perturbărilor inerente ecosistemelor forestiere (fig. 4). Se poate observa în primul caz existența unei perioade inițiale de creștere activă, urmată de o perioadă de reducere accentuată a creșterii radiale datorată concurenței la nivelul coronamentului. În ultimii douăzeci de ani se remarcă o reaccentuare a creșterii ca urmare a dispariției factorului (arborilor) competitor, fie datorită

unei perturbări exogene – doborâtură produsă de vânt – fie datorită unei perturbări endogene – uscare naturală. În cea de-a doua situație, distorsionarea semnalului  $A_t$  este diferită, prezentând inițial o perioadă de creștere redusă urmată de o accentuare a creșterii radiale ca urmare a punerii în lumină în jurul anului 1910 pentru ca după 1960 să se înregistreze o scădere a potențialului de creștere.

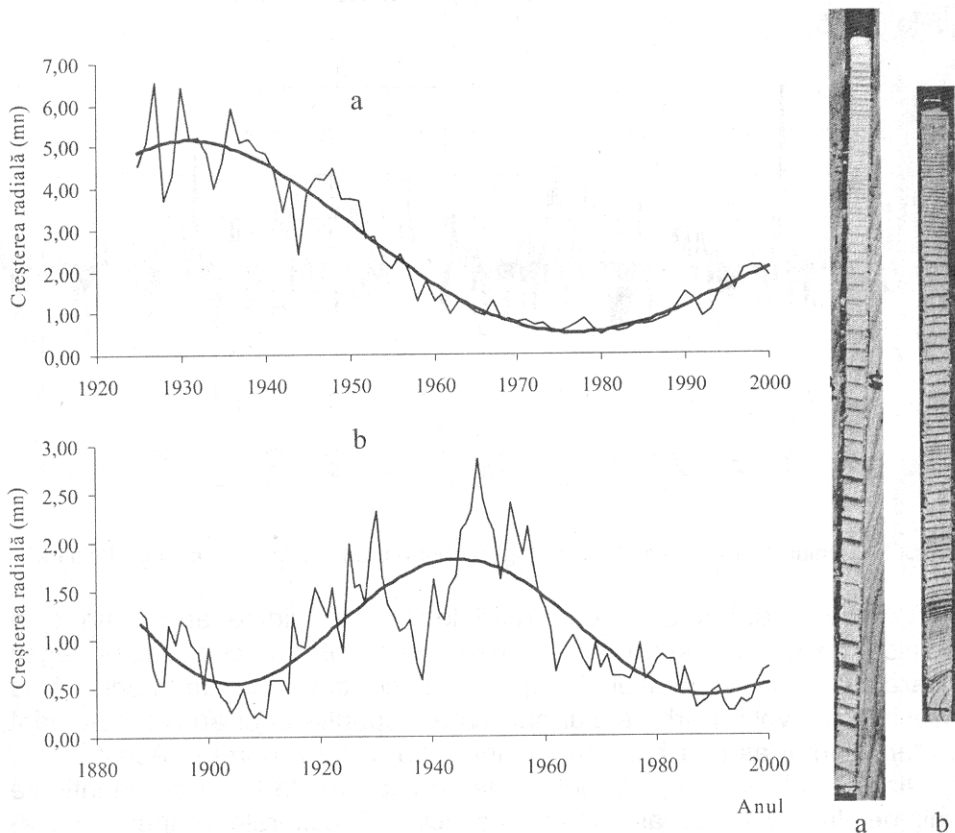


Fig. 4. Distorsionarea semnalului  $A_t$  în cazul unui arboret de molid relativ plurienn – Ocolul silvic Vatra Dornei

În aceste situații extragerea semnalului  $A_t$  nu mai este posibilă prin utilizarea metodelor deterministe,  $A_t$  fiind un proces nestaționar, stocastic, necesitând metode de extragere complexe (modele autoregresive, filtre digitale etc.).

Semnalul  $C_t$  reprezintă influența climatului general – macroclimatul, respectiv impactul tuturor variabilelor climatice asupra creșterii radiale a arborilor mai puțin parametrii climatici asociați cu perturbările endo și exogene. Componentele tipice ale  $C_t$  sunt reprezentate de temperatură, precipitații, rezervele de apă din sol, evapotranspirație, în general factor climatic cu influență directă asupra proceselor fiziologice de creștere. Se consideră că efectul acestui semnal este identic în toți arborii dintr-o

anumită specie și stațiuni similare. Reprezintă un semnal comun pentru toți arborii dintr-o anumită zonă ecologică sau geografică. Adeseori acest tip de semnal poate fi confundat cu semnalul determinat de către poluare, necesitând observații și analize atente în vederea decelării acestora. Variabilele climatice utilizate adesea în modelarea și explicarea semnalului  $C_t$  sunt temperaturile și precipitațiile, procese stocastice staționare, permițând modelarea și extragerea semnalului  $C_t$  prin metode autoregresive și filtre digitale (fig. 5).

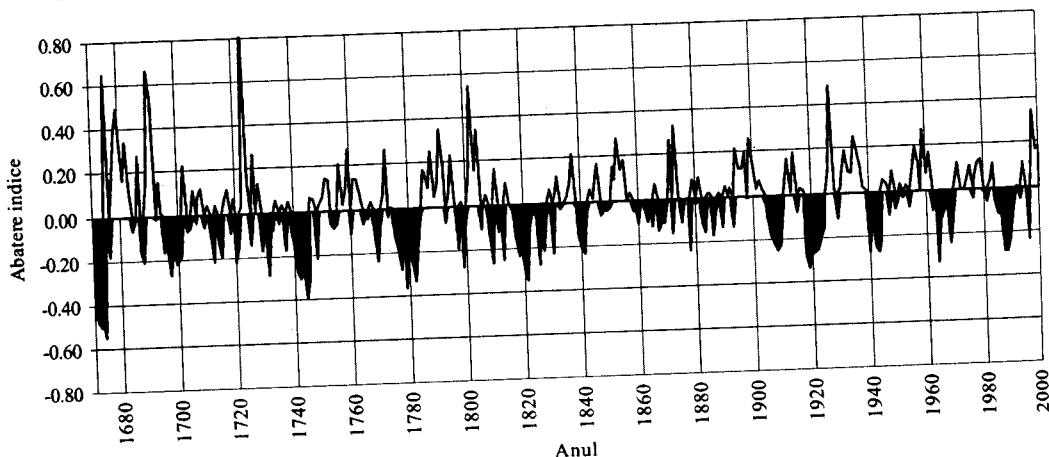


Fig. 5. Semnalul  $C_t$  în seria dendrocronologică pentru brad din Codrul Secular Slătioara

Răspunsul arborelui la perturbări locale de origine endogenă este cuantificat de  $D1_t$ . Acest tip de perturbare este determinat de factori legați de caracteristicile vegetației, independenți de condițiile de mediu, fiind consecința dezvoltării arboretului prin care dispariția unui arbore dominant are efect numai asupra arborilor vecini și nu în tot arboretul. Acest tip de dezvoltare a arboretului prin „goluri” determină diferite tipuri de variații ale lățimii inelului anual. De asemenea practicile silviculturale, respectiv lucrările silvotehnice reprezentate de rărituri selective, tăieri de regenerare, cu efecte locale pot constitui o sursă de perturbări endogene reliefate în semnalul  $D1_t$ . O proprietate importantă a acestui tip de perturbări este dată de caracterul aleatoriu, atât spațial cât și temporal, nefiind posibilă corelarea semnalului  $D1_t$  de la un arbore cu un alt arbore din același arboret, constituind un fidel indicator al modificării și dinamicii structurii arboretelor.

Perturbările exogene sunt determinate de factori de mediu, exteriori arboretului și independenți de acesta, fiind cuantificat în semnalul  $D2_t$ . Perturbările exogene pot fi de natură climatică cum sunt vânturi puternice, înghețuri târzii sau timpurii, chiciură, sau de natură non-climatică reprezentată de incendii, atacuri de insecte, intervenții silvice sistematice etc.

Diferențierea dintre perturbările endogene și cele de natură exogenă este dată de sincronizarea temporală și spațială a celor din urmă. Semnalul  $D2_t$  este prezent la toți arborii din cadrul arboretului afectat de perturbare.

În figura 5 este redat un exemplu privind influența perturbării exogene produsă de o doborâtură cauzată de vânt cu intensitate ridicată care afectează întreg arboretul. O astfel de perturbare s-a înregistrat în u.a 1a din U.P. VII Izvoarele Bistriței din cadrul ocolul silvic Borșa, ca urmare a unei doborâturi puternice din anul 1989 (fig. 6).

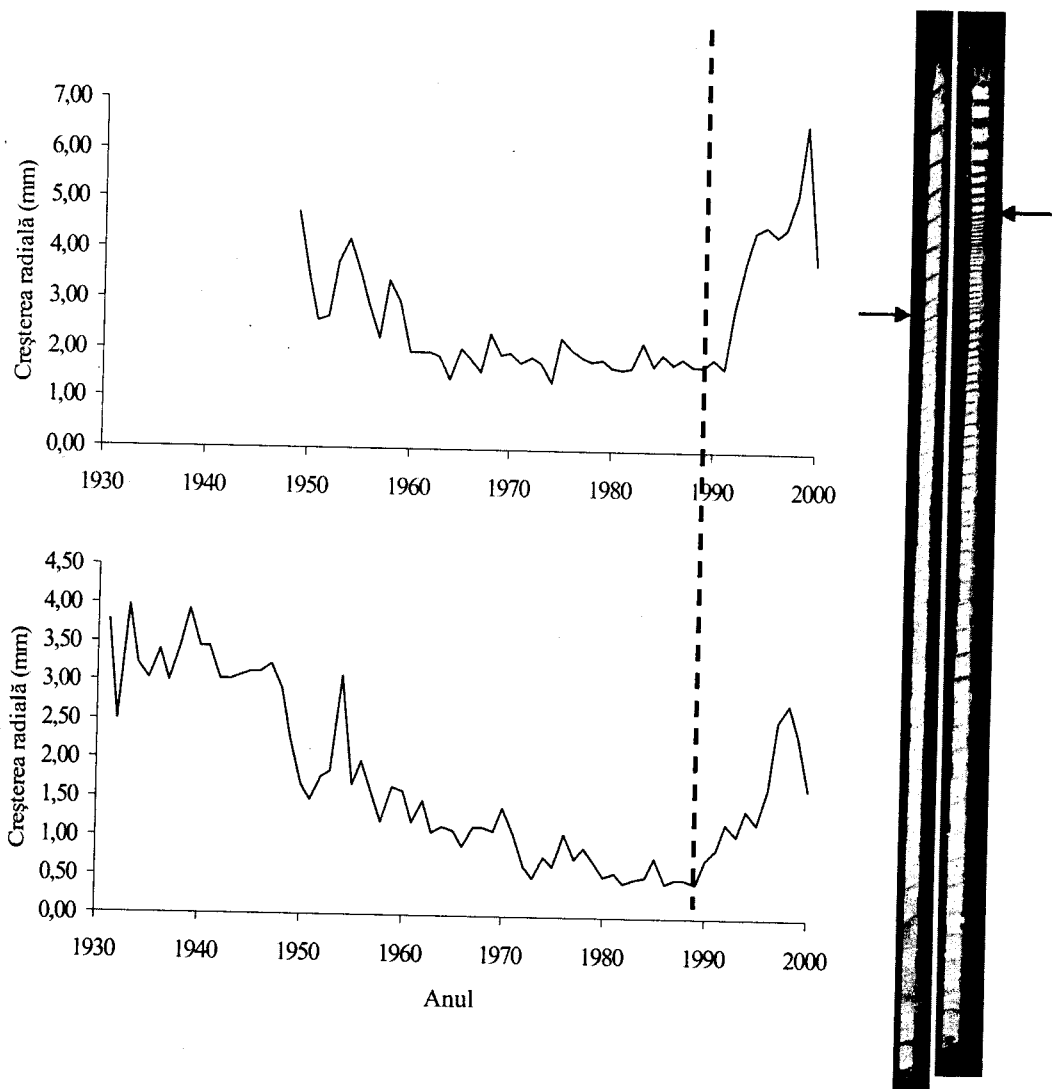


Fig. 6. Semnalul  $D2_t$ , determinat de o doborâtură produsă de vânt într-un arboret de molid – Ocolul silvic Borșa

Din analiza seriilor de creștere se remarcă clar anul producerii perturbației exogene (doborâtură produsă de vânt) și impactul acesteia asupra creșterii radiale. Arboretul a fost afectat pe toată suprafața, determinând apariția semnalului  $D2_t$  în anul 1989 la majoritatea arborilor.

Un ultim semnal cuprins în modelul agregat al inelului anual este reprezentat de zgomot –  $E_t$  – care constituie varianța inexplicabilă, inerentă oricărui proces natural. Ea este determinată fie de variații reduse, microstaționale ale condițiilor de mediu, gradienti hidrologici și ai caracteristicilor solului, erori de măsurare etc.  $E_t$  se consideră a fi independent atât spațial, cât și temporal.

