

## Номенклатура на еустреса при *Abies alba* Mill., основана на холистичен подход, дендрохронология и климат

Марияна Любенова

University of Sofia "St. Kliment Ohridski", 8, Dragan Tzankov, Sofia, 1164 Bulgaria

e-mail: ryana\_1@yahoo.com [ryann@abv.bg](mailto:ryann@abv.bg)

**Абстракт:** Холистичният подход за идентифициране на еустреса при дърветата, като статистически доказано периодично понижаване в радиален растеж на стъблата е обобщен резултат от комплексното негативно въздействие на средата. Основният използван индикатор е растежния индекс (отношение между измерената и изчислената ширина на годишния пръстен чрез апроксимиращи функции). Методиката се основава на класически дендрохронологични анализи и разработен софтуер, SP-PAM. "Поведението" на дървостоя в горска екосистема, моделирано чрез особеностите на еустреса и влияещите го фактори, е надежден показател за установяване на предстоящите промени в съществуването на конкретна горска територия. Периодите на еустрес имат количествена изразеност – степен на намаляване на радиалния растеж, свързано със съответното намаляване на продукцията на биомаса и кислород и на количеството свързан въглероден диоксид. Те имат също и качествена изразеност, т.е. особености като честота, продължителност и дълбочина на еустреса които са резултат от негативното влияние на средата.

**Ключови думи:** дендрохронология, растежен индекс, еустрес, функционален тип (TFT), климатичен тип година (CTY).

### Въведение

Род *Abies* включва около 55 вида [вечнозелени иглолистни дървета](#) от сем *Pinacea*. Дърветата достигат 10-80 m височина и диаметър на стъблото (DBH) 0,5-4 m. *Abies alba* Mill., европейската ела, е разпространена в планините на Европа - от Пиренеите и Нормандия (С. Франция) - на север, до Алпите и Карпатите, Словения, Хърватия, Босна, Херцеговина и Сърбия - на изток и Италия, България и Северна Гърция - на юг [1, 2]. По-голямата континенталност и температурни амплитуди на съвременния климат ограничават разпространението ѝ. Дървесината на елата е умерено мека и бяла, използва се за производство на шперплат и груб дървен материал, също обикновено се препоръчва за вътрешна употреба в строителството и като суровина (пулп) при производството на хартия. Тя не съдържа смола, има добър резонанс и е подходяща за производство на струнни инструменти и в дърводелството. Добивът на елова дървесина е сравнително малък. Кората и дървесината са богати също на антиоксидантни полифеноли [3]. Идентифицирани са шест фенолни киселини, три флавоноида и четири лигнани [4, 5]. Иглите съдържат витамин С и бактерицидни вещества, а от шишарките се произвежда етерично масло, имащо успокояващо действие. Маслото се използва се в парфюмерията, при производството на продукти за баня, както и аерозолни инхаланти [5]. Клоните, листата, кората и дървесината са суровина за производство на бира [6]. Екстрактът от стъблото е средство срещу атеросклероза [7]. Част от видовете са много популярни и се отглеждат за коледни дръвчета, поради ароматните си иглички, които не опадват при изсъхване. Елата е подходящо парково и декоративно дърво. Тя е медоносно растение - еловия мед е с кафяв цвят [8].

Еловите хронологии са обект на интензивни дендрохронологични изследвания, свързани с анатомични и цитологични особености за оценка на влиянието на екологични фактори, напр. относителната роля на хидравличните увреждания и въглеродния глад върху радиални растеж [9] и др.; влияние на климатични фактори върху радиалния растеж за определяне на горския диклайн и съхнене на дърветата, с интродукцията на вида извън неговия ареал и др. [10, 11, 12, 13, 14, 15]; влияние на конкуренцията с широколистни върху растежа [16]; датирание на археологични обекти [17] и др.

Основната цел на настоящото изследване е да бъде демонстриран нов холистичен подход за изследване влиянието на температурите и валежите върху радиалния растеж на елата в локалитетите ѝ в Европа при използването на оригинален, създаден за тази цел софтуер. Подходът позволява идентифициране и оценяване (номенклатура) на периодите с понижен растеж (еустресови периоди), както и изследване на връзката им с климата чрез анализ на климатични типове години и климатични образци.

### Обект

По екологични изисквания елата е сенкоиздържлив и влаголюбив вид. Еловите гори са сенчести и склопени. Охраняваните реликтни гори в резерватите са модел на изчезналите отпреди 3000 години п.н.е. обширни гори, изместени от смърча. В районите си на разпространение съобществата на елата са важен почвозащитен и водорегулиращ фактор, източник на дървесина и др. ресурси, както и местообитание за консервационно значими видове.

Горите от обикновена ела (*Abies alba* subsp. *alba*) имат ограничено разпространение в планините на България (Родопите, Рила, Пирин, Осогово, Стара планина, Славянка и Беласица) от 450 – 2000 m надм. вис., като оптимумът на развитие е между 1000 и 1700 m на дълбоки, влажни, богати, кисели, добре дренирани и аерирани кафяви горски почви

(*Cambisols*) и тъмноцветни планинско-горски почви (*Mollic Cambisols*). В Южните части на Родопите, Рила, Пирин, Беласица и Славянка расте разновидност на елата - *Abies alba* ssp. *borisii-regis* Mattf. (борисовата ела), която според някои автори е хибрид с гръцката или цефалонската ела (*Abies cephalonica* Loud.). Естествените гори от обикновена ела в България заемат само около 20 000 ha.

По произход горите с доминиране на обикновена ела, с малки изключения, се отнасят към коренната мезофитна иглолистна растителност. Формират относително тясна ивица между буковия и иглолистния пояс в географския диапазон на разпространение на горите от *Fagion moesiacum*. Срещат се също като примес в буковия и смърчовия пояс. Еловите гори в България се отнасят към класовете *Quercio-Fagetea* (елови фитоценози и смесените с бук и ела), *Vaccinio-Piceetea* (гори с преобладаване на смърч и ела и слабо участие на бук), *Erico-Pinetea* (смесените гори с черен бор, смърч и черна мура на варовиков субстрат). В дървесния етаж на еловите гори участват други иглолистни (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Pinus heldreichii*, *Pinus peuce*) и широколистни (*Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus*, *Populus tremula*, *Carpinus betulus*, *Acer campestre*, *p. Tilia* и др.) видове дървета. Единично се срещат храстите - *Corylus avellana*, *Daphne mezereum*, *Lonicera nigra*, *L. xylosteum*, *Rosa pendulina*, *Rubus idaeus* и др. В тревния етаж доминират видове, характерни за европейските широколистни мезофилни гори [8, 18].

