

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

VALDIS ĢIRTS BALODIS

Dr. biol.

**BIOINDIKĀCIJAS METODES LATVIJAS
SAUSZEMES VIDES KVALITĀTES
NOVĒRTĒŠANAI**

Publicēto darbu kopa



Rīga 1997

PUBLIKĀCIJAS PUBLICATIONS ПУБЛИКАЦИИ

ĀDAMSONE G., BALODIS V., 1992a.

Phytoindicative assessment of environmental quality in Latvia. II. Methods for phytoindication based on morphological changes. **Environmental Monitoring in Latvia**, 1 :4-5.

ĀDAMSONE G., BALODIS V., 1992b.

Latvijas vides kvalitātes fitoindikatīvais vērtējums. II. Fitoindikācijas morfoloģiskās metodes. **Vides Monitorings Latvijā**,1:6-8.

ĀDAMSONE G., BALODIS V., TJARVE D., 1992.

Latvijas vides kvalitātes fitoindikatīvais vērtējums. V. Problēmas un perspektīvas. **Vides Monitorings Latvijā**,1:31-54.

BALODE Z., BALODIS V., 1995.

Cytogenetic assessment of radio-frequency electromagnetic radiation on *Bovine*. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences**,5/6:A38.

BALODIS V., 1989.

Ventspils ekoloģiskā situācija. **Latvijas Ekoloģija**,1:28-35.

BALODIS V., 1992a.

Latvijas vides kvalitātes fitoindikatīvais vērtējums. I. Problēmas nostādne. **Vides Monitorings Latvijā**,1:3-5.

BALODIS V., 1992b.

A bioindicative method for assessing the effect of electromagnetic radiation on pine forests. **Kuopio University Publications**. C. Natural & Environmental Sciences,7:68.

BALODIS V., 1992c.

Phytoindicative assessment of environmental quality in Latvia. I. Introduction and objectives. **Environmental Monitoring in Latvia**,1:3-4.

BALODIS V., 1995.

Skrundas lokatoru bioloģiskās un emocionālās iedarbības aspekti. **Akadēmiskā Dzīve (ASV)**,37:24-28.

BALODIS V., 1996.

Towards a bioindicative environmental assessment system in Latvia. **Technological Civilization Impact on the Environment**. Situation in Post-Soviet Area. Abstracts of International Symposium, Karlsruhe, 22.-26.04.96. Karlsruhe:13.

BALODIS V., BALODE Z., BRŪMELIS G., KALVIŠKIS K., TJARVE D., ZNOTIŅA V., 1994.

Some results and problems of the evaluation of radiofrequency radiation on organisms. . **The Effect of Radiofrequency Electromagnetic Radiation on Organisms.** Skrunda:12.

BALODIS V., BRŪMELIS G., KALVIŠKIS K., NIKODEMUS O., TJARVE D., ZNOTIŅA V., 1996.

Does the Skrunda Location Station diminish the radial growth of pine trees? **The Science of the Total Environment**, 180,1:57-64.

BALODIS V., KALVIŠKIS K., RAMANS K., LIEPA I., BRŪMELIS G., MAGONE I., NIKODEMUS O., 1993.

Environmental assessment in Latvia : Overview of past research and future perspectives. **Journal of Baltic Studies**,24,3:223-232.

BALODIS V., LIEPA I., POSPELOVA G., RAMANS K., 1992.

The effect of electromagnetic radiation on tree growth. **Forestry Dept. Scientifically Practical Conference.** Jelgava :26-28.

BALODIS V., POSPELOVA G., LIEPA I., 1995.

Dendroekoloģisku pētījumu rezultātu parametriska vērtēšana. **Mežzinātne.** Meža nozares augstākās izglītības 75 gadu jubilejai veltītās ZP konferences materiāli. LLU, Jelgava :9-16.

BALODIS V., POSPELOVA G., RAMANS K., TJARVE D., 1997.

Dendrochronological analysis for the assessment of the environmental quality. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences** (in press).

BALODIS V., TJARVE D., KALNIŅŠ A., 1997.

Dendroecological assessment of environmental quality of Latvia. **Eurodendro'97.** Lecture Abstracts. Savonlinna, Finland.

BRŪMELIS G., BALODIS V., BALODE Z., 1996.

Radio-frequency electromagnetic fields. The Skrunda Radio Location Station case. **The Science of the Total Environment**, 180,1:49-50. .

BRŪVERE R., HEISELE O., FELDMANE G., VOLRĀTE Ā., GABRUŠEVA N., BALODIS V., 1997.

Effect of pulse radio-frequency radiation on the functioning of the immune system. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences** (in press).

BRŪVERE R., HEISELE O., VOLRĀTE Ā., FELDMANE G., BALODIS V., 1997.!

Effect of radio-frequency radiation on the immune system. **SECOTOX'97.** Ecotoxicology and Environmental Safety. Central Eastern European Conference. Abstracts. Jūrmala: 99.

LIEPA V., BALODIS V., 1993.

Monitoring of bird breeding near a powerful radar station. **Baltic Birds-7.** Conference on the study and conservation of birds of the Baltic region. Vilnius:39.

NAGLE E., BALODIS V., KRŪMIŅA A., STREPMANE I., 1997.

Evaluation of genotoxicity of Skrunda Radio Location Station radiation. **SECOTOX'97**. Ecotoxicology and Environmental Safety. Central Eastern European Conference. Proceedings. Jūrmala (in press).

TJARVE D., ADAMSONE G., BALODIS V., 1992.

Phytoindicative assessment of environmental quality in Latvia. V. Problems and future work. **Environmental Monitoring in Latvia**, 1:16-22.

БАЛОДИС В.А., 1981.

Гистометрическая индикация сезонного роста древесины. **Известия АН Латвийской ССР**, 12:98-103.

БАЛОДИС В.А., 1982а.

Временная организация радиальной структуры древесины. **Моделирование и прогнозирование в биоэкологии**. ЛГУ, Рига:96-104.

БАЛОДИС В.А., 1982б.

Особенности оценки синхронности кривых в дендрозкологических исследованиях. **Моделирование и прогнозирование в биоэкологии**. ЛГУ, Рига:136-147.

БАЛОДИС В.А., 1984.

Камбиальные инициалы (терминология и распознавание). **I Всесоюзная конференция по анатомии растений**. Тезисы докладов. "Наука", Ленинград:14-15.

БАЛОДИС В.А., 1986а.

Кинетика камбиального роста древесных растений. ЛСХА, Елгава, 40 стр.

БАЛОДИС В.А., 1986б.

Выявление темпоральной структуры камбиального роста у древесных растений. **Темпоральные аспекты моделирования и прогнозирования в экологии**. ЛГУ, Рига:172-183.

БАЛОДИС В.А., 1987.

Выявление сезонной динамики камбиального роста у древесных растений. Охрана и биология дикорастущих растений в Латвии. **Труды ЛСХА**, 242:47-54.

БАЛОДИС В.А., КУЗНЕЦОВА Т.А., 1980.

Метод выявления выпадающих годовичных колец древесины. **Моделирование и прогнозирование в экологии**. Межвузовский сборник научных трудов. ЛГУ, Рига:156-163.

БАЛОДИС В.А., ПОСПЕЛОВА Г.Е., РАМАН К.К., 1982.

Моделирование влияния осадков на текущий прирост дуба черешчатого в Подмоскowie. **Моделирование и прогнозирование в биоэкологии**. ЛГУ, Рига:196-204.

БАЛОДИС В.А., РАМАНС К.К., 1977.

Методический подход к определению антропоотолерантной гетерогенности древостоя. **Антропоотолерантность биоценозов и прикладная экология**. Таллин:117-119.

БАЛОДИС В.А., РАМАН К.К., 1978.

К оценке структуры деградации рекреационных лесонасаждений по текущему приросту древесины. **Моделирование и прогнозирование в экологии.** Межвузовский сборник научных трудов. ЛГУ, Рига:42-47.

ЛИЕПА И.Я., ДРИКЕ А.Я., БАЛОДИС В.А., ПОСПЕЛОВА Г.Е., 1973.

Реакция ели на проходные рубки и оптимальная сумма площадей сечений древостоев. **Всесоюзное совещание по биогеоценологии и методам учета первичной продукции в еловых лесах.** Петрозаводск:124.

МАУРИНЬ А.М., БАЛОДИС В.А., УШИНСКАЯ В.И., 1978.

Методический подход к выявлению новых тенденций в динамике биоэкологических систем. **Растительный мир охраняемы территорий.** Зинатне, Рига:104-111.

МАУРИНЬ А.М., РАМАН К.К., БАЛОДИС В.А., 1986.

Эколого-прогностическая оценка лесных биогеоценозов. **Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды.** Петрозаводск:51-61.

ENVIRONMENTAL PROTECTION COMMITTEE OF LATVIA. RESEARCH CENTRE

ENVIRONMENTAL MONITORING IN LATVIA



PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

RĪGA, 1992

Guna ĀDAMSONE

Valdis BALODIS, Department of Botany and Ecology, University of Latvia

PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

II. METHODS FOR PHYTOINDICATION BASED ON MORPHOLOGICAL CHANGES

2.1. CHOICE OF THE PHYTOINDICATOR

A wide range of plant species have been used for phytoindication, including lichens (Lackovičová, 1988; Piterāns, Berziņa, 1990), mosses (Liepiņa, Nikodemus, 1990), ferns (Wada et al., 1986) and flowering plants (Murrin, 1987). Tree species have the advantages of having a large surface area which is sensitive to environmental change, and incremental radial growth allowing retrospective analysis. Of tree species, conifers are most often used for phytoindication surveys due to their increased sensitivity and economic importance. Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) has been affected in many industrial areas (Schubert et al., 1978; Gluch, 1988) and morphological changes in this species have been surveyed throughout Europe.

Phytoindicators are often chosen that have a clear and repeatable response to a specific environmental factor that is being studied. However, since the growth of plants is regulated by many natural and anthropogenic factors, an integrated response results and most morphological changes cannot be attributed to a particular source (Schubert et al., 1978). This is regarded as a drawback of this method (Mudd, 1975; Kovács,

Podani, 1986; Muir, McCune, 1987). However, the goal of this phytointicative survey of Larvia is to identify regions of concern by the integrated response plant species to multiple factors.

2.2. MORPHOLOGICAL FEATURES

Changes in the morphological features of trees that result from environmental perturbation may be grouped as follows:

1. leaf (needle) color,
2. defoliation,
3. organ size,
4. growth patterns (eg shape, branching),
5. incremental growth,
6. mortality of branches or individual,
7. seed yield.

Color changes in leaves may be the result of natural factors (eg moisture or nutrition deficiency, disease, pests) or anthropogenic disturbance (Muir, McCune, 1987). Most often, color changes are non-specific to a particular source (Schubert, 1985). However, some environmental factors result in specific and identifiable changes (Heath, 1975; Mudd, 1975; Prinz, 1987, Krause et. al., 1985).

Chlorosis is the loss of leaf color, or bleaching, between veins in broadleaf species, or at needle tips in conifers (Nebe et. al., 1988). The chlorosis process may be reversible. Chlorotic spots and lesions develop from increases in the concentrations of nitrous oxides and ozone (Schmuck, 1986; Hartmann et. al., 1988). The yellowing of specific regions of leaves or needles occurs close to roads where salt is used (Schubert, 1985) and from microelement deficiencies (Hartmann et. al., 1988).

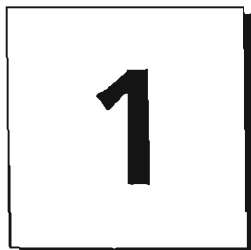
The browning of needles and the development of silver tones have also been observed. Necrosis are the result of mortality of cells in a particular region of a leaf or needle, and may occur peripherally, intervally, or apically, and as spots or lesions (Getko, 1988). The uneven distribution of harmful substances on leaf surfaces causes necrosis in regions of high concentrations. Needle necrosis begin at the apex and spread to the base and the level or extent of the necrosis depend on the intensity and duration of the anthropogenic stress. This feature is less related to natural factors such as frost, drought and nutrient deficiency (Themlitz, 1960; Odzuk, 1985; Skeffington et. al., 1985).

Normally, needle loss in pines is spatially distributed evenly in the crown. Defoliation as a result of stress is non-source specific. Often, the crown thins only in the shoots. Both needles and shoots become shorter. Typically, dead and dying branches along the periphery of the crown are also observed with defoliation. Branch mortality results in the development of new shoots from dormant buds. The extent of defoliation may be quantified, but this is usually done subjectively (Lanes, 1988).

Tree ring analysis is used to retrospectively describe changes in growth, and to date stressed periods of time (Liepa, 1980; LeBlanc et. al., 1987). Similarly, tree vertical growth is also used (Fu Mao-Yi, Tamm, 1985).

LR VIDES AIZSARDZĪBAS KOMITEJA. PĒTĪJUMU CENTRS.

VIDES MONITORINGS LATVIJĀ



LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTĒJUMS

RĪGA, 1992

Guna ĀDAMSONE, LU Botānikas un ekoloģijas katedra
Valdis BALODIS, LU Botānikas un ekoloģijas katedra

LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTEJUMS.

II. FITOINDIKĀCIJAS MORFOLOĢISKĀS METODES

2.1. FITOINDIKATORU IZVĒLE

Fitoindikācijā var izmantot praktiski visu zugu valsts taksonu pārstāvjus. Ļoti bieži par fitoindikatoriem lieto dažādu sugu ķērpjus [Lackovičová, 1988; Pīterāns, Bērziņa, 1990] un sūnas [Līepiņa, Nikodemus, 1990], paparžaugus [Wada et al., 1986], ziēdaugus [Murlin, 1987] u.t.t.

Ļoti plaši fitoindikēšanā izmanto kokaugus [Krause et al., 1986; Keller, 1988; Zurcher, 1988]. To priekšrocības - plašā saskarsmēs virsma ar vidi, kas jutīgi reaģē uz apstākļu maiņām, iespēja atkārtoti analizēt vienu un to pašu ipatņu stāvokli, iespēja retrospektīvi izsekot augšanas apstākļu izmaiņām pēc koksnes gadskārtām u.t.t. Kokaugu starpā, savukārt, īpaši iecienīti ir skuju koki - sava paaugstinātā jutīguma un saimnieciskā nozīmīguma dēļ. Parastā priele (*Pinus sylvestris* L.) - suga, kura industriālajos rajonos ir visai nopietni apdraudēta [Schubert et al., 1978; Gluch, 1988] un bieži tiek lietota fitoindikatīvajos pētījumos visā Eiropā.

Bioloģisko sistēmu izmaiņas vienmēr ir atkarīgas gan no antropogēniem, gan dabiskiem vides faktoriem. Sistēma parasti reaģē integrāli, tādēļ visbiežāk morfoloģiskās izmaiņas, kas atspoguļo auga stāvokli ir nespecifiskas [Schubert et al., 1978]. Pētījumos, kuros tiek analizēta kāda noteikta stresora iedarbība, reakcijas nespecifiskumu uzskata par trūkumu [Mudd, 1975; Kovacs, Podani, 1986; Mulr, McCune, 1987]. Vides kvalitātes pārskata novērtēšanas gadījumā integrālā atbildes reakcija, mūsdiā, ir viena no fitoindikācijas priekšrocībām un metodēs lietošanas priekšnoteikumiem, jo svarīgi ir novērtēt reālo vides stāvokli, kāds izveidojies, darbojoties visam vides faktoru kompleksam.

2.2. FITOINDIKĀCIJĀ IZMANTOJAMĀS MORFOLOĢISKĀS PAZĪMES

Vides faktoru iedarbības rezultāti ilksējas sekojošās morfoloģiskās pazīmēs [Hartmann et al., 1988; Innes, 1988]:

- 1) lapu (skuju) krāsas izmaiņas;
- 2) defoliācija;
- 3) orgānu lieluma izmaiņas;
- 4) morfozes;
- 5) pieauguma izmaiņas;

- 6) zaru, koku kalšana;
- 7) sēklu režas izmaiņas.

Lapu vai skuju krāsas izmaiņas var izraisīt gan dabīgie vides faktori - mitruma un barības vielu režīma traucējumi, slimības, kaiteļi, gan antropogēnas izcelsmes agenti - litotoksiskas vielas, skābie lieti, elektromagnētiskais piesārņojums u.c. [Muir, McCune, 1987].

Visbiežāk krāsas izmaiņas ir nespecifiskas [Шыбепт, 1988], tomēr noteikti vides faktori var atstāt arī specifiskas krāsojuma izmaiņas iezīmes [Heath, 1975; Mudd, 1975; Prinz, 1987; Krause et al., 1985 u.c.].

Var izšķirt vairākus lapu un skuju krāsojuma izmaiņu veidus.

Hlorozes - raksturo blāva lapu plātnes krāsa starp dzīslām, bet priedēm hlorotisks visbiežāk kļūst skuju galš [Nebe et al., 1988]. Hlorotiskās pārmaiņas var būt atgriezeniskas [Шыбепт, 1988]. Hlorotiski punktiņi un plankumiņi uz priēžu skujām veidojas slāpekļa oksīdu palielinātas koncentrācijas gadījumā. Līdzīgus simptomus izraisa ozona iedarbība [Schmuck, 1986; Hartmann et al., 1988].

Lapu noteiktu daļu vai skuju dzeltēšana notiek vietās, kur lēlu vai ceļu tīrīšanai lietota sāls [Шыбепт, 1988], noteiktu mikroelementu trūkuma gadījumā [Hartmann et al., 1988] u.c.

Dažkārt ir vērojama lapu vai skuju brūnēšana vai sudrabinas krāsas veidošanās [Шыбепт, 1988].

Nekrozes bieži veidojas pēc uzskaitītajām krāsojuma izmaiņām audu daļu atmiršanas rezultātā. Pēc nekrotisko pārveidojumu izvietojuma un formas izšķir punktvēda, plankumu, starpdzīslu, apmales un galotnes nekrozes [Шыбепт, 1988].

Nekrozes veidojas nevienmērīgi sadaloties pa lapas plātni lapā nokļuvušajiem litotoksikantiem. To koncentrēšanās vietās noris audu nekrotizēšanās [Гетко, 1989]. Skuju kokiēm tipiskākās ir gala nekrozes - nekrotizēšanās sākas skuju galā un pakāpeniski virzās uz skuju pamatni. Skuju nekrotizēšanās pakāpi nosaka antropogēnā stresora iedarbības intensitāte un ilgums. Atsevišķi īpatņi atšķiras pēc savas tolerances. Mazāk šo pazīmi ietekmē dabīgā stresa situācijas (sāls, sausums, barības vielu trūkums u.c.) [Themlitz, 1960; Odzuk, 1985; Skeffington et al., 1985].

Priedēm ir raksturīga relatīvi vienmērīga vainaga defoliācija un, visbiežāk, tā ir nespecifiska, dažādu kompleksl darbojošos faktoru izraisīta [Hartmann et al., 1988]. Vainags izretinās, bieži tikai jaunāko dzinumu daļā, skuju un dzinuml daļēl saisināt, var novērot bojā gājušus, nokaltušus zarus vainaga ārējā daļā. Defoliācija reizē ar zaru atmiršanu izsauc arī jaunu dzinuml veidošanos no snaudošajiem pumpurļem.

Defoliācijas pakāpi nosaka ar dažādlēm paņēmieniem, bet to valrums ir subjektīvi [Innes, 1988].

Ipaši nozīmīgu vietu fitoindikatīvo pazīmju kompleksā ieņem gadskārtu platuma laika rindas, kuras ļauj retrospektīvi izsekot augšanas apstākļu maiņai un precīzi datēt vides izraisītā stresa periodus, kā arī aprēķināt vides faktoru iedarbības īpatsvarus noteiktos laika periodos [Liuena, 1980; LeBlanc et al., 1987]. Bieži kā pazīmī indikēšanā izmanto arī koku garuma ilggadājos pieaugumus [Fu Mao-Yi, Tamm, 1985].

LR VIDES AIZSARDZĪBAS KOMITEJA. PĒTĪJUMU CENTRS.

VIDES MONITORINGS LATVIJĀ



LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTĒJUMS

RĪGA, 1992

Guna ĀDAMSCNE LU Botānikas un ekoloģijas katedra
 Valdis BALODIS LU Botānikas un ekoloģijas katedra
 Didzis TJARVE LU Botānikas un ekoloģijas katedra

LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTĒJUMS.

V. PROBLĒMAS UN PERSPEKTĪVAS

Iepriekš izklāstītie vides kvalitātes vērtējuma rezultāti balstās uz pašu vienkāršāko un visoperatīvāk ievācamo fitoindikācijas morfoloģisko pazīmju uzskaites datiem. Šīs pazīmes ar labām sekmēm pielieto fitoindikācijā citās Eiropas valstīs. Arī šis pētījums ir sasniedzis savu galveno uzdevumu - ir noskaidrots vispārējais Latvijas vides stāvoklis un izdalīti stresa rajoni, kuriem jāpievērš uzmanība pirmām kārtām un kuros jānoskaidro vides degradācijas cēloņi.

Šajā pētījumā (tāpat kā citos līdz šim veiktajos), plānotā fitoindikācijas sistēma nebūt nav pilnīga. Lielā mērā tā ir raksturojama ar jūdzienu "eksperimentālais vērtējums", kurā bez strikti definētām sakarībām tiek izmantota arī ilgstošā darbā iegūta, ne vienmēr precīzi formalizēta pieredze.

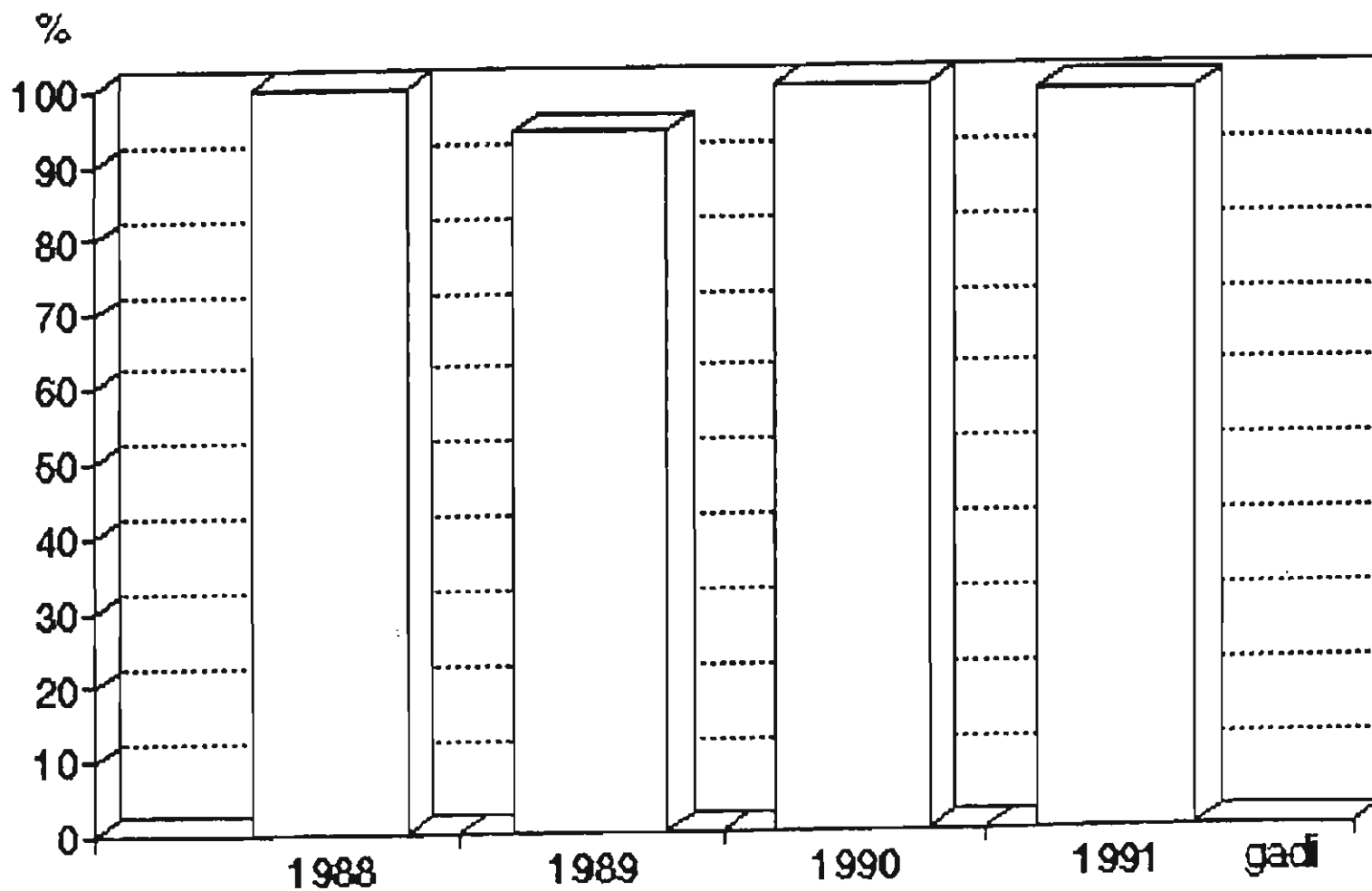
Pārejot uz jaunu fitoindikatīvo pētījumu posmu, acīm redzot paša uzmanība ir jāpievērš katras indikācijas metodes informativitātes novērtēšanai un tās iespējamā īpatsvara noskaidrošanai indikācijas sistēmā. Atsevišķi šādas kritiskas izvērtēšanas pētījumi jau ir veikti [Calms, 1984; 1986; Krupa, Kickert, 1987; Muir, McCune, 1987; 1988; Innes, 1988] un tie ir aktuāli arī Latvijas apstākļiem piemērotāko metožu un indikācijas sistēmu izvēlē. Atsevišķi pazīmju un sistēmas vērtēšanas elementi bija neizbēgami, apkopojot ievāktos datus datu bankā un veicot šo datu datoranalīzi. Šajā nodaļā ir izklāstām šī vērtējuma sākuma posma rezultātus.

5.1. PRIEŽU SKUJU NEKROTIZĀCIJA

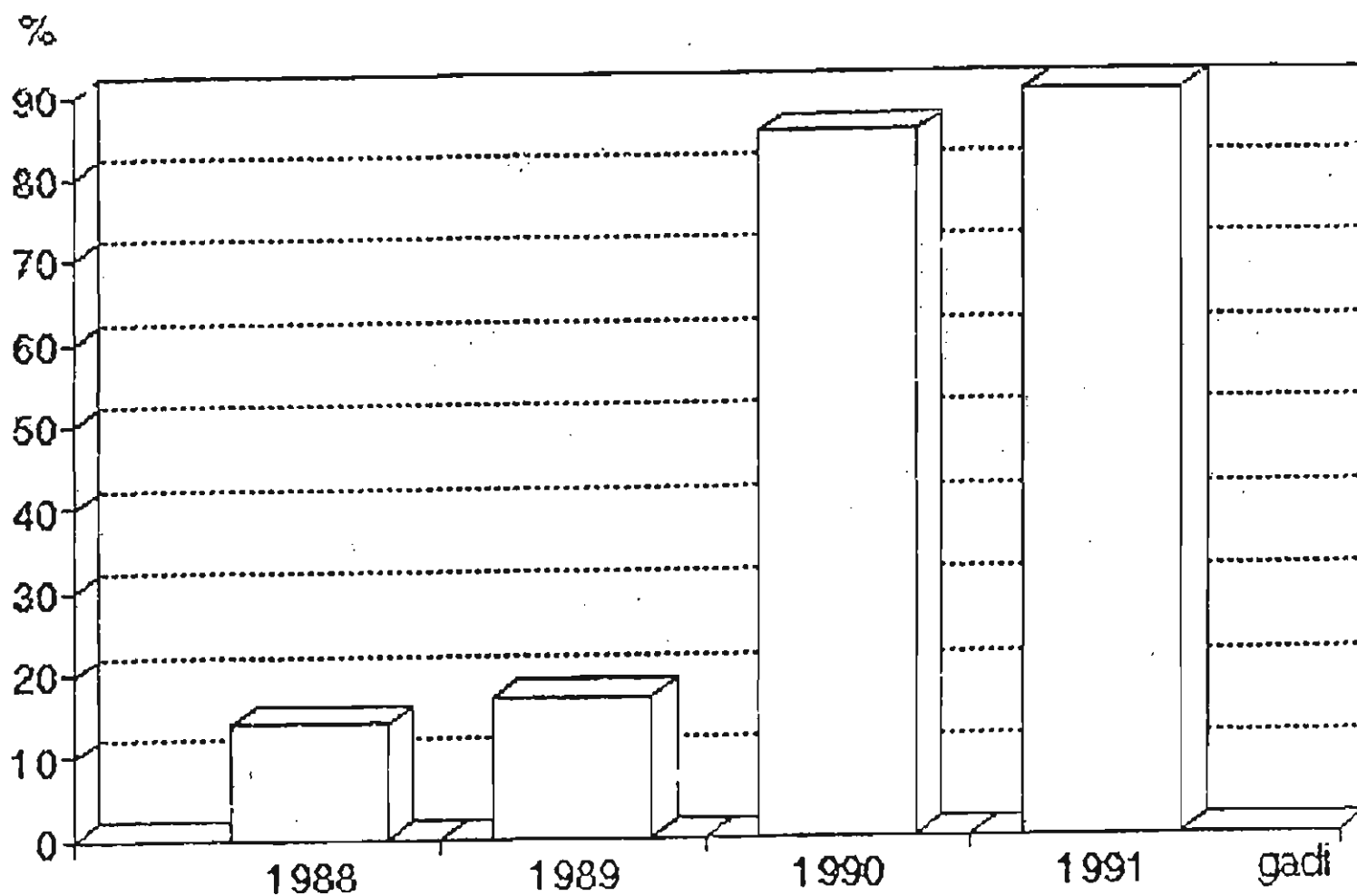
Priežu skuju nekrotizācija - pazīme, kura lieta vides kvalitātes fitoindikatīvā ekspertvērtējuma pamatā. Paraleli uzskaitīti divi nekrotizācijas parametri: 1) nekrotizācijas pakāpe [Jäger, 1980]; 2) nekrotizēto skuju procentuālais daudzums.

Nekrotizēto skuju daudzums (procentos no kopējā analizēto skuju skaita) pētījuma laikā ir jūtami palielinājies, izņemot gadījumus, kad jau 1988.gadā tas ir bijis tuvs 100%. To uzskatāmi apliecina gadu no gada kontrolēto parauglaukumu dati (5.1.1.-5.1.3.att.). Rezultātā - 1990.gadā apsekojamajā teritorijā (Latvijas austrumos) ir lielākais maksimāli nekrotizēto paraugu daudzums (5.1.4.att.).