Acest model conceptual bazat pe principiul modelului agregat liniar permite descompunerea seriei de creștere într-un semnal deterministic ca urmare a influenței pure a vârstei ( $A_t$ ), două semnale stocastice comune ( $C_t$  și  $D2_t$ ) și două semnale, de asemenea stocastice, singulare ( $D1_t$  și  $E_t$ ). Separarea diferitelor semnale cuprinse în inelul anual se realizează prin standardizare, adică prin transformarea seriei de creștere exprimată în funcție de lățimea inelului anual, sau alt parametru în serie de indici relativi.

*Principiul alegerii stațiunii.* Alegerea stațiunilor, speciilor și arborilor prezintă o importanță fundamentală în cercetările de dendrocronologie. Criteriile de alegere și amplasare a suprafețelor experimentale variază în raport cu obiectivele studiului dendrocronologic. Astfel principiile de selecție a stațiunii, speciei și arborilor sunt diferite pentru un studiu dendrocronologic al cărui scop este elaborarea unei serii dendrocronologice de referință pentru o zonă ecologică în comparație cu o cercetare dendroecologică privind impactul poluării sau dinamica ecosistemului. Cele mai favorabile regiuni pentru investigații dendrocronologice sunt cele în care factorii de mediu induc o variabilitate ridicată a parametrilor inelelor anuale ale arborilor. Regiunile cu condiții climatice optime pentru o anumită specie sunt indicate pentru reconstrucția factorilor non-climatici cum ar fi competiția intra și interspecifică, influența factorilor perturbatori (insecte, incendii, doborâturi și rupturi produse de vânt și zăpadă, intervenții antropice etc.). Alegerea stațiunii și arborilor de probă constituie o expresie a principiului factorilor limitativi, amplitudinii ecologice și a repetabilității. Principiul selecției stațiunii stabilește care zonă ecologică sau geografică poate fi identificată și selectată astfel încât va genera o serie de timp senzitivă la variația factorilor de mediu. Selecția stațiunii implică limitarea la maximum a numărul de factori, eliminând variabilele irelevante pentru scopul cercetării.

*Principiul interdatării.* Interdatarea poate fi tratată din două puncte de vedere: ca principiu fundamental al dendrocronologiei și ca practică – metodă integrată în cercetarea dendrocronologică.

Acest principiu poate fi privit ca un control experimental care asigură o plasare corectă în timp a fiecărui inel anual. Conform acestui principiu fiecare inel anual trebuie datat și sincronizat în timp conform anului formării, pentru tot trunchiul, toți arborii din arboret și pentru cei din arboretele vecine.

Interdatarea este posibilă deoarece aceiași factori de mediu sau similari au determinat o limitare a creșterii la toți arborii dintr-o anumită zonă geografică – semnalul factorului limitativ fiind decelat în fiecare serie de creștere. De exemplu este posibilă, grație acestui principiu, datarea unor

construcții vechi prin compararea și interdatarea secvențelor de inele anuale prelevate din lemnul din construcție cu o serie cronologică de referință pentru zona ecologică respectivă.

*Principiul repetabilității.* Semnalul de mediu investigat poate fi maximizat și prin minimizarea zgomotului. Metoda statistică clasică de minimizare a zgomotului într-o serie de date este utilizarea mediei aritmetice sau de altă formă, prin prelevarea unui număr de probe mai mare decât o carotă pe arbore și un arbore pe loc de probă. Obținerea a două sau mai multe probe dintr-un arbore conduce la minimizarea variabilității intra-arbore, iar selecția unui număr mare de arbori pe sondaj, precum și un număr mai mare de sondaje într-o zonă ecologică, permite reducerea la maxim a zgomotului. Astfel media unui număr mare de măsurători oferă o estimare corectă a climatului deoarece variația creșterii anuale determinată de variația factorilor de mediu este comună tuturor arborilor, fiind extrasă prin intermediul mediilor.

*Principiul standardizării.* Potențialul de creștere al arborelui precum și reacția acestuia la factorii de mediu variază în raport cu vârsta. Variația lățimii inelului anual nu este guvernată numai de condițiile de mediu, fiind influențată și de schimbările sistematice în vârsta arborelui, înălțimea prelevării probei, condițiile microstaționale etc. În studiul și elaborarea seriilor dendrocronologice de referință în care climatul este semnalul investigat, influența celorlalți factori trebuie eliminată. Acest lucru se realizează prin standardizare. Standardizarea constituie o procedură de bază în dendrocronologie, considerată drept principiu după unii autori (Fritts 1976), și constă în transformarea, conform unui algoritm specific, a seriei de creștere exprimată prin lățimea inelului anual în serie de indici de creștere – care reprezintă seria dendrocronologică de bază pentru obținerea seriilor dendrocronologice de referință.

În cercetările de dendroecologie (Fritts și Swetnam, 1985) se face referire la încă două principii: principiul calibrării și verificării și principiul raportului semnal/zgomot. Aceste principii au aplicabilitate directă în dendroecologie și dendroclimatologie (principiul calibrării și verificării), iar principiul raportului semnal/zgomot poate fi inclus în categoria metodelor de verificare și testare a semnificației și reprezentativității seriilor dendrocronologice de referință.

### 3.3. APLICAȚII DE DENDROECOLOGIE ȘI DENDROCLIMATOLOGIE

#### 3.3.1. Variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice

Reacția arborilor la factorii de mediu, cu referire specială la cei climatici, variază în raport cu condițiile microstaționale și macrostaționale, particularitățile speciei și provenienței, natura și intensitatea factorului de mediu analizat etc. Prin intermediul parametrilor statistici clasici și specifici



analizelor dendrocronologice se pot evidenția similaritățile dintre serii dendrocronologice din zone geografice diferite. Este cunoscut faptul că la stresori puternici (secetă prelungită) reacția arborilor, din zona afectată, este similară, dar de intensitate diferită.

Pentru analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice se pot utiliza metode grafice de comparare vizuală a seriilor de indici de creștere, analiza parametrilor statistici ai seriilor sau metoda coeficienților de corelație și concordanță (Schweingruber, 1985). Pentru decelare mai fină a variațiilor mezononale s-a făcut apel la un instrument statistic complex – analiza componentelor principale. Această metodă statistică constă în reducerea variabilelor la un număr de factori (2–5 factori principali) care explică majoritatea variabilității. Prin analiza comparativă a componentelor principale se poate pune în evidență modul de stratificare a observațiilor. S-a apelat în acest scop la o abordare de tip ierarhic, de la simplu la complex, efectuându-se o analiză a componentelor principale, pornind de la zone mici la macrozone, de la nivel intraspecific (molid și brad) la nivel interspecific (luând în calcul atât molidul, cât și bradul și zâmburul). Pentru a se obține o imagine a modificărilor în timp ale distribuției spațiale a seriilor de indici de creștere, analiza s-a realizat atât pentru întreaga perioadă comună, cât și pentru subperioade de 50 de ani cu segmente comune de 25 ani.

Analiza variabilității comune explicată de fiecare factor principal, precum și distribuția seriilor dendrocronologice în planul primelor trei componente principale, a permis stabilirea semnificației ecologice pentru fiecare factor. Explicând între 35 și 90% din varianță (în raport cu specia, aria studiată etc.) primul factor sintetizează semnalul climatic comun, fiind redus în cazul analizei intraspecifice și maxim în cadrul molidului din același masiv muntos (fig. 7).

Proiecția în planul primelor trei componente principale evidențiază foarte clar variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice, semnificația celui de-al doilea factor fiind specia (15–20% din variabilitate) în cazul analizei intraspecifice determinând o separație clară a molidului de brad și zâmburul (fig. 8).

În cazul analizei intraspecifice variabilitatea explicată de componenta a doua rămâne în jurul valorii de 20% în cazul bradului și de 10% la molid explicăția fiind dată de amplitudinea geografică a seriilor analizate. Se realizează astfel o separație pe criterii geografice evidentă atât în cazul bradului (grupa nordică de cea sudică) cât și a molidului (bazinul Bistriței Aurii de cel al Moldovei). La nivel microzonal componenta principală secundară induce o segregare a seriilor în raport cu intensitatea intervențiilor antropice, variabilitatea explicată fiind redusă sub 10%, remarcându-se gradul de omogenitate a reacției la variația factorilor climatici (PC1 – 75–80% din varianță).

Utilizarea unei rețele de serii dendrocronologice extinsă la nivelul întregului lanț carpatic, a funcțiilor de răspuns la modificarea factorilor climatici drept variabile, va permite o mai corectă fundamentare a semnificației com-

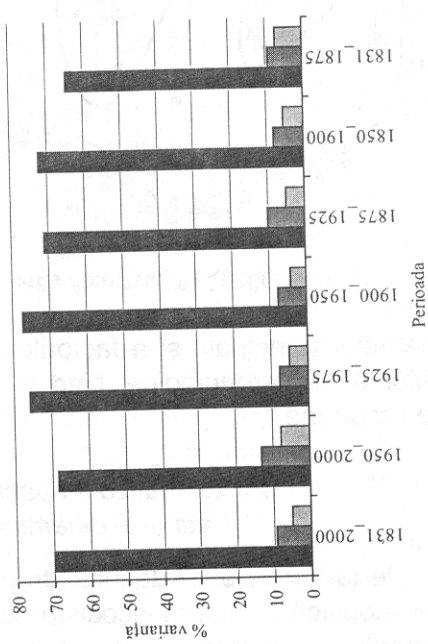
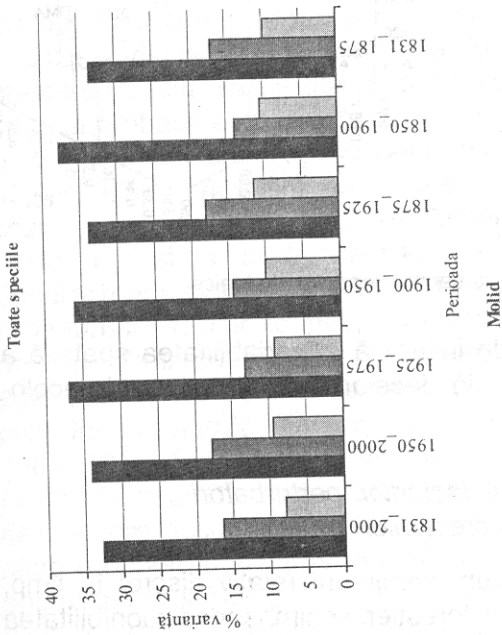
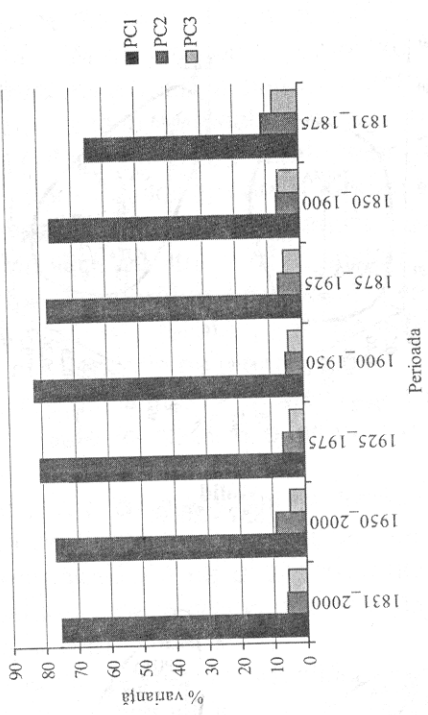
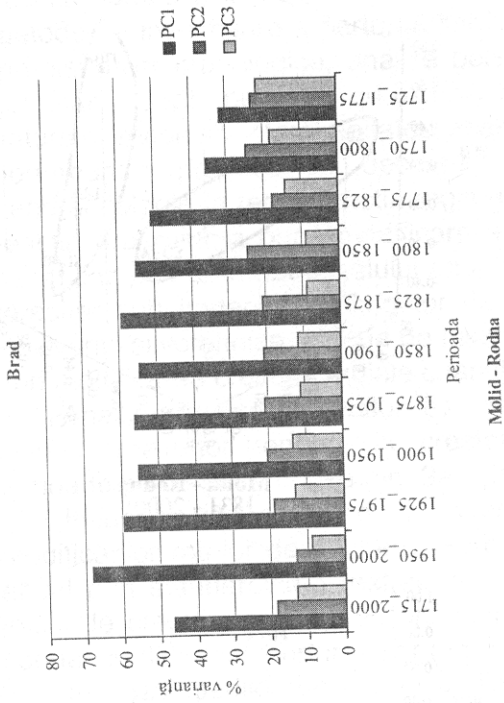