Еловите гори в България са отнесени към местообитание 91ВА Мизийски гори от обикновена ела (PAL.CLASS.: 42.16). Обособени са няколко подтипа: Родопски елови гори (42.161), Мизийско-Македонски елови гори (42.162), Старопланински елови гори (42.163). Елата участва и при формиране на местообитания 9130 Букови гори от типа *Asperulo-Fagetum* и 9410 Ацидофилни гори от *Picea* в планинския до алпийския пояс (*Vaccinio-Piceetea*) [19].

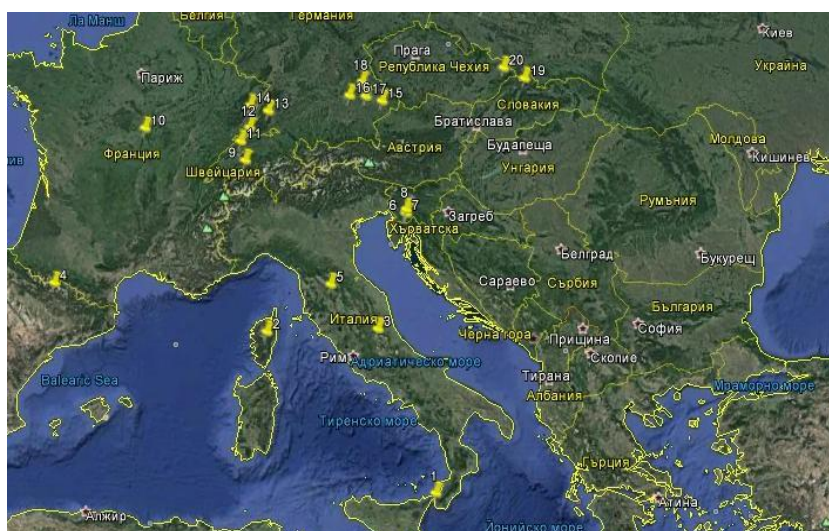
Таблица 1. Характеристика на използваните за анализа локалитети и серии на *Abies alba*

№	Локация (SA)	Lat.	Long.	Alt., m	Tav, 0C	Pav, mm	n	Period		Age min, y	Age max, y	DBH, cm	EPS, %
1	Gambarie - Aspromonte, IT	38.1	15.6	1850	16.1	778.1	16	1790	1980	67	191	44.2	86.1
2	Vizzavona, Mt.Renoso, FR	42.1	9.1	1500	15.4	861.8	26	1760	1980	90	221	50.7	90.3
3	Seppo - Bosque di Martens, IT	42.4	13.3	1700	11.9	816.0	22	1711	1980	107	270	47.7	87.9
4	Pic Aubas, FR	42.5	0.4	1800	6.4	971.4	25	1784	1977	94	186	42.6	92.9
5	Mt. Falterona, IT	43.5	11.4	1450	12.0	751.9	21	1827	1980	79	154	44.2	93.4
6	Javornik Postojna, SL	45.5	14.2	950	8.2	1446.7	16	1859	1994	80	134	45.2	89.0
7	RavniI - Logatec, SL	45.5	14.2	600	8.4	1346.2	21	1890	1993	43	104	44.4	88.7
8	Bistra, SL	45.6	14.2	550	8.4	1346.9	37	1751	1992	77	234	50.9	94.1
9	Lauperswil Duersrueti LI, CH	46.6	7.5	910	8.8	1131.3	19	1764	1990	74	227	56.7	85.7
10	Wylewald BE,Tanne abst, CH	47.0	7.3	570	8.0	1103.0	22	1901	1979	58	79	21.8	92.4
11	Ob dem Neuhaus - Malewagwald, CH	47.1	7.2	670	8.1	1107.5	22	1829	1992	31	163	33.7	91.4
12	Munstertal, DE	47.5	7.5	910	8.0	1098.9	31	1868	1976	85	109	26.9	97.4
13	Villingen-S., DE	48.0	8.2	880	8.7	825.2	20	1898	1994	94	97	26.5	91.2
14	Kaiserstuhl EU-Pr., DE	48.1	7.4	440	10.3	646.3	16	1926	1995	61	70	42.1	93.4
15	Bayerischr wald, DE	48.5	13.0	940	7.4	786.0	37	1541	1963	49	410	21.5	92.7
16	Laerchenbogen (ABAL), DE	48.6	11.6	460	7.6	632.7	29	1862	1996	44	135	38.1	92.8
17	Falkenfels, DE	48.6	12.3	420	7.2	692.1	32	1859	1997	67	139	27.4	93.9
18	Froeliche Turken, DE	49.0	12.1	0	6.3	623.4	16	1740	1930	49	134	27.4	91.4
19	DolinaChochfir, PL	49.2	19.1	1050	6.3	896.1	42	1810	2004	22	195	29.8	93.6
20	Beskid mtns, PL	49.5	18.2	650	6.3	987.2	22	1701	1943	91	243	65.9	91.4
21	Wal Trzebnicki Silesia, PL	51.2	17.3	185	8.6	507.3	28	1871	2002	16	130	22.6	85.6

Местообитание 91ВА е включено в Приложение 1 на ЗБР и в Червената книга с категория - застрашено. Част от горите от обикновена ела попадат в границите на защитени територии: националните паркове "Рила", "Пирин" и "Централен Балкан", природен парк "Рилски манастир", резерватите "Парангалица", "Ибър", "Горната кория", "Козята стена", "Конски дол (Казана)", "Царичина", "Мантарица", "Ардачлъка" и др., и защитени зони от Европейската

екологична мрежа Натура 2000. [19]. В еловите гори се срещат някои видове висши растения с природозащитен статус: *Aquilegia vulgaris*, *Daphne laureola*, *D. oleoides*, *Goodyera repens*, *Haberlea rhodopensis*, *Lathraea rhodopaea*, *Listera cordata* и др.