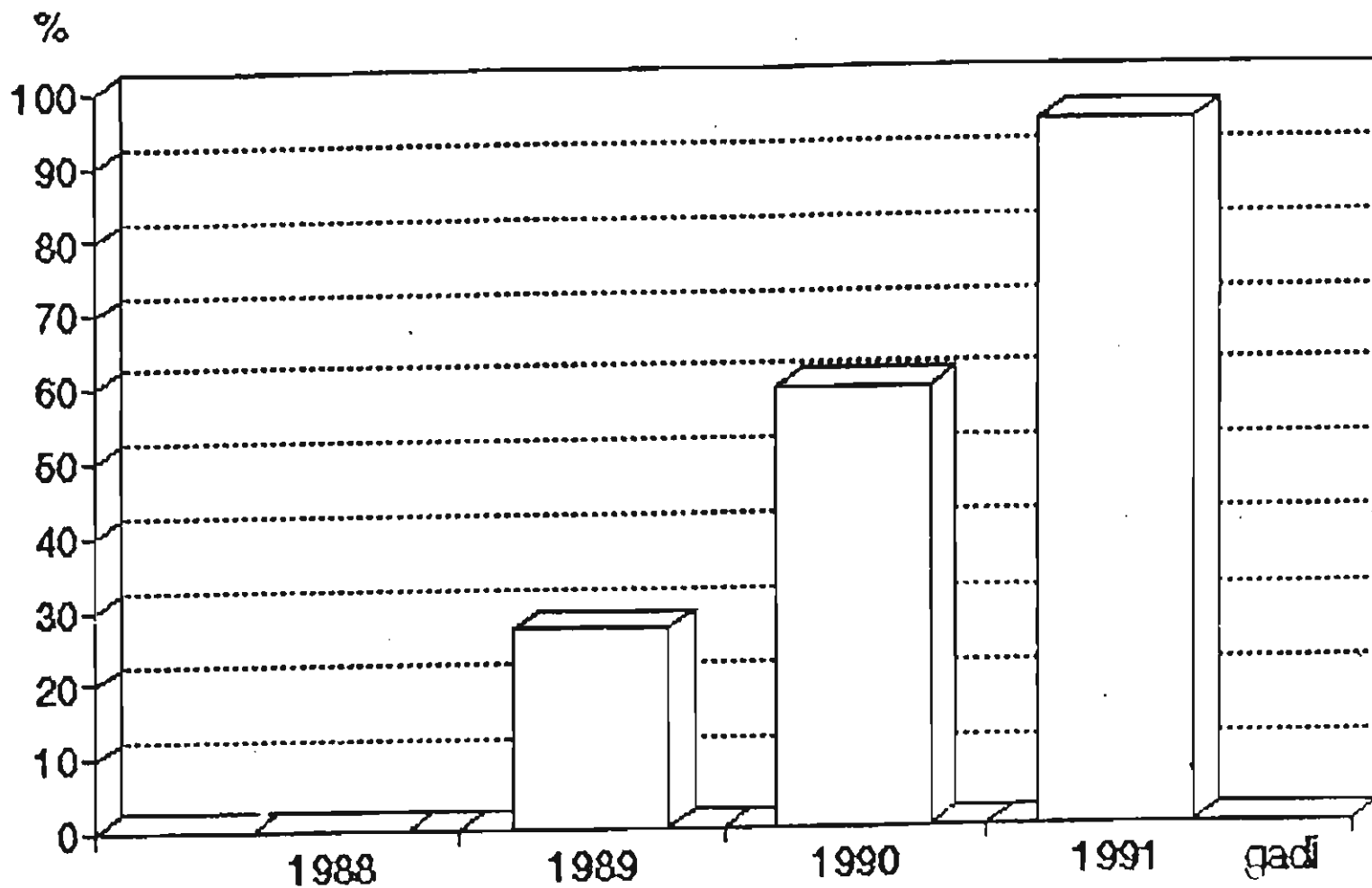
Reālajam nekrotizēto skuju procentuālā daudzuma sadalījumam pa parauglaukumiem ir eksponenciāls, nevis lineārs raksturs (5.1.5. att.). Tas nozīmē, ka



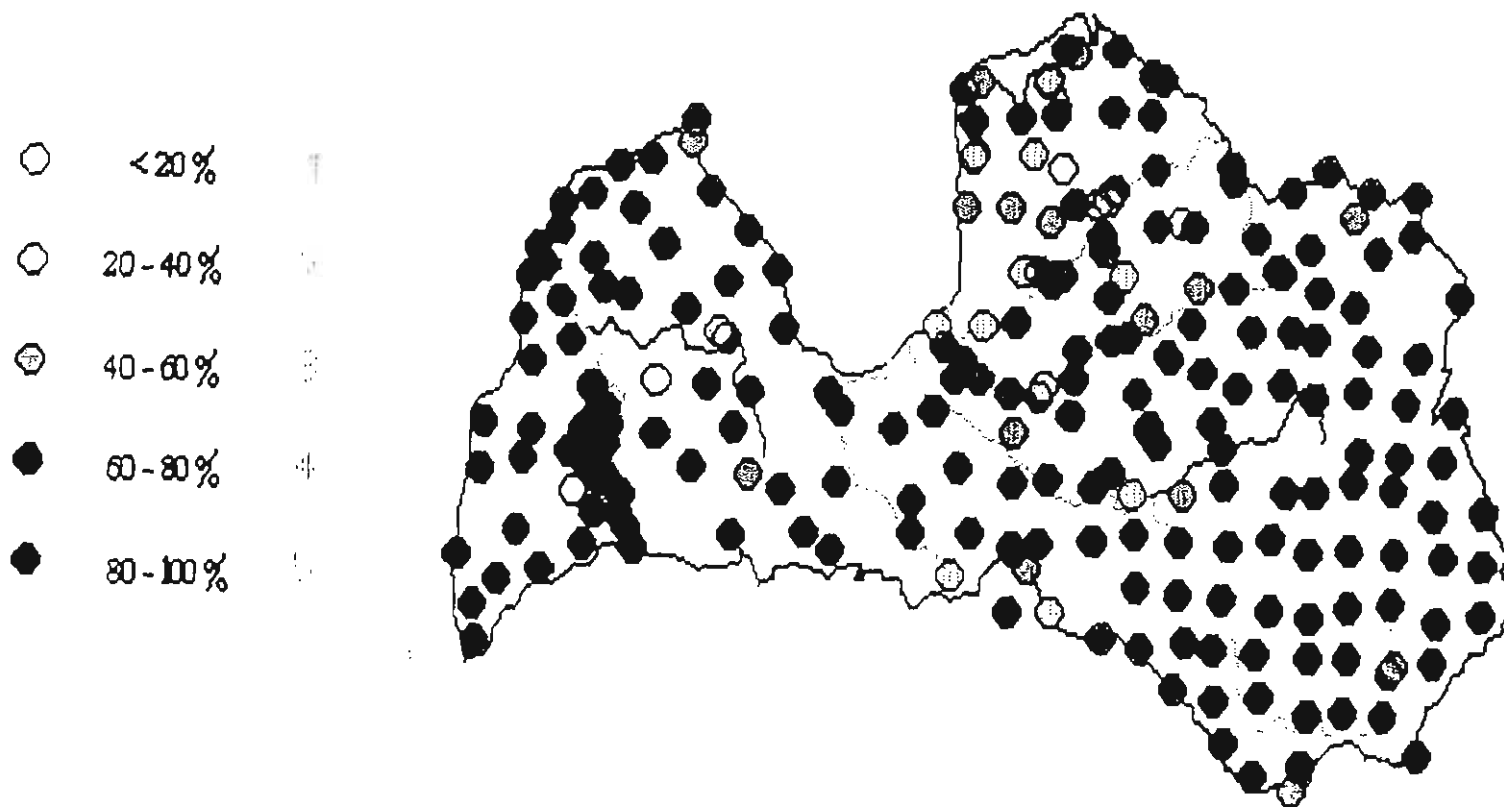
5.1.1. att. Skuju nekrotizācijas procenti parauglaukumā 'Vaiņode' (8C01).



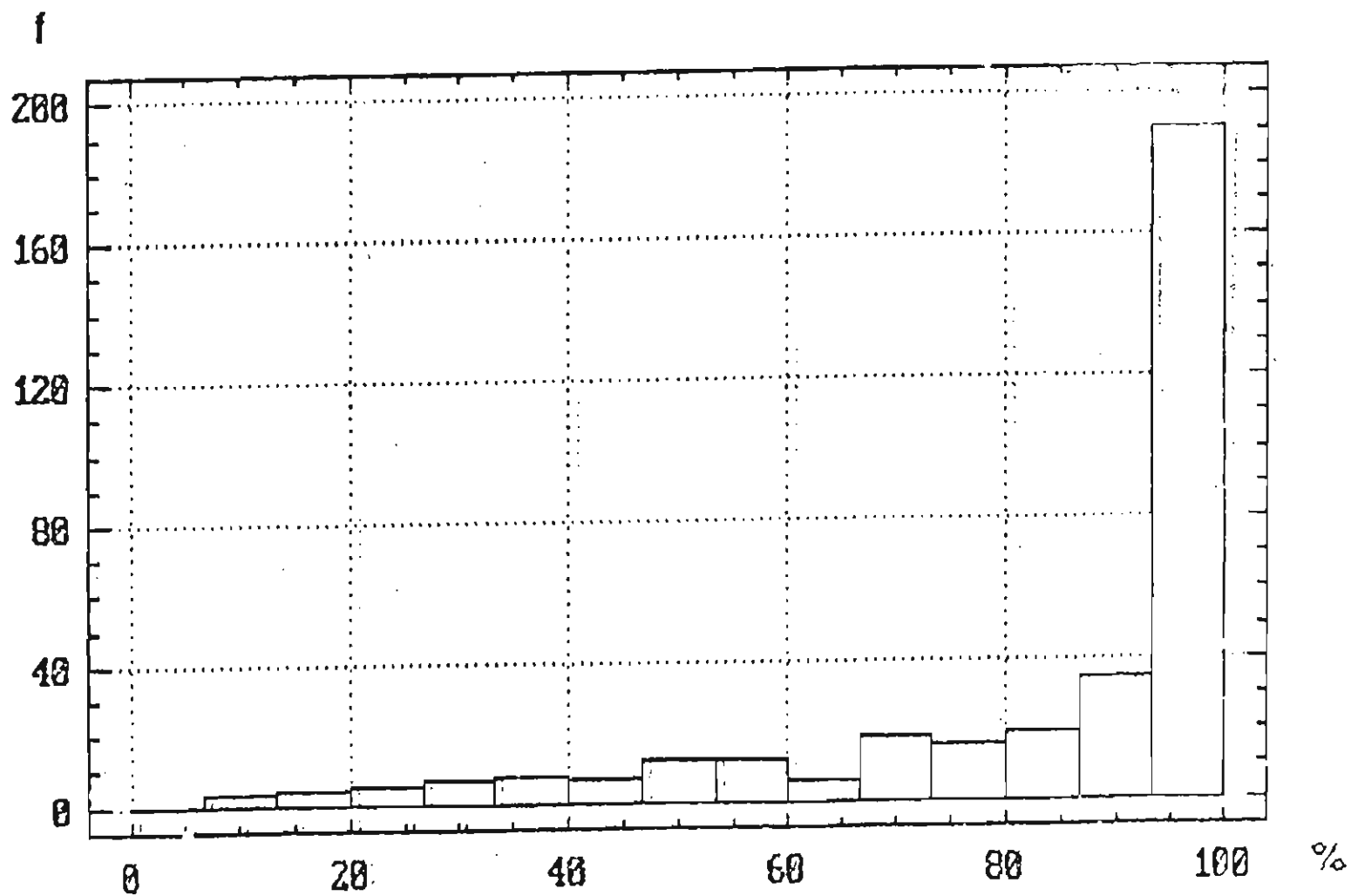
5.1.2 att. Skuju nekrotizācijas procenti parauglaukumā 'Mazsalacas Lillija' (201).



5.1.3. Skuju nekrotizācijas procenti parauglaukumā 'Brasla' (4/01).



5.1.4. att. Skuju nekrotizācijas procentuālā daudzuma sadalījums klasēs.
 1 - 5 - skuju nekrotizācijas procentuālā daudzuma klases.



5.1.5. Nekrožu procentuālā daudzuma frekvenču histogramma.

nekrotizēto skuju daudzuma klases, kas veidotas pēc lineāras skalas, šajā gadījumā nav piemērotas. Informatīvāks un reālajai situācijai atbilstošāks klašu veidošanai ir eksponenciālais mērogs, kurš ļauj adekvātāk raksturot atšķirīgas dažādās paraugu ņemšanas vietās (5.1.6. att.). Protams, veidojot nekrotizācijas kopainu Latvijas teritorijā, kas apsekota vairāku gadu laikā, saglabājas novirzes, kuras veidojušās, pieaugot pa gadiem nekrotizēto skuju daudzumam. Tādēļ šis rādītājs nevar kalpot par pamatu stabilas fitoindikācijas sistēmas veidošanai.

Skuju nekrotizēšanās pakāpes tika formulētas, pētot punktveida omelšijas avotu iedarbību uz priežu audzēm [Jāgers, 1980]. Situācija Latvijā ir krasā atšķirīga un 4.-6. pakāpes nekrozes, kas liecina par nopietnu atmosfēras piesārņojumu tika konstatētas tikai nēdaudzdos gadījumos.

5.2. KOKU GALOTŅU DEFORMĀCIJA

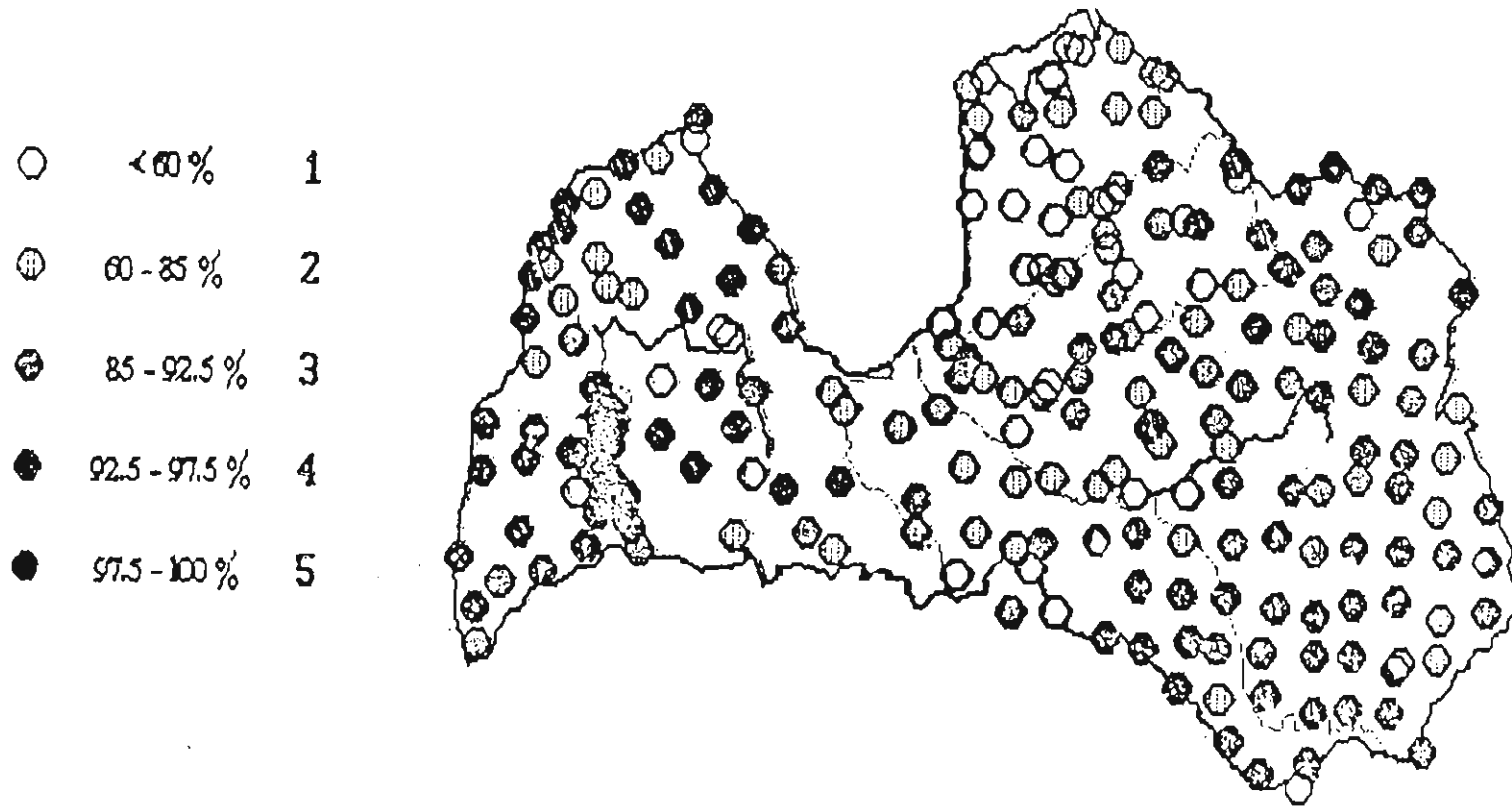
Skuju koku galotņu deformāciju uzskaites rezultāti atainoti 5.2.1. attēlā. Šī pazīme, atšķirībā no iepriekš analizētajām, visai būtiski ir iespējams fitoindikativā eksperimentāluma gala rezultātus, procedējot apdraudētāko Latvijas vietu gradāciju. Korelācija starp koku galotņu deformācijas klasēm un skuju nekrotizācijas procentuālā daudzuma klasēm ir minimāla.

5.3. UZ SKUJĀM KONSTATĒTO ALGU LOKALIZĀCIJA LATVIJĀ

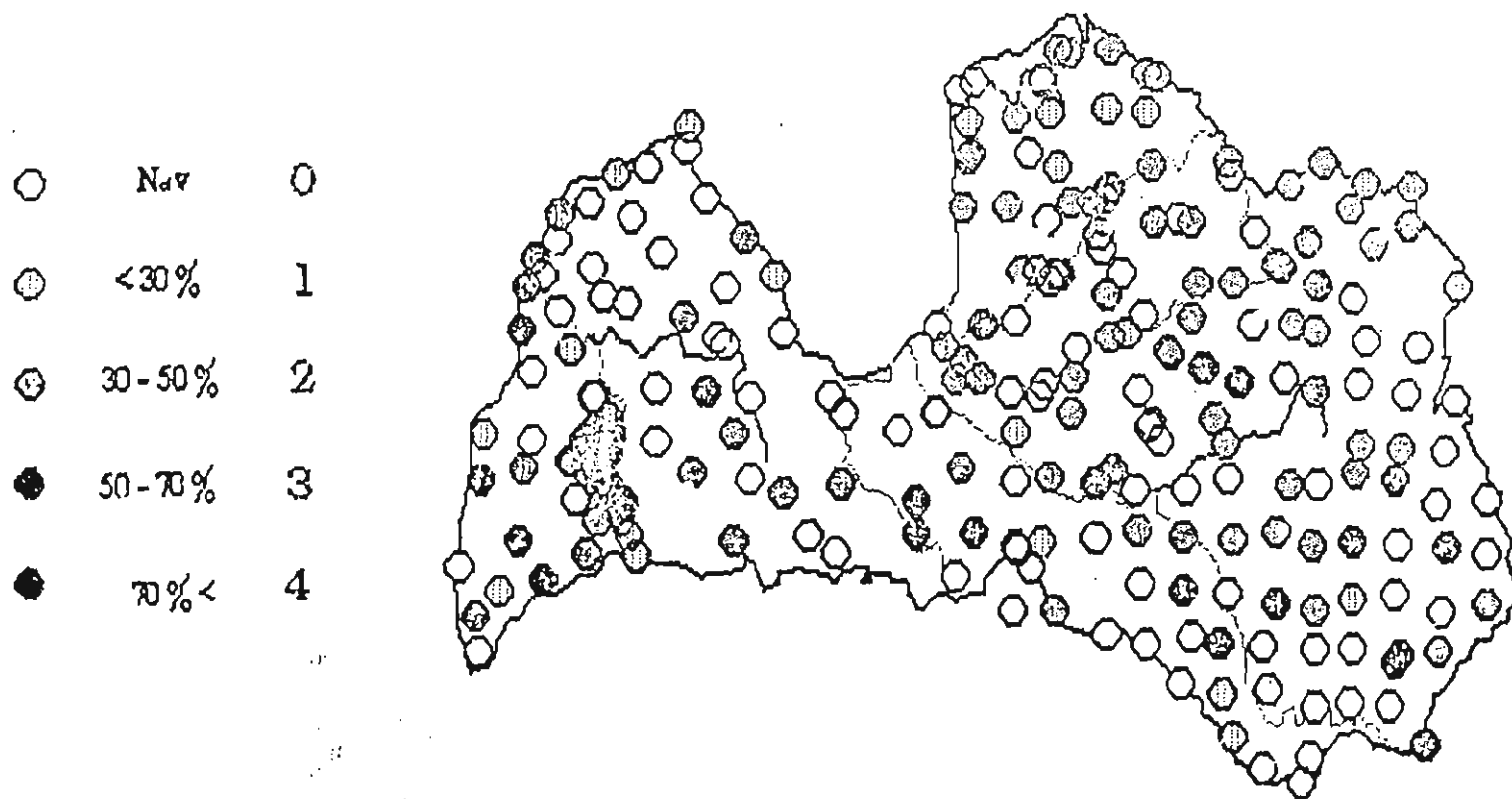
Algu sastopamība uz skujām netika izmantota kā pazīme vides kvalitātes vērtēšanai. Tika konstatēta viena algu suga - *Pleurococcus vulgaris* Naeg. Vietās, kur šī aļģe ir atrodamā, tā veido uz skujām blīzu aplikuma kārtu. *Pleurococcus vulgaris* tika atrasta gandrīz visos Latvijas dienvidaustrumos apsektajos parauglaukumos un tikai atsevišķos gadījumos citās Latvijas vietās (5.3.1. att.). Jautājums par to, vai šai pazīmei ir kāda fitoindikativa vērtība, paliek atklāts un jāskaidro turpmāk.

5.4. SKUJU SASVEĶOJUMI

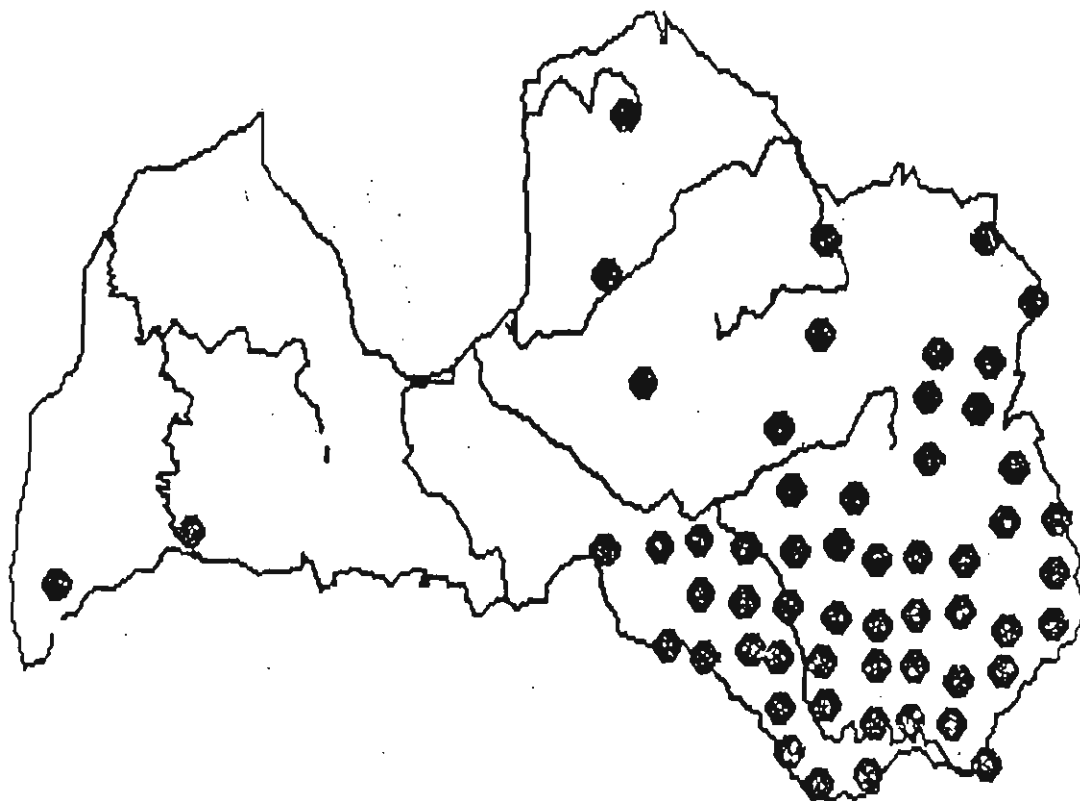
Skuju sasveķojuma pakāpi vērtēja visos parauglaukumos, bet vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma sistēmā šī pazīme netika iekļauta. Apsekošanas laikā apsveķojuma pakāpe gadu no gada mainījās gan kopumā, gan atsevišķos, katru gadu apsektajos parauglaukumos (5.4.1. - 5.4.4. att.). Šis pazīmes nodarība vides kvalitātes vērtēšanai pagaidām nav skaidra un ir nepieciešams izvērtēt, cik lielā mērā sasveķojuma pakāpe ir atkarīga no ilggadējām klimata svārstībām, un kāds ir šīs pazīmes īpatsvars vides kvalitātes raksturojumā.



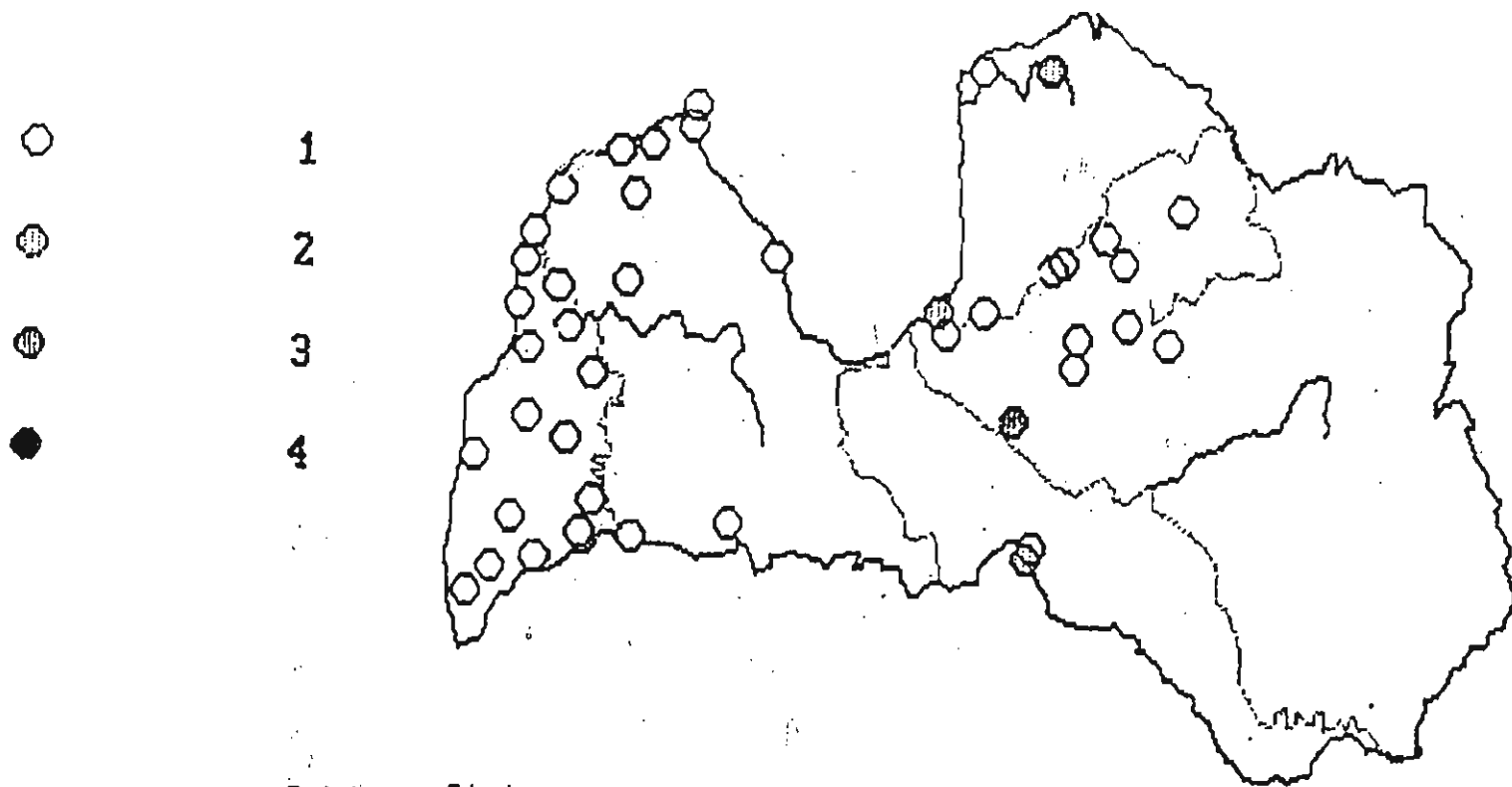
5. 1. 6. att. Skuju nekrotizācijas procentuālā daudzuma eksponenciāls sadalījums klasēs.
1 - 5 - skuju nekrotizācijas procentuālā daudzuma klases.



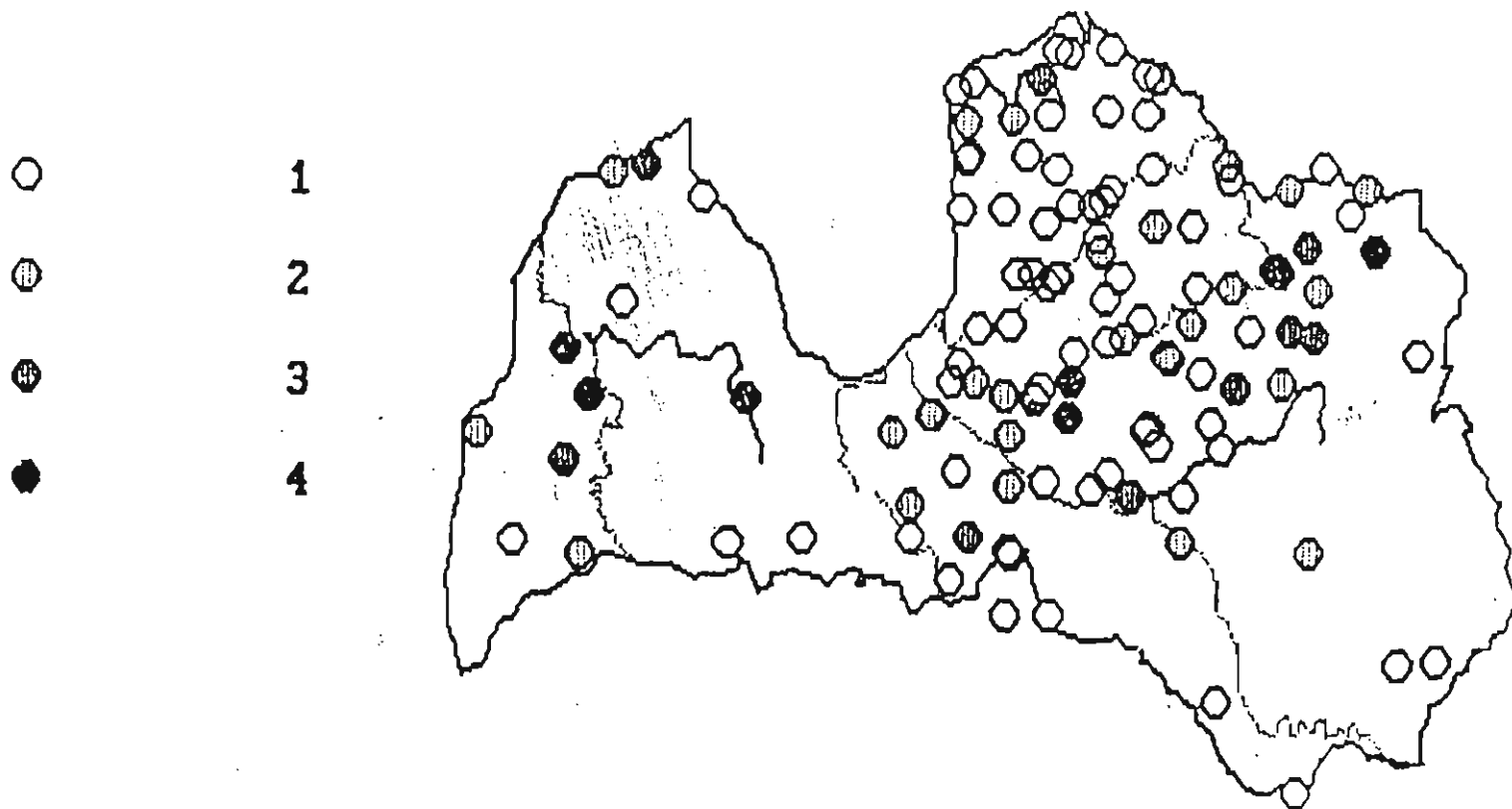
5.2 1. att. Skuju koku galotņu deformācijas.
0 - 4 - galotņu deformāciju klases.