Fig. 7. Variabilitatea explicată de componentele principale

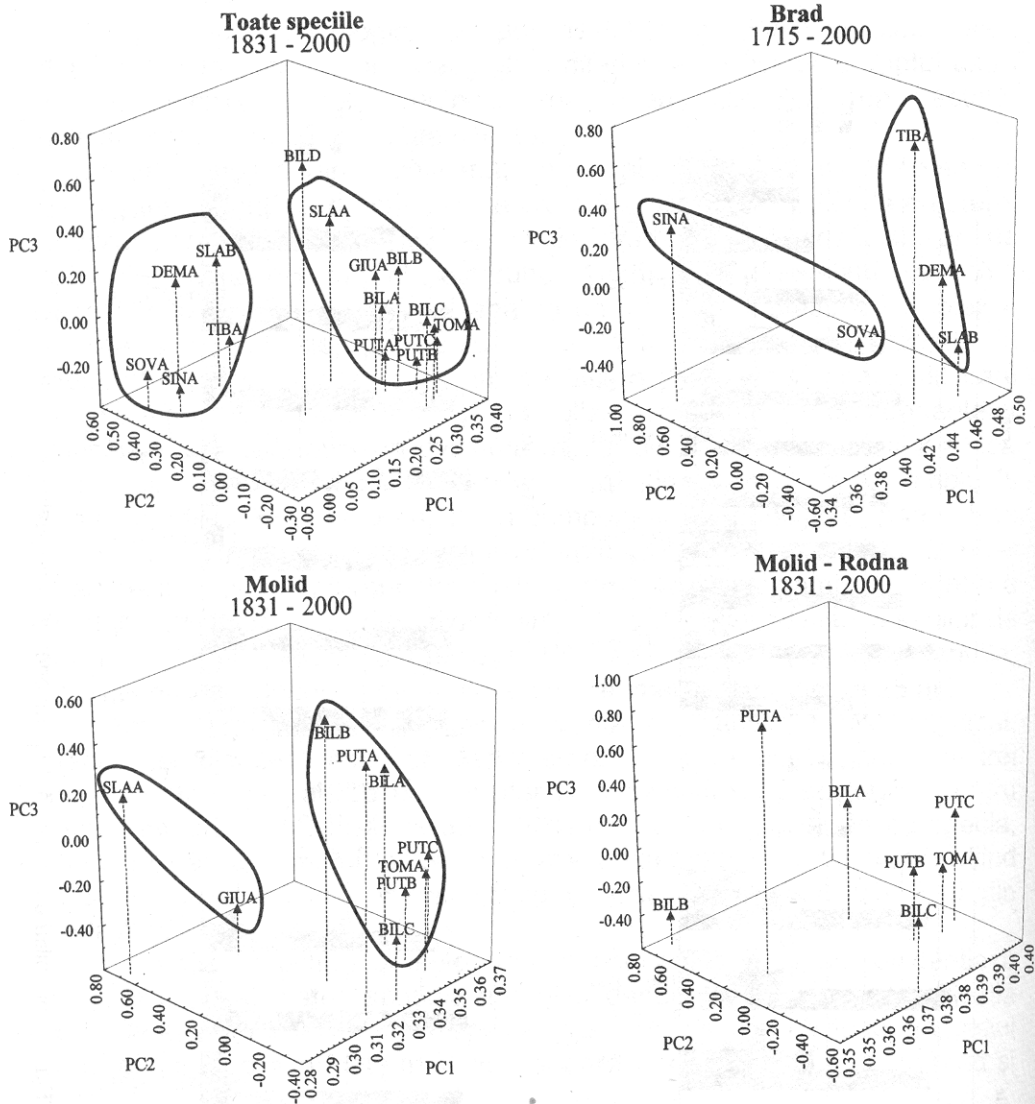


Fig. 8. Variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice

ponentelor principale și a factorilor de influență în variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice, fiind posibilă decelarea de zone dendroecologice omogene.

### 3.3.2. Analiza impactul factorilor perturbatori asupra dinamicii creșterilor radiale

Perturbarea este definită drept un eveniment relativ discret în timp, care modifică structura ecosistemului forestier schimbând disponibilitatea resurselor, substratului sau a mediului fizic (White și Pickett, 1985). Interesul asupra producerii perturbărilor naturale în ecosistemele forestiere,

asupra dinamicii spațiale și temporale precum și al efectelor acestora a suscitât lumea științifică forestieră de mult timp. Au fost propuse diverse metode de investigare a perturbărilor istorice, de la analize simple în baza înregistrărilor cronologice, analize polinice, până la sisteme complexe de cercetare bazate pe datări cu izotopi. Structura actuală a pădurii montane naturale, respectiv eterogenitatea acesteia, este o consecință a regimului perturbărilor produse în decursul timpului. Utilizarea metodelor de dendroecologie în reconstrucția regimului perturbărilor are drept fundament reacția arborelui la orice modificare a mediului de viață – cuantificată în acest caz prin parametrii inelului anual. Modificarea structurii ecosistemului forestier sub impactul unui factor de stres (doborâturi produse de vânt, intervenții silvotehnice, atacuri de insecte etc.) este reliefată fidel de arbore prin modificarea creșterii radiale cuantificate prin lățimea inelului anual.

Analiza grafică a seriilor de creștere individuale și medii permite evidențierea unor perioade cu creșteri radiale foarte active alternând cu perioade cu creșteri reduse (fig. 9a și 9b).

Influența vârstei determină o estompare a intensității și frecvenței modificărilor ratelor de creștere. Pornind de la modelul agregat al inelului anual prin standardizare (extragerea semnalului  $A_i$ ) se obține o serie de indici de creștere primari la care semnalul de joasă frecvență este direct corelat cu dinamica perturbațiilor (fig. 10a și 10b).

În cazul seriilor de creștere din munții Rodnei se identifică numai câteva astfel de episoade cu perturbări ale structurii arboretului semnificative. Interesantă este perturbarea din jurul anului 1815–1820, prezentă la toate seriile cu o intensitate mai mică sau mai mare. Foarte evidentă este în cazul seriei de zâmbru – BILD, arborii reacționând foarte puternic printr-o creștere radială accelerată pe o durată de 40 de ani. Factorul perturbator cel mai probabil este o doborâtură produsă de vânt cu efecte catastrofale, anul producerii coincide cu anul instalării arboretului din seria BILB din același masiv. Această perturbare majoră poate fi identificată clar și în cazul seriei din Codrul Secular Giupalău, Codrul Secular Slătioara (atât la molid, cât și la brad), respectiv Demacușa (DEMA) la brad. Seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei prezintă o frecvență mult mai mare a perturbărilor, fiind identificate aproximativ 8 doborâturi majore în decurs de 3 secole în cazul seriei din Demacușa, produse la intervale aproximativ egale de 35–40 de ani. Se remarcă intensitatea și durata perioadelor de creștere accelerată din anii 1745–1772, 1794–1814, 1825–1831, 1867–1881, 1913–1927, 1940–1951, 1964–1970. În cazul seriei de creștere din Codrul Secular Giupalău (GIUA), se identifică mai multe astfel de perioade de creștere accentuată brusc, cea mai evidentă fiind în jurul anilor 1760, când o doborâtură a pus în lumină brusc semințișul existent de 20–30 de ani. În masivul Țibleș – TIBA se remarcă doborâtura din jurul anului 1790, care determină o accelerare semnificativă a creșterii radiale pe o perioadă de 60 de ani, fiind echivalent cu o deschidere puternică a arboretului. Alte perturbări semnificative sunt cele din 1890 și 1947–1948, ultima având drept

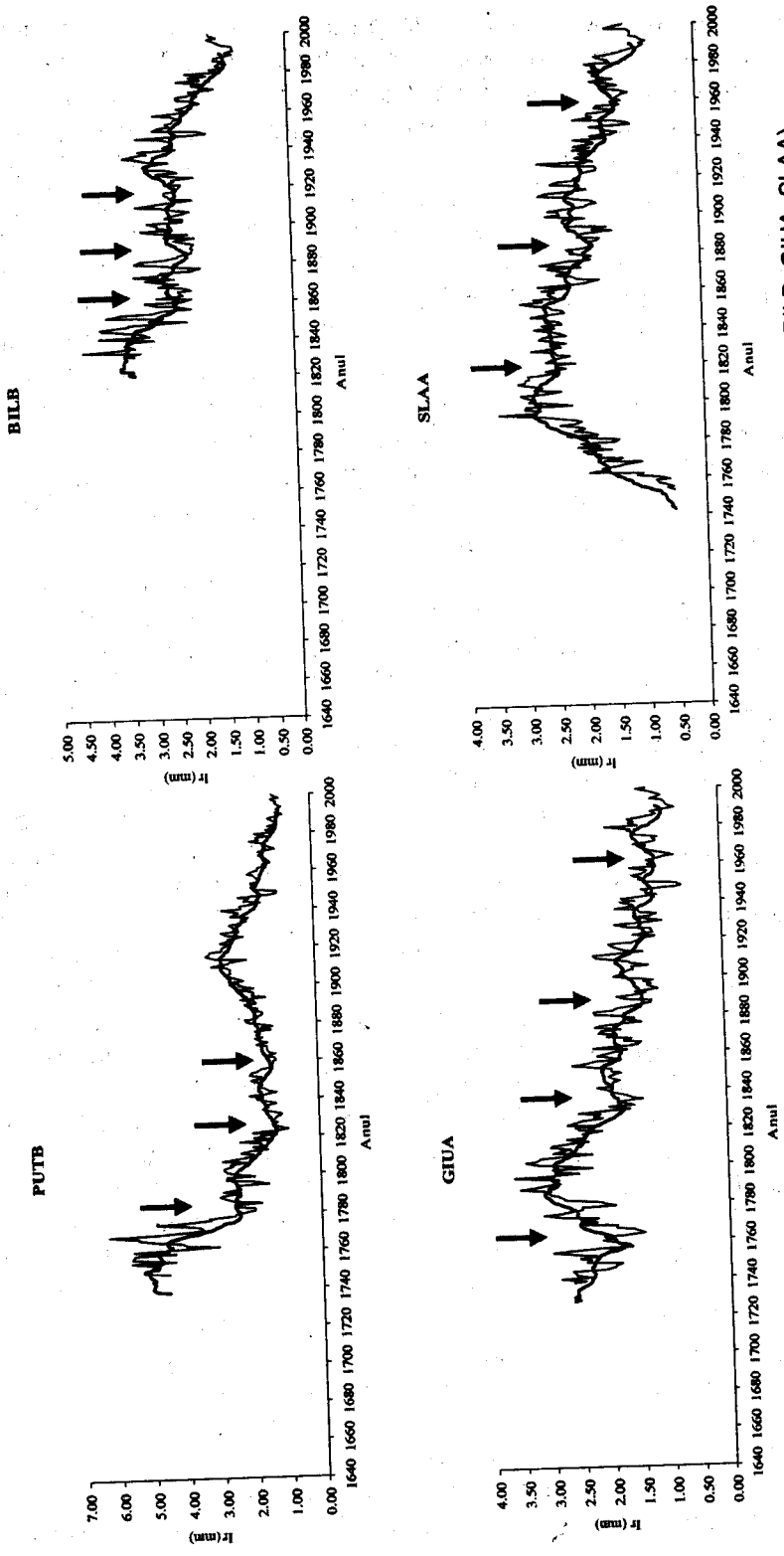


Fig. 9a. Dinamica creșterii radiale sub impactul factorilor perturbatori (seriile deducronologice PUTB, BILB, GIUA, SLAA)