Анализите са направени с 351 дендрохронологични серии от 21 локалитета в 6 европейски страни – Италия, Словения, Франция, Швейцария, Германия и Полша – Фиг. 1. Сериите от България бяха изключени от анализа, поради установена ниска стойност на коефициента EPS < 85% (expressed population signal). Характеристиките на изследваните локалитети са дадени на Табл. 1, както следва: от 38.1 до 51.2<sup>0</sup> г.ш.; от 7.2 до 19.1<sup>0</sup> г.д.; от 185 до 1850 m надм. вис.; от 6.3 до 16.1<sup>0</sup>С средногодишни температури и от 507.3 до 1446.7 mm средногодишни валежи. Изследваните хронологии са от изкуствени и от естествени горски съобщества. Параметрите на сериите са съответно: 16-107 г. минимална и 79-410 г. максимална възраст, обхващат периода 1541-2004; DBH (диаметър на гръдна височина) варира от 23 до 66 cm и EPS на редиците по локалитети – от 86 до 97%. Въпреки че включените хронологии не съвпада по възраст и не покриват същите периоди, изследването на особеностите на еустреса в природата дава възможност за анализ на поведението на видовете под влияние главно на климатични фактори в продължение на стотици години и оценяване на устойчивостта на съответните горски екосистеми. На практика е почти невъзможно да се изследват гори и хронологии с подобни параметри, освен ако не бъдат създадени насажденията и се изчака 100-200 години за тяхното развитие.



Фиг. 1. Европейски локации на изследваните дендрохронологични серии

## Методи

SPPAM, версия 2.0 е приложен за анализ на данните; неговата функционалност обхваща класически дендрохронологични анализи [20, 21, 22] и нови разработки [23]. Изследванията върху изязата на еустреса и неговата оценка се провеждат чрез анализа на редиците от средния растежен индекс като отношение -  $It = MW / AW$ , където MW са измерените ширини на годишните пръстени и AW – изчислените стойности чрез полиномиална екстраполация, като са възприети само полиноми с  $R^2 > 0.45$  и локалитети с EPS > 85%. Растежният индекс позволява минимизиране влиянието на възрастта върху радиалния растеж и усиляване на екологичния сигнал, главно на климатичния.

Като еустрес (ES), или същински стрес, се възприема повтарящо се състояние през растежния период, при което се установява понижен под определена прагова граница радиален растеж на стъблото, предизвикан от влиянието на неблагоприятни екологични фактори. Това състояние е свързано с промени и в други морфологични и физиологични показатели при дърветата. В случая, пониженият радиален растеж се използва като индикатор за установяване на това състояние. Праговата граница за изчисляване на ES е  $It_{av} < 1 - \delta_i$  (където  $\delta_i$  е доверителния интервал за ниво на значимост,  $\alpha = 0.05$ ). Годишната, в която It на повече от половината от наличните серии за един локалитет е под праговата граница се нарича еустресова година (SY). Еустресовият период (EP) включва една или няколко последователни SY и се характеризира с: продължителност (D), т.е. броя на последователните SY; честота (F) - броят на SY за 100 годишен

период и дълбочина (A) -  $A = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (1 - It_i)$ , където  $It_i$  са сериите от индекси на растежа, за които е установен ES.

Оценките на трите характеристики на ES са чрез статистическа обработка на наличната информация за изследваните локалитети и създаването на 5-степенна скала за всяка една от тях - Таблица 2. Средните да локалитета оценки на трите показателя дават възможност за изява на реакционни функционални типове дървета (TFT) според “поведението им” (общите особености на ES) при конкретни климатични изменения.

Таблица 2. Пет-степенна скала за оценка на особеностите на еустреса за изследваните локалитети на *Abies alba* Mill.

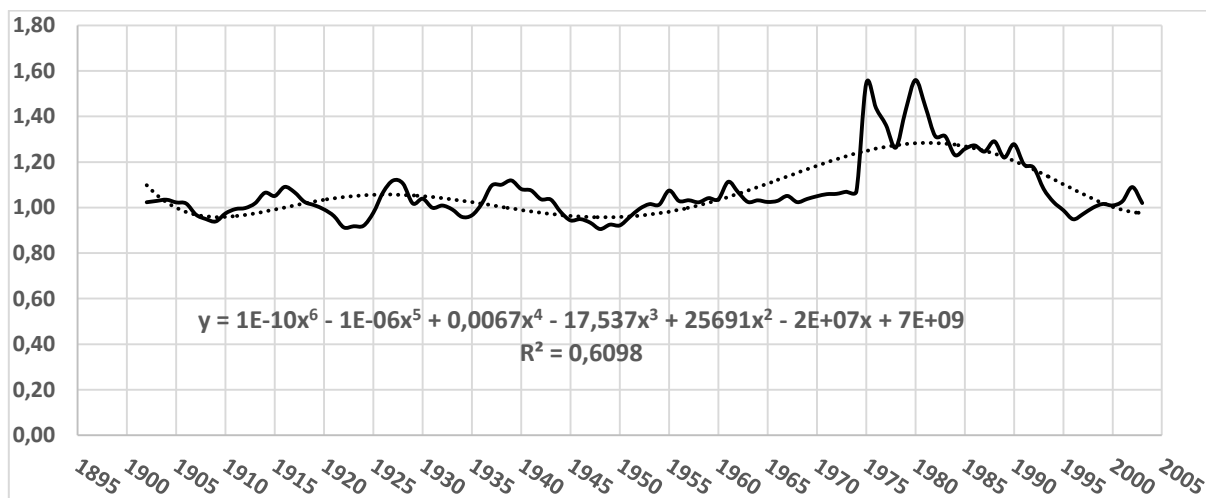
F			D			A		
група		стойност	група		стойност	група		стойност
1	Very rarely	≤11.62	1	Very short	≤1.815	1	Very small depth	≤0.2248
2	Rarely	>11.62 - ≤14.75	2	Short	>1.815 - ≤2.039	2	Small depth	>0.2248 - ≤0.2434
3	Normal	>14.75 - ≤21.02	3	Normal	>2.039 - ≤2.486	3	Normal depth	>0.2434 - ≤0.2804
4	Offen	>21.02 - ≤24.16	4	Long	>2.486 - ≤2.71	4	Deep	>0.2804 - ≤0.2989
5	Very Offen	>24.16	5	Very Long	>2.71	5	Very Deep	>0.2989

За анализа са използвани дендрохронологични серии от международна база данни [24]. Изчислените коефициенти са, както следва: кардиналност (Card) - броят на сериите със същите стресови години; "Ct" - съотношението между Card и общия брой анализирани серии за локалитета (n); покритие (Cov) =  $100 * Card / N$ , където N е броят на сериите с измервания за същите години; "K" - съотношението между броя на годините, за които се извършва анализа (периода) и броя на SY [23].