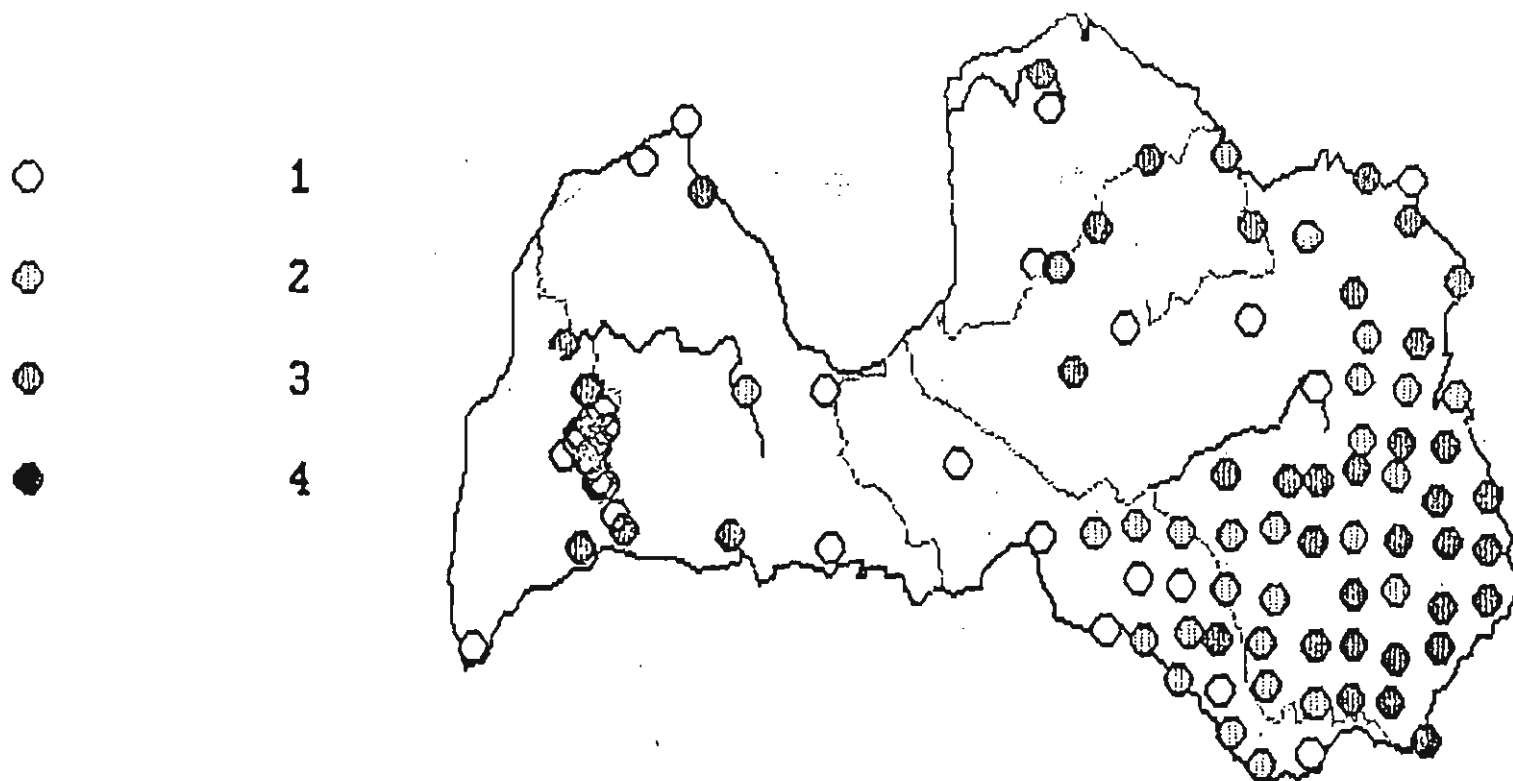
5.3.1. att. Uz skujām konstatēto aļģu lokalizācija Latvijā.



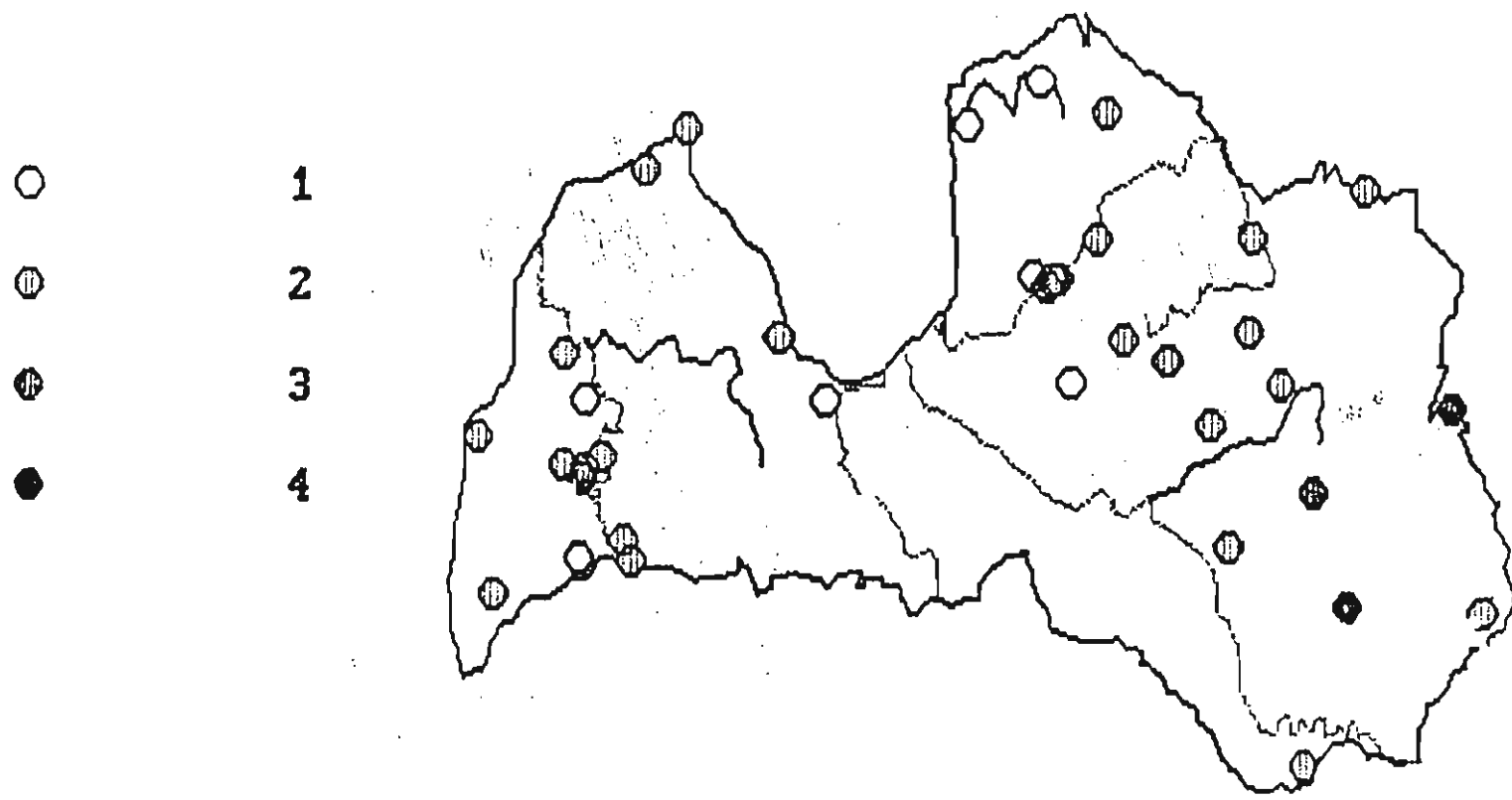
5.4.1. att. Skuju sasveķojumi 1988. gadā.
1 - 4 - skuju sasveķojumu klases.



5.4.2. att. Skuju sasvekojumi 1989. gadā.
1 - 4 - skuju sasvekojumu klases.



5.4.3. att. Skuju sasveķojumi 1990. gadā.
1 - 4 - skuju sasveķojumu klasas.



5.4.4. att. Skuju sasveķojumi 1991. gadā.
1 - 4 - skuju sasveķojumu klases.

5. FITOINDIKATĪVĀ VĒRTĒJUMA FORMALIZĒŠANA

Sastādot vides kvalitātes ekspertvērtējuma kartoshēmas (4.2.1. un 4.2.2.att.), vērā ņemti dati, kuri iegūti nevien parauglaukumos, bet arī ārpus to robežām. Šos datus numurs nav izdāvējis formalizēt datu bankā. Formalizētos vērtējuma rezultātus nedzām 5.5.1. - 5.5.4.att. un 2. pielikuma tabulā.

1988.gadā, Kurzemē, 1. un 2.vērtējuma klase (fona līmenis) tika konstatēta parauglaukumos 5E03, 6G01, 6D06 un 7E01 (5.5.1.att.). Liela parauglaukumu daļa atbilst 3.-5.vērtējuma klasei (vidēja vides kvalitāte). Kurzemē apsekoto parauglaukumu lielākā daļa uzrāda augstu vides degradācijas pakāpi (6. un 7.vērtējuma klase). Septiņai klasei atbilstošie parauglaukumi izvietoti grupās: gar Kurzemes jūrmalu (3D02, 3C02, 4C04, 4B01, 5B01, 6B01, 7B06, 8B01) un pie Lītuvas robežas (8C04, 8C01, 8D08, 8E01). Daži šādi parauglaukumi atrodami arī Kurzemes centrālajā daļā.

1989.gadā (Vidzeme, Zemgale, pastāvīgie parauglaukumi) apsekotajos parauglaukumos vairāk ir 1. un 2.klasei atbilstošu punktu: 2J02, 2I07, 3I01, 3J01, 4J05, 4J04 u.c. (5.5.2.att.). Vidēji daudz ir 3.-5.klasei atbilstošu laukumu. Vides degradācija (7.klase) konstatēta parauglaukumos 4M03, 4M01, 4M02, 6L02, 6L03, 8H01, 8H02.

1990.gadā tika apsekota Latgales daļa (5.5.3.att). Gandrīz visa teritorija ir novērtēta kā atbilstoša 3.-5.klasei. 6.un 7.klasei ir konstatēta parauglaukumos 7P02, 9N03, 8P01, 9P02, 9N03, 9L02 un 8L02.

Formalizējot fitoindikativā vides kvalitātes vērtējuma klasu kritērijus (5.5.1.tab.), gūstam iespēju aprēķināt vērtējuma klases pēc datu bankā esošajiem izvejas datiem. Aprēķinu rezultāti sniegti 5.5.5.attēlā.

6. PERSPEKTĪVAS

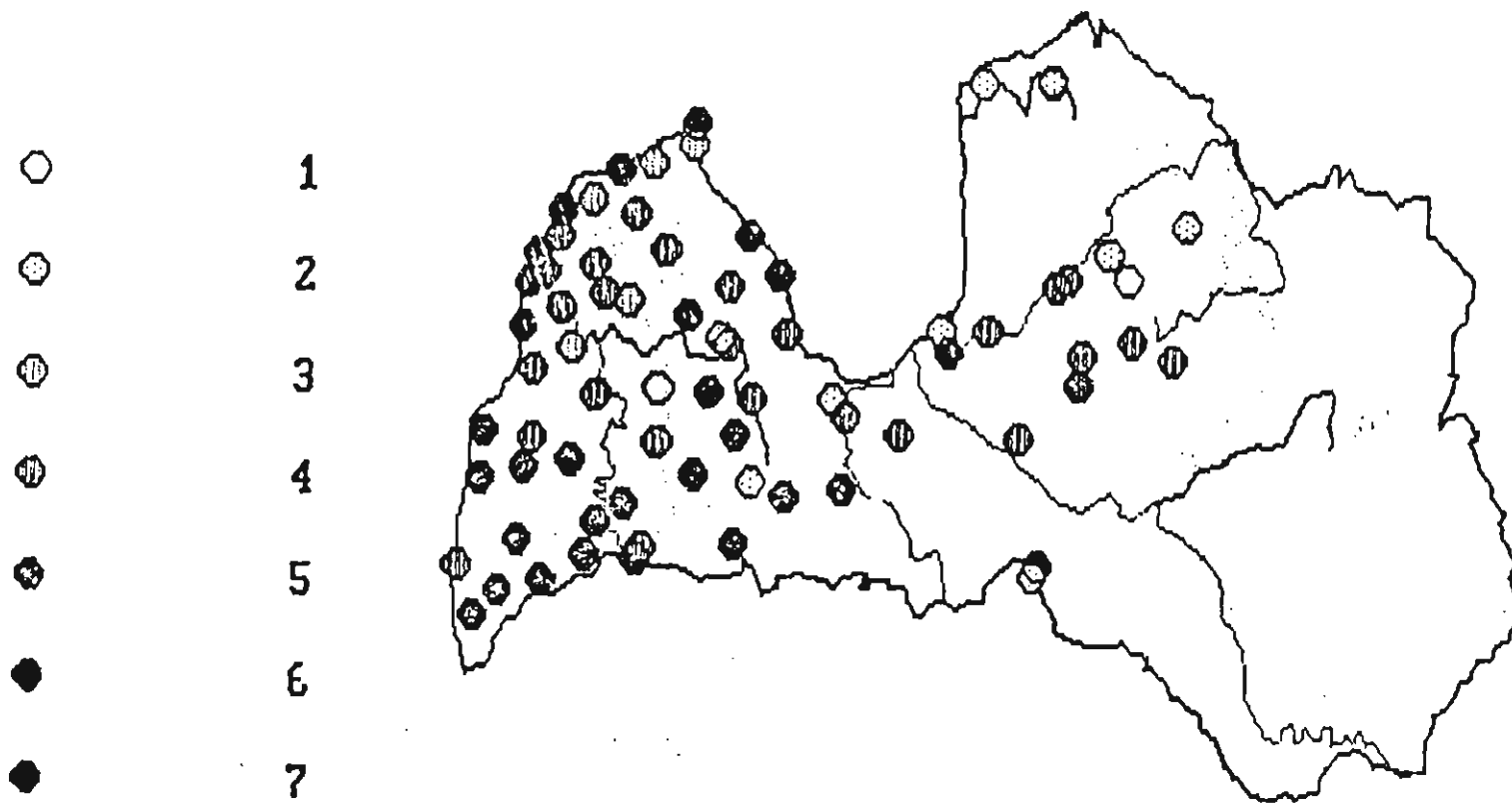
Vides kvalitātes bioindikativās vērtēšanas nepieciešamība ir acīm redzama.

Attālinātāku aktuālākais ir:

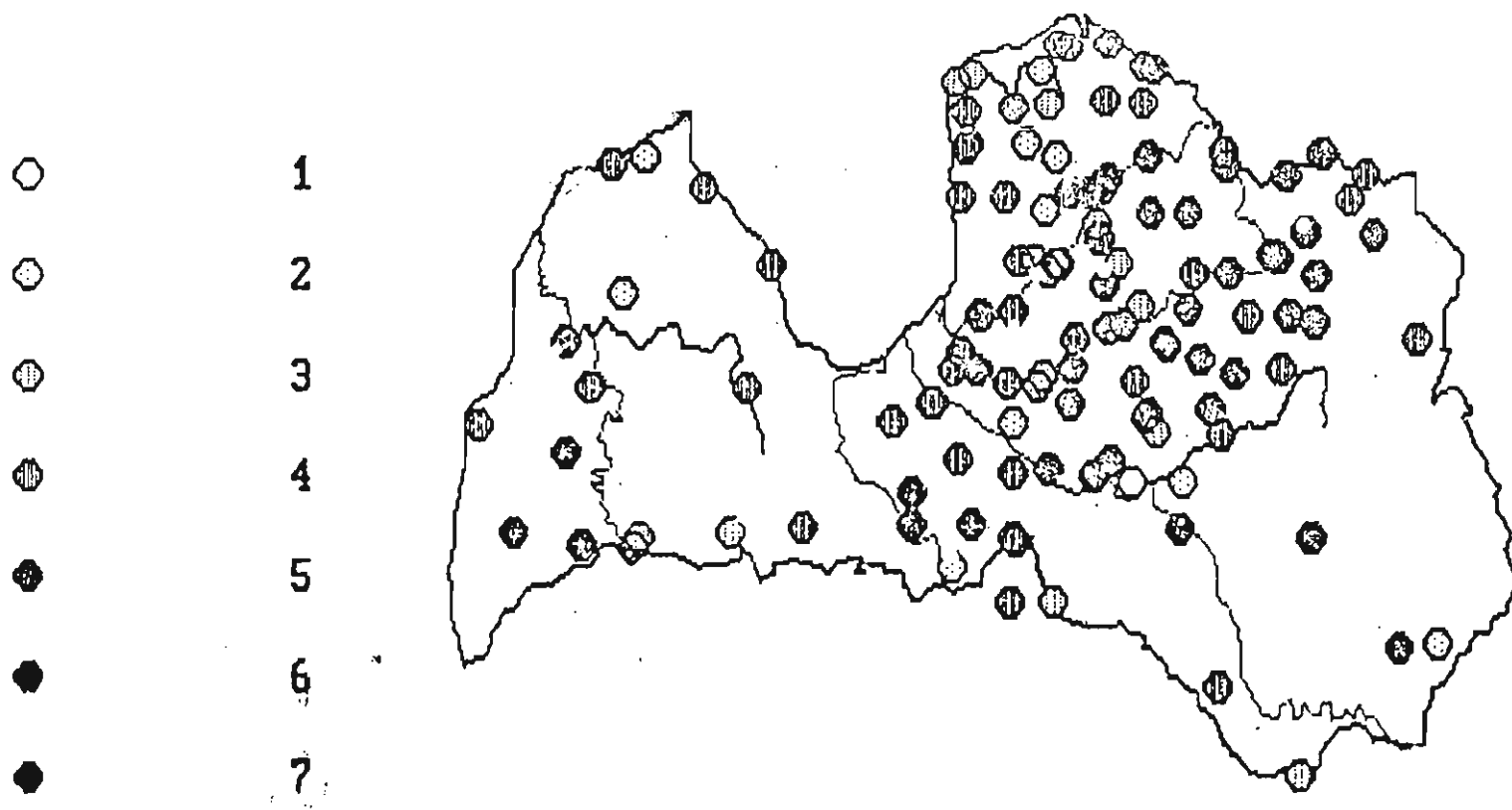
1. Indikācijā lietojamo metožu nopietna izvērtēšana;

2. jaunu metožu izstrādāšana un verifikācija;

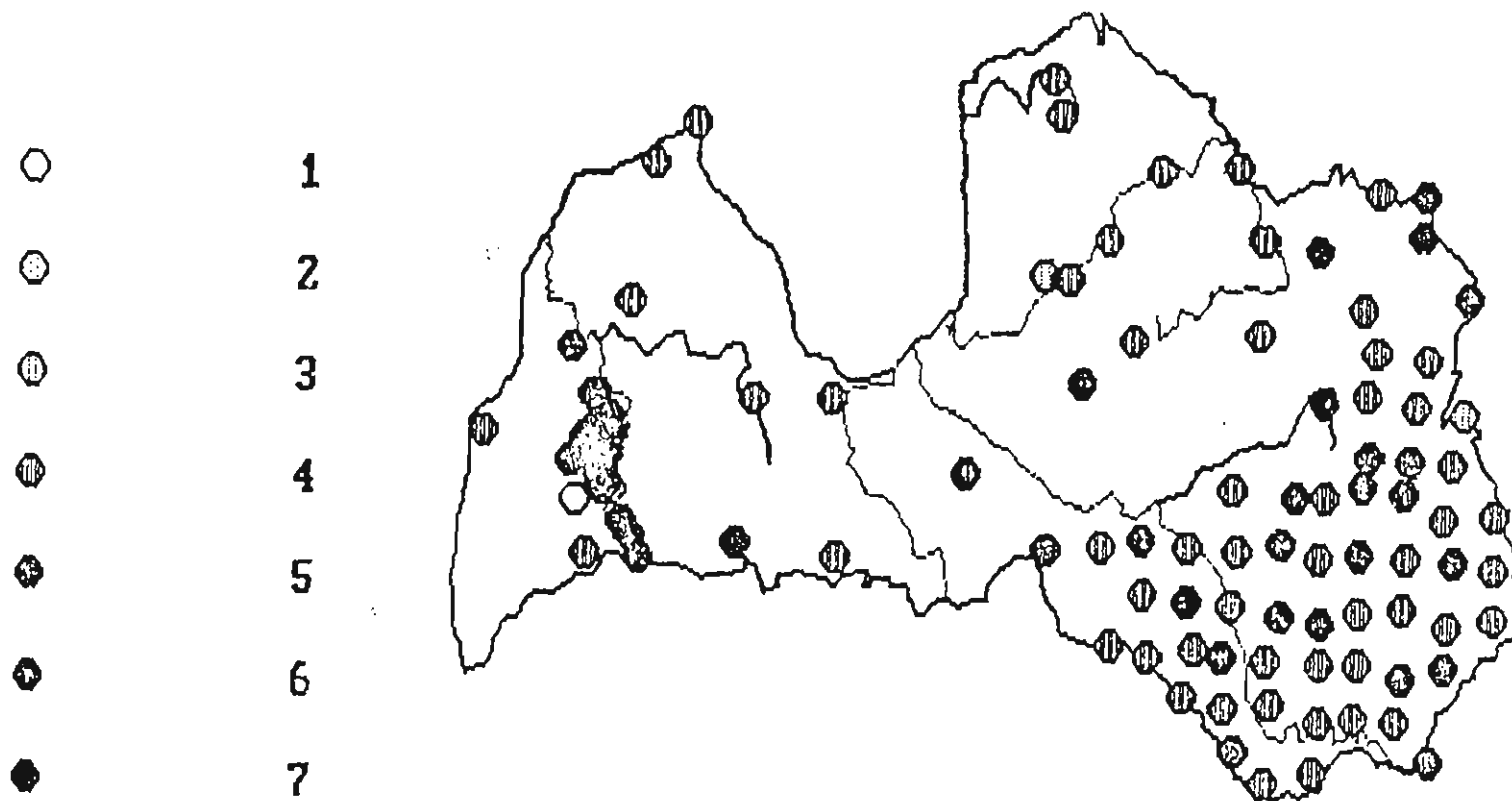
3. ekoloģisko, ekopozitoloģisko un mikrobioloģisko bioindikācijas metožu ieviešana kompleksā vides kvalitātes vērtējuma sistēmā.



5.5.1. att. Vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma klases 1988. gadā
1 - 7 - fitoindikativā vērtējuma klases.

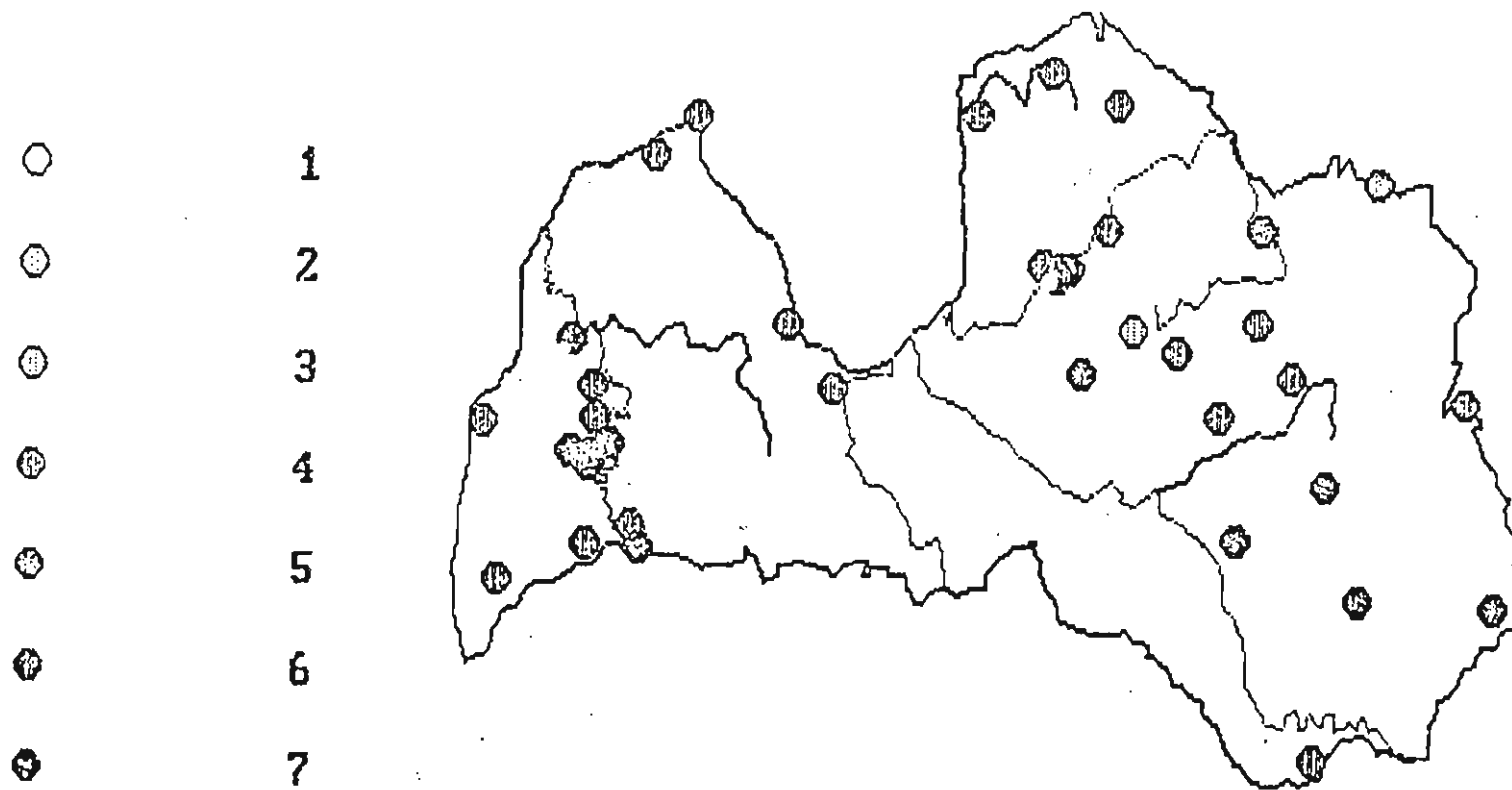


8.5.2. att. Vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma klases 1989. gadā.
1 - 7 - fitoindikativā vērtējuma klases.

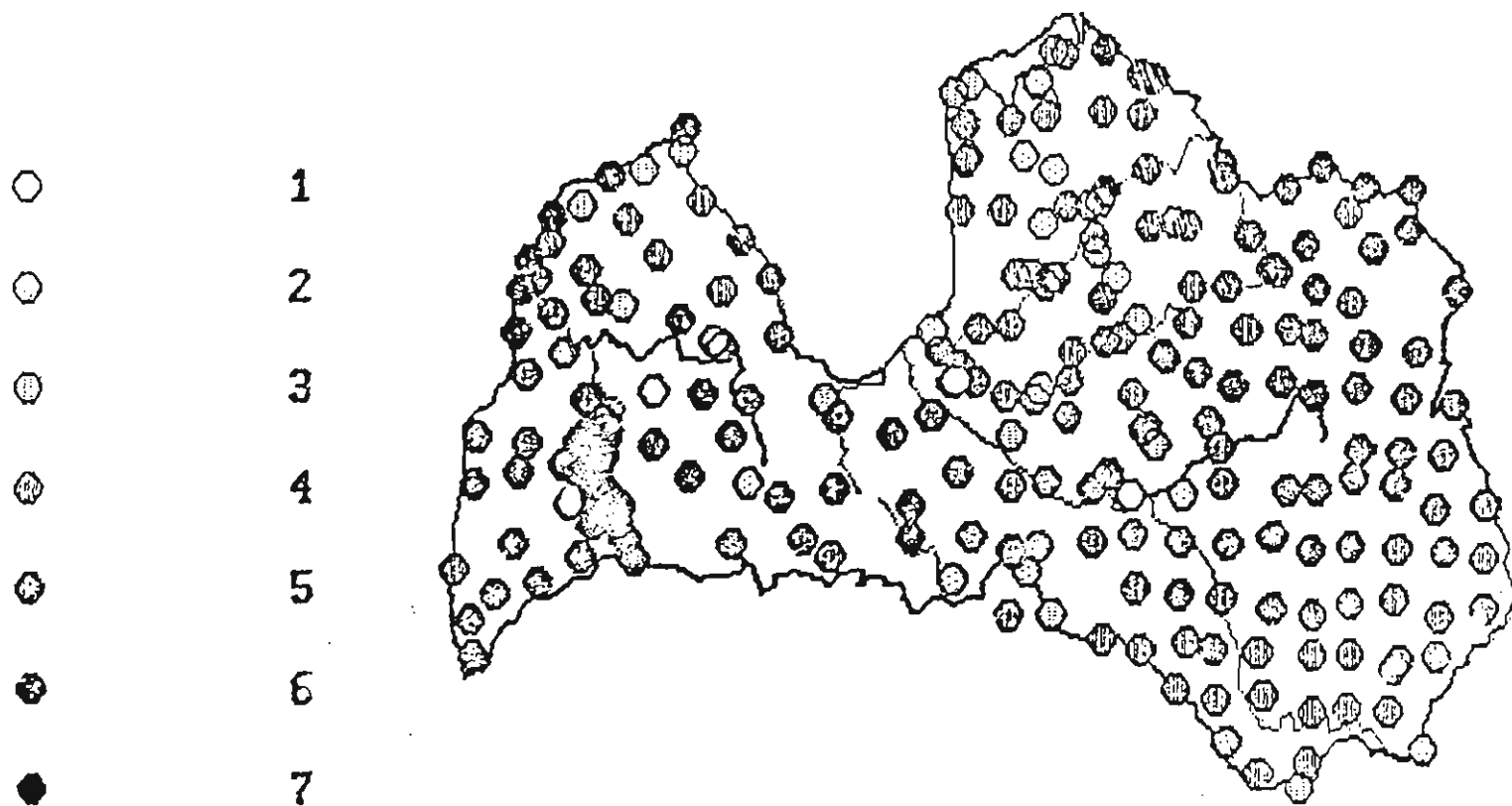


5.5.3. att. Vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma klases 1990. gadā.