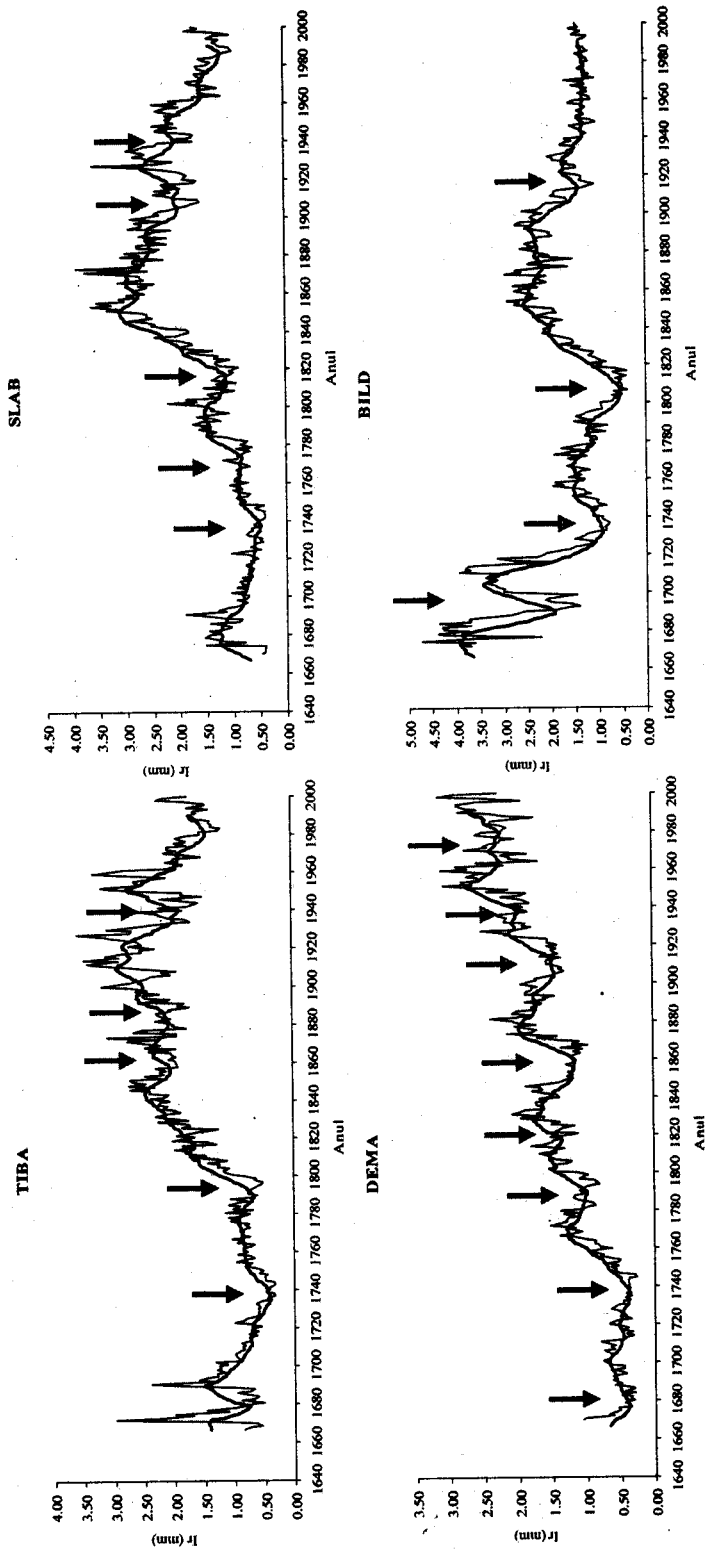


Fig. 9b. Dinamica creșterii radiale sub impactul factorilor perturbatori (seriile decronologice TIBA, SLAB, DEMA, BILD)

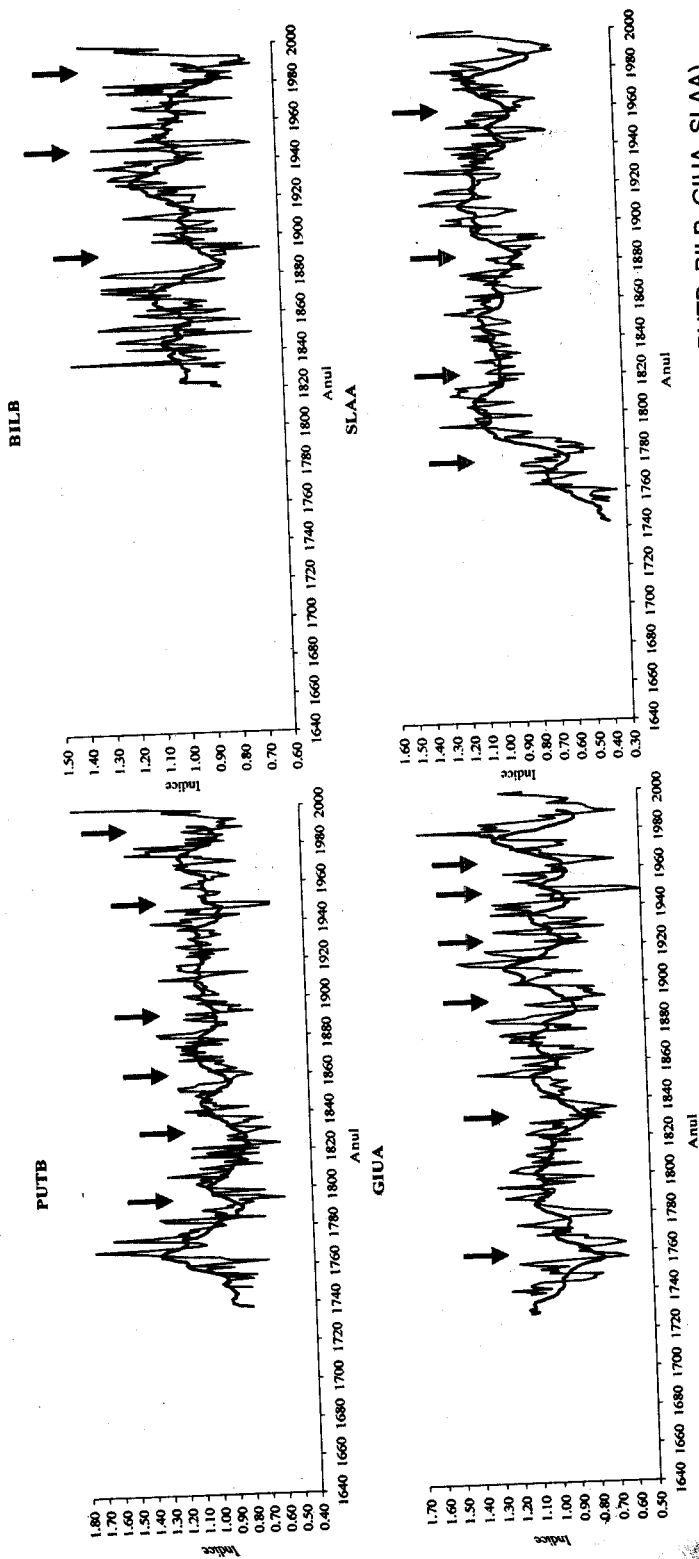


Fig. 10a. Dinamica indicilor de creștere primari sub impactul factorilor perturbatori (seriile dedrocronologice PUTB, BILB, GIUA, SLAA)





cauză posibilă o revigorare a creșterii radiale, ca urmare a secetei din perioada anterioară.

Eliminarea influenței vârstei prin standardizare primară determină o accentuare a alternanței perioadelor cu creștere accelerată cu perioade de reducere a acesteia. Perturbările identificate în cazul seriilor de creștere sunt evidențiate mult mai bine în cazul indicilor primari. Analiza comparativă a semnalelor extrase permite stabilirea prin interdatare a unor evenimente eoliene cu efecte catastrofale, ele afectând toate seriile dendrocronologice. O altă perioadă cu activitate eoliană foarte activă este cea din anii 1880–1890, identificabilă în semnalul din seria GIUA, SLAA, BILB, PUTB. Această doborâtură este menționată și în analele vremii, fiind datată în 26 iunie 1885 în Moldova de nord (Fischer, 1899). Cea mai veche perturbare clară identificată se remarcă în seria pentru zâmbru – BILD, datând din anul 1730–1735.

Aplicând aceste metode de analiză dendroecologică la scară micro se poate reface dinamica temporală și spațială a structurii ecosistemelor forestiere, obținându-se informații extrem de utile privind direcțiile de evoluție a acestora sub impactul factorilor de mediu.

### 3.3.3. Cercetări de dendroclimatologie

*Climatul influențează creșterea arborilor!* Acest concept general acceptat reprezintă fundamentul cercetărilor de dendroclimatologie. Variația creșterii radiale a arborilor poate fi corelată cu variația unuia sau mai multor parametri climatici cunoscuți ca fiind determinanți ai proceselor de creștere. În acest caz este posibilă găsirea unei relații statistice între creștere și factorii de mediu, care poate fi utilizată la deducerea sau reconstrucția variațiilor trecute ale parametrilor climatici în baza variațiilor parametrilor inelului anual. Lățimea inelului anual al arborelui variază de la an la an într-o manieră mai mult sau mai puțin regulată, o mare parte din această variabilitate fiind datorată condițiilor climatice particulare anterioare și actuale ale perioadei de creștere. Gradul de relație dintre inelul anual și parametri climatici depinde de amplitudinea ecologică a speciei, proximitatea de condiții climatice extreme, amplitudinea de variabilitate a factorilor care influențează creșterea etc. Variația caracteristicilor inelului anual poate fi corelată cu variația unuia sau mai multor factori de mediu cu influență asupra proceselor biologice care conduc la formarea inelului anual.

Din punct de vedere al dendroclimatologiei, variația lățimii inelului anual, sau a unui alt parametru al acestuia indusă de factorii climatici, este similară cu semnalul dintr-un sistem de comunicație, iar variațiile datorate factorilor nonclimatici fiind asimilate cu zgomotul asociat acestui semnal. Conform acestei similitudini, seriile de indici de creștere din zonele cu optim climatic pentru specia respectivă au un raport semnal – zgomot redus, în comparație cu seriile dendrocronologice pentru arborii de la limita arealului care prezintă un ridicat raport semnal – zgomot.

În unele situații este posibilă stabilirea unor relații statistice între creșteri și condițiile de mediu, relații care pot fi utilizate pentru deducerea sau reconstituirea variațiilor trecute ale factorilor de mediu în baza dinamicii creșterilor radiale. Aceste metode statistice de cuantificare a relației climat – creștere se regăsesc sub denumirea de metode de calibrare. În teoria paleoclimatologiei calibrarea implică găsirea și cuantificarea unui model statistic care poate fi aplicat la unul sau mai mulți predictorii – variabile dependente – pentru estimarea sau reconstituirea unui predictant – variabila independentă. În cazul seriilor dendrocronologice variabile implicate în procesul de calibrare sunt indicii de creștere și parametrii climatici, în special temperaturile și precipitațiile medii lunare. Un set de date (variabile independente și dependente), denumit set de calibrare, este utilizat pentru estimarea coeficienților modelului statistic. Restul datelor, denumit set de verificare, este utilizat pentru estimarea gradului de fiabilitate a modelului.

În cazul în care indicele de creștere este variabila independentă, iar parametrii climatici reprezintă variabilele dependente modelul statistic este cunoscut ca funcție de răspuns (coeficienții modelului descriu cum arborele răspunde la factorii climatici). În situația în care indicii de creștere sunt variabile explicative, iar parametrii meteorologici constituie variabila explicată, ecuațiile statistice sunt denumite funcții de transfer (variația creșterilor radiale anuale este transferată în reconstituirea climatului). În cazul funcțiilor de răspuns amplitudinea și semnul coeficienților modelului statistic exprimă gradul de importanță și direcția de reacție (răspuns) a arborilor la variația parametrilor climatici utilizați pentru calibrare. În general semnificația coeficienților funcțiilor de transfer nu este ușor de interpretat, aceștia fiind aplicați la indici de creștere pentru reconstituirea variației trecute a climatului.

Modelele statistice (funcții de transfer sau de răspuns) nu vor putea include toți factorii determinanți ai creșterii; acestea trebuie să surprindă acele componente ale sistemului esențiale pentru obiectivele urmărite. Procesul de calibrare în dendroclimatologie este fundamentat pe o serie de ipoteze teoretice:

- relația climat – creștere care se modelează este considerată stabilă în timp. Factorii și procesele care acționează în prezent au acționat și în trecut (Fritts, 1976);
- condițiile climatice din trecut pot fi reconstituite din variația creșterilor anuale, numai dacă condițiile din perioada de calibrare sunt similare cu cele din trecut;
- relația din variabile explicative și cele explicate trebuie să fie similară modelului statistic utilizat. De exemplu, pentru o relație funcțională de tip liniar se va apela la un model statistic regresiv liniar;
- testarea semnificației parametrilor statistici ai modelului are la bază ipoteza normalității acestora;
- independența datelor utilizate este esențială pentru majoritatea procedurilor de statistice de calibrare.

Existența dependenței din variabile, sau a autocorelației dintre observațiile succesive în timp și spațiu reduce semnificativ numărul gradelor de libertate.

Cercetările complexe de fiziologie a creșterii, au arătat că rareori procesul de formare a inelului anual este determinat de un singur factor limitativ, variația caracteristicilor inelului anual fiind rezultanta acțiunii conjugate și integrate a mai multor factori de mediu. Bineînțeles, unul dintre factorii de mediu limitativi este predominant, dar și acțiunea acestuia variază în cursul anului, atât ca intensitate cât și ca importanță. Cel mai bine relația creștere – climat este reprezentată de un sistem complex cu diferite variabile incluse într-o relație funcțională. Abordarea logică a procesului de calibrare constă în includerea tuturor parametrilor climatici ca explicativi ai creșterii și utilizarea unor tehnici statistice specifice în stabilirea importanței fiecărei variabile.