Климатичният тип на всяка година от анализирания период (CTY) е определен чрез изчисляване на отклоненията на средните годишни температури и валежи от средните стойности за 30-годишни периоди и техните доверителни интервали. Като неблагоприятна година (AY) се счита CTY, в който е установен ES. Източник на данни за температурите и валежите е климатична база данни [25], обхващаща периода 1901-2009. Изследвана е връзката между CTY и SY, както и последователността от климатични типове за 3-годишни периоди, включващи SY и 2 години преди това (климатични образци, CP) и особеностите на еустресовите години.

## Резултати и дискусия

Средният растежен индекс за изследваните локации е  $I_{av} = 1.102 \pm 0.174$  като максимумите са през 1975 и 1980. Той се изменя по години, както е показано на Фиг. 2. Най-благоприятни за растежа са годините от 1974 до 1990 г. За целия растежен период от 104 г. се очертават 4 периода, в които индексът намалява, след което следва неговото повишаване: 1907-1910; 1920-1924; 1933-21. Анализът на редиците от индекси и характеристиките на локациите показва слаба корелационна ( $r = 0.0-0.3$ ) зависимост, която е отрицателна с Alt, Long, T и dT. Според направения статистически анализ средният брой на стресовите години за всички локации е 28. Броят на стресовите години варира твърде много по локалитети - най-голям е за горските съобщества от 16 локалитет, а най-малък - за тези от 18 локалитет. Установена е умерена корелационна зависимост между броя на периодите и дължината на изследваната редица ( $r, r = 0.5$ ), също с long и Tav (съответно  $r = 0.313$  и  $0.384$ ), докато с останалите характеристики на местообитанието корелацията е слаба – Табл. 3.



Фиг. 2. Изменение на растежния индекс (1901-2003) на средната моделна редица за изследваните локалитети ( $I_{av}$ ) по години

Таблица 3. Характеристика на изследваните серии за периода 1902-2003

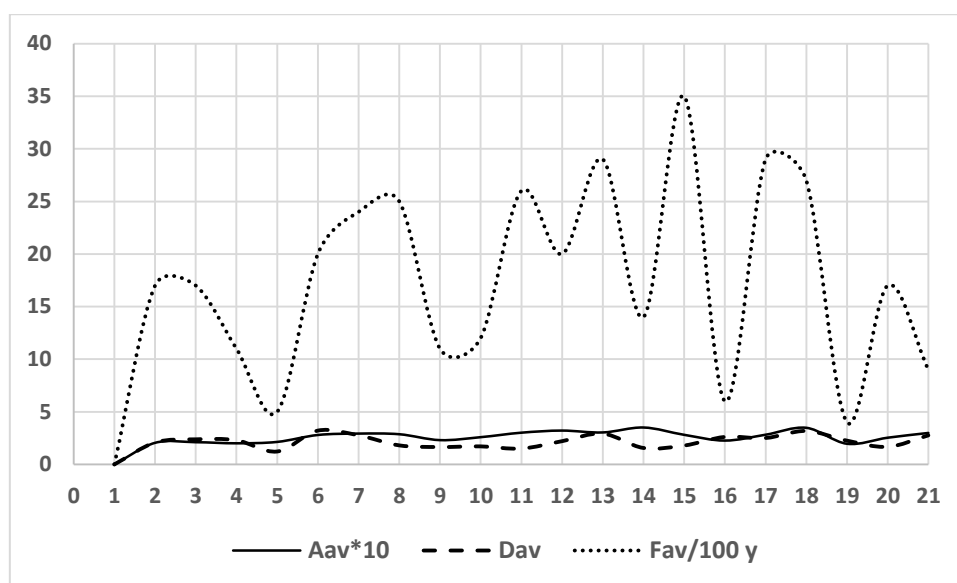
Локация	Дължина редица(p) 1902-2003, y	It (av)	$\mu_n$ (av)	SY, n	Card	Cov	Ct=Card/N	K=p/SY
1	78	0,996	0,048	33	9,2	0,7	0,6	2,4
2	78	0,999	0,040	38	10,6	0,7	0,4	2,1
3	78	1,015	0,043	32	11,9	0,7	0,5	2,4
4	75	1,001	0,037	10	13,7	0,6	0,5	7,5
5	78	1,013	0,067	32	14,1	0,7	0,7	2,4
6	92	1,234	0,444	33	7,8	0,7	0,5	2,8
7	91	1,059	0,136	27	10,1	0,6	0,5	3,4
8	90	1,071	0,123	28	22,0	0,7	0,6	3,2
9	88	1,050	0,060	29	10,8	0,6	0,6	3,0
10	77	1,368	0,723	21	11,8	0,7	0,5	3,7
11	90	1,613	0,542	33	7,7	0,7	0,3	2,7
12	74	1,089	0,228	32	21,4	0,8	0,7	2,3
13	92	1,186	0,272	14	11,1	0,6	0,6	6,6
14	93	1,051	0,158	25	7,8	0,7	0,5	3,7
15	61	1,043	0,068	26	15,9	0,7	0,4	2,3
16	94	1,000	0,053	40	13,3	0,7	0,5	2,4
17	95	1,023	0,085	38	18,1	0,6	0,6	2,5
18	28	1,008	0,053	9	2,0	0,9	0,1	3,1
19	102	1,175	0,202	35	19,5	0,7	0,5	2,9
20	41	1,094	0,148	22	13,5	0,7	0,6	1,9
21	100	1,043	0,126	24	7,3	0,6	0,3	4,2
<b>X</b>	<b>81</b>	<b>1,102</b>	<b>0,174</b>	<b>28</b>	<b>12,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>3,2</b>
<b>SDV</b>	18	0,150	0,183	9	5,0	0,1	0,1	1,4
<b>Conf.</b>	8	0,064	0,078	3,7	2,1	0,0	0,1	0,6

Средната стойност на Cov е 0.7 и варира по локалитети от 0.6 до 0.9. С други думи, хомогенността на анализираниите серии е подобна - броя на общите периоди на стрес, свързани с идентични измерения, варира в малка степен. Средната стойност на Ct е 0.5 и варира много - от 0.1 до 0.7. Видът и местата с най-ниски Ct - стойности имат по-силно изразено влияние на стресовите фактори, в сравнение с другите изследвани места. Средният K - коефициент е 3.2 и варира от 1.9-7.5. Коефициентът дава възможност да се сравняват редици с различни дължини. Видът в локалитетите с максимални K-стойности изпада по-често в стрес, в сравнение с останалите локалитети.