1 - 7 - fitoindikativā vērtējuma klases.



5.5.4. att. Vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma klases 1991. gadā.
1 - 7 - fitoindikativā vērtējuma klases.



5.5.5. att. Vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma klases, kopsavilkums.
1 - 7 - fitoindikativā vērtējuma klases.

5.5.1. tabula

Fitoindikācijas klašu aprēķināšanas shēma.

Gdf.	Npr	<25		25 - 50		50	70	70	90	90>
	Snp	<10	10>	<20	20>	<35	35>	<50	50>	
0	N	1	2	2	3	3	4	4	4	4
	Kz	2	2	3	3	4	4	4	4	5
	KK	3	3	4	4	4	4	5	5	6
1	N	2	2	3	3	4	4	4	5	5
	Kz	3	3	4	4	4	5	5	5	6
	KK	5	5	5	5	5	5	6	6	6
2	N	3	3	4	4	4	4	5	5	5
	Kz	4	4	4	5	5	5	5	6	6
	KK	6	6	6	6	6	6	7	7	7
3	N	5	5	5	5	5	6	6	6	7
	Kz	5	5	5	6	5	6	6	6	7
	KK	6	6	6	6	6	7	7	7	7
4	N	6	6	6	6	6	6	6	6	7
	Kz	6	6	6	6	6	6	7	7	7
	KK	6	6	6	6	7	7	7	7	7

Gdf - skuju koku galotņu deformācijas klases.

Npr - nekrotizēto skuju daudzums procentos.

Snp - 3. - 6. pakāpes nekrotizēto skuju daudzums procentos.

N - kaitušu koku un kalstošu zaru nav.

Kz - konstatēti kalstoši zari.

KK - konstatēti kalstoši koki.

LITERATŪRA

- Calms J., Jr., 1984. Are single species toxicity tests alone adequate for estimating environmental hazard? - *Environm. Monit. Assessment*, **4** :259-273.
- Calms J., Jr., 1986. The myth of the most sensitive species. - *BioScience*, **36**, 10 :670-672.
- Darral N.M., Jäger H.J., 1984. Biochemical diagnostic tests for the effect of air pollution in plants. - In: *Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism* (Ed. by M.J.Kozlowski & F.R.Whatley) :331-351. - London :Butterworths.
- Fu Mao-Yi, Tamm C.O., 1985. Predicting branch and needle growth of spruce (*Picea abies* (L.)Karst.) from easily measurable tree parameters. I.Length of first order shoots. - *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, **6**, 20 :347-363.
- Gluoh W., 1988. Zur Benadelung von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) In Abhängigkeit vom Immissionsdruck. - *Flora*, **181**, 5/6 :395-407.
- Hartmann G., Nierhaus F., Butln H., 1988. Farbatlas Waldschäden: Diagnose von Baumschäden. - Stuttgart :Ulmer, 256 S.
- Heath R.L., 1975. Ozone. - In: *Responses of Plants to Air Pollution* (Ed. by J.B.Mudd & T.T.Kozlowski) :23-55. - New York :Acad.Press.
- Innes J.L., 1988. Forest health surveys - a critique. - *Environm. Pollution*, **64** :1-15.
- Jäger E.J., 1980. Indikation von Luftverunreinigungen durch morfometrische Untersuchungen an höheren Pflanzen. - In: *Bioindikation* (Hrsg. R.Schubert & J.Schuh) :43-52. - Halle.
- Jakovcs P., Meszáros I, Papp B.L., Tóth J.A., 1986. Acidification of soil and decay of sessile oak in the "Sikdökút Projekt" area (N-Hungary). - *Acta Bot. Hung.*, **32**, 1-4 :303-322.
- Keller Th., 1988. Growth and premature leaf fall in American aspen as bioindicators for ozone. - *Env. Pollut.*, **52**, 3 :183-192.
- Keller Th., Hässler R., 1988. Some effects of long-term fumigations with ozone on spruce (*Picea abies* (L.) Karsten). - *GeoJournal*, **17**, 2 :277-278.
- Kovács M., Podani J., 1986. Bioindikation: a short review on the use of plants as indicators of heavy metals. - *Acta Biol. Hung.*, **37**, 1 :19-29.
- Krause G.H.M., Jung K.-D., Prinz B., 1985. Experimentelle Untersuchungen zur Aufklärung der neuartigen Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. Waldschäden. Einflussfaktoren und ihre Bewertung. - *Berichte des Vereins Deutscher Ingenieure*, **560** :627-656.
- Krause G.H.M., Arndt U., Brandt C.J., Kenk G., Matzner E., 1986. Forest decline in Europe: development and possible causes. - *Water, Air, and Soil Pollut.*, **31**, 3-4 :647-668
- Krupa S., Klekart R.N., 1987. An analysis of numerical models of air pollutant exposure and vegetation response. - *Environm. Pollut.*, **44** :127-158.

- Lackovičová A., 1988. Literature on lichen indication in socialist countries. - *Biologia*, 43, 1 :79-88.
- LeBlanc D.C., Raynal D.J., White E.H., 1987. Acid deposition and tree growth. I. The use of stem analysis to study historical growth patterns. - *Journ. Environm. Qual.*, 16, 4 :325-333.
- Liepīņa L., Nikodemus O., 1990. Bīoloindikācijas rezultāti Rīgā. - *Latv. Ekol.*, 2 :50-60.
- Mudd J.B., 1975. Peroxyacyl nitrates. - In: Responses of plants to air pollution (Ed. by J.B.Mudd & T.T.Kozlowski) :97-119. - London :Acad. Press.
- Muir P.S., McCune B., 1987. Index construction for foliar symptoms of air pollution injury. - *Plant Disease*, 71, 6 :558-565.
- Muir P.S., McCune B., 1988. Lichen, tree growth, and foliar symptoms of air pollution: Are the stories consistent? - *Journ. Environm. Qual.*, 17, 3 :361-370.
- Murin A., 1987. Flowers as indicators of mutagenicity and phytotoxicity of polluted environments. - *Biologia*, 42, 5 :447-456.
- Nebe W., Schlarhorn E., Ilgen G., 1988. Rasterelektronmikroskopische und chemische Untersuchungen von immissionsgeschädigten Fichtennadeln (*Picea abies* (L.) Karst.). - *Flora*, 181, 5/6 : 409-414.
- Odzuk W., 1985. Standortbedingte Unterschiede des Baumsterbens bei Fichte und Waldkiefer aus Parabraunerde und Torfboden. - *Allg. Forstztschr.*, 40, 5 :97-98.
- Pīterāns A., Bērziņa S., 1990. Rīgas pilsētas lihenindikācija. - *Latv. Ekol.*, 2 :61-66.
- Prinz B., 1987. Ozone effects on vegetation. - *Advanced Research Workshop on Tropospheric Ozone*. - Lillenhammer, 24 pp.
- Schmuck G.K., 1986. Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Vitalität von Bäumen. - Karlsruhe, 173 S.
- Schubert R., Ebal F., Heins S., Mishra G.P., 1978. Nadelgehölze der Botanischen Gärten als Bioindikatoren für SO₂-Luftverschmutzung. - *Wiss. Z. Univ. Halle*, 27M, 3 :81-92.
- Sigal L.L., Sutter G.W., II, 1987. Evaluation of methods for determining adverse impacts of air pollution on terrestrial ecosystems. - *Environm. Management*, 11, 5 :675-694.
- Skeffington R.A., Roberts T.M., Blank L.W., 1985. Schadsymptome an Fichte und Kiefer nach Belastung mit Ozon und saurem Nebel. - *Allg. Forstztschr.* 40, 5 :1359-1362.
- Stölzer J., 1980. Zur Anatomie gesunder und durch gasförmige Immissionen geschädigter Blätter von *Betula pendula* Roth. - *Wiss. Z. Univ. Halle*, 29M, 5 :95-101.
- Thomiltz R., 1960. Die individuelle Schwankung des Schwefelgehaltes gesunder und rauchgeschädigter Kiefern und seine Beziehung zum Gehalt an den übrigen Hauptnährstoffen. - *Allg. Forst- und Jagdztschr.*, 131 :261-264.
- Wada M., Shimizu H., Abe H., Kadota A., Kondo N., 1986. A model system to study the effect of SO₂ on plant cells. I. Experimental conditions in the case of fern gametophytes. - *Environm. Control in Biol.*, 24, 3-4 :95-102.

- Wolfenden J., Robinson D.C., Cape J.N., Peterson I.S., Francis B.J., Melhorn H., Wellburn A.R., 1988. Use of carotenoid ratios ethylene emissions and buffer capacities for the early diagnosis of forest decline. - *New Phytol.*, 109, 1 :85-95.
- Zurocher E., 1988. Diagnosemethoden des Gesundheits- und Vitalitätszustandes der Bäume. - *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zurich*, 133, 1 :25-42.
- Гетко Н., 1989. Растения в техногенной среде. - Минск, 205 стр.
- Лиена И.Я., 1980. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. - Рига Зинатне, 170 стр.
- Мэнинг У.Дж., Фелдер У.А., 1985. Биомониторинг загрязнений атмосферы с помощью растений. - Ленинград: Гидрометеониздат, 143 стр.
- Сыроид Н.А., 1988. Способность хвои ели и сосны выживать в условиях азрогенного загрязнения. - В: Антропогенное воздействие на экосистемы Кол. Севера. - Апатиты :24-29.
- Шуберт Р. (ред.), 1988. Биомониторинг загрязнений наземных экосистем. - М.: Мир, 350 стр.



PROCEEDINGS OF THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

5/6 / 1995

SECTION B (pp. 97-120; A0-A54): NATURAL SCIENCES

SPECIALIZED ISSUE: GENETICS

REVIEW: MOLECULAR GENETICS

DNA interactions with nuclear matrix proteins
in higher plant cells.
Applications of the nucleoprotein celite
chromatography method
I. Sjakste, N. Sjakste, I. Rashal

97

REVIEW: MEDICAL GENETICS

Medical genetical service in Latvia:
developmental trends
*G. Purina, R. Lugovska, L. Sokolova,
A. Mārtiņsons, J. Bārs, A. Dišlere, P. Vēvere*

105

REVIEW: APPLIED GENETICS

Fruit breeding in Latvia: current problems
*A. Strīvele, M. Blukmanis, L. Ikase, E. Kaufmane,
I. Raša, S. Strautiņa*

109

REVIEW: HUMAN GENETICS

Functional significance of the human chromosomal
constitutive heterochromatic regions
*A. Krūmiņa, V. Kroškina, N. Voskoboinik,
L. Zinčenko*

114

SCIENCE LIFE

Federation of Genetical Societies of the Baltic States
I. Rashal

120

ABSTRACTS FROM THE 2nd BALTIC
GENETICAL CONGRESS

Preface by *I. Rashal* A0
Microorganism and Molecular Genetics A1-A14
Plant Genetics A15-A37
Animal Genetics A38-A44
Human Genetics A45-A50
Late Abstracts A51
Author Index A52-A54

LATVIJAS ZINĀTŅU AKADĒMIJAS VĒSTIS • B DAĻA: DABASZINĀTNES

ISSN 0868-6556

THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

CYTOGENETIC ASSESSMENT OF RADIO-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION ON *BOVINE*

Z. Balode, V. Balodis

Department of Botany and Ecology, University of Latvia,
Riga LV-1842, Latvia

The Skrunda Radio Location Station (RLS), which has operated continuously for more than 20 years, has created a unique area for the study of impulse radio-frequency electromagnetic field effects. Investigations in the Skrunda Radio Location Station region are wide in character and the organisms used beginning from plants to humans. If any effects of RF radiation on living organisms exist, then they are hard to prove. Thus, the most suitable organisms for investigation must be chosen, and original methods are required.

Alongside other groups studying genetical effects of electromagnetic radiation on plants and humans, we have chosen the micronucleus test in *Bovine* peripheral blood erythrocytes. This is a reasonable choice, since cows live in the same general exposure area as humans, are confined to a specific location and are chronically exposed to radiation. Also, the micronucleus test is widely used, and is a rapid and indirect method to assess chromosome damage.

The counting of micronuclei in peripheral erythrocytes gave low average incidences, 0.6 per 1000 in the exposed group and 0.1 per 1000 in the control, but a statistically significant ($p < 0.01$) difference in the frequency distribution between the control and exposed group was found.

Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Bioloģijas institūts
Latvijas Zinātniski tehniskās informācijas
un tehniski ekonomisko problēmu
zinātniskās pētniecības institūts

Latvijas ekoloģija

Informatīvais biļetens

1. laidziens

Ventspils

Rīga 1989

V. BALODIS
(ZA Bioloģijas institūts)

VENTSPILS EKOLOĢISKĀ SITUĀCIJA

Ipašo Ventspils ekoloģisko situāciju galvenokārt nosaka trīs uzņēmumi: Ostas rūpnīca, Jūras tirdzniecības osta un Naftas produktu pārsūkņēšanas bāze. Šie objekti veido vienu, ekoloģiski ārkārtīgi bīstamu zonu. Draudīgo situāciju pastiprina tas, ka šī zona cieši piekļaujas bieži apdzīvotiem pilsētas rajoniem - Vecpilsētai un Pārventai.

Uzņēmumu zonā neattaisnojami tuvu viena otrai ir izvietotas lielas ķīmisko vielu tīlpnes, kurās var uzglabāt 58 tūkst. tonnu amonjaka, 4,2 tūkst. tonnu akrilnitrila, 35 tūkst. tonnu metanola. Šeit atrodas arī tetrahloretāna, butadiēna, hlorūdeģraža un citu bīstamu vielu tvertnes. Bez tam naftas bāzē var atrasties 495 tūkst.m³ naftas produktu, bet tirdzniecības ostā - līdz 10 tūkst. tonnu kālija hlorīda. Panugstinātās bīstamības zona ietver arī dzelzceļu, pa kuru minētās ķīmiskās vielas cauri pilsētai pieved uzņēmumiem.

Gada laikā Ostas rūpnīcā pārsūknē ap 1 milj. tonnu šķid-
ro minerālmēslu (tajā skaitā 0,71 milj. tonnu amonjaka),
512 tūkst. tonnu metanola, 100 tūkst. tonnu butadiēna, 80
tūkst. tonnu tetrahloretāna. Naftas bāzes ikgadējā aprīte -
35 milj. tonnu naftas produktu. Tirdzniecības ostā katru ga-
du kugu tilpnēs iekrauj ap 1,3 milj. tonnu kālija hlorīda.

Milzīgie transportējamo un uzglabājamo ķīmisko vielu
daudzumi rada ekoloģisko spriedzi pilsētā, tās apkaimē un
ap vielu transportēšanas ceļiem. Vērtējot Ventspils ekstre-
mālo ekoloģisko situāciju, lietderīgi ir apskatīt divus va-
riantus:

- 1) hroniska, vairāk nekā desmit gadu ilgstoša, atmosfē-
ras piesārņojuma sekas;
- 2) postījumi, kuri rastos iespējamās avārijas gadījumā.

Atmosfēras hroniska piesārņojuma sekas

Ventspilī kaitīgās vielas vidē nonāk to pārvadāšanas,
pārkraušanas, uzglabāšanas un pārstrādes rezultātā.

Amonjaka pārliešana Ventspils Ostas rūpnīcā tiek veikta
slēgtā sistēmā uz Ipašas estakādes. Amonjaka spiediens dzelz-
ceļa cisternās sasniedz 18 kg/cm^3 , spiediena kritums pārle-
jot - līdz $1,5 \text{ kg/cm}^3$. Augstais spiediens sistēmā rada palic-
linātu amonjaka avārijas noplūdes varbūtību. Blīvju bojājumi,
cauruļu pārrāvumi un citas tehniskas kļūmes var būt vides
piesārņošanas cēloņi. Piemēram, 1988. gada 26. novembrī cauru-
les plīsuma dēļ atmosfērā 35 minūšu laikā izplūda vairāk
nekā 100 kg amonjaka. Izplūdušā amonjaka mākonis nokļuva
līdz pat Pārventas dzīvojamajiem rajoniem 1,5 km attālumā no
avārijas vietas. Dzīvojamajos rajonos amonjaka koncentrācija
bija virs 25 mg/m^3 un vismaz 125 reizes pārsniedza maksimālo
vienreizēji pieļaujamo amonjaka koncentrāciju apdzīvoto vie-
tu gaisā.

Amonjaks regulāri noplūst atmosfērā caur tilpņu drošības vārstiem, kā arī transportēšanas laikā, ja tiek izmantotas bojātas dzelzeļa cisternas. 1985.gadā Ventspilī pienāca 177 bojātas cisternas, 1986. - 198, 1987. - 118, bet 1988.gada pirmajā pusē - 55 cisternas.

Akrilnitrilu Ventspilī pārsūknē slēgtā sistēmā, piepildot atbrīvotās tilpnes ar slāpekli. Sistēmā ir normāls spiediens, tāpēc apjomīgu noplūžu varbūtība ir neliela. Tomēr ir jāņem vērā, ka akrilnitrils videi un iedzīvotāju veselībai ir īpaši ķīstams. Akrilnitrila noplūdes var atgādīties to pašu tehnisko cēloņu rezultātā, kuru dēļ izraisās amonjaka piesārņojums.

Metanolu pārsūknē no atvērtām cisternām. Šis paņēmieni neizbēgami izraisa metanola nokļūšanu gaisā.

Tātad Ventspilī Ostas rūpniecā norisinās a s i s t e m ā - t i s k a v i d e s p i e s ā r ņ o ņ a n a ar iedarbīgam ķīmiskām vielām.

Kālija hlorīds atmosfērā nokļūst tad, ja tas nav kvalitatīvi apstrādāts ar pretputēšanas līdzekļiem vai kālija sāls tiek burtā kuģos vējainā laikā. Pretēji PSRS Ministru Padomei lēmumam 1988.gadā neapstrādāts kālija hlorīds Ventspilī ostai tika piesūtīts līdz pat septembra mēnesim.

No 1988.gada janvāra līdz oktobrim Ventspilī hidrometeoroloģiskā biroja darbinieki veica 148 mērījumus kālija putekļu daudzuma noteikšanai atmosfērā. Vidējā kālija sāls putekļu koncentrācija gaisā bija $0,11 \text{ mg/m}^3$, kas 1,1 reizi pārsniedz orientējošo nekaitīgās koncentrācijas līmeni. Konstatētā maksimālā kālija sāls koncentrācija 500 m attālumā no iekraušanas vietas bija $1,08 \text{ mg/m}^3$, kas 10,8 reizes pārsniedz minēto normatīvu.

Īsākajā ar Ventspilī hidrometeoroloģiskā biroja oficiālajiem datiem, parasti registrējamo piesārņojošo vielu (putekļi, siera dioksīds, slāpekļa oksīdi, tvana gāze, amonjaks)

vidējās koncentrācijas nav lielas. Tomēr šie pilsētas vides kontroles dienesta dati visai nepilnīgi atspoguļo patieso Ventpils atmosfēras piesārņojumu. Konstatētas tiek tikai dažas no tām 28 vielām, kuras nokļūst atmosfērā. Piecu vielu nekaitīgo koncentrāciju normatīvi vispār nav reglamentēti. Pārbaudes, kuras tiek veiktas objektos un atsevišķos pilsētas punktos, situācijas raksturojums pēc izlīdzinātiem datiem, nepārtraukta monitoringa trūkums, nedod adekvātu priekšstatu par piesārņojuma patieso pakāpi, tā dinamiku un piesārņojuma avotiem. Ventspilī s t e i d z a m i j ā - i z v ē r š gaisa piesārņojuma pastāvīga m o n i t o r i n g a t i k l s .

Retrospektīvi summārā piesārņojuma vērtējumu var noteikt tikai kālija hlorīdam, analizējot augsnes virsējo slāņu sastāvu. Šādas analīzes dažādās Ventpils vietās tiek veiktas kopš 1977.gada. Analīžu rezultāti liecina, ka 1988.gadā kālija hlorīda piesārņojuma pakāpe un areāls ir samazinājušies. Patlaban piesārņotā rajona platība ir 2-2,5 km². Piesārņojuma samazināšanās acīmredzot ir panākta pretputēšanas līdzekļu lietošanas rezultātā. Tomēr jautājums par kālija sāls pārberšanas kaitīgo ietekmi uz augiem un cilvēkiem paliek atklāts, jo n e p i e ļ a u j a m a p i e s ā r ņ o j u m a j o s l a j o p r o j ā m a p t v e r b i e z i a p d z i v o t u s Veopilsētas dzīvojamās rajonus .

Tā kā Ventspilī nav nodrošināts nepārtraukts vides reģionālais monitoringa, dažādu pilsētas rajonu integrālā piesārņojuma pakāpi var novērtēt vienīgi bioindikatīvi (t.i., izpūtot dzīvo organismu stāvokli). 1988.gada septembrī un oktobrī tika realizēts vides dendroindikatīvais ekspertvērtējums. Konstatēts vides integrālais piesārņojums ar emisijas centru Ventpils Ostas rūpnīcas rajonā. Kokaugu piektās pakāpes degradācijas zona aptver ap 3 km² lielu teritoriju un tās robežas ir Valdemāra un Fabriciusa ielas Vecpilsētā un Oktobra iela Pārventā. Saskaņā ar bioindikācijas rādītājiem šī zona

ir uzskatāma par teritoriju, kurā p a s t ā v i g a d z i -
v o š a n a n a v p i e ļ a u j a m a .

Ceturtās pakāpes degradācijas zona aizņem 2 km² lielu teritoriju. Šīs zonas pašreizējās robežas iezīmē Rīgas un Ļeņina ielas Vecpilsētā, Saldus un Lidotāju ielas Pārventā. Vadoties no bioindikācijas pazīmēm, šajā zonā p a s t ā v i -
g a d z i v o š a n a n a v v ē l a m a . Šajā zonā ietilpst p i l s ē t a s c e n t r s , kā arī pilsētas s l i m n i c a . Trešās pakāpes degradācijas zonā praktiski ietilpst visa pārējā pilsētas daļa.

Salīdzinot šos apsekošanas rezultātus ar stāvokli, kāds bija gadu iepriekš, ir konstatēts, ka šajā neilgajā laika posmā dzīvošanai nelabvēlīgo zonu platība ir palielinājusies.

Bioindikācijas metode ļauj konstatēt dzīvo organismu integrālo reakciju uz vides piesārņojuma summāro iedarbību. Tai nepiemīt augsts specifiskums attiecībā uz atsevišķo piesārņojošo vielu iedarbību. Neapšaubāmi, ka degradācijas zonu veidošanā piedalās visu vidi piesārņojošo vielu "buķete". Tomēr starp citām vielām bioindikatorī visjutīgāk reagē uz atkārtotu amonjaka piesārņojumu. Acīmredzot pamatā tieši amonjaka noplūdes nosaka degradācijas zonu robežas.

Vispārzināms, ka nelielu amonjaka devu ilgstošas iedarbības rezultātā cilvēkiem vērojama hroniska intoksikācija, kura izpaužas kā augšējo elpošanas ceļu katars, konjunktivīts, hronisks bronhīts, dispepsija. Pārējie piesārņotājasenti, kas izdalās dzegzumu kompleksā, var vienīgi pastiprināt intoksikācijas pakāpi.

Iespējamās avārijas ekoloģiskās sekas

Notikmīgas avārijas paaugstinātu iespējamību Ventspilī. Pasaules pilsētā pieļautie pilsetbūvniecības normatīvu prasību kapji parkapumi. Rezultātā, nepieļaujami nelielā teritorijā, pilsētas rajonu vidū, tuvu cita citai ir izvietotas lielas

ugunsnedrošu, sprādzienbīstamu un indīgu vielu tilpnes. Šādā situācijā pat nelielas ražošanas kļūmes var izraisīt ķēdes reakciju, kura ieraus avārijā visus ķīmisko vielu krājumus. Šādas avārijas sekas nav pilnībā prognozējamās. Tāpēc, pretēji pieņemtajiem avāriju modelēšanas principiem, **nevar** novērtēt maksimāli iespējamo ekoloģiskās katastrofas pakāpi.

Šajā situācijā tika veikti aprēķini ekoloģiskajām sekām, kuras varētu izraisīt tikai vienas amonjaka tilpnes avārija. Šādas avārijas iespējamības pamatojumu un modeli ir izstrādājis ZA Fizikas institūta zin.līdzstrādnieks A.Gailītis. Aprēķinot amonjaka mākoņa izplatīšanās attālumus, pieņemām, ka vēja ātrums ir 1 m/s un mākoņa kustība notiek inversijas apstākļos. Pēc aprēķinu rezultātiem izdalītas sešas potenciālo postījumu zonas.

Pirmajā zonā ietilpst rajons, kurā amonjaka koncentrācija maisījumā ar gaisu sasniedz 15 %. tāpēc pastāv sprādziena iespējamība. Šīs zonas rādiuss - 0,5 km. Zona ietver praktiski visu ostas uzņēmumu kompleksu.

Otrajā zonā ietilpst rajons, kurā amonjaka koncentrācija parēdzama virs 1200 mg/m³. Tās rādiuss - 9 km. Šajā zonā atrodas visa pilsēta un arī tās tuvākā apkaime. Šāda amonjaka koncentrācija neizbēgami izraisīs cilvēku un dzīvnieku bojāeju.

Trešā zona. Amonjaka koncentrācija vairāk nekā 600 mg/m³. Zonas rādiuss - 14 km. Šajā zonā parēdzama augu bojāeja.

Ceturtajā zonā ietilpst teritorijas, kurās amonjaka koncentrācija virs 3,8 mg/m³ noturēsies vismaz divas stundas. Šādi apstākļi atbilst devai, no kuras iet bojā 50 % dzīvnieku. Zonas rādiuss - 17 km.

Piekta zona - ar amonjaka koncentrāciju virs 350 mg/m³. Zonas rādiuss - 20 km. Pie šādas amonjaka koncentrācijas

sagaidāms pilnīgs lauksaimnieciskās ražas zaudējums.

Sestajā zonā paredzama amonjaka koncentrācija līdz 100 mg/m^3 un 50 % ražas zudumu. Zonas rādiuss - 47 km.

Tika veikti aprēķini zaudējumiem, kuri ir sagaidāmi avārijas rezultātā sabiedriskajai lauksaimniecībai. Pilnīga ražas bojāeja ir iespējama kolhozos "Draudzība", "Komunisma ceļš", "Piltene", "Sarkanā bulta" un padomju saimniecībās "Užava", "Ventpils". Šeit apdraudētas ir lauksaimniecības kultūras 1,5 milj.rubļu kopvērtībā. Kolhozos "Ance", "Blāzma", "Dzintarkrasts", "Liekne", "Usma", "Uzvara", "Ēdole", "Alsunga", "Dundaga" un J.Pabriciusa v.n. kolhozā, zaudējot 50 % ražas, apdraudētas ir lauksaimniecības kultūras vairāk nekā 1 milj. rubļu vērtībā.

Saskaņā ar bioloģijas zinātni doktora P.Zāliša aprēķiniem, bojāejas draudi skar meža masīvus Ventpils, Akmeņdziru, Popes un Zūru mežniecībās. Apdraudēti ir 21,68 tūkst.ha valsts mežu kopvērtībā par 1,7 miljrd.rubļu.

Šajos aprēķinos nav iekļauti kolhozu un padomju saimniecību meži, kā arī piemājas lauksaimniecības kultūras un dzīvnieki. Nav noskaidrots arī kapitālieguldījumu daudzums, kas būtu nepieciešams kāpu nostiprināšanai pēc augāja bojāejas u.c.zaudējumi. Lai arī cik lieli nebūtu tautsaimniecībai draudošie zaudējumi, tie būtībā ir mazsvarīgi, salīdzinot ar risku, kuram ir pakļautas cilvēku dzīvības.

Tātad pietiek ar vienas amonjaka tilpnes avāriju, lai izraisītos liela mēroga ekoloģiskā katastrofa. Svarīgi, ka Ventpils apstākļos pastāv neapšaubāmi augsta varbūtība, ka avārijā tiek ierauts viss ostas rajonā koncentrētais uzņēmumu komplekss. Šādas avārijas sekas vispār nav prognozējamas. Pietiek atgādināt, ka, sprāgstot 4,2 tonnu tilpuma akrilnitrila tvertnē, veidojas 2,1 tonna zilskābes, kura savā ceļā iznīcina visus dzīvus organismus. Lietderīgi atgādināt, ka

1986.gada 18.februārī jau apgāzās dzelzceļa cisterna, kura bija pildīta ar akrilnitrilu. Tikai laimīgas sagadišanās dēļ cisterna netika bojāta un akrilnitrils nenokļuva vidē.

SECINĀJUMI

1. Ventspils Vecpilsētas un Pārventas dzīvojamie rajoni hroniski tiek piesārņoti ar indīgām ķīmiskām vielām, kuras nokļūst atmosfērā galvenokārt Ventspils Ostas rūpnīcas darbības rezultātā. Šo ekoloģiski nopietno situāciju var uzlabot vienīgi minētā uzņēmuma pārcelšana ārpus pilsētas vai arī ostas darbības pārprofilēšana.

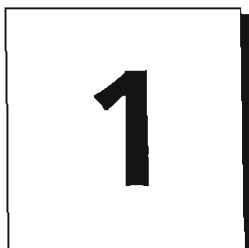
2. Kālija hlorīda apstrāde ar pretputēšanas līdzekļiem ir samazinājusi vides piesārņojuma pakāpi. Tomēr Vecpilsētā un Pārventā kālija sāls joprojām apdraud iedzīvotāju veselību. Kālija hlorīda iekraušana kugos patreizējā vietā pieļaujama, ja konsekventi realizē visus pretputēšanas pasākumus un hermetizē iekraušanas operācijas.

3. Ventspilī neatliekami jāizveido pastāvīga automātiska vides piesārņojuma monitoringa tīkls, kurš kalpotu iedzīvotāju informēšanai par vides patieso stāvokli un dotu iespēju operatīvi rīkoties avāriju gadījumos.

4. Ostas rajona uzņēmumu komplekss veido ārkārtīgi bīstamu konglomerātu, kurā iespējama plaša mēroga avārija. Nepieciešams pārvietot sprādzienbīstamo, ugunsnedrošo un indīgo vielu tilpnes ārpus pilsētas robežām.

LR VIDES AIZSARDZĪBAS KOMITEJA. PĒTĪJUMU CENTRS.

VIDES MONITORINGS LATVIJĀ



LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTĒJUMS



RĪGA, 1992

LATVIJAS VIDES KVALITĀTES FITOINDIKATĪVAIS VĒRTĒJUMS.

I. PROBLĒMAS NOSTĀDNE

Vides piesārņojuma pakāpi parasti nosaka vadoties pēc sanitāri epidemioloģiskajiem normatīviem. Ja kāda viela vidē pārsniedz maksimāli pieļaujamo koncentrāciju, ir pamats apgalvot, ka šī vide apdraud cilvēku veselību un ir jāveic pasākumi stāvokļa uzlabošanai. Nav šaubu par šīs sistēmas nepieciešamību un nodarību vides aizsardzības reālajā darbā. Konstatējot, ka tiek pārsniegtas maksimāli pieļaujamās vielu koncentrācijas, vides bīstamība nav papildus zinātniski jāpierāda, ir praktiski jāķeras pie piesārņojuma pakāpes samazināšanas.