Expresia generală a funcțiilor de răspuns este de tipul (Fritts, 1976):

$$W_i = \sum_{j=1}^J a_j T_{ij} + \sum_{k=1}^K b_k P_{ik} + \sum_{t=1}^T c_t C_{it} + \sum_{l=-m}^{-1} d_l W_l$$

unde:

$W_i$  reprezintă indicele de creștere al inelului anual din anul  $i$ ,  $i = 1, \dots, N$ ;

$T_{ij}$  – temperatura lunară medie corespunzătoare anului  $i$ ,  $j$  numărul de luni;

$P_{ik}$  – precipitațiile medii lunare corespunzătoare anului  $i$ ,  $k$  numărul de luni;

$C_{it}$  – alt parametrul climatic corespunzător anului  $i$ ,  $t$  număr de luni;

$W_l$  – indicele inelului anual din anul  $l$  precedent anului  $i$ ;

$a_j, b_k, c_t, d_l$  – coeficienții modelului statistic.

Calibrarea acestui model statistic general de răspuns al arborelui la modificările factorilor climatici necesită utilizarea unor tehnici de analiză multivariabilă a datelor din domeniul metodelor regresive. Ipoteza de la care se pleacă în cazul regresiei multiple liniare este liniaritatea relației din variabila explicată și variabilele explicative, precum și distribuția normală a setului de date utilizate la calibrare. Numărul mare de variabile incluse în model face dificilă decelarea influențelor diferiților factori climatici. Metoda regresiei multiple în trepte determină o reducere a numărului de variabile explicative, a intercorelației dintre acestea, selectând un subset de variabile puternic corelate cu variabila explicată, dar nu și între ele. Metoda, în mod progresiv, prin includerea sau excluderea unor variabile independente (conform unor criterii statistice clare), îmbunătățește ecuația de regresie în acord cu reducerea erorii medii pătratice.

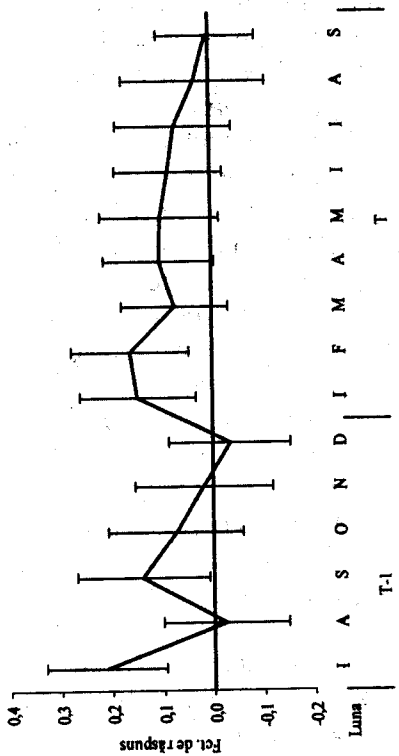
Această formă a funcțiilor de răspuns oferă însă o măsură limitată a efectului climatului asupra creșterii arborilor. A considera că numai parametrii climatici testați drept semnificativi în cadrul modelului regresiv multiplu sunt determinanți ai indicelui de creștere, iar restul nu au o influență

semnificativă reprezintă o abordare simplistă. Mult mai mulți factori climatici concură la determinarea inelului anual, inclusiv lungimea perioadei analizate, numărul de variabile incluse în model, coliniaritatea dintre variabilele independente, distanța față de stația meteorologică, variabilitatea răspunsului de la un arbore la altul, erorile de măsurare etc. În cazul în care variabilele explicative, respectiv parametri climatici, sunt corelați între ei, apar probleme de ordin procedural în cuantificarea coeficienților modelului statistic regresiv. Aceste neajunsuri metodologice pot fi eliminate prin transformarea variabilelor independente într-un set de variabile ortogonale, respectiv necorelate numite componente principale. Modelul regresiv multiplu în trepte, clasic de estimare a funcțiilor de răspuns a fost modificat (Fritts, 1976) aplicând analiza regresiei multiple după extragerea componentelor principale din matricea de corelații a variabilelor climatice și a indicilor de creștere din perioadele precedente. Variabilele normalizate sunt multiplicare cu ponderea componentelor principale obținându-se factorii principali care constituie un model ortogonal, cu autocorelații minime, ale factorilor climatici și creșterilor anterioare inițiale. Coeficienții regresiei obținute pentru setul de componente principale selectate în procesul regresiei multiple în trepte sunt transformați matematic într-un set nou de coeficienți corespunzători variabilelor explicative inițiale. O serie dintre componentele principale explică o parte foarte mică din varianță, acestea fiind excluse din analiză utilizând criteriul PVP (Guiot, 1991). Coeficientul de determinare multiplu indică gradul în care variabilitatea cronologiei actuale este explicată prin parametri climatici din model. Semnificația coeficienților funcțiilor de răspuns este adeseori supraestimată, datorită corelației din factorii climatici și creșterile anterioare.

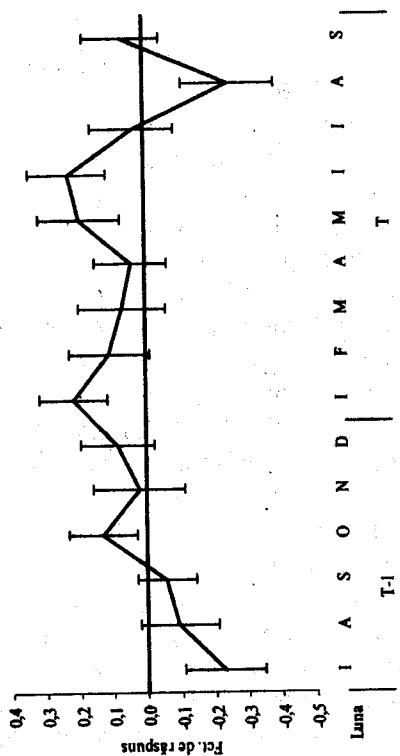
Metoda *bootstrap* este o tehnică recentă de estimare a erorii standard a estimatorilor statistici bazată pe repetiția calculelor de  $k$  ori pe seturi de  $n$  date extrase randomizat din setul complet de date. Aplicarea metodei *bootstrap* permite estimarea erorii standard pentru fiecare coeficient de regresie prin repetiția cuantificării modelului de un număr suficient de mare de ori, luând în calcul, în mod randomizat, un număr  $k$  de ani dintr-un total de  $k + j$  ani,  $j$  reprezentând anii de verificare a modelului. Astfel se obțin  $k$  coeficienți de regresie pentru fiecare variabilă, media lor reprezentând valorile finale. Această tehnică de estimare a erorii standard a funcțiilor de răspuns a fost aplicată cu programul PRECON (Fritts 1976) pentru seriile dendrocronologice de molid și brad din zona Câmpulung Moldovenesc (fig. 11, 12).

În cazul molidului, respectiv seriile dendrocronologice GIUA și SLAA, se remarcă o corelație negativă, semnificativă, cu temperaturile de la sfârșitul sezonului de vegetație anterior (iulie, august, septembrie) și pozitivă cu precipitațiile din această perioadă. Același tip de reacție privind sezonul de vegetație anterior este prezentă și în cazul bradului, dar de intensitate mai mică. Fiziologic explicația poate fi dată de procesele de formare a mugurilor și a acumulărilor de substanțe nutritive necesare declanșării proceselor

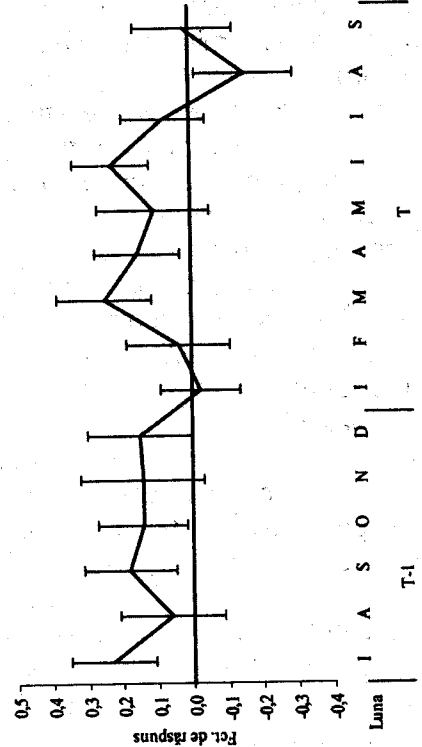
PREC - CIUA



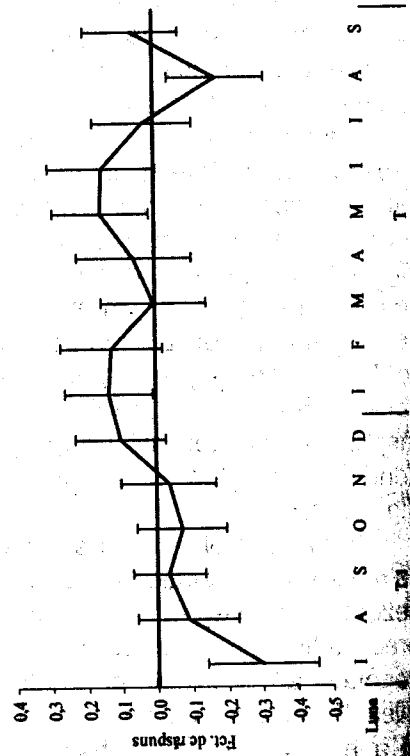
TEMP - CIUA



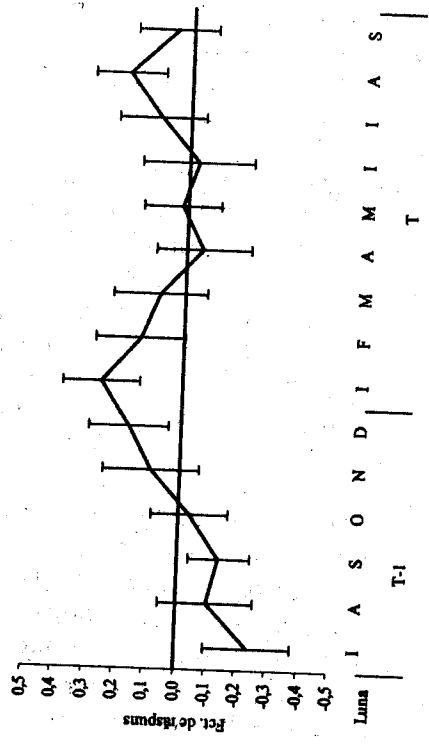
PREC - SLAA



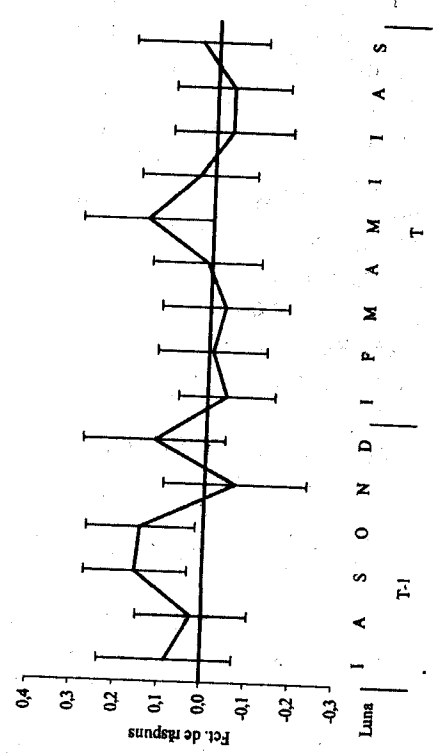
TEMP - SLAA



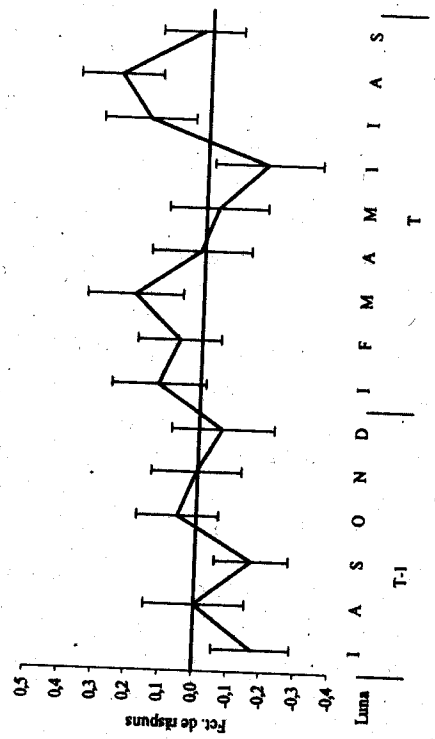
TEMP - SLAB



PREC - SLAB



TEMP - DEMA



PREC - DEMA

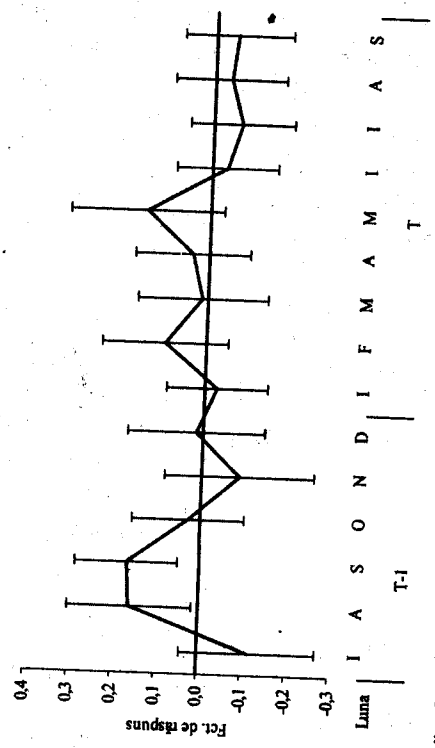


Fig. 12. Funcțiile de răspuns pentru bradul din Codrul Secular Slătioara și Demacuşa

fiziologice din sezonul următor. În ceea ce privește sezonul de vegetație actual, molidul prezintă o reacție pozitivă, semnificativă (GIUA – februarie, aprilie, SLAA – aprilie, iulie) la regimul precipitațiilor. Regimul termic de la sfârșitul sezonului de repaus vegetativ și de la începutul sezonului de vegetație, lunile ianuarie – iunie, induce un răspuns pozitiv din partea molidului. Răspunsul molidului la modificarea regimului termic din sezonul de vegetație (lunile iulie – august) este negativ, temperaturile ridicate determinând direct și indirect o reducere a ritmului de creștere în diametru. În cazul seriei dendrocronologice din Codrul Secular Giumalău – GIUA – temperatura din luna august este negativ și semnificativ corelată cu indicele de creștere. Sfârșitul sezonului de vegetație, respectiv luna septembrie, are o influență pozitivă asupra creșterii sub aspectul regimului termic, reacția fiind negativă la regimul pluviometric.