Получените стойности за трите характеристики на еустреса са представени на Фиг. 3. Aav варира по локалитети от 0.196 до 0.350 (същият интервал от 0.154 е получен и за *Pinus sylvestris* от български локалитети [26]). Абсолютните максимуми в A-стойностите е през 1976 г. ( $A = 0.654$ ) – Табл. 4. Годишите, в които са установени максимални стойности в дълбочината на еустреса в повечето случаи се повтарят по локалитети: 1908, 1909 – за два локалитета; 1914 – за един; 1921, 1924 - за два; 1929-34 – за 3; 1948 – за 3; 1956-59 – за 3; 1974-78 – за 5 и 1991 – за 1 локалитет. Посочените години бяха публикувани като неблагоприятни години за други дървесни видове и техните съобщества [27]. Установена е значителна положителна корелационна зависимост ( $r = 0.568$ ) между установените стойности за A и географската ширина на изследваните локалитети, също и умерена отрицателна корелационна зависимост с надморската височина ( $r = -0.486$ ), средните годишни температури на изследваните локалитети ( $r = -0.350$ ) и DBH на дърветата ( $r = -0.414$ ).

Таблица 4. Характеристика на еустреса и функционални типове дървета (TFT)

Локалитет	Amax	Amax, y	Dmax	Dmax, y	Fav, 100 y	TFT
1	0,517	1914	4	1944 -1947	17	F3D3A1
2	0,386	1931	6	1928-1933 1953-1958	17	F3D3A1
3	0,283	1908	8	1917-1924	11	F1D3A1
4	0,31	1956	3	1963 -1965	5	F1D1A1
5	0,441	1924	10	1944 -1953	20	F3D5A3
6	0,634	1934	6	1930-1935	24	F4D5A4
7	0,451	1909	4	1942-1945	25	F5D1A4
8	0,402	1991	9	1927-1935	11	F1D1A2
9	0,424	1948	5	1942-1946 1973-1977	12	F2D1A3
10	0,479	1948	3	1927-1929 1948-1950 1967-1969	26	F5D1A5
11	0,544	1959	7	1918-1924	20	F3D3A5
12	0,6	1948	7	1962-1968	29	F5D5A5
13	0,505	1976	4	1973-1976	14	F2D1A5
14	0,654	1976	4	1962-1965 1974-1977	35	F5D1A4
15	0,352	1956	7	1952-1958	6	F1D4A2
16	0,511	1940	10	1974-1983	29	F5D4A4
17	0,554	1977	13	1942-1954	27	F5D5A5
18	0,426	1921	3	1915-1917 1921-1923	4	F1D3A1
19	0,407	1974	4	1905-1908 1942-1945	17	F3D1A3
20	0,532	1929	6	1905-1910 1929-1934	9	F1D5A4
21	0,462	1978	4	1921-1924	18	F3D1A5



Фиг. 3. Изменение на средните характеристики на еустреса по локалитети

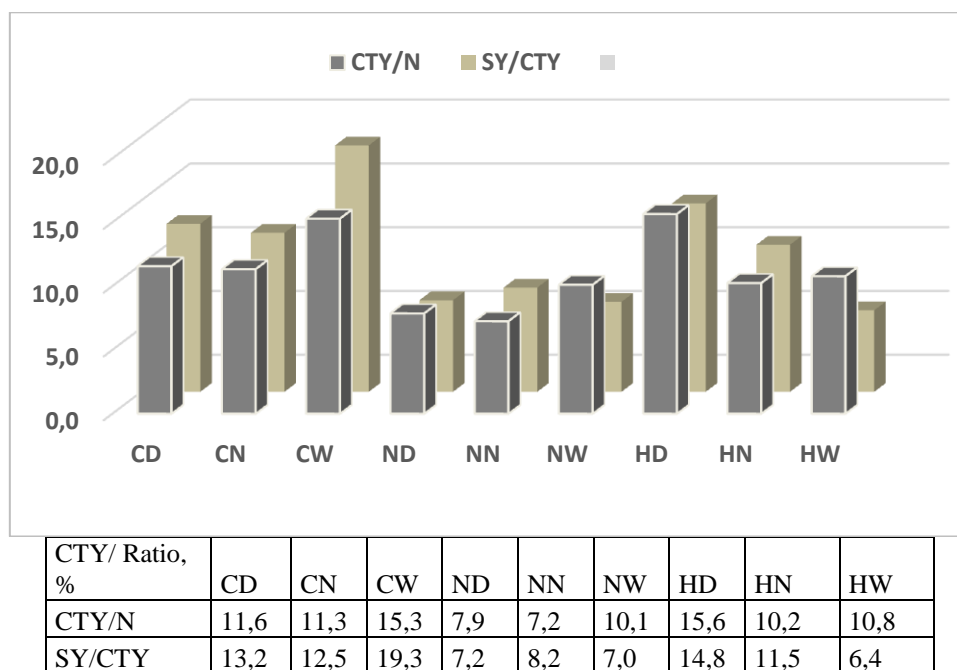
Средните стойности на D варират от 1 до 3 години – Фиг. 3. Абсолютният максимум в D-стойностите е за 1942-54 г. – 13 години (Табл. 4). Периодите на установени максимуми не са еднакви за всички изследвани локалитети, но се

повтарят при част от тях: 1905-09 – за 2; 1917-24 – за 5; 1927-35 - за 5; 1942-1958 – за 9; 1962-68 – за 3 и 1973-83 – за 4. Тези години са неблагоприятни и за други дървесни видове и техните съобщества [27]. Доказана е умерена корелационна зависимост между продължителността на еустреса и броя на установените стресови години ( $r = 0.497$ ).