Tomēr arī šī vispāratzītā sistēma nav ideāla. Visu antropogēno piesārņotāju līmenis zem maksimāli pieļaujamajām koncentrācijām **automātiski negarantē zemu vides apdraudētības līmeni**, tajā skaitā - cilvēka veselībai nekaitīgu vidi. Šīs sistēmas nepilnības nosaka vairāki cēloņi.

Sanitāri epidemioloģisko normēšanu veic, vadoties no rezultātiem, kurus iegust eksperimentējot ar laboratorijas dzīvniekiem. Bet:

- 1) reakcija uz piesārņotāju laboratorijas dzīvniekiem un cilvēkam no tuvu ne vienmēr ir viennozīmīgi samērojama (atcerēsīmes, ka pēc kodolizmēģinājumiem Bikini atolla brīnšķīgi jutās laboratorijas žurku savvaļas radinieces);
- 2) normatīvus reglamentē, pamatojoties uz relatīvi īslakīgu faktora iedarbības pārbaudi, ārpus uzmanības paliek pārbaudāmā vides faktora hroniska iedarbība, kas var pastāvēt gadiem un gadu desmitiem ilgi;
- 3) ne tuvu ne visu antropogēno faktoru iedarbība ir empiriski pārbaudīta un viennozīmīgi reglamentēta.

Nepilnīga ir vides stāvokļa kontroles sistēma - kontrolēti tiek visai nedaudzi no vides faktoriem un parasti kontrole nav nepārtraukta. Visu vides faktoru nepārtraukta kontrole principā nav iespējama to ārkārtīgi lielā skaita un daudzveidības dēļ.

Sanitāri epidemioloģiskajā normēšanā netiek ņemta vērā piesārņotājfaktoru kompleksā iedarbība, tajā skaitā šo faktoru mijiedarbība ar klimatiskajiem faktoriem

Sanitāri epidemioloģiskā normēšana ir antropocentriska. Augi un daudzas dzīvnieku sugas parasti jutīgāk reaģē uz antropogēno piesārņojumu un vides kvalitātes maiņu vispār. Piemēram, egļu un priežu skuju nekrotizācija sākas jau tad, kad sēra dioksīda koncentrācija gaisā ir 0,06 - 0,1 mg/m³ [Сыпов, 1988]. Nav pamata ilūzijām, ka cilvēka veselībai nekaitīga var būt vide, kurā nikuļo vai lēt bojā citas sugas, taja skaitā visai atšķirīgas no Homo sapiens. Būtībā ir izveidojusies visai paradoksāla situācija - vispilnīgākā informācija par antropogēno faktoru iedarbības sēkam ir uzkrata

par augļem, bet, nosakot vides kvalitātes standartus, parasti tiek ņemtas vērā vispārējās zināšanas par šo faktoru iedarbību uz cilvēku [Мэннинг, Уедер, 1985]

Vadoties no izklāstītā, jāsecina, ka vienlaikus ar visu sanitāri epidemioloģisko normēšanas sistēmas priekšrocību izmantošanu bez uzmanības nebūtu lietderīgi atstāt tā vērīgā "eksperimenta" rezultātus, kuru diendienā, gadu no gada, jebkurā pasaulē punktā atlecošā dzīvē realizē mūsdienas cilvēks.

Šis eksperimenta sekas reģistrē dabas stāvokļa **monitoringa punktos**. Šis ārkārtīgi nepieciešamais darbs jau ir devis daudzus atzīstamus rezultātus to procesa izpētē, kas mūsdienās norisinās dabā un, neapšaubāmi, rezultāti neizpaliks arī turpmāk. Klasiskajām monitoringa sistēmām tomēr piemīt dažas iezīmes, kas apgrūtina to operatīvu pielietojumu vides kvalitātes izmaiņu vērtēšanā:

- 1) nopietnu vides monitoringu var atļauties nelielā monitoringa punktu skaitā.
- 2) monitoringa punkta iekārtošana un ekspluatācija prasa lielu līdzekļu un darbaspēka patēriņu;
- 3) monitoringa ir orientēts uz ilgstošu pētījumu veikšanu, un rezultātu interpretācija var atpalikt no straujām izmaiņām dabā.

Kopš 1989. gada vairāku Latvijas augstskolu un zinātnisko institūtu līdzstrādnieku grupa strādā pie **vides kvalitātes bioloģiskajās vērtēšanas sistēmas** izveidošanas. Šai vides kvalitātes vērtēšanas sistēmai ir jāietver 3 pamatposmus.

- 1) operatīva vides kvalitātes novērtēšana, izmantojot bioindikācijas metodes, un "ekoloģiskā stresa" rajonu izdalīšana;
- 2) vides degradācijas cēloņu noskaidrošana un analīze stress rajonos;
- 3) vides kvalitātes optimizācijas priekšnoteikumu noskaidrošana katram stress rajonam.

Vides kvalitātes vērtēšanas sistēmas pirmo posmu veic, analizējot dzīvās dabas stāvokli pētījuma reģionā. Nav un nevar būt precīzāka un integrējošāka vides patiesā stāvokļa raksturotāja par tur esošajām bioloģiskajām sistēmām. Pie tam biotas reakcija uz vides stāvokļa izmaiņām ir tieši vērtējama parametrs, kuriem ir bioloģiska jēga

Bioindikācijai ir izmantojams jebkurš dzīvās dabas organizācijas līmenis, bet priekšroka ir dodama metodēm, kuras operatīvi un ar vismazākajiem līdzekļiem spēšņot noteikt adekvātu vides kvalitātes vērtējumu. Pieaugot dabas sistēmu organizācijas līmenim (molekulārs -> šūnu -> orgānu -> organismu -> populāciju -> biocenotiskais -> biogeocenotiskais -> alnaviskais organizācijas līmenis), samazinās sistēmas reakcijas ātrums un jutīgums pret vides faktoru iedarbību [Sigal, Sutter, 1987]. Zemākie organizācijas līmeņi tiešāk un noteiktāk reaģē uz iedarbības faktoriem. Šo līmeņu reakcija uz stresoru iedarbību ir daudz labāk izpētīta par augstāko organizācijas līmeņu reakciju. Tādēļ acīm redzama ir zemāko organizācijas līmeņu prioritāra izmantošana vides kvalitātes operatīvai vērtēšanai.

Bioķīmiskās un fizioloģiskās vērtēšanas metodes ļauj precīzi novērtēt organismu "labsajūtu" un iegūt priekšstatu par stresoru iedarbības mehānismu [Darral, Jäger, 1984; Keller, Hässler, 1988; Wolfenden et al., 1988 u.c.]. Tās ir neizvēlotamās vides stāvokļa pasliktināšanās cēloņu izvērtēšanas etapā, bet vides kvalitātes noskaidrošanas sākuma posmā acīm redzot. Priekšroka ir dodama morfoloģiskajām bioindikācijas metodēm - operatīvām, lētām un pētījami informatīvām [Mansur, Федер, 1987].

Bioindikācijā ir izmantojami visu dzīvās dabas sistemātisko grupu pārstāvji - mikroorganismi, kā visātrāk reaģējošie bioindikatori, dzīvnieki, kā objekti, kuru organizācija ir tuvākā "radības kronim" - cilvēkam, augi, kā jutīgi visvienkāršāk analizējami pārstāvji. Paredzot visu dzīvās dabas sistemātisko grupu iekļaušanu bioindikativās vērtēšanas sistēmā, kā pirmos lietderīgi ir izmantot augus. To pielietojums bioindikācijā pašlaik ir dominējošais un vairākās valstīs fitoindikācija ir iekļauta nacionālā vides monitoringa sistēmā, piemēram, Holandē - jau vairāk nekā 20 gadus. Ar fitoindikācijas palīdzību ir iegūta lielākā vides kvalitātes vērtējuma kartoshēmu daļa [Шыбепт, 1988].

Šajā izdevumā piedāvājam Latvijas vides kvalitātes fitoindikativā vērtējuma rezultātus. Šis ir sākuma posms vērtēšanas sistēmas izveidē un visai tāls no ideāla. Tomēr tas sniedz pirmo Latvijas vides kvalitātes pārakata vērtējumu.

Sashwati Roy, Lauri Kärenlampi and
Osmo Hänninen (eds.)

7th International Bioindicators
Symposium and Workshop on
Environmental Health

Kuopio September 28 - October 3, 1992
Abstract Book

Organized by the Interdisciplinary Commission on Bioindicators,
International Union of Biological Sciences and University of Kuopio

Sponsors

The Ministry of Education, Finland; Academy of Finland, Helsinki
Nessling Foundation, Helsinki; Neste & Finnair

Department of Physiology and
Department of Environmental Hygiene
University of Kuopio

Kuopio 1992

P 4

A Bioindicative Method for Assessing the Effect of Electromagnetic Radiation on Pine Forests

V. Balodis

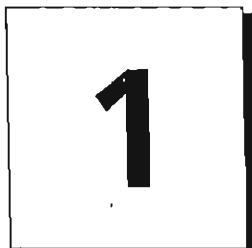
Department of Botany and Ecology, Faculty of Biology,
University of Latvia, Kronvalda 4, Riga, 226200 PDP,
Latvia

Recently, concern has been raised over the effect of electromagnetic radiation in the radiowave band on biota. The largest emitter of electromagnetic radiation in Latvia is the Russian army Skrunda super-radar for strategic defence (wavelength = 2 m; operates in impulse mode; 1.3 MW impulse radiation power; 25 Hz impulse frequency; 0.8 ms impulse duration). Outside of the restricted area around the radar (3 km radius), the allowed electromagnetic radiation levels are not exceeded. Thus, heating effects on the cells of living organisms are not expected. Effects on biota at the intensity of the Skrunda radar have not previously been reported. Practically no work has been conducted on the effect of radiowaves on plants. In this study, tree ring analysis was used to test the effect of the Skrunda radar on tree stands.

A total of 36 permanent plots were established of which 17 were located in the direct path of radiation from the Skrunda radar. Within each plot, all overstorey pines were sampled using a tree borer and annual increments were measured. Differences in wood production were assessed after the beginning of operation of the radar by determining the change in cumulative incremental volume/ha. A significant decrease ($p < 0.05$) in the cumulative increment width, as well as the cumulative increment width as an independent variable against all measured environmental factors, such as moisture, soil factors heavy metal deposition etc. From all of the tested factors, the only significant correlation determined was between the electric field strength and the change in increment width ($p = 0.008$). The change in cumulative incremental width was significantly correlated with the distance to electromagnetic radiation source.

ENVIRONMENTAL PROTECTION COMMITTEE OF LATVIA. RESEARCH CENTRE

ENVIRONMENTAL MONITORING IN LATVIA



PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

RĪGA, 1992

PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

I. INTRODUCTION AND OBJECTIVES

The usual method of assessing the level or extent of pollution involves the use of determined allowed levels. If the concentration of a specific substance is above the allowed level, then this allows stating that human health is endangered. This method is required and important for environmental protection. When concentrations of pollutants exceed allowed levels, further applied scientific work is not required to "prove" environmental damage, and ameliorative work should be taken immediately. However, this widely used system is not ideal. When allowed levels of pollutants are not exceeded in a particular area, the combined interaction of individual pollutants may still affect the environment as well as human health.

Allowed levels are determined experimentally using laboratory animals, and thus do not always reflect the natural system since:

1. the effects on lab animals and humans often differ,
2. short term experimental effects are determined and not the effect of low levels over a long time,
3. allowed levels of all pollutants have not been determined.

When practical monitoring is conducted, only a few chemical factors are measured, due to the diversity and number of pollutants. Also, the complex interaction of individual chemicals is ignored.

Species of plants and animals are often sensitive to anthropogenic disturbance and changes in the environment. For example, the necrosis of pine and spruce needles begins when sulphur dioxide concentrations in air exceeds $0.06 - 0.1 \text{ mg/m}^3$ (Syroid, 1933). It is unlikely that human health will remain unaffected in an environment where other species are stressed. Plant species have been used in the collection of the majority of data on the effects of environmental factors. Although extensive data is available on the effects of environmental factors on plants, allowed levels are determined exclusively using relatively minimal knowledge on the effects of pollutants on laboratory animals (Manning, Feder, 1980).

Besides the standard use of allowed levels, it is important to use natural ecosystems as indicators of environmental damage. Permanent monitoring stations are used to quantify environmental change, but are sometimes considered impractical since resource limitations usually allow only a few environmental monitoring stations and long-term continuous monitoring may miss local environmental damage.

Since 1989, a multi-institution group of scientists in Latvia has been developing a biogeoindicative assessment system for environmental quality. This system has three phases of development:

1. fast and efficient environmental assessment using bioindication with the identification of stressed regions,
2. determination of the causes of environmental degradation and focused investigation of stressed regions,

3. development of a plan for environmental improvement for each stressed region

The assessment of environmental quality is conducted using the existing natural system, which most precisely shows the integrated response to multiple environmental factors and can be quantified. Since lower levels of organization in natural systems are more sensitive to abiotic and biotic factors (Sigal, Sutter, 1987), and are the most studied, they are used most often in surveys of environmental quality.

It is important to monitor biochemical and physiological changes in biota since these best indicate the mechanism of action of the effector(s) (Darral, Jäger, 1984; Keller, Hasler, 1988; Wolfenden et. al. 1988). However, morphological effects are surveyed efficiently, cheaper and are adequately informative (Manning, Feder, 1980).

Species from all taxonomic groups may be used for bioindication. Microorganisms have a fast experimental reaction time. Animals are used since they are more related to humans. However, plants are the simplest for data collection and are thus used first in the biogeoindicative environmental assessment of Latvia. Phytoindication has been used worldwide. For example, Holland has utilized phytoindication as part of their national environmental monitoring scheme for the last 20 years. Also, the majority of environmental quality mapping project involved phytoindication.

This work presents the initial results of the first phytoindicative environmental quality assessment of Latvia. Based on the results obtained during this initial phase, the method used for further data collection, and analysis is refined and fine-tuned.

Z
I
N
Ā
T
N
E
I

T
Ē
V
Z
E
M
E
I

AKADĒMISKĀ

37 DZĪVE 1995

SKRUNDAS LOKĀTORU BIOLOĢISKĀS UN EMOCIONĀLĀS IEDARBĪBAS ASPEKTI



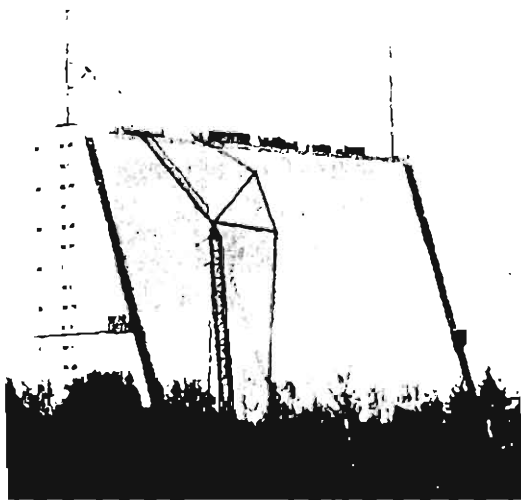
Valdis Balodis (dzimis 1940. g. 26. martā, Jelgavā) — biologs. Beidzis Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultāti 1963. g. Bioloģijas zinātņu kandidāts (1971. g.); Dr. biol. Latvijas Universitātē kopš 1992. g. Strādājis Latvijas Universitātē (docents, vecākais zinātniskais līdzstrādnieks), Latvijas

Lauksaimniecības universitātē (docents) un LZA Bioloģijas institūtā (laboratorijas vadītājs). Kopš 1992. g. Latvijas Universitātes Botānikas un ekoloģijas katedras vadītājs. Speciālizējies augu augšanas un šūnu dalīšanās kinētikā. Kopš 1991. gada vada kompleksu zinātnisku tēmu — „Vides kvalitātes bioģeoindikatīvā vērtējuma sistēma un metodes”. 57 zinātnisku publikāciju autors. Vienotnes „Lidums” draugs.

Pēdējos septiņos gados Skrunda ir kļuvusi par informācijas līdzekļos visbiežāk pieminēto mazpilsētu. Šās populāritātes cēlonis — Skrundas Radiolokācijas stacija (RLS) un ap to virmojošās kaislības. Plašāka sabiedrība lokācijas staciju vārda tiešā nozīmē „ieraudzīja” astoņdesmito gadu nogalē. Tad dažus kilometrus uz ziemeļiem no mazpilsētas izauga neparasta, 84 metrus augsta būve, kuŗa driz vien ieguva iesauku „Skrundas monstrs” (1. att.). Nebija grūti saskatīt „monstra” lielo līdzību laikrakstos daudzkārt redzētajai un bēdīgi slavenajai Krasnojarskas RLS, kuŗu PSRS militāristi cēla, ignorējot starptautiskās vienošanās un kuŗas celtniecība izraisīja pamatīgu starptautisku skandālu astoņdesmitajos gados. Līdzīgi kā Krasnojarskas RLS, arī „Skrundas monstrs” nekad nesāka savu plānoto darbību. PSRS sabruka gadu pirms šīs iecerētās

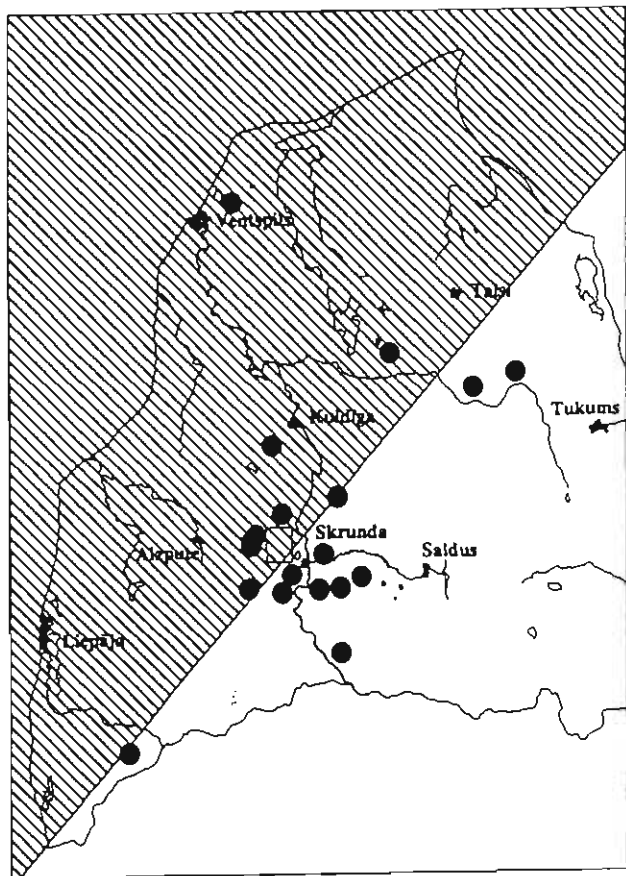
lokācijas stacijas palaišanas. „Monstru” drīzumā nojauks.

Bet līdz pat 1998. gadam turpinās funkcionēt cita lokācijas stacija, kuŗa nepārtraukti darbojusies jau 25 gadus. Šās

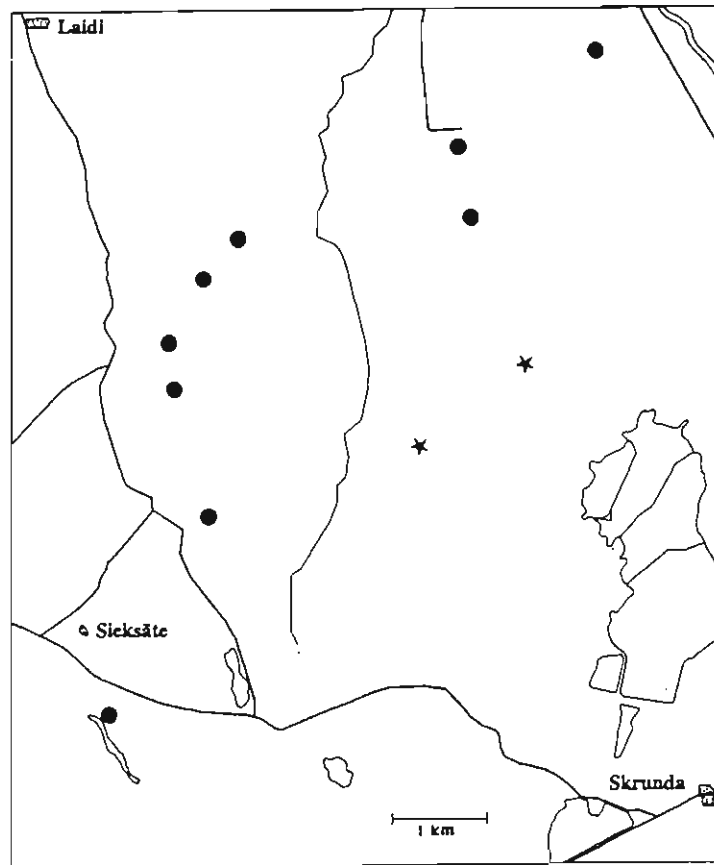


1. att. Jaunuzceltā Skrundas RLS uztvērēja ēka.

radarstacijas raidītāji un uztvērēji — četras 250 metrus garās un 17 metrus augstās, šķūņus atgādinās celtnēs atrodas Ēnavas upītes piekrastes mežos un tikai zinātāji tās var saskatīt, pakāpušies uz kādas no Ventas ielejas nogāzēm. Šie „Dņepr” tipa lokātori kalpo operatīvai Krievijas (agrāk — PSRS) ienaidnieku raķešu identificēšanai un izsekošanai un ietilpst vienotā pretraķešu drošības sistēmā, kas ir izvietota gar visu bijušās PSRS robežu. Skrunda izseko ienaidniekus, kas Krieviju apdraud no Rietumiem — radari pārskata visu naidīgo Eiropu — no Spānijas dienvidos līdz Špicberģenai ziemeļos. Lokātoru antenas izstaro



A



B

2. att. Parauglaukumu izvietojums Kurzemē (A) un RLS tiešā tuvumā (B). Iesvītrotā — starojuma zona; melnie apļi — parauglaukumi; zvaigznītes — radari.

elektromagnētiskos starus 154-162 MHz diapazonā. Katras 40 milisekundes riectumu virzienā tiek raidīts 1,25 MW spēcigs un 0,8 milisekundes ilgš impulsš.

Lokātoru ilgstošās darbības sekas sākām pētīt 1990. gadā. Ierosme šim pētījumam nāca no tās pašas iestādes, kurā lokātori tika projektēti. Ieradās Maskavas Radiotehnikas institūta pārstāvis un piedāvāja finansējumu lokātoru darbības bioloģisko seku izpētei. Šis pieticīgais, pusotru gadu ilgais ligums tā arī līdz šai dienai ir palicis vienīgais Skrunčas problēmu izpētei vēlitais finansējums. Pasūtītājus patiesi interesēja lokātoru darbības seku izpēte.

Pierādījumi par mazas intensitātes radiofrekvencu elektromagnētiskā starojuma iedarbību uz dzīvām būtnēm ir meklēti daudzos pētījumos. It īpaši pēdējos gados. Labs pārskats par šiem pētījumiem sniegts Vispasaules veselības aizsardzības organizācijas (WHO) izdotajā krājumā.¹ Rezultāti tomēr visai pretrunīgi. Arī iespējamo iedarbības mehānismu skaidrojumi ir daudzi un dažādi.² Visas līdzšinējo pētījumu un viedokļu pretrunas liek secināt: ja vājš elektromagnētiskais lauks vispār ietekmē organismus, tā iedarbība grūti pierādāma. Laboratorijas apstākļos reāli nav iespējams pārbaudīt ilgstoša starojuma iedarbības sekas, bet lauka pētījumos līdz šim lietotās epidemioloģisko pētījumu metodes izrādijušās nepietiekamas.

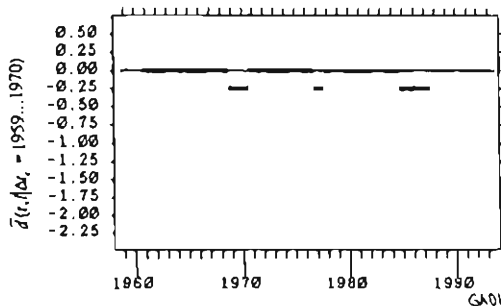
Sākot šo darbu, atteicāmies no tradicionālajiem pētījumu objektiem un metodēm. Par pētījuma objektiem izvēlējāmies priedes. Koki jūtīgi reaģē uz vismazākajām vides izmaiņām, jo tādi dzīvībai svarīgi procesi kā asimilācija, sūnu augšana un dalīšanās katrā kokā noris vairākus simtus kvadrātmētru plašā saskarsmē ar apkārtējo vidi. Un vēl. Koki savu „labsajūtu” katru gadu ieregistrē kokšnes gadskārtās. Gados, kad apstākļi ir bijuši labvēlīgi, veidojas platas gadskārtas. Pasliktinoties apstākļiem, gadskārtas kļūst šaurākas un, vides stresa gadījumā, pat

grūti saskatāmas. Atliek noņemt kokšnes paraugus, izmērit gadskārtu platumus un iegūstam informāciju par to, kā koks ir juties savas dzīves dažādos periodos. Seko statistiskā analīze, kas dod iespēju noskaidrot katrā pētījumā vides faktora iedarbības laiku un īpatsvaru.

Skrundas apkārtnes mežaudzēs tika iekārtoti parauglaukumi, gan radaru tiešā tuvumā, gan kontroles vietās (2. att.). Šajos parauglaukumos visām priedēm paņēma kokšnes paraugus, veica audžu mežsaimniecisko, ģeoloģisko, hidroloģisko, edafisko, ķīmiskā un radioaktīvā piesārņojuma utt. analīzi. Un, protams, noteica arī lokātoru starojuma elektriskā lauka intensitāti. Katram parauglaukuma (l) kokam (i) ar precizitāti ± 0.01 mm izmērija katrā gada (t) gadskārtas platumu $w(i,t,l)$. Katram gadam aprēķināja kontroles perioda $\Delta t_c = t_1 \dots t_2$ (t_1 — kontroles perioda sākuma gads; t_2 — kontroles perioda beigu gads) ģeometrisko vidējo gadskārtu platumu:

$$\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l) = \sqrt[n_c]{\prod_{t=t_1}^{t_2} w(i, t, l)} \quad (1)$$

kur $n_c = t_2 - t_1 + 1$ — gadskārtu skaits kontroles periodā. Šo vidējo lielumu izmantoja, lai aprēķinātu kokšnes relatīvā



3. att. Kokšnes relatīvā papildpieauguma vērtība kontroles parauglaukumā.

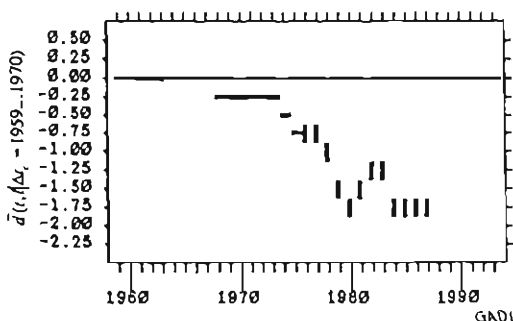
papildpieauguma vērtību $d(i, t, l, \Delta t_c)$ katram kokam i un katram pētījuma perioda gadam t :

$$d(i, t, l, \Delta t_c) = \ln \frac{w(i, t, l)}{\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)} \quad (2)$$

Lielums $d()$ novērs gadskārtu platumu variabilitāti, kas rodas individu ģenētisko un edafisko atšķirību rezultātā. Katra atsevišķā $d()$ vērtība parāda konkrētā gadskārtas platuma novirzi no normas. Ja $d() \geq 0$, tad koks ir audzis normāli, tāpat kā kontroles periodā; ja $d() > 0$, tad pieaugums ir uzlabojies, bet, ja $d() < 0$ — pasliktinājies. Aprēķinu rezultāti bija negaidīti viennozīmīgi — kontroles parauglaukumos relatīvā papildpieauguma vērtības būtiski neatšķirās no normas (3. att.), bet starojuma skartajos laukumos bija vērojama lieluma $d()$ būtiska samazināšanās dažus gadus pēc RLS darbības sākuma. Statistiski būtiskas ($P < 0.05$) negatīvas $d()$ vērtības šajos laukumos saglabājas līdz pat retrospekcijas perioda pēdējiem gadiem (4. att.).

Vislielākais pieauguma kritums ir lokātoru tiešā tuvumā, tur, kur ir visintensīvākais starojuma radītais elektriskais lauks. Pastāv būtiska korrelācija starp elektriskā lauka intensitāti un konstatēto pieauguma kritumu. Neatradām citu pētīto vides faktoru būtisku ietekmi uz koku augšanu. Materiāli par mūsu pētījumiem iesniegti publicēšanai žurnālā „The Science of the Total Environment”.

Tātad šie pētījuma rezultāti vedina uz viennozīmīgu secinājumu — Skrundas



4. att. Koksnes relatīvā papildpieauguma vērtība parauglaukumā, kas atrodas starojuma zonā, 4 km attālumā no RLS. Melnie taisnstūri — statistiski būtiskas ($P < 0.05$) novirzes no normas.

lokātoru starojums ir nelabvēlīgi iespaidojis priežu augšanu.

Nav grūti skaidrot, kāpēc tieši Skrundā bija iespējams pierādīt vāja radiofrekvenču starojuma iedarbības efekta esamību. Pētījuma objekti 25 gadus bez pārtraukuma bijuši pakļauti impulsveida starojumam. Nav citu līdzvērtīgu „poligonu” tik ilgstošas iedarbības pētīšanai, jo pārējie, līdzīgi radari, ir izvietoti tukšnešainos apvidos un starojums neskaņ dzīvo dabu. Vēl vairāk, šādi radari (katram gadījumam) parasti novietoti apkārtnes augstākajā vietā un radara starojums pacelts daudz augstāk nekā Skrundā, kur radari atrodas ielejā. Skrundas radari darbojas mazpētītā frekvenču diapazonā utt.

Tātad, Skrundas apkaime ir unikāla un plaša „laboratorija brīvā dabā”. Šajā laboratorijā veikts eksperiments, kuŗā par ilgstošas elektromagnētiskā starojuma iedarbības objektiem kalpojuši apkārtnes audi, dzīvnieki un arī cilvēki. Atliek vienīgi ievākt šā eksperimenta rezultātus. Daži pēdējo gadu zinātnisko iestrāžu rezultāti: Sieksātē (ap 3 km attālumā no radariem) eksponētas spirodelas (sīki ūdensaugi) dod kroplus pēcnācējus, govīm, kas ganās radaru tuvumā, ir negatīvu ģenētisko pārmaiņu iezīmes, Skrundas apkaimes skolēnu psihofizioloģiskie parametri uzrāda nevēlamas novirzes. Pētījumu rezultāti iesniegti publicēšanai žurnālā „The Science of the Total Environment”.

Skrundā veiktos pētījumus vispusīgi analizēja konferencē, kas 1994. gada jūnijā notika Sieksātes pili,³ netālu no radariem. Šajā konferencē piedalījās ne vien Latvijas mediķi, fiziķi un biologi, bet arī septiņu ārvalstu speciālisti. Konferencē dalībniekiem Skrundas pētījumi šķita interesanti un atbalstāmi.