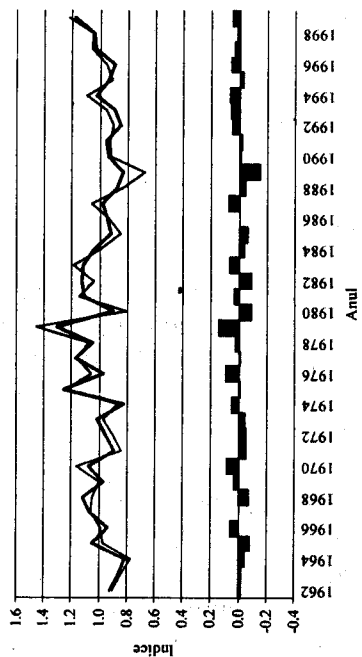
În cazul bradului se menține reacția pozitivă, chiar foarte puternică și semnificativă în cazul seriei de indici de creștere din Slătioara – SLAB, la temperaturile din sezonul rece (lunile decembrie – martie). Același răspuns pozitiv este vizibil și în cazul temperaturilor din sezonul de vegetație (iulie – august), pentru seria de indici din bazinul Demacușa, corelația fiind semnificativă în cazul temperaturii din luna august. Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație (aprilie – iunie) determină o accelerare a ritmului de creștere radială, dar corelația este nesemnificativă din punct de vedere statistic.

Interesant este comportamentul antagonist al molidului și bradului în cazul regimului termic din lunile iulie – august. Ambele specii prezintă o reacție semnificativă statistic la acest factor climatic, dar de sens invers. Molidului își reduce creșterea, exprimată prin indici de creștere, pe când bradul înregistrează o accelerare a proceselor biologice de acumulare de biomasă în inelul anual.

Analiza comparativă a seriilor de indici de creștere reali și estimați prin modelele statistice indică o foarte bună fiabilitate a funcțiilor de răspuns. Distribuția erorilor reziduale este aleatoare, excepție făcând perioada 1985 – 1992 în cazul seriilor dendrocronologice din Slătioara (molid și brad) și Demacușa când modelul statistic supraestimează sistematic indicii de creștere. Explicația poate fi găsită în prezența unui semnal perturbator cu manifestare intensă în această perioadă, ipoteza care se emite fiind prezența unor fenomene de poluare intensă. Această manifestare este foarte evidentă mai ales în cazul molidului din Codrul Secular Slătioara – SLAA (fig. 13).

Reconstituirea variabilității parametrilor climatici în trecut reprezintă una dintre provocările dendroclimatologiei actuale. O abordare tipică a dendroclimatologiei constă în identificarea parametrului climatic căruia îi corespunde variația lățimii inelului anual din trecut. Funcțiile de transfer se obțin într-o manieră similară funcțiilor de răspuns, deosebirea fiind dată de utilizarea indicilor de creștere drept variabile independente și a parametrilor climatici drept variabile dependente. Pornind de la aceste considerente, s-a

GEUA



SLAA

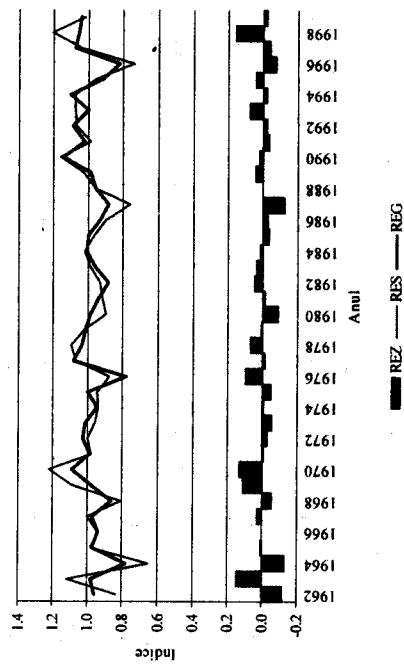
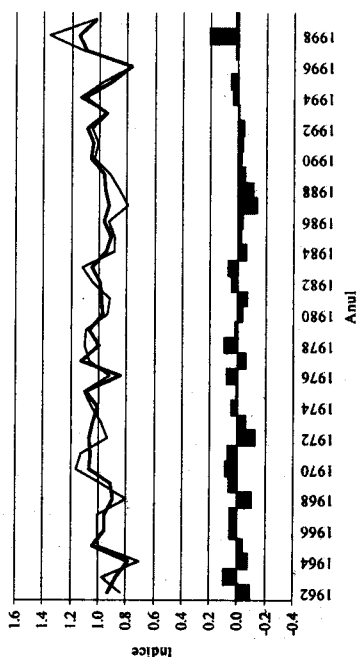
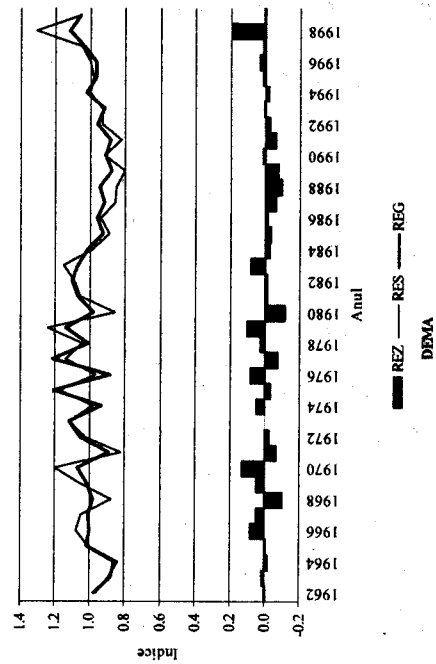


Fig. 13. Indici de creștere reali și estimări prin funcțiile de răspuns.



procedat la analiza și reconstituirea variației trecute a unor parametri climatici de la stația Câmpulung Moldovenesc. Perioada de calibrare aleasă este între 1961–1980, iar cea de verificare între 1981–1999. S-au ales aceste intervale datorită stabilității mai mari a perioadei anterioare anilor 1980 sub raportul influențelor antropice de tipul poluării atmosferice în zona cercetată. Pentru calibrarea funcțiilor de transfer se pot utiliza atât seriile dendrocronologice independente, cât și componentele principale extrase din mai multe serii de indici de creștere. Se vor prezenta comparativ modelele statistice de reconstituire a unor parametri meteorologici din zona Câmpulung Moldovenesc cuantificate atât în baza seriilor dendrocronologice pentru molid (GIUA, SLAA), brad (SLAB și DEMA), cât și componentele principale extrase din combinația acestor serii.

Analiza corelației dintre indicii de creștere și parametrii meteorologici permite identificarea acelor factori a căror reconstituire este fiabilă. Pentru stația Câmpulung Moldovenesc s-au utilizat următoarele modele statistice pentru estimarea dinamicii trecute a temperaturii lunii martie, respectiv a precipitațiilor lunii septembrie :

$$T_{-3}(t) = -7,50 + 8,07 \cdot GIUA(t) \quad R^2 = 0,394$$

$$T_{-3}(t) = -8,81 + 9,31 \cdot SLAA(t) \quad R^2 = 0,293$$

$$T_{-3}(t) = -9,70 + 10,40 \cdot SLAB(t) \quad R^2 = 0,322$$

$$T_{-3}(t) = -4,96 + 5,72 \cdot DEMA(t) \quad R^2 = 0,124$$

$$P_{-9}(t) = -96,23 + 150,1 \cdot GIUA(t+1) \quad R^2 = 0,342$$

$$P_{-9}(t) = -130,8 + 182,7 \cdot SLAA(t+1) \quad R^2 = 0,273$$

$$P_{-9}(t) = -69,2 + 126,7 \cdot SLAB(t+1) \quad R^2 = 0,114$$

$$P_{-9}(t) = -43,4 + 102,3 \cdot DEMA(t+1) \quad R^2 = 0,089$$

Analiza grafică a temperaturilor lunii martie, reconstituite prin funcțiile de transfer indică o bună concordanță între temperaturile reale și cele estimate pentru perioada de calibrare și verificare. Funcțiile de transfer calibrate în baza indicilor de creștere de la brad sunt mult mai fiabile, coeficienții de corelație între temperaturile reale și cele estimate prin model, pentru perioada de verificare 1981–1999, sunt de 0,439 – SLAB și 0,568 pentru seria din Demacuşa – DEMA (fig. 14a și 14b). Începuturile de sezon cu temperaturi medii foarte scăzute sunt surprinse de către toate seriile de indici de creștere, datorită efectului negativ pe care îl au asupra proceselor fiziologice de creștere a arborilor. Astfel de perioade sunt cele din anii 1964 (–1.9°C), 1947, 1929 sau 1799 cu temperaturi în jur de –2°C, precum și anii cu primăveri foarte calde (1927), care induc un efect pozitiv. Regimul termic din perioada de verificare din anii 1980–1999 în cazul lunii martie este reconstituită fidel de toate funcțiile de transfer.

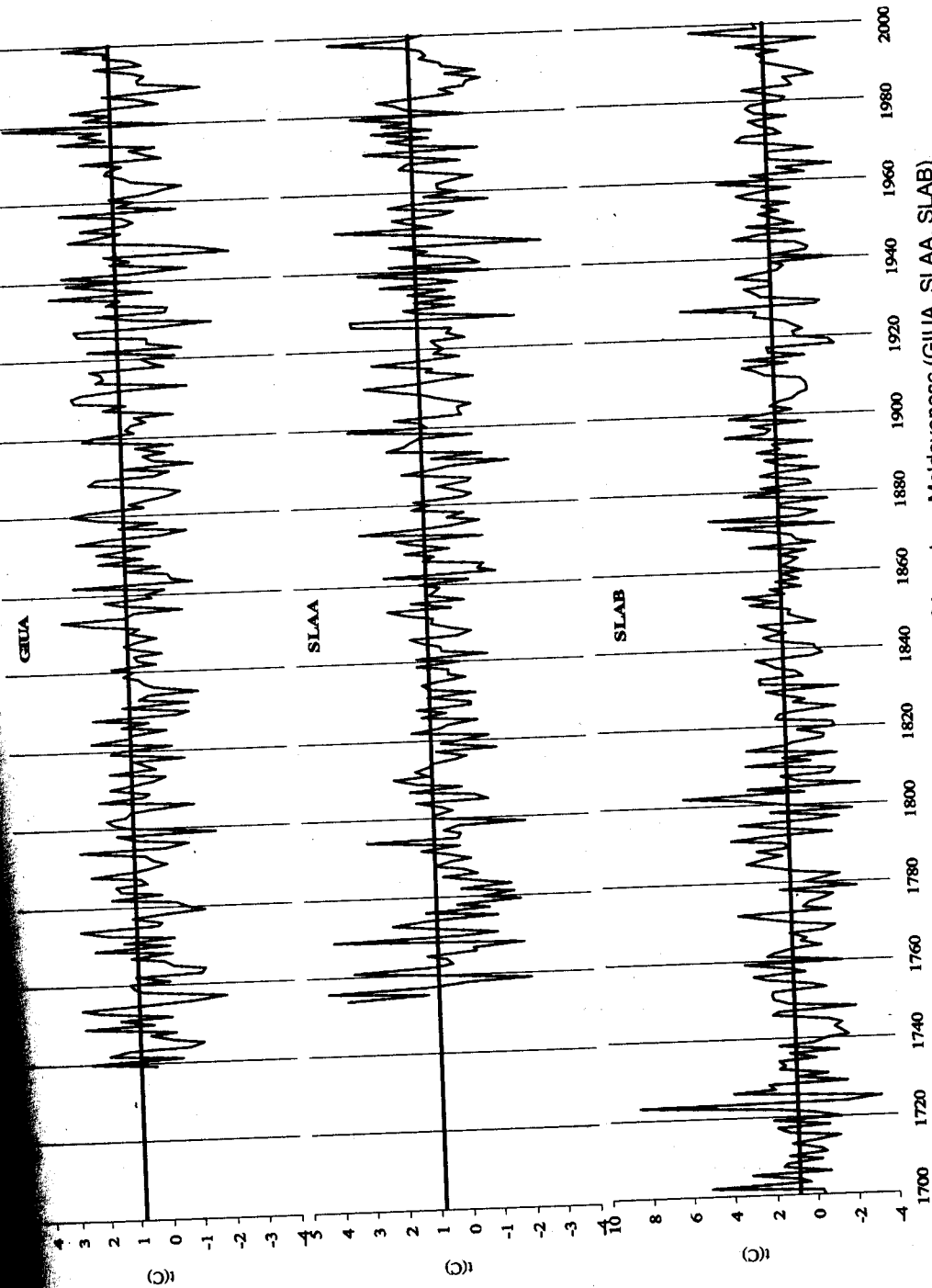


Fig. 14a. Reconstituirea temperaturii lunii martie – Cămpulung Moldovenesc (GIUA, SLAA, SLAB)