Средната честота на еустреса е 18 години и варира по локалитети между 5 (№ 4) и 29 (№№ 12 и 16). Доказана е значителна корелационна зависимост между Fav и установения брой стресови години.

Получените функционални типове за повечето локалитети не показват риск за горите на вида – 62%. Риск съществува, ако най-малко две характеристики са оценени с 4 или 5 бал. Такива са 38% от изследваните локалитети – 6, 7, 10, 12, 14, 16, 17 и 20 – Табл. 4. Голям риск съществува за горите от ела в 12 и 17 локалитет, където е установен функционалният тип F5D5A5 – дърветата изпитват много често появяващ се, много продължителен и много дълбок еустрес.

Според броя на локалитетите, в които определени години са установени като стресови, може да се съди за тяхната стресова значимост за вида. С най-голямо участие са 19 общи стресови година (стресови в от 9 до 17 локалитета): 1922 – обща за 17 локалитета; 1907 и 1929 - за 15; 1944 – за 13; 1947, 1956 и 1974 – за 12; 1908, 1942, 1945, 1962, 1963 и 1976 – за 11; 1905, 1909, 1921, 1923, 1948 и 1950 – за 10 и 1912, 1918, 1931, 1924, 1949 и 1968 – общи стресови за 9 локалитета.



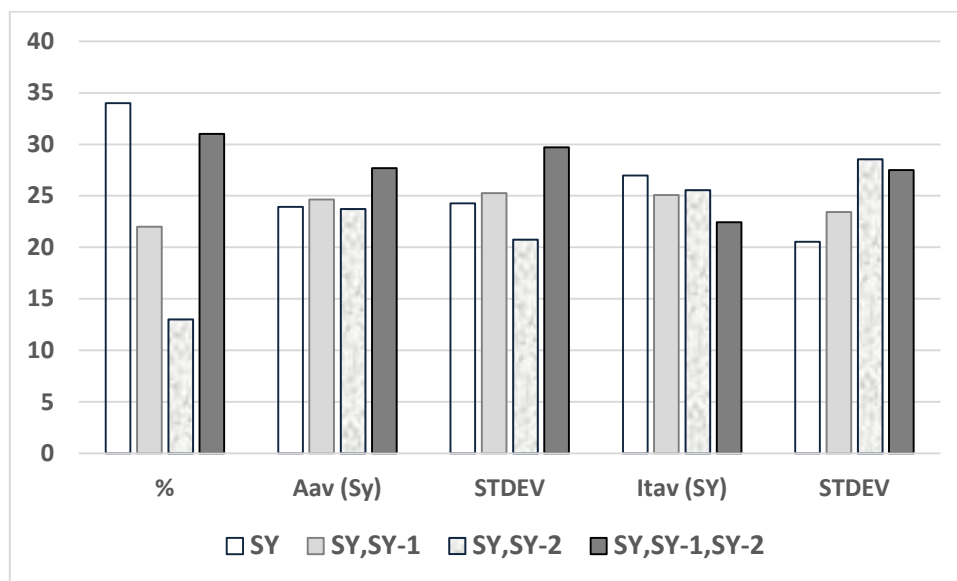
Фиг. 4. Значение на климатичните типове години за появата на еустрес (% , средно за изследваните локалитети)

В периода на изследване (1904-2003) с най-голямо участие са годините от климатичните типове CW и HD, съответно 15.6% и 15.3% - фиг. 4. Тези климатични типове имат и най-изразено стресово влияние върху елата за периода. С други думи, най-голям процент от установените стресови години се отнасят към тях, съответно 19.3% и 14.8%. Определено негативно влияние оказват студените години – CD и CN. Около 8% от годините с температури и валежи в климатичната норма се проявяват като неблагоприятни за вида. Най-вероятно стресът в тези години е резултат от предишни неблагоприятни климатични влияния, поради закъснение в реакциите на биологичните системи, или е предизвикан от неклиматични фактори.

При анализа на стресови образци, представляващи три последователни години, включващи еустресовата и двете предходни години (общо 576 бр.), се вижда че най-разпространени са образците, при които липсва стрес в предходните две години и тези, при които съществува стрес и през трите години – Фиг. 5. Най-високи стойности на дълбочината на еустреса и най-ниски стойности на индекса в еустресовата година се наблюдават в случаите на наличие на еустрес през трите години и в случаите на съществуващ такъв в предходната година. Общо взето тези стойности са и с най-големите стандартни отклонения.

Анализът на климатичните образци, представляващи последователните климатични типове за 3 години – еустресовата и две предходни години показва, че еустреса може да бъде предизвикан от рязка смяна в климатичните режими или поддържането на един от климатичните режими извън климатичната норма за част от тригодишния период или през целия период. Най-голямо намаляване в стойностите на растежния индекс е при еустрес, резултат от смяната на температурния режим – топла със студена година през еустресовата година спрямо две години преди това или спрямо предишната година ( $dIt = -0.104$  и  $-0.058$ ), също при рязка смяна на HW/CD и обратно ( $dIt = -0.130$  и  $-0.066$ ) – Табл. 5.

Най-голямо увеличаване на дълбочина на еустреса е получено при смяна на двата режима – CD/HW една година преди еустресовата (dA = -0.039), или само на валежния режим - W/D две години преди еустресовата (съответно dA = -0.027).