Vai nu maz kas šķiet interesants zinātnes apmātājiem! Svarīgi, lai tas, ko viņi dara, ir vajadzīgs arī citiem, ārpus šī entuziastu loka. Tieši Skrundā kā nekur citur esam izjutuši sava darba nepieciešamību. Jau tāpēc vien, ka tāds iedziņotāju atbalsts mūsu darbam kā Skrundā

nav bijis nekad un nekur citur. Bez apkaimes iedzīvotāju palīdzības, bez trimdas tautiešu (Verners Cinis, Prof. Aleksis Dreimanis, Prof. Gunārs Šubiņš u.c.) palīdzības nekur tālu mēs nebūtu tikuši.

Bet, kur ir palikuši tie, kuriem Skrundas problēma savulaik palīdzēja veidot „cinitāja par Latvijas un latviešu interesēm” tēlu? No tā laika, kad šī ciņa pret krievu militāristiem notika, ir palicis pāri ligums ar Krieviju, kas aplicina Skrundas radaru turpmāko pastāvēšanu „četrus gadus un astoņpadsmit mēnešus” ilgumā un Laidu, Rudbāržu un Raņķu pagasta iedzīvotāju nelāgā pašsajūta. Jā, šajos radaru apstarotajos pagastos cilvēki patiešām jūtas slimi. Šķiet gan, ka galvenokārt tāpēc, ka šie cilvēki daudzkārt dzirdēja pa radio un lasīja laikrakstos par to, kādas slimības izraisa elektromagnētiskais starojums. Skrundas lokātoru emocionālā iedarbība uz cilvēku veselību pārspēj bioloģisko iedarbību. Bet, varbūt, vēl nav par vēlu tiem, kas tagad vada un virza visas mūsu valsts lietas, ierosināt kaut vai nelielu valsts programmu

Skrundas apkaimes iedzīvotāju veselības un dzīvās dabas stāvokļa noskaidrošanai. Skaidrības un iedzīvotāju veselības rehabilitācijas labad. Kaut vai tādēļ, ka nebūtu labi, ka vienīgi krievi ir financējuši Skrundas pētījumus...

Varbūt arī turpmāk politiski būs izdevīgi operēt ar neziņu un nepārbaudītiem, nepierādītiem apgalvojumiem. Līdz šim tas patiešām bija izdevīgi. Tikai ne skrundēniešiem.

Norādes

1. J. A. Elder, P. A. Czerski, M. A. Stuchly, K. H. Mild and A. R. Sheppard. Radio-frequency radiation. WHO Reg. Publ. European Ser., 25 (1989) 117-174.
2. R. Glaser. Current concepts of the interaction of weak electromagnetic fields with cells. Bioelectrochem Bioenerg., 27 (1992) 255-268.
3. The Effect of Radio-Frequency Electromagnetic Radiation on Organisms. Skrunda, Latvia, 17-21 June 1994. Abstracts. Skrunda (1994) 56 pp.

Forschungszentrum Karlsruhe
(Technik und Umwelt)

**TECHNOLOGICAL CIVILIZATION IMPAKT
ON THE ENVIRONMENT**

Situation in the post-Soviet area

Abstracts

International Symposium

Edited by E.Gabowitsch, I.Granberg and E.Hefter

Karlsruhe, Deutschland

22-26 April 1996

V. Balodis, University of Latvia

Towards a Bioindicative Environmental Assessment System in Latvia

The standard use of allowed levels of individual chemicals does not predict the environmental effects from the combined wide spectrum of pollutants existing today. Our assessment of environmental quality was conducted using existing natural systems, which most precisely shows the integrated response to multiple environmental factors and can be quantified. Species from all taxonomic groups may be used for bioindication. However, plants are the simplest for data collection and are thus used most often. We assessed environmental quality by using tree damage surveys of forest stands with minimal forest management. The best environmental quality is in eastern Latvia. The most stressed region is Southwest Latvia which is subjected to degradation from a number of possible sources, including the Mazeikiai oil refinery in Lithuania, the Liepaja metal smelter and the Skrunda super - radar.

Once we determined generally which areas of Latvia were affected, we began further studies to determine if other bioindicative methods would give similar results. We used methods which could be best applied for the estimation of impact on human health. For example, ecoepidemiological research in western Latvia revealed that deaths among new-born children increased in the coastal region. Considerable forest damage was also observed in this region. No statistical significant differences occurred in other regions. This does not imply that human health in region other than the coast is not affected, since the variation due to other factors in epidemiological studies is usually extremely high.

Ecoepizootological methods are more suitable for assessment since variation from factors other than pollution may be standardised. A survey of respiratory illness in cows showed that breathing problems in Saldus district increased in 1980, which coincides with beginning of operation of the Mazeikiai oil refinery. These results confirmed the inhabitant complains about the negative impact of the Mazeikiai pollution on the respiratory system.

Our multidisciplinary approach obtained good results in the investigations of the possible impact of the Skrunda radiation on the living organisms and human health. We began our investigation of the effects of the radar emissions in 1990, using tree ring growth as a bioindicator. No significant differences in tree growth over time were indicated at the control sites. However, in the direct zone of electromagnetic radiation exposure the trees have decreased their incremental growth since the beginning of the Skrunda radiation. We investigated the reasons for decrease of growth in the direct path of non - ionising radiation by using multi - factor analyses. We determined significant negative correlation between the electric field strength and the increment width, but found no significant relationship between the change in increment width and other environmental factors.

We have a set of methods allowing us to assess the impact of the environmental factors on the somatic processes. Now is it important to search for methods enabling the identification of genetic effects caused by environmental impact. We have developed a micronucleus test in bovine peripheral blood erythrocytes. We are verifying this method now for the assessment of genetic changes in human beings. Other methods of the genetic assessment (SOS - test, Spirodela - test etc.) are being tested. Our goal is - to develop an adequate bioindicative environmental assessment system that would allow the determination of levels of overall anthropogenic load.



SKRUNDA

**THE EFFECT OF RADIO-FREQUENCY
ELECTROMAGNETIC RADIATION ON
ORGANISMS**

**Skrunda, Latvia
17 - 21 JUNE 1994**

**Programme
Abstracts
List of Participants
Background information on Skrunda area**

SOME RESULTS AND PROBLEMS OF THE EVALUATION OF RADIOFREQUENCY RADIATION ON ORGANISMS

V. Balodis, Z. Balode, G. Brūmelis, K. Kalviškis, D Tjarve,
V. Znotiņa, Dept. of Botany and Ecology, University of Latvia, Kronvalda
blvd. 4, LV 1842, Riga, LATVIA

The question of whether weak radio-frequency (RF) electromagnetic (EM) fields pose risks, continues to divide researchers into opposing, even antagonistic, camps. This means that, if these fields actually affect living organisms, than the proof of this very complicated, and every study must carefully choose the appropriate method.

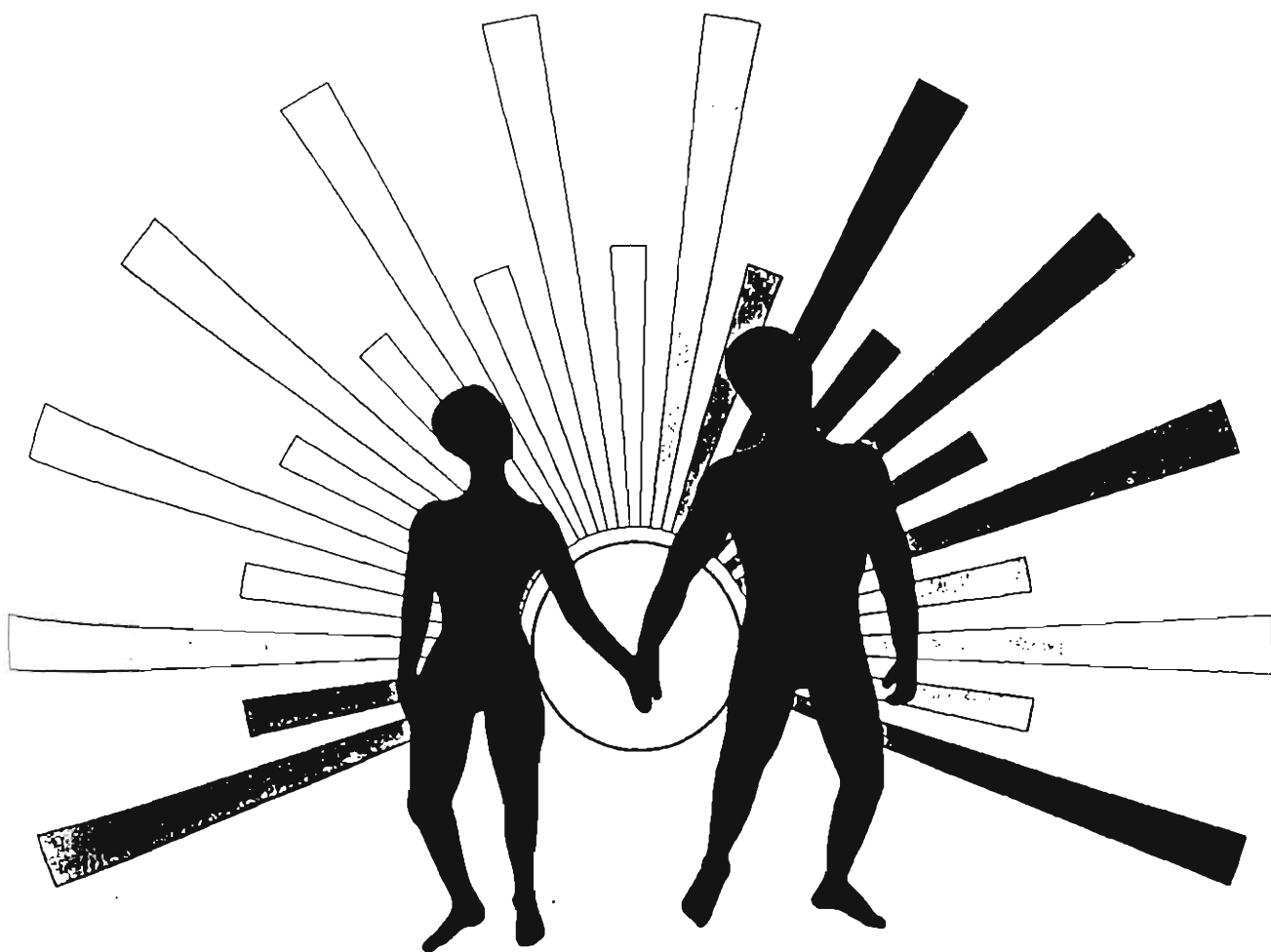
The Skrunda radar, which has operated continuously for more than 20 years, has created a unique area for the study of impulse RF EM field effects. In this respect, a particularly adequate organism group to study is trees. They are sensitive to environmental changes, and the dynamics of these changes can be analysed using retrospective tree ring data.

Since 1990, over 70 permanent plots have been established in forest stands around the Skrunda radar and in control areas. There is a statistically significant ($p < 0.01$) negative correlation between tree ring increment width and the power density of the electromagnetic radiation. The decrease in the increment width began within a short period of time after the beginning of the functioning of the Skrunda radar and has continued subsequently. There are no other significant correlations between tree growth and other measured factors: geographical, hydrobiological, geological, chemical etc. The somatic effect of the Skrunda radar EM field is being studied on other organisms.

The genetic effect of this radiation is of special concern. It has been found that close to the radar, the micronuclei number of bovine peripheral erythrocytes increase. The reasons for this are under investigation.

the Science of the Total Environment

An International Journal for Scientific Research
into the Environment and its Relationship with Man



SPECIAL ISSUE
EFFECTS OF RF-RADIATION
ON ORGANISMS

Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees?

Valdis Balodis*, Guntis Brūmelis, Kārlis Kalviškis, Oļģerts Nikodemus,
Didzis Tjarve, Vija Znotiņa

Department of Botany and Ecology, University of Latvia, Kronvalda blvd. 4, LV 1842 Riga, Latvia

Abstract

The Skrunda Radio Location Station (RLS), which has operated continuously for more than 20 years, has created a unique area for the study of pulse radio-frequency electromagnetic field effects. Trees were chosen to assess these effects. Since 1990, permanent plots have been established in pine forest stands around the Skrunda RLS and in control areas. The dynamics of tree growth changes were analysed using retrospective tree ring data. There is a statistically significant ($P < 0.01$) negative correlation between the relative additional increment in tree growth and the intensity of the electric field. The radial growth of pine trees has diminished in all plots that received electromagnetic radiation. This decrease in growth began after 1970, which coincided with the start of operation of the Skrunda RLS, and was subsequently observed throughout the period of study. The effects of many other environmental and anthropogenic factors were evaluated, but no significant effects on tree growth were observed.

Keywords: Radio-frequency electromagnetic radiation; Radars; Tree rings; Dendroecology

1. Introduction

The question of whether weak radio-frequency (RF) electromagnetic fields pose risks continues to divide researchers into opposing, even antagonistic, camps. If any effects of RF radiation on living organisms exist, then they are hard to prove. Thus, the most suitable organisms for investigation must be chosen, and original methods are required.

In the present paper, trees were chosen to assess the effects of Skrunda Radio Location Station (RLS) electromagnetic radiation. Essential physiological processes, such as assimilation, cell division and growth, mineral nutrition and others, occur in every tree and are affected by the environment in a hundred square meter surrounding area. Therefore, trees are particularly sensitive and react to environmental changes. Tree growth is fixed in increments (tree rings) and thus the measured increments indicate positive or negative environmental conditions. A suitable tree ring chronological method has been developed in

* Corresponding author

Latvia that allows the determination of the effect of various environmental factors [1]. Multidisciplinary research, based on tree ring analysis, has been conducted in forest ecosystems around Skrunda since 1990. Tree ring dynamics are described in the present paper for a 30-year period (1959-1988), and changes are discussed in relation to electromagnetic radiation as well as geomorphologic, hydrological, silvicultural, edaphic, chemical and radioactive factors.

2. Subjects and methods

2.1. Skrunda Radio Location Station

The impulse type Skrunda RLS for space control, located in the Venta River Valley, has operated continuously since 1971. It is composed of two sectors, each with receiving-transmitting apparatus that ensure the RLS function in four independent sectors. The transmission parameters of the Skrunda RLS are: (1) pulse power of

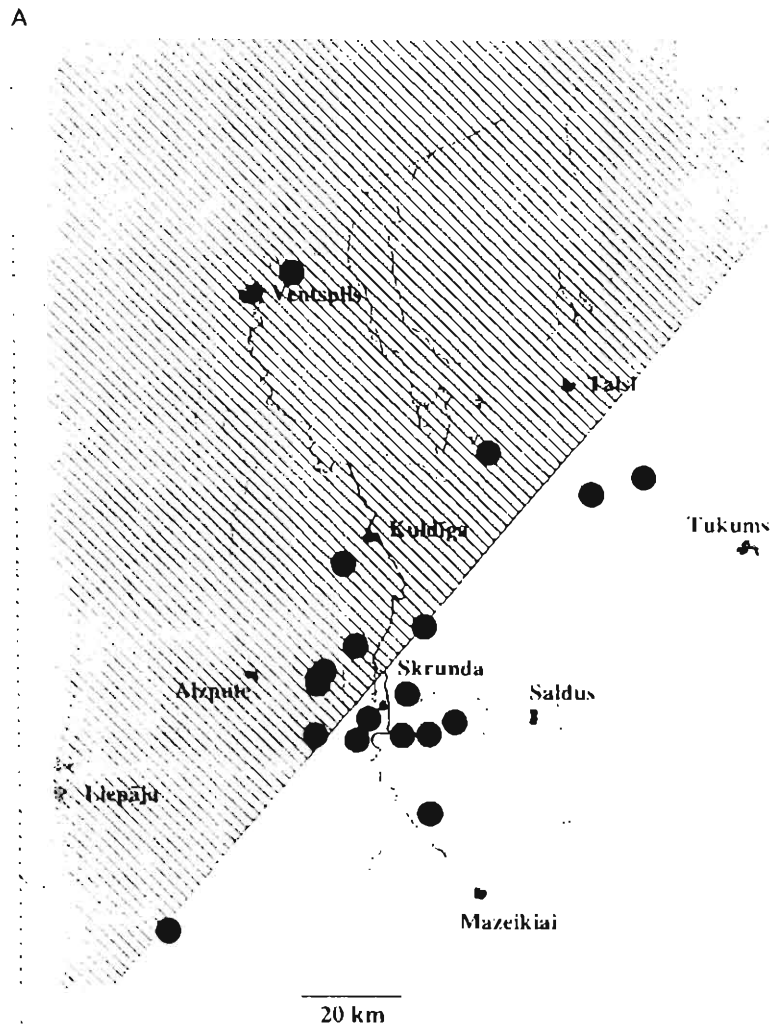


Fig. 1.A.

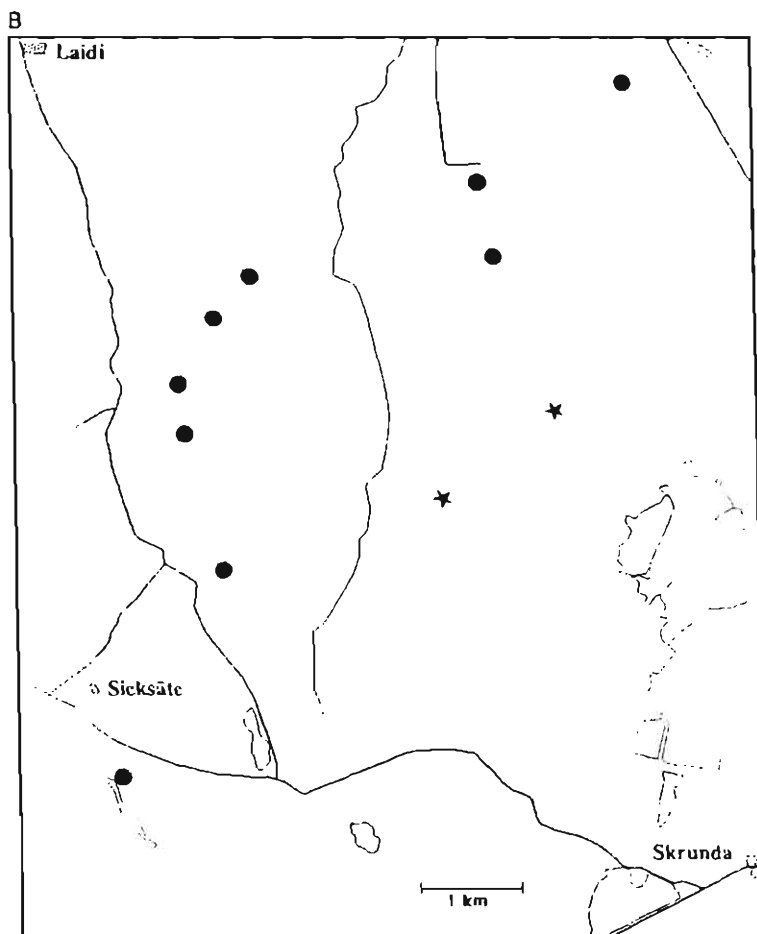


Fig. 1. Sampling plots (●) in Western Latvia (A) and the Skruna region (B). The location of the Skruna radar system (★) and its emission zone are shown.

each of four transmitters — 1.25 MW; (2) pulse duration — 0.8 ms; (3) duty cycle — 50; (4) frequency range — 154–162 MHz; (5) polarisation of transmitting signal — horizontal. The radar operating parameters and the method of radiation intensity measurement are given in this issue [2].

2.2. Sampling locations

In the Skruna area, 29 permanent sampling locations were established (Fig. 1) at various distances from the source. Plots were set up in dominant Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with spruce as an understorey. Tree age was 50–90 years. Plot size was at least 400 m² and

each plot contained a minimum of 20 overstorey pine stems per plot. Pines were sampled with a Pressler borer and their diameters and heights were measured. A wealth of other variables were measured, including metal concentrations, ionising radiation, etc., but since these data are only briefly mentioned in this paper, the methods used (all standard methods) are not described here.

2.3. Absolute values of the tree ring widths

The radial annual growth increments $w(i, t, l)$; i = individual, t = year, l = plot, were measured at a precision of ± 0.01 mm. For each tree, the geometric mean width $\bar{w}_c = (i, \Delta t_c, l)$ of the control time period $\Delta t_c = t_1 \dots t_2$, where t_1 the year at

the beginning of the control period, and t_2 , the year at the end of the control period, is given by:

$$\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l) = n_c \sqrt{\prod_{t=t_1}^{t_2} \bar{w}(i, t, l)} \quad (1)$$

where $n_c = t_2 - t_1 + 1$ is the number of annual increments in the control period.

2.4. Relative additional annual increment values

The mean control increment width $\bar{w}_c = (i, \Delta t_c, l)$ was used to calculate the relative additional annual increment value $d(i, t, l | \Delta t_c)$ for every tree i and year t during the period of the investigation:

$$d(i, t, l | \Delta t_c) = \ln \left[\frac{w(i, t, l) - \bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)}{\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)} \right] \\ = \ln \frac{w(i, t, l)}{\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)} \quad (2)$$

The value $d()$ eliminates increment width variability between individuals that is due to genetic and relatively constant environmental factors (e.g. edaphic, hydrological, etc.). The logarithmic transformation is used since cambial growth is an exponential process. During the control period, $d()$ values have a normal distribution ($P < 0.05$). Each individual $d()$ value identifies the deviation of each increment from the mean or normal value for the tree. If $d() = 0$, then the increment is equal to the mean. If $d() > 0$, then the increment width is larger than mean. If $d() < 0$, then the increment width is less than the mean.

The individual relative additional annual increment values were used to calculate the mean relative additional annual increment, for each year t of every plot l :

$$\bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{i=1}^N d(i, t, l | \Delta t_c)}{N} \quad (3)$$

where N is the number of sampled trees.

The overall means $\bar{d}_c(\Delta t_c, l)$ for each plot l

during the control period Δt_c are given by:

$$\bar{d}_c(\Delta t_c, l) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=t_1}^{t_2} d(i, t, l | \Delta t_c) = 0 \quad (4)$$

Based on Eq. 4 and the normal distribution of $d(i, t, l | \Delta t_c)$ values, the null hypothesis

$$H_0: \bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \bar{d}_c(\Delta t_c, l) = 0 \quad (5)$$

was tested parametrically. Thus, it was determined if the additional increment for plot l and year t significantly differs from the mean and if the difference is positive or negative.

2.5. Cumulative relative additional annual increment

The cumulative relative additional annual increment reflects the changes in increment width in a retrospective time period $\Delta t_c = t_3 \dots t_4$, where t_3 is the beginning, and t_4 the end of the period of the retrospection. The cumulative relative additional annual increment value $D_r(i, \Delta t_c, l | \Delta t_c)$ is calculated for every individual i :

$$D_r(i, \Delta t_c, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{t=t_3}^{t_4} d(i, t, l | \Delta t_c)}{n_r} \quad (6)$$

where $n_r = t_4 - t_3 + 1$ is the number of years in the retrospective period;

The cumulative relative additional annual increment values are used to calculate the respective plot mean $\bar{D}_r(\Delta t_c, l | \Delta t_c)$ values as follows:

$$\bar{D}_r(\Delta t_c, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{i=1}^N D_r(i, \Delta t_c, l | \Delta t_c)}{N} \quad (7)$$

where N is the number of sample trees in plot l .

2.6. Atmospheric deposition in the Skrunda area

The concentrations of the elements in forest soils and moss in the Skrunda area have been studied from 1991 to 1993. At sampling locations, soil samples by horizon and moss (*Hylocomium splendens* and/or *Pleurozium schreberi*) were collected for determination of elements to give some

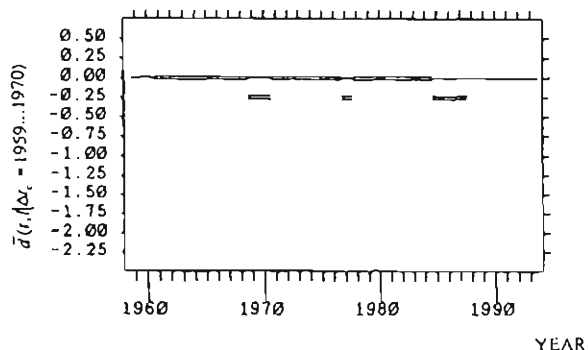


Fig. 2. The mean relative additional increment $d(t)$ of pine trees during 1960–1987 for a control plot located 66 km from the Skrunda RLS.

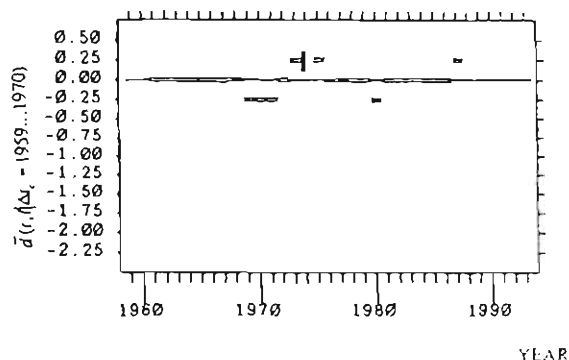


Fig. 3. The mean relative additional increment $d(t)$ for a control plot located 10 km behind the Skrunda RLS. The solid bars depict significant ($P < 0.05$) deviations from normal growth.

idea of the potential sources of deposition that could affect the forests around the Skrunda radar. Initially, the two most obvious candidates as major polluters were the metal smelting industry at Liepaja and the oil refinery in Mazeikiiai, Lithuania. Total Cu, Zn, Fe, Pb, Ca and Cd concentrations in moss were measured with AAS, but V by colorimetry. Soils were analysed for Cu, Pb, Sn, Cr, Zn, Ni, Co, Mn, B, Ti, La, Y, P, V, Sr, Ga, Zr, and Ba concentrations with emission spectrophotometry and for Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, and Cr (1 M HCl extract) with AAS. Analyses were checked with moss calibration standards used for the European Atmospheric Deposition Mapping Project [18].

3. Results

3.1. Mean relative additional annual increment dynamics

The mean relative additional annual increments $\bar{d}(t, l | \Delta t_c)$ values were calculated for every year t from 1960 to 1987 for each plot l . The control period was set at $\Delta t_c = 1959-1970$. Trees in plots located outside of the zone that receives electromagnetic radiation from the Skrunda RLS had no significantly different annual increments compared to the mean, i.e. $\bar{d}(t, l | \Delta t_c) \approx 0$ (Fig. 2), excepting isolated outliers with irregular departures from the norm (Fig. 3). Significantly diminished mean additional annual increments occurred after 1980 in plots close to the Mazeikiiai

oil refinery (Fig. 4), which coincides with the start of emissions of pollutants from the plant. All plots that receive electromagnetic radiation from the Skrunda RLS have significant ($P < 0.05$) negative $\bar{d}(t, l | \Delta t_c)$ values, compared to 0, which begin only after 1970 and are observed throughout the period of study (Fig. 5). The Skrunda radar began operation in 1971.

3.2. Mean cumulative relative additional annual increment and the electromagnetic radiation

The mean cumulative relative additional annual increment $\bar{D}_t(\Delta t_1, l | \Delta t_c)$ during the retrospective period of electromagnetic radiation Δt_1 ,

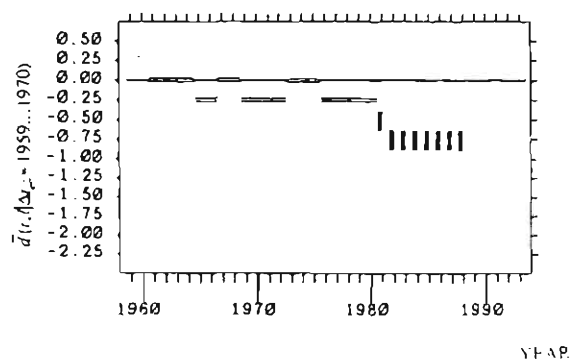


Fig. 4. The mean relative additional increment $d(t)$ of pine trees for a plot located 12 km north of the Mazeikiiai oil refinery. The solid bars depict significant ($P < 0.05$) deviations from normal growth.

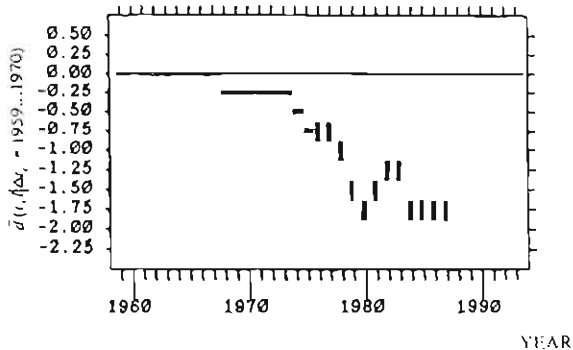


Fig. 5. The mean relative additional increment $d(t)$ of pine trees for a plot in front of the Skrunda RLS at 4 km distance. The solid bars depict significant deviations from normal growth.

= 1971–1988 was calculated relative to the control period before radiation, $\Delta t_c = 1959$ –1970. The mean $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ value of all plots in the radiation zone is -0.41 ± 0.07 compared to -0.13 ± 0.04 in plots not receiving radiation, significant at $P = 0.001$. The values of $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ are negatively correlated with the measured intensity of electrical field in decibels ($r = -0.55$, $P = 0.009$). In the irradiated zone, $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ is linearly correlated ($r = +0.52$, $P = 0.016$) with distance from the RLS. The distance correlation is expected since the electrical field intensity measurements are related to distance ($r = -0.93$). In the non-irradiated zone there is no significant correlation between $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ and distance from RLS.

3.3. Mean cumulative relative additional annual increment and pollutants

It is well known that pollutants depress tree radial growth [3–7]. In the Skrunda area, the only major sources of pollution are the metal smelting industry at Liepaja (ca. 50 km from RLS) and the oil refinery in Mazeikiai (ca. 40 km from RLS). Heavy metal concentrations in moss and soil were well related to these pollution sources and could be used to identify the zones of deposition. The vanadium concentrations close to the Mazeikiai oil refinery reached 9.5 mg/kg in moss, three times higher than normal levels [8]. Elevated vanadium levels were found up to about 10–15

km from the Lithuania border radially from the Mazeikiai oil refinery, but levels around Skrunda were background (Fig. 6). This metal has high concentrations in oil and hence is a good indicator of oil combustion. Close to Liepaja, the Zn concentrations in moss were above 150 mg/kg, but only background levels of 40–50 mg/kg were found in a large area around Skrunda. No evidence was found of any elevated deposition levels of metals in the Skrunda area. In the irradiated zone, there were no significant correlations between $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ and metal levels.