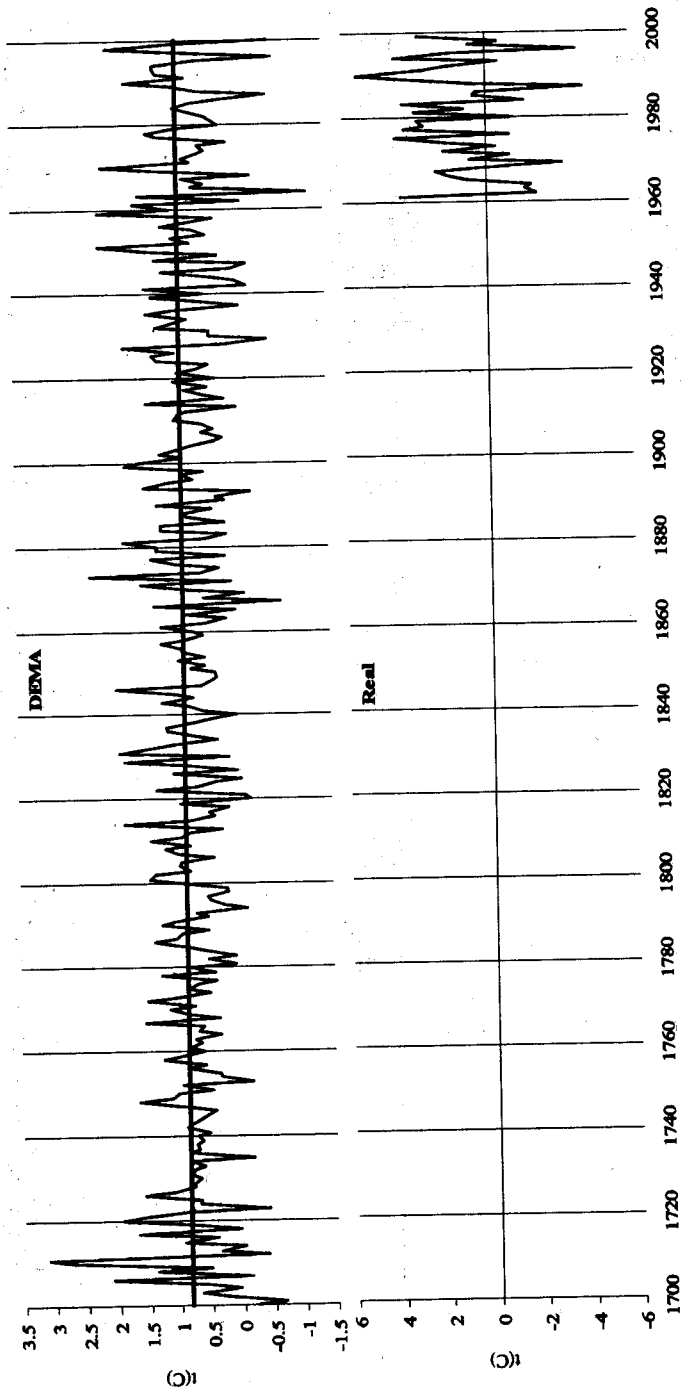


Fig. 14b. Reconstituirea temperaturii lunii martie - Câmpulung Moldovenesc (DEMA, Real)

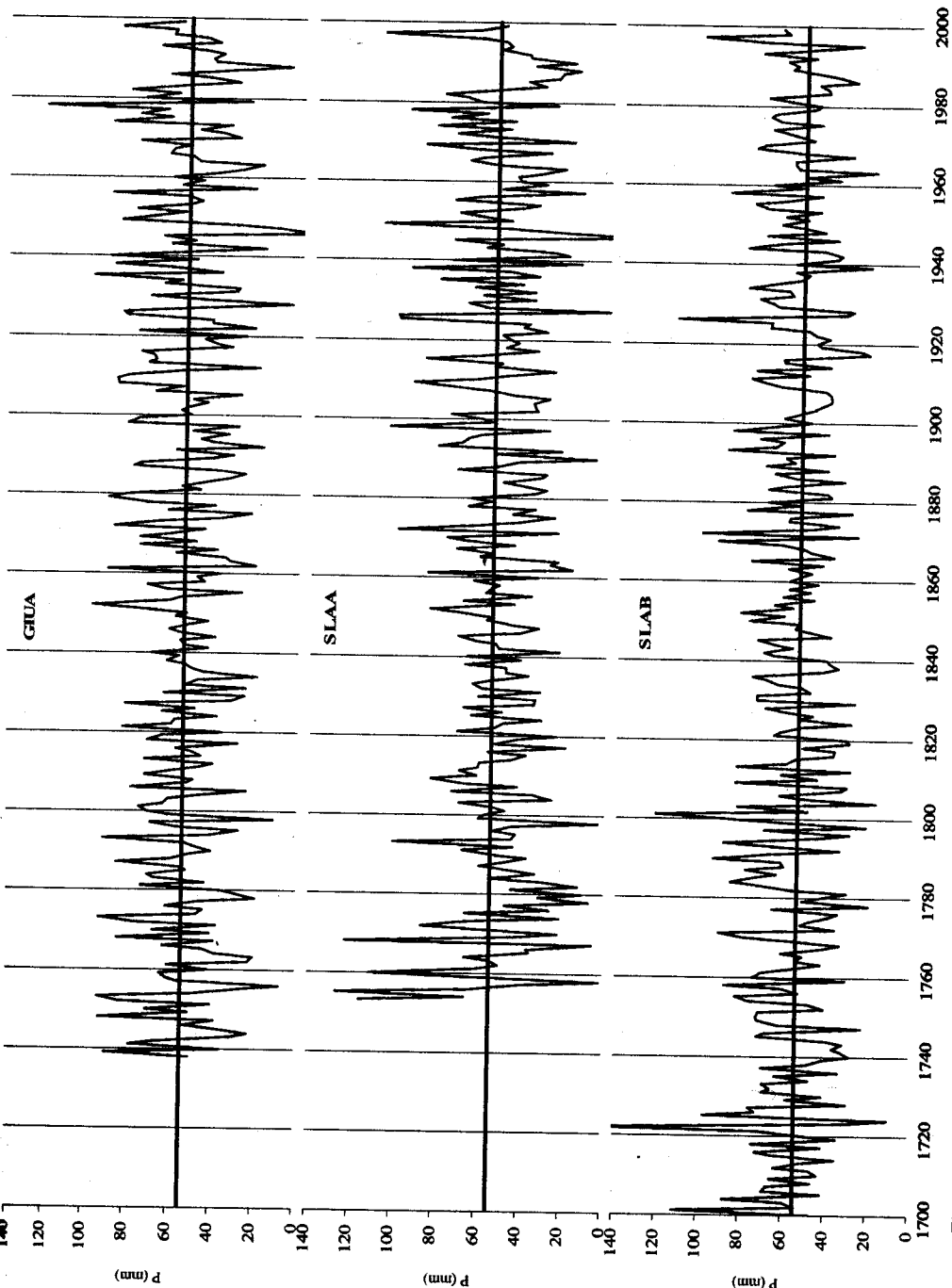


Fig. 15a. Reconstituirea regimului pluviometric al lunii septembrie – Cămpulung Moldovenesc (GIUA, SLAA, SLAB)

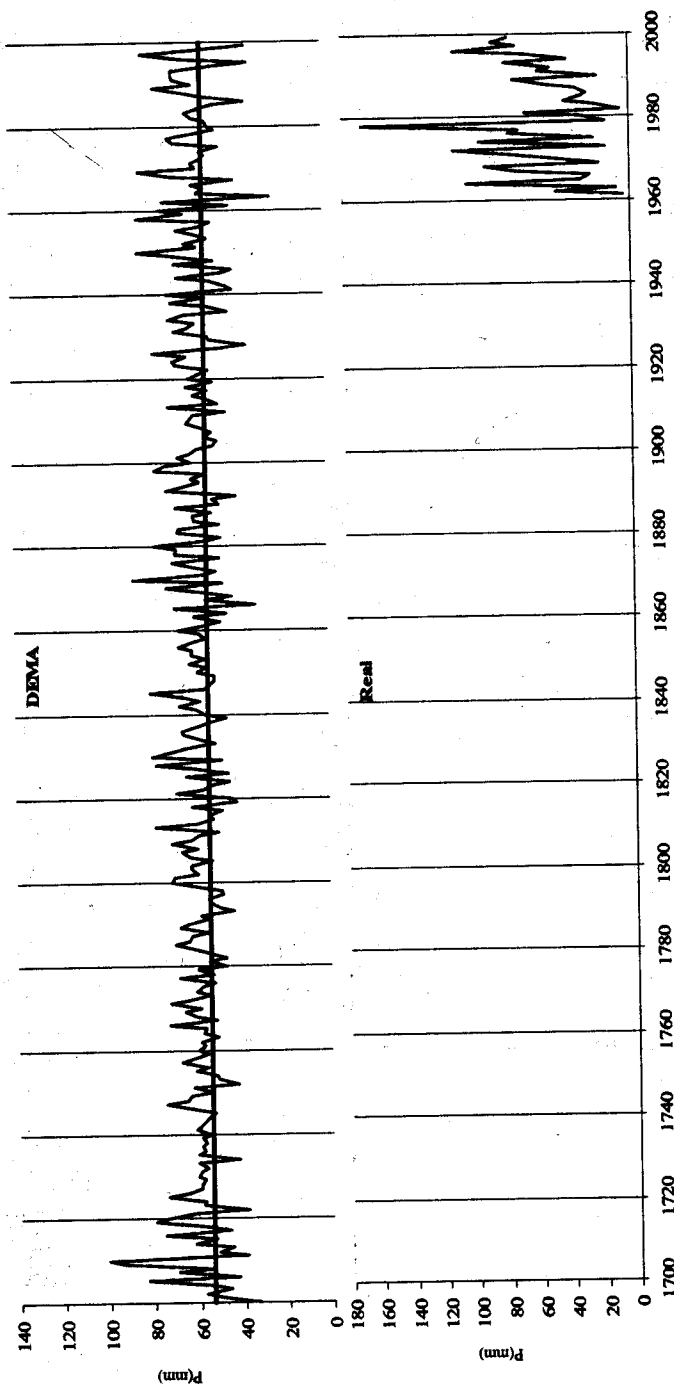


Fig. 15b. Reconstituirea regimului pluviometric al lunii septembrie – Cămpulung Moldovenesc (DEMA, Real)

Deficitul de precipitații de la sfârșitul sezonului de vegetație din perioada 1982–1989 (perioadă de verificare) este evidențiat de toate seriile dendrocronologice, în seria de indici de creștere fiind surprinsă și redresarea regimului pluviometric din anii următori (fig. 15a și 15b). Seria dendrocronologică pentru bradul din Demacușa a generat o funcție de transfer mult mai uniformă sub raportul variabilității, dată fiind distanța mai mare față de stația meteorologică. Perioadele de secetă pronunțată de la începutul toamnei sunt prezente în toate funcțiile de transfer, mai pronunțate în cazul molidului. Astfel de perioade (1946, 1927, 1890, 1862) cu precipitații sub 10 mm sunt confirmate și de unele scripte istorice ca fiind toamne secetoase.