Фиг. 5. Характеристика на образци за еустреса при елата

Таблица 5. Характеристика на климатични образци, свързани със смяна на режимите и еустреса при елата

SY	SY-1	N	%	dI	dA	SY	SY-2	N	%	dI	dA
<b>D</b>	<b>W</b>	64	11,1	-0,050	0,024	<b>D</b>	<b>W</b>	78	13,5	-0,075	<b>-0,027</b>
<b>W</b>	<b>D</b>	85	14,8	-0,052	-0,006	<b>W</b>	<b>D</b>	57	9,9	-0,091	-0,003
<b>C</b>	<b>H</b>	99	17,2	<b>-0,058</b>	-0,008	<b>C</b>	<b>H</b>	77	13,4	<b>-0,104</b>	0,030
<b>H</b>	<b>C</b>	64	11,1	-0,043	-0,015	<b>H</b>	<b>C</b>	57	9,9	-0,068	0,002
<b>X</b>		78	13,5	<b>-0,051</b>	<b>-0,001</b>	<b>X</b>		67	11,7	<b>-0,084</b>	<b>0,001</b>
<b>SDV</b>		17	3	0,006	0,017	<b>SDV</b>		12	2	0,016	0,023
<b>CW</b>	<b>HD</b>	28	4,9	-0,047	0,007	<b>CW</b>	<b>HD</b>	14	2,4	-0,113	0,011
<b>HD</b>	<b>CW</b>	5	0,9	-0,043	0,061	<b>HD</b>	<b>CW</b>	8	1,4	-0,038	-0,010
<b>CD</b>	<b>HW</b>	8	1,4	<b>-0,066</b>	-0,029	<b>CD</b>	<b>HW</b>	5	0,9	<b>-0,130</b>	0,088
<b>HW</b>	<b>CD</b>	4	0,7	<b>-0,066</b>	<b>-0,039</b>	<b>HW</b>	<b>CD</b>	5	0,9	-0,082	0,011
<b>X</b>		11	2,0	<b>-0,055</b>	<b>0,000</b>	<b>X</b>		8	1,4	<b>-0,091</b>	<b>0,025</b>
<b>SDV</b>		11	2,0	<b>0,0120</b>	<b>0,0453</b>	<b>SDV</b>		4	0,7	<b>0,041</b>	<b>0,043</b>

Най-голямо намаляване в стойностите на It е получено при наличието на сухи години, на второ място - при наличието на студени години през три-годишните периоди – Табл. 6. Абсолютният минимум в dI е при две сухи години еустресовата и предходната, или еустресовата и две години преди това (dI = -0.071). Най-голямо увеличаване на дълбочината на еустреса е наблюдавано при наличието на две последователни студени години – еустресовата и една година преди това (dA = -0.125), също при наличието на суха или топла еустресова година и същият климатичен тип две години преди това (съответно dA = -0.111 и 0.100).



Таблица 6. Характеристика на климатични образци, свързани с поддържане на режимите и еустреса при елата

SY	SY-1	SY-2	N	%	dI(SY/SY-1)	dI(SY/SY-2)	dI(SY-1/SY-2)	dA(SY/SY-1)	dA(SY/SY-2)	dA(SY-1/SY-2)
D	D	D	19	3,3	-0,025	-0,015	-0,025	-0,067	0,017	-0,015
D	D		51	8,9	-0,038	0,048	-0,038	-0,106	0,044	0,048
D		D	44	7,6	-0,071	0,008	-0,071	-0,111	-0,008	0,008
	D	D	64	11,1	-0,035	0,061	-0,035	-0,106	0,036	0,061
X			45	7,7	-0,042	0,025	-0,042	-0,097	0,022	0,025
SDV			19	3,3	0,020	0,035	0,020	0,020	0,023	0,035
W	W	W	24	4,2	-0,013	0,014	-0,013	-0,056	0,022	0,014
W	W		33	5,7	-0,016	0,058	-0,016	-0,044	0,003	0,058
W		W	48	8,3	-0,004	-0,002	-0,004	-0,052	0,007	-0,002
	W	W	44	7,6	-0,003	0,005	-0,003	-0,051	-0,020	0,005
X			37	6,5	-0,009	0,019	-0,009	-0,051	0,003	0,019
SDV			11	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C	C	C	57	9,9	-0,016	0,004	-0,016	-0,075	0,008	0,004
C	C		46	8,0	-0,070	0,011	-0,070	-0,125	-0,038	0,011
C		C	53	9,2	-0,020	-0,016	-0,020	-0,063	-0,027	-0,016
	C	C	37	6,4	-0,058	0,027	-0,058	-0,093	0,016	0,027
X			48	8,4	-0,041	0,006	-0,041	-0,089	-0,010	0,006
SDV			9	1,5	0,027	0,018	0,027	0,027	0,026	0,018
H	H	H	46	8,0	-0,023	0,020	-0,023	-0,061	-0,011	0,020
H	H		44	7,6	-0,006	-0,007	-0,006	-0,057	0,014	-0,007
H		H	46	8,0	-0,053	0,041	-0,053	-0,100	0,014	0,041
	H	H	63	10,9	-0,025	0,007	-0,025	-0,079	0,020	0,007
X			50	8,6	-0,027	0,015	-0,027	-0,074	0,009	0,015
SDV			9	1,5	0,020	0,020	0,020	0,020	0,014	0,020

### Заклучение

Чрез направените анализи на серии от ела се установи, че средния брой на стресови години в европейските й локации е 28. Броят на стресовите години е положително корелативно свързан с географската дължина и средногодишните температури на локалитетите (умерена зависимост). Средната честота на еустреса е 18 г., средната продължителност – 2 г., а средната дълбочина – 0.269. Честотата и продължителността на еустреса са корелативно свързани с броя на стресовите години (умерена корелация), а дълбочината – с географската ширина на локалитетите (значителна корелация), също с надм.вис., Tav и DBH (умерена отрицателна зависимост). Преобладават като неблагоприятни климатичните типове CW и HD. Еустресът е резултат на рязка смяна в единия или двата режима или поддържането на неблагоприятен режим. Най-стресово влияе смяната W/D, H/, както и HW/CD и обратно.

Демонстрираният цялостен анализ позволява да се изследват и сравняват хетерогенни хронологии от различни местобитания, различаващи се по дължина и обхват, брой на последователностите и т.н. Този анализ ще даде възможност за по-добро използване на съществуващите международни бази данни за оценка на неблагоприятните периоди в растежа на дърветата, а по-нататък и предсказване на тяхната реакция. Анализът по своята същност е мета-анализ на дендрохронологични серии за откриване на еустрес чрез радиалния растеж на стъблата, който е удобен за мониторинг на горски съобщества и откриване на локалитетите и дървостойите за които има риск за съществуването им, т.е. изпитват много често еустрес, с много дълга продължителност и много голяма дълбочина. Подходът позволява изявата на реактивни функционални типове дървета (TFT) като група с подобно поведение под влиянието на климатичните типове години и със сходни характеристики на еустреса.