Despite the suggested lack of effect of the Mazeikiai oil refinery on the trees around Skrunda, cumulative growth $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ during the time of operation of the factory $\Delta t_r = 1981$ –1988 was assessed relative to the control period $\Delta t_c = 1971$ –1980 before operation. For this retrospective period in the RLS radiation zone, again $\bar{D}_r(\Delta t_r, | \Delta t_c)$ was linearly correlated with distance from the RLS ($r = +0.51$, $P = 0.02$). However, along a transect from Skrunda to Mazeikiai, there was a negative linear correlation ($r = -0.78$, $P = 0.02$) with distance from the RLS, i.e. less radial growth near Mazeikiai. The effect seen is not evident for a retrospective period that was set to begin with the operation of the Mazeikiai refinery and end with the start of the Skrunda RLS operation ($\Delta t_r = 1971$ –1980),

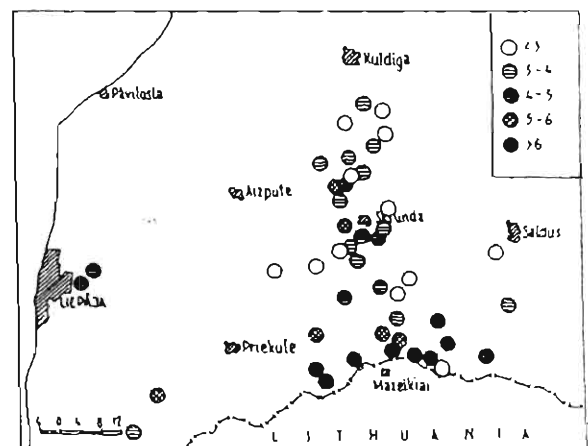


Fig. 6. V concentrations (mg/kg) in feathermoss in SW Latvia. From Nikodemus and Brumelis [8]

using a control period $\Delta t_c = 1959\text{--}1970$. In the radiation zone plots, the same pattern of decreased cumulative relative additional annual increment in the years 1971–1980, before the operation of the Mazeikiiai refinery, was seen in 1981–1988, during operation of the Mazeikiiai refinery.

3.4. Mean cumulative relative additional annual increment and other environmental factors

Besides the mentioned factors (electromagnetic radiation, distance to RLS, pollutants) the effect of other factors on the mean cumulative relative additional annual increment $\bar{D}_r(\Delta t_r, l | \Delta t_c)$ during the retrospective period $\Delta t_r = 1971\text{--}1988$ was assessed relative to the control period $\Delta t_c = 1959\text{--}1970$. The analysed factors were: height above sea level, topography, nutrient conditions, soil moisture and texture, litter and organic layer depth, soil pH, ground water level, ground water flow, ionising radiation, and silvicultural parameters. The effect of these factors were assessed by multiple regression and analysis of variance, but no significant effects on $\bar{D}_r(\Delta t_r = 1971\text{--}1988, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970)$ values were observed.

4. Discussion

The results demonstrate that the mean relative additional annual increment $\bar{d}(t, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970)$ of pine has decreased in plots that receive electromagnetic radiation from the Skrunda RLS. This decrease becomes significant 3–5 years after the beginning of operation of the RLS and continues to the end of the period of study. Outside of the RLS radiation zone significant differences of $\bar{d}(t, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970)$ are isolated cases, which do not reflect a trend. An exception is the decreased values of $\bar{d}(t, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970)$ toward the Mazeikiiai oil refinery after 1980, i.e. after the beginning of pollutant emissions.

The effect of the Mazeikiiai refinery is clearly caused by pollutants and does not invoke controversy. However, the loss in additive growth increment in the RLS radiation zone in the retrospective studied period begins with the radar installa-

tion and no relations to chemical pollutants or other factors have been observed.

The values of mean cumulative relative additional annual increment are significantly negatively correlated to electrical field intensity during separate times of operation:

$$\bar{D}_r(\Delta t_r = 1971\text{--}1988, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970),$$

$$\bar{D}_r(\Delta t_r = 1971\text{--}1980, l | \Delta t_c = 1959\text{--}1970) \text{ and}$$

$$D_r(\Delta t_r = 1981\text{--}1988, l | \Delta t_c = 1971\text{--}1980).$$

The relation between $D_r(\cdot)$ and distance to the RLS is positive.

Previous work does not provide conclusive evidence of the effect of weak electromagnetic fields on trees, since some work confirms an effect [9,10] and some denies its existence [11,12]. We cannot provide a mechanism for the observed suggested effect at Skrunda, from the many available hypotheses [13–15] of weak radio-frequency electromagnetic action. However, our results certainly lead one to strongly suppose that the Skrunda RLS radiation has affected pine radial growth. The confirmation of the effect has been further supported by evidence from other organisms [16,17]. Nevertheless, we respect the possibility that an unknown factor has caused the negative effect which by chance is associated with the observed temporal and spatial variations.

The Skrunda RLS area requires further work on the possible effects, particularly on the mechanisms of action. This area is unique for the study of radio-frequency electromagnetic radiation. The radars are located in a valley (and not on the highest possible site as usual) that is rich in ecosystems, and agricultural communities are found throughout the irradiated area. The results of a 20-year 'experiment' are waiting for observation and analysis. The RLS emits radiation in an insufficiently investigated frequency (154–162 MHz) in pulse regime, and the intensities of pulses exceed allowed limits for integrated doses by 50 times. However, pulse radiation types have no associated allowed limits.

Other work at Skrunda is in a preliminary phase, including experimental searches for mech-

anisms, and it is hoped that this work will provide an insight on the suggested effects. However, the most conclusive evidence for an effect (or no effect) may only be available when the Skrunda RLS terminates operation in 1998, as regulated by an international agreement between Russia and Latvia. Then it will be possible to determine if tree radial growth recovers. Since the RLS is expected to operate until 1998, the authors encourage all interested to further study the Skrunda RLS.

Acknowledgements

We greatly appreciate the comments given by T.J. Carleton, J. Bauch and an anonymous reviewer. The many assistants (especially U.A.Z) that contributed in the field and lab to make this study possible are acknowledged. This study was supported by a Latvian Science Council grant No. 93.325.

References

- [1] I. Liepa, Stand Volume Dynamics. Forecasting and Ecology, Zinatne, Riga, 1980, 171 pp. (in Russian).
- [2] T. Kalniņš, R. Krisbergs and A. Romancuks, Measurement of the intensity of electromagnetic radiation from the Skrunda Radio Location Station, Latvia. *Sci. Total Environ.*, 180 (1996) 51-56.
- [3] D. Eckstein, W. Liese and B. Schmidt, Dendroklimatologie und Dendroökologie. *Allg. Forstztschr.*, 49 (1979) 1364-1368.
- [4] D. Altwegg-Artz, Bedeutung und Methoden einer Schätzung der volkswirtschaftlichen Kosten des Waldsterbens in alpinen Schutzwäldern. *Allg. Forst- u. Jagdztg.*, 158 (1987) 57-61.
- [5] F. Kienast, R. Kontic and A. Winkler-Scifert, Analyse des cernes des forêts endommagées du Valais. *Bull. Murithienne*, 100 (1983) 77-80.
- [6] W.H. Smith, *Air Pollution and Forests*, Springer, New York, 1981, 430 pp.
- [7] J.N.B. Bell, Recent developments in acid rain research. *J. Biol. Educ.*, 22 (1988) 93-98.
- [8] O. Nikodemus and G. Brumelis, The spatial dynamics of atmospheric pollution in Latvia and the Baltic republics. as measured in mosses, topsoil and precipitation. *GeoJournal*, 33 (1994) 71-80.
- [9] H. von Hommel, Elektromagnetischer SMOG — Schadfaktor und Streß? *Forstarchiv*, 56 (1985) 227-233.
- [10] W. Volkrodt, Mikrowellensmog und Waldschäden — tut sich doch was in Bonn? *Raum u. Zeit*, 9 (1991) 22-25.
- [11] K. Joos, S. Masumy, F.H. Schweingruher and Ch. Staeger, Untersuchungen über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald. *Techn. Mitt. PTT*, 1 (1988) 1-24.
- [12] P. Schmutz, J. Siegenthaler, J.B. Bucher D. Tarjan and Ch. Stäger, Einfluss von Mikrowellen auf Fichten und Buchen. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 145 (1994) 213-227.
- [13] M.A. Stuchly, Interaction of radiofrequency and microwave radiation with living systems. *Rev. Mech. Radiat. Environ. Biophys.*, 16 (1979) 1-14.
- [14] J.A. Elder, P.A. Czerski, M.A. Stuchly, K.H. Mild and A.R. Sheppard, Radiofrequency radiation, WHO Reg. Publ. Eur. Ser., 25 (1989) 117-174.
- [15] R. Glaser, Current concepts of the interaction of weak electromagnetic fields with cells. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, 27 (1992) 255-268.
- [16] Z. Balode, Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in Bovine peripheral erythrocytes. *Sci. Total Environ.*, 180 (1996) 81-85.
- [17] I. Magone, The effect of electromagnetic radiation from the Skrunda Radar Location Station on *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden cultures. *Sci. Total Environ.*, 180 (1996) 75-80.
- [18] A. Ruhling et al., Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe (1990). *NORD*, 12 (1992) 1-38.

JOURNAL OF BALTIC STUDIES

Volume XXIV, Number 3

Fall 1993

CONTENTS

ARTICLES

- Valdis Balodis, Kārlis Kalvišķis, Kamils Ramans, Imants Liepa, Guntis Brūmelis, Ilze Magone, and Oļģeris Nikodemus*, Environmental Assessment in Latvia: Overview of Past Research and Future Perspectives 223
- Raymond A. Smith*, The Kaliningrad Region: Civic and Ethnic Models of Nationalism 233
- Robert A. Vitas*, The Recognition of Lithuania: Completion of the Legal Circle 247
- Andreas Kasekamp*, The Estonian Veterans' League: A Fascist Movement? 263
- Evald Laasi*, Finland's Winter War and Estonian Neutrality 269
- Ēvalds Mugurēvičs*, A Historical Survey and Present Problems of Archaeological Science in the Baltic States 283
- Douglas Spitz and William Urban*, A Hindu Nationalist View of Baltic History 295

REVIEWS

- Karlis Racevskis*, *Voices from the Gulag: A Review Essay* 299
- Mosse, W.E.*, *Perestroika under the Tsars* (John A. Armstrong) 307
- Mojzes, Paul*, *Religious Liberty in Eastern Europe and the USSR: Before and after the Great Transformation* (Joseph T. Hapak) 308
- John Fitzmaurice*, *The Baltic. A Regional Future?* (William Urban) 309
- Andrew A. Michta and Ilya Prizel*, eds., *Postcommunist Eastern Europe: Crisis and Reform*, and *E.A. Rees*, ed., *The Soviet Communist Party in Disarray: The XXVIII Congress of the Communist Party of the Soviet Union* (John A. Armstrong) 310

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT IN LATVIA: OVERVIEW OF PAST RESEARCH AND FUTURE PERSPECTIVES

Valdis Balodis, Kārlis Kalviškis, and Kamils Ramans, Dept. of Botany & Ecology, University of Latvia; Imants Liepa, Dept. of Silviculture, Latvian University of Agriculture; Guntis Brūmelis and Ilze Magone, Institute of Biology; Oļģerts Nikodemus, Dept. of Environmental Protection, University of Latvia

Introduction

This article is a brief summary of the results of studies by a multidisciplinary group of scientists working in environmental sciences and representing six faculties and institutes. A few years ago we realized the need for environmental assessment throughout Latvia, since the political situation had limited individual studies of the environment to specific problems in limited areas.¹ We first used phytoindicative mapping (tree damage surveying) to assess environmental quality. Subsequently, our superimposing epidemiological, ecoepizootological and dendrochronological data on the tree damage surveys persuaded us of the need for further work in affected areas.

The causes of environmental degradation in Latvia are determined by abiotic and biotic multifactor approaches. We mapped atmospheric deposition by using moss, lichens, pine needles and pine bark as bioindicators. In specific areas, we conducted tree ring studies to attain a retrospective analysis of changes after the initiation or withdrawal of an environmental factor.

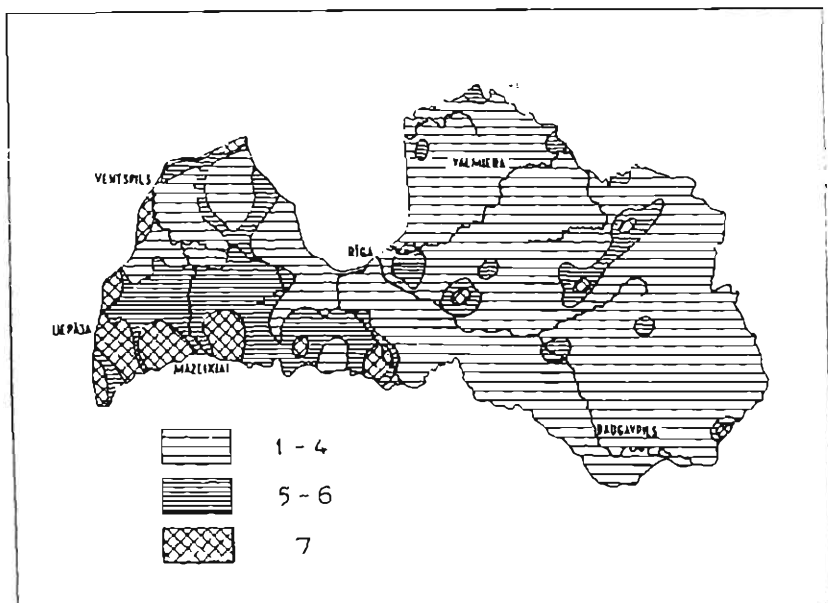
Our work focused on the development of new methods for biogeoindication surveys and "finetuning" of existing methods with the goal of developing an adequate biogeoindicative environmental assessment system based on ecosystem effects that would allow the determination of allowed levels of overall anthropogenic load. This would permit scientists to depart from the standard use of allowed levels of individual chemicals—which does not predict the environmental effects from the combined wide spectrum of pollutants existing today.

Bioindicative Assessment of Environmental Quality

Our assessment of environmental quality was conducted using existing natural systems, which most precisely shows the integrated response to multiple environmental factors and can be quantified. Species from all taxonomic groups may be used for bioindication. However, plants are the simplest for data collection and are thus used most often. We assessed environmental quality by using tree damage surveys of forest stands with minimal forest management.

We then tested various response parameters of trees to stress in order to describe the real situation, in areas both with background levels and intensive human impact. The parameters we used in Latvia for our surveys were: necrosis of pine needles, necrosis of birch leaves, tree apex deformations, plant tumorous growth and nonadaptive changes in plant growth. We sampled the territory of Latvia using a 18 km X 18 km grid during 1988-1990 (Magone et. al., 1992) and classified the surveyed sites into seven phytoindicative classes to describe the cumulative effect of abiotic factors (fig. 1). Classes 1-2 best describe the existing background levels of Latvia. Class 3 occurs in agricultural regions. Areas in class 4 have decreased vitality of plants and distinct coniferous tree damage. Sampling areas described as classes 5-7 suffer from higher intensities of anthropogenic impact and the sources should be recognized as having a significant effect on the environment. Areas in class 7 should be considered to suffer from negative factors that may affect human health.

Figure 1. Tree damage survey. Phytoindicative classes. 1-4 background to low impact; 5-6 moderate impact; 7 high amount of damage.²

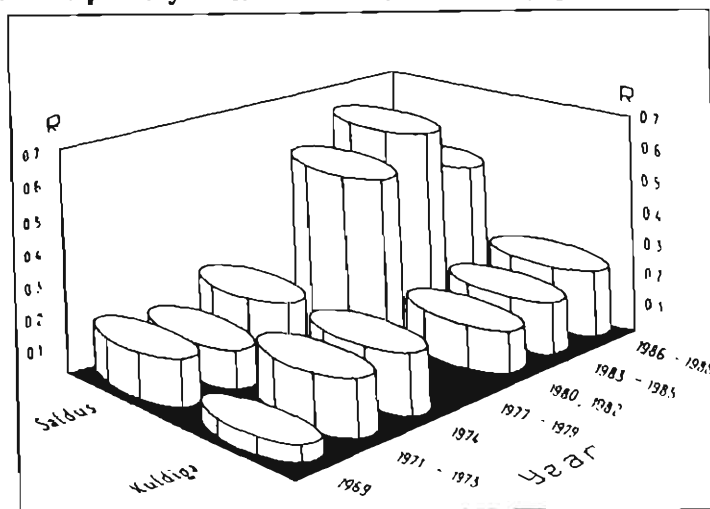


The best environmental quality is in eastern Latvia. The most stressed region is southwest Latvia which is subjected to degradation from a number of possible sources, including the Mazeikiiai oil refinery in Lithuania, the Liepaja metal smelter, and numerous army bases such as the Vainode Russian airforce base and the Skrunda super-radar. The coastal region of western Latvia is also affected, but access to that area has been almost impossible due to the restrictions connected with the numerous military facilities. South central Latvia is less stressed but affected. In north central Latvia, stressed regions are found around the Lielvarde and Gulbene airforce bases, as well as in the Madona area.

Once we determined generally which areas of Latvia were affected, we began further studies to determine if other bioindicative methods would give similar results. We used methods which could be best applied for the estimation of impact on human health. For example, epidemiological and ecopizozological research in western Latvia revealed that deaths among newborn children increased from 1.0% in 1967 to 1.8% in 1988 in the coastal region. Considerable forest damage was also observed in this region. No statistical significant differences occurred in other regions. This does not imply that human health in regions other than the coast is not affected, since the variation due to other factors in epidemiological studies is usually extremely high.

Ecopizozological methods are more suitable for assessment since variation from factors other than pollution may be standardized. For example, livestock live under more controlled conditions (standard diet, less social stress, etc.) than humans. Figure 2 shows the results of a survey of respiratory illness in cows during 1969 to 1989 in two regions of western Latvia: Saldus (close to the Mazeikiiai oil refinery) compared with a control area at Kuldiga. Breathing problems in Saldus increased in 1980, which coincides with beginning of operation of the Mazeikiiai oil refinery. No increase was indicated in the control area. Further work will involve expanding this type of research to other regions, and determining the mutagenicity of environmental factors.

Figure 2. Respiratory Illness. R=ratio of affected cows.



Mapping of Atmospheric Deposition

We mapped the regional deposition of heavy metals in Latvia using the moss *Sphagnum magellanicum* (Nikodemus 1992) and determined the concentrations of 22 elements by using atomic absorption spectrophotometry and neutron activation. The highest concentrations were found in the southwest (similar to the tree damage surveys) and Riga. As part of an international survey involving Norway, Sweden, Denmark, Iceland, Russia, Estonia, Lithuania and Latvia, heavy metals were mapped using the mosses *Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi* (Ruhling et. al., 1992; Brumelis et. al., 1992). These mosses are most suitable for bioindication, since they accumulate most metals, minimally translocate metals, and have incremental growth allowing an integrated sample of 3-5 years of deposition. The results indicated that, except for vanadium and zinc, Latvia has background levels of metals throughout its territory similar to those found in rural central and southern Scandinavia. The concentrations of most metals in Latvia do not reach the high levels found in industrial cities of Northern Europe, including the neighbouring Baltic republics. In comparison, the oil shale burning region of Narva in Estonia does have deposition similar to the highest levels in Sweden. However, local point sources are noticeable in Latvia. For example, figures 3 and 4 show the distribution of lead in Latvia and Northern Europe, respectively. The resolution is improved when a smaller territory (Latvia) is considered. Background lead concentrations in Latvia, similar to other surveys, are higher in the southwest as well as around the dense traffic network of Riga (figure 3). The pattern of international distribution indicates that superimposed on these local sources is deposition from long range transport from central Europe (figure 4; reprinted from Ruhling et. al., 1992). Generally, the concentrations of lead decrease towards the north.

Figure 3 Distribution of Lead Concentrations (mg/kg) in *Hylocomium splendens* in Latvia.

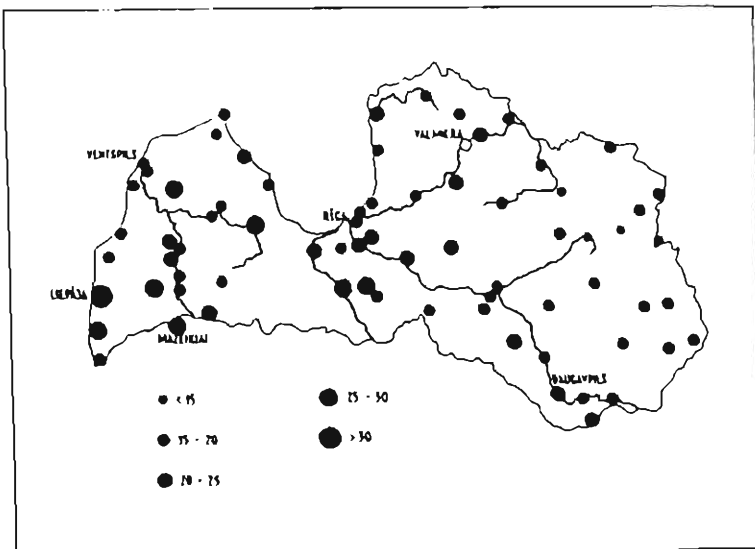
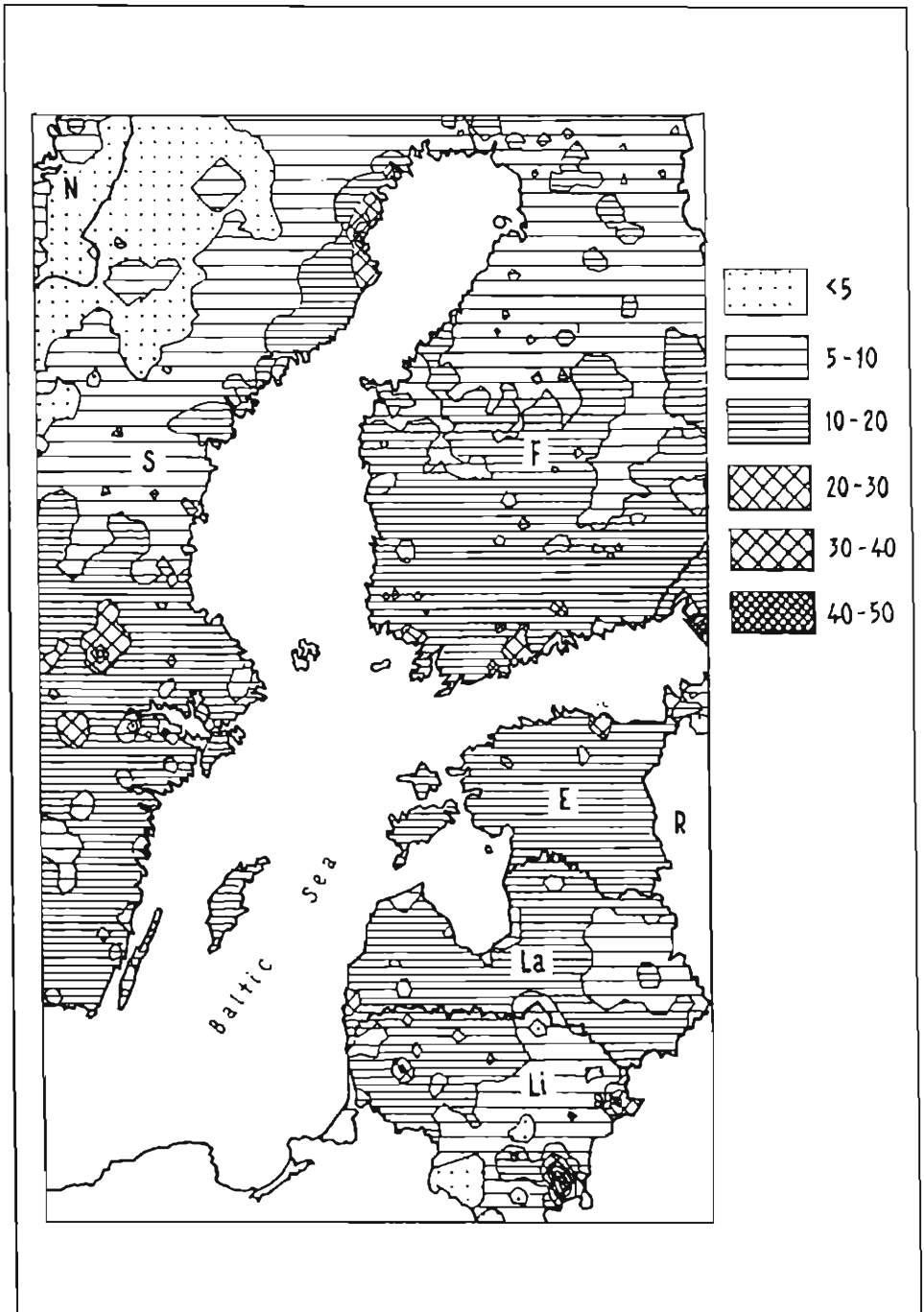


Figure 4. Lead concentrations (mg/kg) in moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) in Northern Europe (reprinted from Ruhling et. al. 1992).

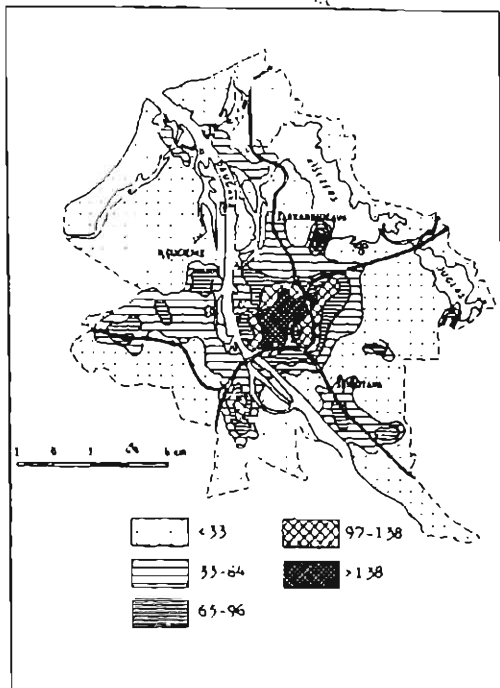


Extremely high levels of vanadium and zinc occurred locally in Latvia. Vanadium is a common pollutant of oil and coal combustion. Since large thermoelectrical plants in Latvia utilize this fuel source, vanadium concentrations were highest close to large cities. The zinc concentrations close to the Liepaja metal smelter were similar to those around the largest metal smelting areas in Scandinavia. Although the steel industry in Liepaja is relatively smaller, evidently the control of emissions is minimal.

Geochemical Research

Nationally, geochemical soil surveys have not been conducted, due to the great variety of soil types found. The natural variation in concentrations is extremely high. Extensive geochemical surveys have been conducted in the coastal cities of Riga, Jurmala and Ventspils. Here, the soils are, for the most part, typic podsols. Thus, the variation in concentrations can be mostly attributed to anthropogenic effects. The highest concentrations of metals were found in the central part of Riga, which is surrounded by industrial regions and has the highest density of traffic (figure 5). The variation in concentrations was much higher in Jurmala than Riga, since the spread of pollutants in Riga is more uniformly dispersed. The highest metal concentrations in soil in Jurmala are around the Sloka pulp and paper mill and local coal fired boiler houses. Further geochemical research involves the investigation of the flow of metals through the soil horizons and a survey of deposition from the biochemical industry at Olaine.

Figure 5. Lead concentrations (mg/kg) in surface soil (10 cm depth) in Riga.



Skrunda Super-Radar

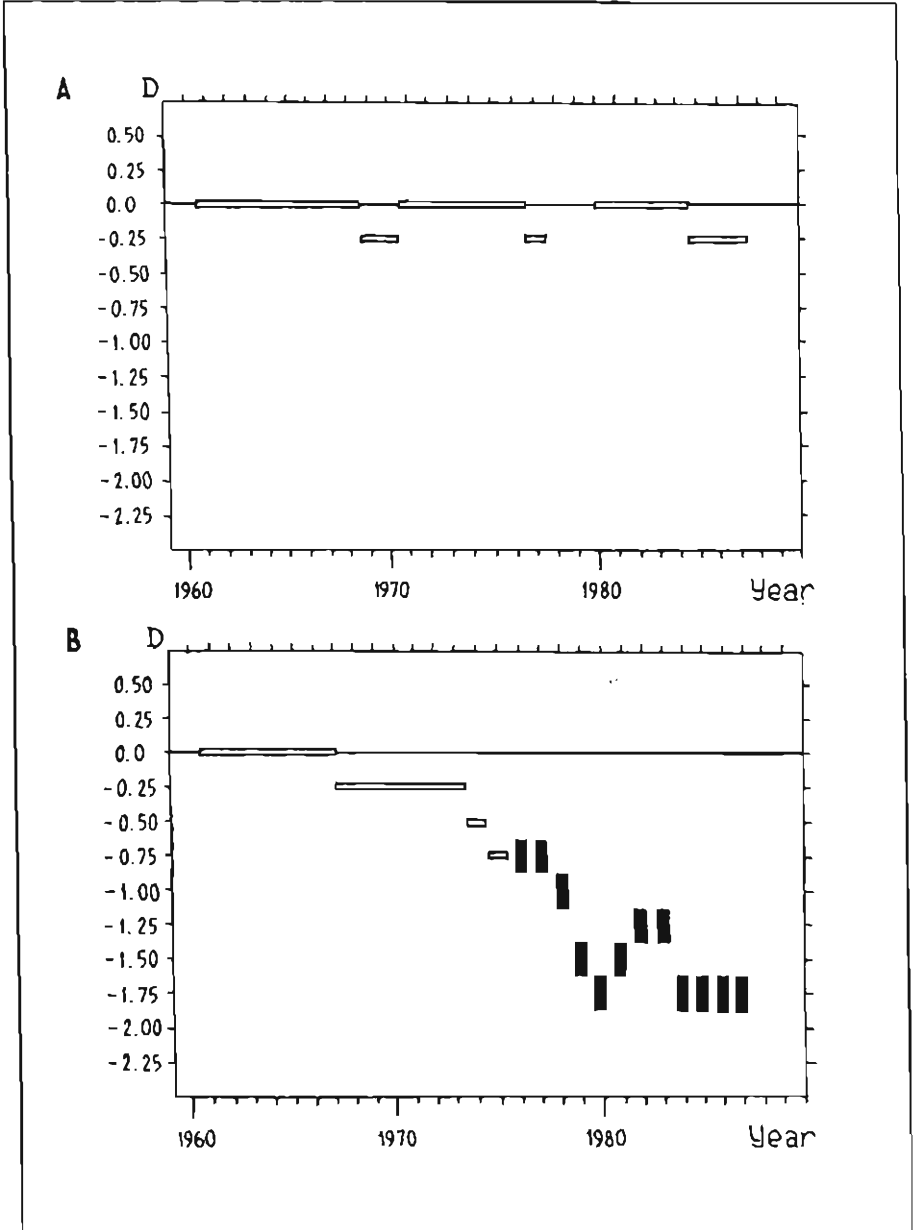
A serious source of environmental degradation in southwestern Latvia is electromagnetic radiation from the Skrunda super-radar. This Soviet army radar installation has been in operation since the 1970's for strategic defence against nuclear attack. The four stations of the Skrunda radar have emitted electromagnetic radiation for over 20 years in the radiowave band (wavelength 2m) in impulse regime (25 Hz impulse frequency with a power of 1.3 MW). The fifth radar station was under construction and scheduled to begin operation in 1993. If permissible levels in eastern Europe are used as a base for comparison, the electromagnetic radiation from these sources do not exceed allowed levels. However, the permissible levels were designed for constant radiation sources, not for impulse emitters. These levels of electromagnetic radiation have not been tested to determine long term effects on organisms. Local residents have voiced concern over a number of endemic illnesses.

We began our investigation of the effects of the radar emissions in 1990, using tree ring growth as a bioindicator because trees have a huge assimilating surface and a several hundred square meters of actively dividing exposed cells. Since a decrease in tree ring width indicates a lower growth rate, we could easily determine a chronology of past growth. We set up sample sites around the Skrunda radar and at control sites. Within plots, we used tree corers to sample all overstorey pines and measure the annual increments, then tested the statistical significance of temporal trends. We determined the differences in wood production after the beginning of operation of the radar by using cumulative increment width and the change in cumulative incremental volume per ha. Figure 6a shows the incremental growth of pine trees at the control sites. No significant differences in tree growth over time were indicated. However, in the direct zone of electromagnetic radiation exposure (figure 6b) the trees have decreased their incremental growth since the 1970s. Cumulative incremental growth of wood decreases the closer the samples were to the radar.