Verificările efectuate prin compararea parametrilor climatici reconstituiți cu dinamica perioadelor de secetă (Topor 1963) și a înregistrărilor istorice de la stația Câmpulung din perioada 1930–1960 confirmă fiabilitatea funcțiilor de transfer propuse.

#### 4. PERSPECTIVE ALE DENDROCROLOGIEI ÎN ROMÂNIA

Lipsa cercetărilor dendrocronologice românești din circuitul informațiilor din domeniu, coroborată cu potențialul dendrocronologic ridicat al ecosistemelor forestiere, impune o intensificare a cercetărilor în acest domeniu. Principalele direcții de orientare a dendrocronologiei românești, într-o primă etapă, trebuie să vizeze următoarele aspecte:

- Implementare rețelei de dendrocronologie naționale și integrarea acestei în rețeaua europeană și mondială. În sistemul internațional, România apare numai cu două serii dendrocronologice pentru molid elaborate în 1984 de Schweingruber (1990), neilustrând realul potențial dendrocronologic al ecosistemelor carpatine.
- Realizarea și dotarea corespunzătoare a unui laborator de dendrocronologie. Realizarea unui laborator de dendrocronologie, dotat la standarde europene, creează premisa integrării și recunoașterii acestuia în cadrul rețelei europene de laboratoare de dendrocronologie.
- Analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice pentru întreg spațiul carpatin, atât prin intermediul indicilor de creștere, cât și a funcțiilor de răspuns la factorii climatici. Aplicarea metodelor moderne de analiză statistică multivariabilă – metoda componentelor principale – pentru întreaga rețea de dendrocronologie, va permite efectuarea unor studii de finețe privind reacția arborilor la modificarea climatului general și local în raport cu specia, zona ecologică.
- Reconstituirea dinamicii structurii ecosistemelor forestiere naturale prin tehnici de dendroecologie. Metodele puse la dispoziție de dendrocronologie constituie un instrument eficient de analiză a modificărilor structurale care intervin în ecosistemele forestiere oferind fundamentul prognozei direcțiilor de evoluție a acestora.

Stabilirea prin tehnici de dendroecologie a frecvenței și intensității factorilor perturbatori oferă suport științific factorilor decizionali din domeniul forestier.

- Reconstituirea dinamicii parametrilor meteorologici și a climatului în ansamblu în baza indicilor de creștere. Cunoașterea variației istorice a climatului României reprezintă o componentă de bază a strategiilor de gestionare durabilă a ecosistemelor forestiere în condițiile actuale ale schimbărilor climatice majore care au loc. Inelul anual al arborilor oferă informațiile necesare cuantificării paleoclimatului, dendroclimatologia dispunând de instrumente și tehnici adecvate acestor tip de cercetări și investigații.
- Datarea vestigiilor istorice realizate din lemn capătă noi valențe în condițiile utilizării tehnicilor de dendrocronologie. Recentele cercetări privind datarea bisericilor de lemn din Maramureș (Babos și Eggertsson, 2002) au condus la rezultate edificatoare.

## BIBLIOGRAFIE

- Babos A., Eggertsson O., 2002. *The wooden Churches of Maramureș Northern Romania*, [www.geol.lu.se/personal/ore/maramures/](http://www.geol.lu.se/personal/ore/maramures/).
- Barbu I., 1989. *Stabilirea măsurilor de prevenire și combatere a fenomenului de uscare a bradului și molidului*. Referat științific. ICAS. Câmpulung Moldovenesc.
- Barbu I., 1991. *Moartea bradului*. Ed. Ceres. București, 276 p.
- Bitvinskas T. T., 1974. *Dendroclimatic research*. Hidrometeoizdat Publishing House. Lenin-grad. 172 p.
- Borlea F., 1999. *Stabilirea de serii dendrocronologice pe termen lung la stejari*. Referat științific final. ICAS. București.
- Briffa K. R., Bartholin, T. S., Eckstein, D., Jones, P. D., 1990. A 1400 year tree ring record of summer temperature in Fenoscandia. *Nature*. 346: 434–439
- Cenușă R., 1997. *Cercetări asupra dinamicii structurale a ecosistemelor de pădure de la limita altitudinală de vegetație pentru menținerea echilibrului ecologic*, Referat științific. I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A. (eds.), 1990. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer. 394 p.
- Douglass A. E., 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*. 39: 825–831.
- Dumitriu-Tătăranu I., Popescu M., 1988. Investigarea dendrocronologică a unui trunchi subfossil de stejar. *Studii și cercetări de biologie. Seria Biologie vegetală*. Tomul 40. Ed. Academiei Române.
- Eckstein D., Aniol R. W., 1981. Dendroclimatological reconstruction of the summer temperature for an alpine region. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*. 142: 391–398.
- Fischer E., 1899. *Die Bukowina*. Cernăuți.
- Flocea M., 1992. *Cercetări auxologice și dendrocronologice în arboretele de molid cu fenomene de uscare anormală*, Referat științific final. I.C.A.S. București. 42 p.
- Fritts H. C., 1976. *Tree rings and climate*, Academic Press. London. 567 p.
- Fritts H. C., Swetnam T. W., 1989. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Adv. Ecol. Res.* 19: 111–188.
- Giurgiu V., 1967. *Studiul creșterilor la arborete*. Ed. Agro-silvică. București. 322 p.

- Giurgiu V., 1974. *Cercetări privind variația ciclică a creșterilor la arbori*. Studii și cercetări. ICAS. vol. XXX. 261–275.
- Giurgiu V., 1977. *Variația creșterilor la arbori, starea timpului și anii de secetă*. Academia de științe Agricole și Silvice. Buletin informativ 5. 222–235.
- Giurgiu V., 1979. *Dendrometrie și auxologiei forestieră*. Ed. Ceres, București. 692 p.
- Giurgiu V., 1987. *Dendrocronologia ca metodă de cercetare a istoriei poporului român*. În: Pădurea și poporul român (Șt. Pascu et al., Academia R.S. România, Filiala Cluj-Napoca). Cluj-Napoca, pp. 15–22.
- Giurgiu V., 2003. *Dimensiunea europeană a potențialului științific al pădurilor românești*. ICAS, Anale, vol. 1, pp. 2–9.
- Graybill D. A., 1982. Chronology development and analysis. In *Climate from tree rings* (eds. Hughes M. K., Kelly P. M., Pilcher J. R.) Cambridge University Press. 21–28.
- Guiot J., 1991. The bootstrapped reponse function. *Tree Ring Bulletin* 51: 39–41.
- Hughes M. K., Kelly, P. M., Pilcher, J. R. (eds.), 1982. *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. 223 p.
- Iacob, I. C., 1998. *Cercetări auxologice în arboreta naturale pluriene de fag cu rășinoase din Bucegi și Piatra Craiului*. Rezumat teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare. Suceava. 60 p.
- Ianculescu M, A. Tisescu 1989. *Cercetări auxologice și dendrocronologice în arboretele de brad afectate de fenomenul de uscare*. I.C.A.S. Seria II. București, 87 p.
- Ianculescu M., 1977. *Influența poluării aerului asupra creșterii pădurilor*. Redacția de propagandă tehnică agricolă. Seria II. București.
- Ianculescu M., 1987. *Cercetări privind dinamica fenomenului de poluare industrială a pădurilor din zona Copșa Mică*. Referat științific final. ICAS, București.
- Ianculescu M., 1975. *Aspecte metodologice privind determinarea pierderilor de creștere în diametru la arboretele poluate*, M.E.F.M.C. Studii și Cercetări. Silvicultură. Seria I. vol. XXXIII. București.
- Jacoby. G. C., D Arrigo R. D., Davaajamts T., 1996. Mongolian tree rings and 20th Century warming. *Science* 273: 771–773.
- Pânzaru G., Soran V., 1983. *Dendroecologia zâmbrului (Pinus cembra L.) din Rezervația Biosferei Pietrosu Mare, Munții Rodnei*. *Rezervația naturală Pietrosul Rodnei la 50 ani*. Baia Mare.
- Popa I., 2002. *Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie*. Referat științific final. ICAS. Câmpulung Moldovenesc.
- Schulman E., 1958. Bristlecone pine, oldest know living thing. *Nat. Geogr. Mag.* 113: 355–372.
- Schweingruber F. H., 1985. Dendroecological zones in the coniferous forests of Europe. *Dendrochronologia* 3: 67–75.
- Schweingruber F. H., 1996. *Tree rings and environment*. *Dendroecology*. Birmensdorf. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. 609 p.
- Schweingruber F. H., Braker O. U., Schar E., 1987. Temperature information from a European dendroclimatological sampling network. *Dendrochronologia*. 5: 9–34.
- Schweingruber F. H., D. Eckstein. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9–39.
- Seghedir T., 1977. *Parcul Național al Munților Rodnei. Ocrotirea naturii și mediului înconjurător*. Tomul 21(1).
- Serre-Bachet F., 1985. La dendrochronologie dans le bassin mediterraneen. *Dendrochronologia*. 3 : 77–92.
- Soran V., Gârlea D., 1981. *Cercetări asupra dendrocronologiei și dendroecologiei zâmbrului din Munții Retezat*. *Ocrotirea naturii și mediului înconjurător*.
- Tisescu A., 1988. *Cercetări de auxologie și dendrocronologice în arboretele de gorun și stejar cu fenomene de uscare*. Referat științific final. ICAS. București.



- Tissescu A., 1989. Aportul dendrocronologiei la relevarea echilibrului ecosistemelor forestiere. *Lucrările conferinței de ecologie: Strategii pentru asigurarea echilibrelor ecologice*. Iași.
- Tissescu. A., 1990. Cercetări privind elaborarea seriilor dendrocronologice la gorun – *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. și stejar penduculat – *Quercus robur* L.. *Revista pădurilor*. 105(1): 26–31.
- Topor. N. 1963. *Ani ploioși, ani secetoși în R.P.R.* Ed. Institutului Meteorologic. București. 302 p.
- Villalba R., 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quat. Res.* 34: 346–360.
- White. P. S., Pickett, S. T. A. (eds.), 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press.
- Wilson. J. W., 1964. Annual growth of *Salix arctica* in the high-arctic. *Annals of Botany*. 28: 71–76.

## DENDROCHRONOLOGY IN ROMANIA: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

### ABSTRACT

The Romanian forest ecosystems have a great dendrochronological potential and the elaboration of dendrochronological series for principal species by ecological zones open new directions for the knowledge of forests structure dynamics related to the global climatic change and this must be an imperative of researches from forests and ecological domain. The state of art in Romanian dendrochronological researches can be separated in three distinct phases: studies and researches with exploratory character of the dendrochronological methods, applicative researches in dendroecology (pollution and aspects regarding the dynamics of ecosystem structure) and elaboration of first dendrochronological series.

In the last years there were elaborated 16 index series for Norway spruce, silver fir, stone pine and oak, covered more then 300 years and in variable ecological conditions. Applying the principal component method was possible to study the spatial variability of these dendrochronological series. The first principal component that explains between 35% (all species level) to 60% (same species level), respectively 90% in the case of the same geographic zone, represents the common climatic signal. The ecological significance of the second component is changing from species factor to regional environmental factor, together with the human intervention in the case of series from Rodna Mountains.

Graphical analysis of radial growth series (individual and average) permits the identification of frequency and intensity of great disturbances. The impact of disturbance factors is accentuated by removing age influence, with standardization techniques. Interesting is the disturbance of 1815–1820 from Rodna Mountains which is very evident in the *Pinus cembra* chronology, that coincide with the installation of the stands from

BILC and BILB. We remark the intensity and growth acceleration, a period after the disturbance from years 1745–1772, 1794–1814, 1825–1831, 1867–1881, 1913–1927, 1940–1951, 1964–1970. The oldest disturbance was identified in 1730–1735, in a stone pine ecosystem.

The dendroclimatological application was developed on the basis of spruce and fir chronology and with help of the meteorological parameter from Câmpulung Moldovenesc weather station. The growth of spruce is negative, highly correlated, with the temperature from the end of last vegetation period and positively correlated with the precipitation of the same period. In the case of silver fir, the reaction is similar but less significant. The precipitation regime from the beginning of vegetation season has a positive influence for both species growth. The reaction to temperature of July – August is antagonist, spruce having a reduction of growth and silver fir an acceleration of cambial activity.

By the transfer function, for Câmpulung Moldovenesc region was reconstructed the historical dynamics of March temperature and September precipitation for last 300 years. The years with rainfall over 10 mm 1946, 1927, 1890, and 1862 are confirmed by historic notes like droughts autumn.

The Romanian researches in this field must be oriented to the implementation of dendrochronology network, delimitation of dendro-ecological region on the base of response function to climatic factors, reconstruction of paleoclimate, archeological dating, etc.

*Key words:* dendrochronological series, dendrochronology, dendroclimatology, disturbance, spatial variability.