## Литература

- [1] Farjon, A. (2014). "*Abies alba*". *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2014.2. International Union for Conservation of Nature. Retrieved 28 August 2014.
- [2] Sancho-Knapik D, Peguero-Pina J, Cremer E, Camarero J, Fernández-Cancio A, Ibarra N, Konner M, Gil-Pelegrín E. Genetic and environmental characterization of *Abies alba* Mill. populations at its western rear edge. *Pirineos Revista de Ecología de Montaña*, Vol. 169, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2014.169007>
- [3] Tavčar Benković, Eva; Grohar, Tina; Žigon, Dušan; Švajcer, Urban; Janež, Damjan; Kreft, Samo; Štrukelj, Borut (2014). "Chemical composition of the silver fir (*Abies alba*) bark extract Abigenol® and its antioxidant activity". *Industrial Crops and Products* 52: 23–28. doi:10.1016/j.indcrop.2013.10.005.
- [4] London Medical Gazette, September 23, 1837, p. 935: <https://books.google.si/books?id=TPQaAQAAMAAJ>
- [5] Vasincu A, Crețu E, Geangalău I, Amalinei RL, Miron A. Polyphenolic content and antioxidant activity of an extractive fraction from *Abies alba* bark. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. 2013 Apr-Jun;117(2):545-50.
- [6] Drevenšek, Gorazd; Lunder, Mojca; Tavčar Benković, Eva; Mikelj, Ana; Štrukelj, Borut; Kreft, Samo. "Silver fir (*Abies alba*) trunk extract protects guinea pig arteries from impaired functional responses and morphology due to an atherogenic diet". *Phytomedicine* 22: 856–861. doi:10.1016/j.phymed.2015.06.004.
- [7] Drevenšek, Gorazd; Lunder, Mojca; Tavčar Benković, Eva; Mikelj, Ana; Štrukelj, Borut; Kreft, Samo. "Silver fir (*Abies alba*) trunk extract protects guinea pig arteries from impaired functional responses and morphology due to an atherogenic diet". *Phytomedicine* 22: 856–861.
- [8] Любенова М. Фитоекология. Акад. Издателство М. Дринов, София, 2004, 574 с.
- [9] Pellizzari E, Camarero J, Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Carrer M. Wood anatomy and carbon-isotope discrimination support long-term hydraulic deterioration as a major cause of drought-induced dieback. *Global Change Biology*, 2016. doi: 10.1111/gcb.13227
- [10] Pasho E, Camarero J, de Luis M, Vicente-Serrano S. Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 2011, 1800–1811.
- [11] Linares C, Camarero J. Growth patterns and sensitivity to climate predict silver fir decline in the Spanish Pyrenees *Eur J Forest Res.*, 2011. DOI 10.1007/s10342-011-0572-7.
- [12] Klopčič M, Bončina A. Stand dynamics of silver fir (*Abies alba* Mill.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests during the past century: a decline of silver fir? *Forestry*, Vol. 84, No. 3, 2011. doi:10.1093/forestry/cpr011
- [13] Taugourdeau D, Sabatier G, Barthélémy G. Retrospective analysis of tree architecture in silver fir (*Abies alba* Mill.): ontogenetic trends and responses to environmental variability. *Annals of Forest Science*, 69 (6), 2012, 713-721.
- [14] Koprowski M. Reaction of Silver Fir (*Abies alba*) Growing Outside its Natural Range to Extreme Weather Events and a Long-Term Increase In March temperature. *Tree-Ring Research*, vol. 69, issue 2, 2013, 49-61.
- [15] Ducić V, Ivanović R, Mihajlović J, Gnjata R, Trbić G, Čurčić N. Dendroindication of drought in Rogatica region (Eastern Bosnia). *Arch. Biol. Sci.*, 67 (1), Belgrade, 2015, 201-211.
- [16] Lebourgeois F, Eberlé P, Mérian P, Seynave I. Social status-mediated tree-ring responses to climate of *Abies alba* and *Fagus sylvatica* shift in importance with increasing stand basal area. *Forest Ecology and Management* 328, 2014, 209–218.
- [17] Pichler T, Nicolussi K, Goldenberg G, Hanke K, Kovács K, Thurner A. Charcoal from a prehistoric copper mine in the Austrian Alps: dendrochronological and dendrological data, demand for wood and forest utilisation. *Journal of Archaeological Science* 40, 2013, 992-1002.
- [18] [Red Data Book of the Republic of Bulgaria](#). Volume 3 - Natural habitats. 2015. Joint edition of the Bulgarian Academy of Sciences & Ministry of Environment and Water, Sofia. <http://e-coddb.bas.bg/rdb/en/>
- [19] Kavrakova D, Dimova D., Dimitrov M., Tzonev R., Belev T., Rakovska K. 2009. Manual for determination of habitats with European value in Bulgaria. Second edition. World Wide Fund for Nature, Danube-Carpathian Program and federation "Green Balkans", Sofia, 131 p. (In Bulgarian).
- [20] Mirchev S., Lyubanova, M., Chikalanov, A., Simeonova, N. 2000. Dendrochronology. Pensoft, Sofia – Moscow: 198. (In Bulgarian).
- [21] Fritts H. C. 2001. *Tree Rings and Climate*. Caldwell, New Jersey, Blackburn Press, 567 p.
- [22] Schamweber, T., Manthey M., Wilmking M. 2013. Differential radial growth patterns between beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on periodically waterlogged soils. *Tree Physiology*, v.33, 425–437.
- [23] Lyubanova, M., Chikalanov, A., Lyubanova V., Vatov St. 2015. SPPAM 2.0 – Scientific description and Use. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology, Sec.B*, vol. 4, №1, 37-51
- [24] International Tree Ring Data Base (ITRDB) <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>
- [25] CRU-TS climatic data-base, <http://www.cgiar-csi.org/data/item/55-cru-ts-30-climatic-database>
- [26] Lyubanova, M. 2016. New Holistic Approach for Tree Eustress Assessment and Influenced Climatic Types Classification (Example with Mountain Forest Trees in Bulgaria). *Bulgarian Journal of Soil Science*, v.1, iss.1, 79-91.
- [27] Любенова М. Растителни функционални типове дървета (PFTs) според особеностите на периодите с понижен растеж (стресови периоди). Издателска къща "Пъблиш Сайсет-Еко", София, 2012, 276 с.