We investigated the reasons for the decrease of growth in the direct path of radiation by using multi-factor analysis. Regression analysis tested the relationship between the change in cumulative increment width as a dependent variable against all measured environmental factors (over 50 parameters). We determined significant negative correlation between the electric field strength and the increment width, but found no significant relationship between the change in increment width and other environmental factors (such as metal concentrations, moisture, forest ecotype, etc.).

Thus, for the first time the effect of electromagnetic radiation on pine radial growth has been demonstrated, thanks to a combination of the method chosen for the analysis and unique features of this radar: 1. the radar has been in operation for a long time; 2. the impulse mode of the radar; 3. the radar is built in an inhabited region allowing access; 4. the radar was hidden in a valley and the slopes of the hillsides are exposed to direct radiation.

Figure 6. Change in the annual tree ring width relative to a control time period. $D = \ln (W_p/W_c)$; W_p = annual increment width in plots; W_c = annual increment width in control. Normal growth is thus set at $D=0$ and negative values indicate a decrease in tree growth.



Normally such radar installations are built on high ground in order to permit a wider horizon, but in this case the Soviet army was preoccupied with secrecy. The construction of a new radar site at Skrunda was stopped but the radar stations which we have studied are scheduled to continue operations. The Russian army does not plan to stop operations in the Baltic states, and is not willing to include this base in the negotiations with Latvia concerning troop removal.

Since the major portion of the military training grounds are presently in the process of being returned to Latvia, the extent of pollution is not yet known. We anticipate problems with unexploded bombs, waste dumps, and the leakage of oil and petrol into the groundwater. However, it would be hasty to talk about rehabilitation at this point. Funds available to the Environmental Protection Committee of Latvia, which initiates all environmental regulation, are understandably limited at this moment. More importantly, until research groups undertake site inventories, no reasonable program can be drawn up. There is hope for a Swedish grant for military land recultivation.

In sum, the close connection between past military activities and environmental impact is as clear in Latvia as elsewhere. Consequently, remedies to the problem require both further studies on the part of Latvian scientists and a greater willingness on the part of the Commonwealth of Independent States to acknowledge the origins of the problems.

Acknowledgements

This work has been financed by the Scientific Council of Latvia and the Latvian Environmental Protection Committee. Appreciation is extended to the many staff and students at the University of Latvia, the Agricultural University of Latvia and the Institute of Biology that contributed to this work.

References

Brumelis, G., S. Aufreiter R.V.G. Hancock. *The use of Hylocomium splendens for heavy metal monitoring in Latvia. Environmental Monitoring in Latvia II.* in press.

Magone I., A. Karps and A. Teivans. 1992. Latvijas vides stavokla fitoindikativais vertejums 1988-1990 gada. *Latvijas arsts*, 6: 38-39.

Nikodemus O. 1992. Kimisko elementu koncentracija *Sphagnum magellanicum* Brid. suns Latvija (in Latvian). *Latvijas arsts*, 6: 41-48.

Ruhling A., G. Brumelis, N. Goltsova, K. Kvietkus, E. Kubin, S. Luv, S. Magnusson, A. Makinen, K. Pilegaard, L. Rasmussen, E. Sander and E. Steinnes. 1992, Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe. 1990. *NORD* 1992: 12, 41 pp.

ENDNOTES

1. For example, research by Dzidra Berija and L. Kalviņa on heavy metal deposition in precipitation, by Māris Kļaviņš on metal contaminants in water basins, by the organization Ražība on soil contaminants (including the analysis of radioactivity following Chernobyl), on fresh water systems by P. Cimdinš and Māris Kļaviņš, and on marine systems by G. Andrusaitis and Co.
2. Magone, I., A. Karpos and A. Teivans. 1992. *Latvijas vides stavokla fitoindikacija.*

Referātu tēzēs apskatītas meža ekoloģijas, mežkopības, mežizstrādes, kokapstrādes, koksnes ķīmijas teorētiskās un praktiskās problēmas un meža vēstures jautājumi.

Atbildīgais par izdevumu: T. Blīža

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIAN UNIVERSITY OF AGRICULTURE

MEŽA FAKULTĀTES

ZINĀTNISKI PRAKTISKĀS KONFERENCES

T Ē Z E S

FORESTRY DEPARTMENT

SCIENTIFICALLY PRACTICAL CONFERENCE

THESIS

JELGAVA-1992-YELGAVA

VALDIS BALODIS
IMANTS LIEPA
GALINA POSPELOVA
KAMILS RAHANS

LU Botānikas un ekoloģijas katedra
LLU Mežkopības katedra
LU Botānikas un ekoloģijas katedra
LU Botānikas un ekoloģijas katedra

ELEKTROMAGNETISKA STAROJUMA IEDARBĪBA UZ KOKU PIEAUGUMU

THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON TREE GROWTH

Pollution from electromagnetic radiation in the radiowave band wavelength > 500 mm or $f_H < 6 \cdot 10^{12}$ Hz) is rapidly increasing worldwide. Latvia is not an exception. The western Kurzeme area is particularly affected. It has a high density of radar systems.

The SKRunda super-radar (wavelength = 2 m; operates in impulse mode; 1.3 MW impulse radiation power; 25 Hz impulse frequency; 0.8 ms impulse duration), which is in operation since the beginning of the 1970's, is of particular concern. The measurement of the power of electromagnetic radiation outside of the SKRunda restricted or "sanitary" zone, indicates that allowed levels are not exceeded. Thus heating effects on the cells of living organisms are not expected in the vicinity of SKRunda. Effects on biota from radiation at the intensity of the SKRunda radar have not previously been reported (Elder et. al. 1989).

Practically no work has been conducted on the effect of radiowaves on plants, including trees. Woody plants are suitable as test objects for modelling the response to environmental factors (Fritts 1976). The tree response is captured in tree rings, which enables a retrospective analysis. This work describes the effect of electromagnetic radiation on tree radial growth.

A total of 36 permanent quadrats were established, of which 17 were located in the direct path of radiation from the SKRunda radar. Within each quadrat, species lists were prepared, the forest ecotype was determined and all overstorey pines were sampled using a tree corer. Annual increments from the tree cores were measured. The statistical significance of temporal trends for each quadrat was tested. Differences in the wood production were assessed after the beginning of operation of the radar by determining the change in cumulative increment width and the change in cumulative incremental volume/ha.

Electromagnetic field strength was measured using a selective meter EMV-801. Atmospheric deposition of heavy metals were determined using the following method: wind-blown dusts were collected on a 200 cm² surface, washed with distilled water and filtered on Whatman 541 filter paper. The filtrate was analysed for lead, cadmium, zinc, copper and nickel by atomic absorption spectrometry.

A significant ($P = 0.05$) decrease in the cumulative increment width, as well as the cumulative incremental volume/ha were observed.

The reasons for decrease in growth in the Skrunda area was investigated using multifactor linear regression, and correlation and dispersion analysis. Regression analysis tested the association between the change in cumulative increment width, as an independent variable, against all measured environmental factors, as dependent variables.

A significant ($P = 0.008$) negative correlation ($r = -0.55$) was determined between the electric field strength and the change in cumulative increment width. Multifactor regression analysis indicated that 25% of the variability in the decrease in cumulative increment width was explained by the electric field strength. The change in cumulative increment width was significantly ($P = 0.004$) correlated ($r = 0.48$) with the distance of the quadrat from the electromagnetic source. No significant relationship was found between the change in cumulative increment width and other environmental factors.

This work has indicated a negative relationship between the low level electromagnetic radiation and pine radial growth. Further work is involved with determining the mechanism of this effect, and assessing changes in growth of other tree species.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИРОСТ СОСНЫ

В мире стремительно увеличивается число источников электромагнитного излучения радиоволнового диапазона ($\lambda > 500$ м или $f < 6 \cdot 10^{12}$ Гц). Латвия не составляет исключения, особенно Курземе, где работает огромное количество радарных установок.

Обоснованные нарекания вызывает действующий с конца семидесятых годов Скрундский суперрадар ($\lambda = 2$ м; импульсный режим; мощность импульсного излучения - 13 МВт; частота импульса - 25 Гц; продолжительность импульса - 0,8 мсек). Измерения мощности потока электромагнитного излучения свидетельствуют, что санитарно-гигиенический уровень предельно допустимого излучения не превышен. Это означает, что в зоне действия радара не ожидается какого-либо известного вреда в результате воздействия электромагнитного излучения, результатом которого является повреждение тканей у живых организмов. Воздействие слабого электромагнитного излучения, подобно Скрундскому радару, на биологические организмы не исследовано (Калмс и др., 1989).

Экспериментально не исследованы и воздействия радиоволн на растения. Тем не менее, более широкое применение является очень удобным методом измерения и дозирования по воздействию факторов среды (Калмс и др., 1989). Результаты этого исследования ежегодно фиксируются в журнале "Скрундский суперрадар" и доступны для целей спектрального анализа.

В. Калмс, Институт радиотехники и электроники, Латвийский университет

Эти соображения определили цель работы - оценить воздействие электромагнитного излучения на радиальный рост деревьев.

На различном расстоянии от радара были заложены 36 исследуемых пробных площадей, 17 из них - в зоне действия радара. На каждой проводилась полная таксация насаждений. У всех сосен первого яруса буравом Преслера брались образцы древесины для измерения ширины годичных колец. По результатам измерений для каждой пробной площади определялась сущность изменений тренда прироста, редуцированный отрицательный дополнительный прирост по запасу и кумулятивный дополнительный прирост ширины годичных колец в период действия радара. Уровни электромагнитных шумов измерялась селективным вольтметром DS-100. Уровень химического загрязнения атмосферы определялся по концентрации тяжелых металлов в естественных сорбентах: сосновом коре икек и лишайниках. На каждой пробной площади проводился анализ географических, климатических, эдафических, гидрологических и ландшафтных факторов среды.

В зоне действия радара, начиная с середины семидесятых годов, констатировано существенное ($\alpha < 0.05$) снижение прироста и выраженное падение редуцированного кумулятивного дополнительного прироста по запасу.

Для выяснения причин снижения прироста использовались многофакторный линейный регрессионный, корреляционный и дисперсионный анализы. В качестве регрессоров использовались все исследуемые факторы среды, в качестве регрессента - кумулятивный дополнительный прирост ширины годичных колец в период действия радара (DS).

Констатирована существенная ($\alpha < 0.05$) отрицательная корреляция ($r = -0.55$) между мощностью потока электромагнитного излучения и величиной DS. Согласно многофакторному линейному регрессионному анализу, удельный вес воздействия мощности потока электромагнитного излучения (β) на величину DS - 0.26. Величина DS существенно ($\alpha < 0.004$) зависит от того, на каком расстоянии от радара находится пробная площадь ($r = 0.48$). Зависимость величины DS от других исследуемых факторов не обнаружена.

В результате исследований доказано отрицательное воздействие слабого электромагнитного излучения на радиальный прирост сосны. В последующих исследованиях необходимо обратиться к выяснению воздействия электромагнитного загрязнения на другие виды древесных растений и механизму этого воздействия.

References

LITERATURE

WILSON J.A., KUBERSKI P.A., STUCHLY M.A., ed., 1989.

Nonionizing radiation protection 17-174.

WILSON J.A. 1987 - Free space ion climate

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
Meža fakultāte

MEŽZINĀTNE

**Meža nozares augstākās izglītības
75. gadu jubilejai veltītās
zinātniski praktiskās konferences
materiāli**

LLU
Jelgava 1995

DENDROEKOLOĢISKU PĒTĪJUMU REZULTĀTU PARAMETRISKA VĒRTĒŠANA

V. BALODIS, G. POSPELOVA

LU Botānikas un ekoloģijas katedra

I. LIĒPA

LLU Mežkopības katedra

Dendroekoloģiskos pētījumos nereti ir nepieciešams noskaidrot, kad pētāmais vides faktors ir būtiski sācis ietekmēt koksnes pieaugumu un cik ilga šī būtiskā ietekme ir bijusi. Šādu jautājumu risināšanai ērti lietot biometrijas **parametriskās metodes**, ja vien konsekventi tiek ievēroti šo metožu izmantošanas noteikumi un ierobežojumi. Šajā darbā piedāvājam dažus gadskārtu platuma izmaiņu parametriskas vērtēšanas paņēmienus. To verifikācija ir veikta, izmantojot empīriskos datus, kas iegūti pētīt iespējamo radiofrekvences elektromagnētiskā starojuma iedarbību uz priežu (*Pinus sylvestris* L.) koksnes pieaugumu Skrundas Radiolokācijas stacijas (RLS) funkcionēšanas rezultātā.

Ar $w(i, t, l)$ apzīmēsim t -tā gada gadskārtas platumu individuālam i parauglaukumā l . Vidējo vērtību varianšu $w()$ paraugkopām visai bieži aprēķina kā vidējo aritmētisko. Tomēr teorētiski apsvērumi liecina, ka **kambiālās augšanas process** ir nevis lineārs, bet gan **eksponenciāls** [Balodis, 1986]. Pārbaudot vairāk nekā 50000 priežu gadskārtu platumu empīriskos sadalījumus konstatējām, ka tie būtiski ($\alpha < 0.05$) atšķiras no normālā, bet būtiskas atšķirības no **lognormālā sadalījuma** netika konstatētas. Līdz ar to parauglaukuma l gadskārtas t vidējais platums $\bar{w}(l, t)$ ir aprēķināms kā **geometriskais vidējais**:

$$\bar{w}(l, t) = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N w(i, t, l)}, \quad (1)$$

kur N - paraugokoku (gadskārtu) skaits paraugkopā.

Rādītāja $\bar{w}()$ absolūto vērtību nosaka visu vides faktoru kopējā iedarbība, tajā skaitā: 1) ikgadējās laika apstākļu svārstības; 2) relatīvi konstantie

(edafiskie, ģeomorfoloģiskie utt.) vides faktori. Ti, gadskārtu platumu laika rindas atbilst laika rindām, kurās izdala sistemātisko un gadījuma sastāvdaļas [Anderson, 1971]. Pētāmā faktora izsauktās gadskārtu platumu izmaiņas ir attiecināmas uz sistemātisko, bet laika apstākļu svārstības un konstantie vides faktori - uz gadījuma sastāvdaļām. Pēdējās, veicot dendroekoloģisko analīzi, ir nepieciešams eliminēt.

Pārbaudot visdažādākos iespējamus laika apstākļu izsaukto gadskārtu platuma svārstību eliminēšanas paņēmienus, par piemērotāko izrādījās gadskārtu platumu laika rindas **izlīdzināšana**, izmantojot polinominālo svērtā slīdošā vidējā metodi ar soli 5 gadi [Anderson, 1971], kur izejas vērtība $w(i, t, l)$ tiek aizvietota ar:

$$\ln w'(i, t, l) = 0.200 \times \ln w(i, t - 2, l) + 0.486 \times \ln w(i, t - 1, l) + \ln w(i, t, l) + 0.486 \times \ln w(i, t + 1, l) + 0.200 \times \ln w(i, t + 2, l) \quad (2)$$

$\ln w(i, t, l)$ novirzes no $\ln w'(i, t, l)$ veido normālu sadalījumu un vairumā gadījumu 11 ... 12 gadu laika apstākļu cikls neatspoguļojas būtiski.

Konstanto vides apstākļu izsauktās gadskārtu platumu atšķirības ir eliminējamas, lietojot **vidējā relatīvā gadskārtu platuma papildus pieauguma vērtības**:

$$d(i, t, l) \Big|_{\Delta t_c} = \frac{w'(i, t, l)}{\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)} \quad (3)$$

kur

$$\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l) = \sqrt[n_c]{\prod_{t=t_1}^{t_2} w'(i, t, l)} \quad (4)$$

ir gadskārtu platumu vidējā vērtība kontroles periodam $\Delta t_c = t_1 \dots t_2$, un t_1 ir kontroles perioda sākumgads, bet t_2 - kontroles perioda beigu gads. **Kontroles periodu** izvēlas atkarībā no pētāmā faktora iedarbības laika. Piemēram, Skrudas RLS iedarbības noskaidrošanai šī perioda beigu gads bija 1970., jo Skrudas RLS sāka funkcionēt 1971. gadā. Savukārt,

iespējamā Mažeīķu Naftas pārstrādes kombināta ķīmiskā piesārņojuma novērtēšanai par t_2 izvēlējamies 1979. gadu, jo Mažeīķu rūpnīca sāka darboties 1980. gadā.

Kontroles perioda pareiza izvēle ir cieši saistīta ar **adekvāta vecuma paraugkoku izvēli**. Paraugkokiem retrospekcijas periodā ir jāatbilst 3. līdz 5. vecuma klasei, kad tie visjūtīgāk reaģē uz vides apstākļu izmaiņām un kad to vidējās gadskārtu platumu vērtības normālos apstākļos būtiski nemainās [Douglass, 1928].

Pie šiem noteikumiem, gadījumos, kad vides apstākļi būtiski nav mainījušies, $d()$ vidējā vērtība katram gadam t un parauglaukumam l

$$\bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{i=1}^N d(i, t, l | \Delta t_c)}{N} \quad (5)$$

būtiski neatšķiras no 0 (1.att.). Šī testēšana tiek veikta pamatojoties uz to, ka kontroles periodam vidējā relatīvā gadskārtu papildus pieauguma vērtība

$$\bar{d}_c(\Delta t_c, l) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=t_1}^{t_2} d(i, t, l | \Delta t_c) = 0 \quad (6)$$

$d()$ vērtību kopai ir normāls sadalījums un nulles hipotēze

$$H_0: \bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \bar{d}_c(\Delta t_c, l) = 0 \quad (7)$$

ir parametriski pārbaudāma. Tātad, ja vidējā relatīvā gadskārtu papildus pieauguma vērtība parauglaukumam l ir būtiski lielāka par 0, attiecīgā gadā t koksnes radiālais pieaugums ir palielinājies, ja mazāka - samazinājies. Piemēram, Skrundas RLS starojuma zonā $\bar{d}()$ vērtība ir būtiski samazinājusies pēc 1971. gada (2.att.), bet Mažeīķu Naftas pārstrādes kombināta ķīmiskā piesārņojuma zonā - pēc 1980. gada (3.att.).

Nereti ir nepieciešams raksturot kopējo efektu, kas radies pētāmā faktora visā iedarbības laikā. Šim nolūkam var kalpot **kumulatīvais relatīvais gadskārtu papildus pieaugums** katram individuam i retrospekcijas periodā $\Delta t_r = t_3 \dots t_4$, kur t_3 - retrospekcijas perioda sākuma gads, t_4 - retrospekcijas perioda beigu gads:

$$D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{t=t_3}^{t_4} d(i, t, l | \Delta t_c)}{n_r}, \quad (8)$$

kur $n_r = t_4 - t_3 + 1$ - retrospekcijas perioda ilgums.

Uz visu paraugkopu l ir attiecināms vidējais kumulatīvais relatīvais gadskārtu papildus pieaugums:

$$\bar{D}_r(\Delta t_r, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{i=1}^n D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c)}{n} \quad (9)$$

$\bar{D}_r < 0$ ir parametriski vērtējams. Ja $\bar{D}_r < 0$ būtiski neatšķiras no 0, pētāmā faktora ietekme retrospekcijas periodā kopumā nav bijusi nozīmīga, ja $\bar{D}_r > 0$ ir būtiski pozitīvs, ietekme ir bijusi augšanai labvēlīga, ja negatīvs - nelabvēlīga. Piemēram, Skrundas RLS starojuma zonā esošajos parauglaukumos $\bar{D}_r < 0$ ir negatīva retrospekcijas periodam, kas atbilst RLS darbības laikam, bet parauglaukumos, kas atrodas Mažeikiu rūpnīcas iedarbības zonā - periodam, kad ir darbojušies šī rūpnīca.

THE ASSESSMENT OF DENDROECOLOGICAL PARAMETRIC RESULTS

In dendroecological studies, it is often required to determine if an environmental factor has significantly affected tree growth and how long this effect has occurred. For this it is convenient to use parametric methods, respecting all required conditions. This paper describes a method for assessment of the incremental growth. The verification of the method is substantiated by empirical data obtained in the study of RF EM effects on pine (*Pinus sylvestris* L.) incremental growth near the Skrunđa RLS.

$w(i, t, l)$ denotes year t increment width for tree i in plot l . The mean $w()$ is often determined as an arithmetic mean. However, theory shows that **cambial growth** is exponential [Balodis, 1986] and not linear. Observations on incremental width of 50000 trees showed that the distribution significantly differed ($\alpha < 0.05$) from a normal distribution but not from **lognormal**. Therefore for plot l and tree i the mean $\bar{w}(l, t)$ is calculated as **geometric mean**:

$$\bar{w}(l, t) = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N w(i, t, l)} \quad (1)$$

where N - number of increments in plot.

The absolute value of $\bar{w}()$ indicates the summed environmental effects, including: 1. annual fluctuations, 2. constant factors (edaphic, geomorphologic etc.). The tree increment time series are consistent with classical time series, which can be divided into systematic and chance components. The effect of factors on increment widths are systematic, but meteorological changes are chance effects, which must be removed from the studied effect.

Testing of various methods for removing the chance effects showed that the best is tree increments' growth time series smoothing, using the polynomial weighted moving average with step 5 years [Anderson, 1971], where $w(i, t, l)$ is exchanged with:

$$\ln w'(i, t, l) = 0.200 \times \ln w(i, t-2, l) + 0.486 \times \ln w(i, t-1, l) + \ln w(i, t, l) + 0.486 \times \ln w(i, t+1, l) + 0.200 \times \ln w(i, t+2, l) \quad (2)$$

$\ln w(i, t, l)$ deviations from $\ln w'(i, t, l)$ are normally distributed and in most cases 11 to 12 year intervals do not significantly differ.

Constant environmental factors are removed using **relative additional width values**:

$$d(i, t, l) \Big|_{\Delta t_c} = \frac{w'(i, t, l)}{\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)} \quad (3)$$

where
$$\bar{w}_c(i, \Delta t_c, l) = \sqrt[n_c]{\prod_{t=t_1}^{t_2} w'(i, t, l)} \quad (4)$$

is the width mean value for a control time $\Delta t_c = t_1 \dots t_2$, and t_1 is the start of the control time and t_2 the end. For example, to determine the Skrunđa RLS effect, $t_1 = 1970$, since the radar began operation in 1971. Also, t_2 for the effect of the Mazeikiai oil refinery was 1979, since it started in 1980.

The choice of the control period is strictly associated with the choice of adequate aged trees. Trees must be in the 3 to 5 age classes, when they are most sensitive to environmental changes and their mean incremental growth does not much change [Douglass, 1928].

In this cases, $d()$ mean values for a year t and plot l

$$\bar{d}(t, l) \Big|_{\Delta t_c} = \frac{\sum_{i=1}^N d(i, t, l) \Big|_{\Delta t_c}}{N} \quad (5)$$

do not significantly differ from 0 (fig.1). This test is based on the assumption that in the control time the mean relative additional increment

value

$$\bar{d}_c(\Delta t, l) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=t_1}^{t_2} d(i, t, l | \Delta t_c) = 0 \quad (6)$$

$d()$ distribution is normal and the null hypothesis

$$H_0: \bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \bar{d}_c(\Delta t_c, l) = 0 \quad (7)$$

is parametrically testable. Than, if the relative additional increment width l is significantly larger than 0, the years t radial growth has increased, and if less than 0 than it has decreased. For example, in the Skrunda RLS radiation zone, $\bar{d}()$ significantly decreased after 1971 (Fig.2), but around the Mazeikiai oil refinery after 1980 (Fig.3).

Often it is necessary to describe the joint effect of many factors in a time period. Than the **cumulative relative additional increment** for a tree i in a retrospective period $\Delta t_r = t_3 \dots t_4$, where t_3 - start of retrospective period and t_4 is the end:

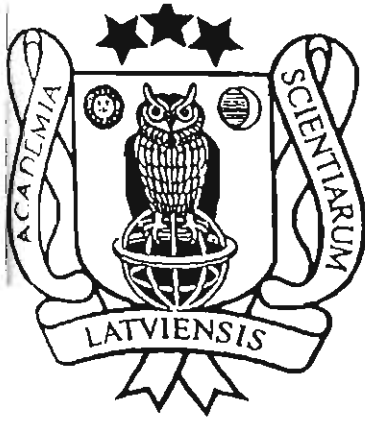
$$D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{t=t_3}^{t_4} d(i, t, l | \Delta t_c)}{n_r} \quad (8)$$

where $n_r = t_4 - t_3 + 1$ - length of retrospective period.

For plot l the mean cumulative additional increment growth is:

$$\bar{D}_r(\Delta t_r, l | \Delta t_c) = \frac{\sum_{i=1}^n D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c)}{n} \quad (9)$$

is parametrically assessed. if $\bar{D}_r(t)$ does not significantly differ from 0, then the tested factors effect in the retrospective period is not significant; if $\bar{D}_r(t)$ is positive than the effect has increased growth; if negative then it is decreased. For example in the Skrunda SLS zone, $\bar{D}_r(t)$ is negative in the retrospective period during it's operation, and around the Mazeikiai oil refinery also negative.



PROCEEDINGS OF THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

SECTION B

: NATURAL SCIENCES

LATVIJAS ZINĀTŅU AKADĒMIJAS VĒSTIS • B DAĻA: DABASZINĀTNES

ISSN 0868-6556

THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS FOR THE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY

Valdis Balodis, Galina Pospelova, Kamils Ramans, Didzis Tjarve

Department of Botany and Ecology, University of Latvia, Kronvalda bulvārī 4, LV 1842 Rīga, LATVIA

A method of parametric assessment of tree ring width changes is presented. The annual fluctuations in tree ring width are eliminated by polynomial smoothing of the incremental growth time series. Constant environmental factors are removed using relative-to-a-control-period additional width values. If the relative additional increment width is significantly larger than zero, the annual radial growth has increased, and if less than zero, then it has decreased. The joint effect of many factors over a time period is parametrically assessed by calculating the values of the cumulative additional increment. The effects of various environmental factors on Scotch pine incremental growth in various regions of Latvia have been analysed. The method has been shown to be useful for dendroecological data mapping on a national scale in Latvia.

Key words: dendroecology, parametrical methods, tree rings, environmental quality

Introduction

The need for environmental quality assessment today is axiomatic. Environmental quality assessment usually describes the state at the sampling moment, and changes are evident only when continuous sampling occurs. However, the dynamics of environmental quality can be assessed by the use of structures that record environmental effects, for example tree rings. When environmental conditions are good, tree rings are wider, and vice versa. Trees sensitively react to integrated changes of causal factors, and hence, retrospective analysis is possible.

This paper presents some methods of parametric assessment of tree ring width changes, which allow to determine the time when environmental factors have begun to influence incremental growth and the type of the effect. The methods have been verified using empirical data obtained in local studies of the effects of environmental factors on Pine (*Pinus sylvestris* L.) incremental growth in various regions of Latvia. The preliminary results of dendroecological data mapping on a national scale in Latvia are presented.

2. Materials and methods

2.1. Sampling locations

Pine tree cores were obtained with a Pressler borer in more than 100 plots in Latvia. Plots were set up in dominant Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with a spruce understorey. Tree age was 60-100 years. Plot size was chosen to include a minimum of 20 overstorey pine stems per plot, and all of the trees were cored.

2.2. Calculation of the absolute values of the tree ring widths

The radial annual growth increments $w(i,t,l)$; i = individual tree, t = year, and l = plot, were measured at a precision of ± 0.01 mm. The mean $w()$ is often determined as an arithmetic mean. However, theory shows that cambial growth is exponential (Балодис, 1986) and not linear. Observations on 50000 incremental widths of trees showed that the distribution significantly differed ($p < 0.05$) from a normal distribution but not from a lognormal distribution. Therefore, for plot l and tree i , the mean $\bar{w}(l,t)$ was calculated as geometric mean:

$$\bar{w}(l,t) = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N w(i,t,l)}, \quad (1)$$

where N = number of annual increments in a plot.

The absolute value of $\bar{w}(l,t)$ indicates the summed environmental effects, including (a) annual fluctuations, (b) constant factors (edaphic, geomorphologic, etc.), and (c) changing anthropogenic factors. The tree increment time series are consistent with classical time series, which can be divided into systematic and chance components. The effect of factors on increment widths is systematic, but meteorological fluctuations are chance effects which must be removed from the effect studied.

The testing of various methods for removing the chance effects showed that the best method was tree incremental growth time series smoothing using the polynomial weighted moving average with a step of 5 years (Anderson, 1971), where $w(i,t,l)$ is exchanged with:

$$\ln w'(i,t,l) = (-3 \ln w(i,t-2,l) + 12 \ln w(i,t-1,l) + 17 \ln w(i,t,l) + 12 \ln w(i,t+1,l) - 3 \ln w(i,t+2,l)) / 35. \quad (2)$$

$\ln w(i,t,l)$ deviations from $\ln w'(i,t,l)$ are normally distributed.

2.3. Calculation of the relative additional annual increment values

Constant environmental factors are removed using relative additional width values:

$$d(i, t, l | \Delta t_c) = \ln(w'(i, t, l) / \bar{w}_c(i, \Delta t_c, l)) , \quad (3)$$

$$\text{where } \bar{w}_c(i, \Delta t_c, l) = n_c \sqrt[n_c]{\prod_{t=t_1}^{t_2} w'(i, t, l)} \quad (4)$$

is the width mean value for a control time $\Delta t_c = t_1 \dots t_2$ (t_1 is the initial control time and t_2 is the end of the control period).

The choice of the control period is strictly associated with the adequate choice of age of trees. Trees are sampled at the age of 60 to 100 years, when they are most sensitive to environmental changes and their mean incremental growth does not much change.

Given a stable mean incremental growth, the mean relative additional annual increment values for a year t and plot l ,

$$d(t, l | \Delta t_c) = \left(\sum_{i=1}^N d(i, t, l | \Delta t_c) \right) / N , \quad (5)$$

do not significantly differ from 0. This test is based on the assumption that, in the control time, the distribution of $d()$ in the equation for the mean relative additional increment value

$$\bar{d}_c(\Delta t_c, l) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=t_1}^{t_2} d(i, t, l | \Delta t_c) = 0 \quad (6),$$

is normal and the null hypothesis

$$H_0: \bar{d}(t, l | \Delta t_c) = \bar{d}_c(\Delta t_c, l) = 0 \quad (7)$$

is parametrically testable. Thus, if the mean relative additional increment width is significantly larger than zero, then the year t radial growth has increased, and if less than zero, it has decreased.

2.4. Cumulative relative additional annual increment

The cumulative relative additional annual increment reflects the changes in increment width over a retrospective time period $\Delta t_r = t_3 \dots t_4$, where t_3 is the beginning and t_4

is the end of the period. The cumulative relative additional annual increment value $D_r(i, t, l | \Delta t_c)$ is calculated for every individual tree i :

$$D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c) = \left(\sum_{t=t_3}^{t_4} d(i, t, l | \Delta t_c) \right) / n_r, \quad (8)$$

where $n_r = t_4 - t_3 + 1$ is the number of years in the retrospective period.

For plot l , the mean cumulative additional increment is:

$$\bar{D}_r(\Delta t_r, l | \Delta t_c) = \left(\sum_{i=1}^n D_r(i, \Delta t_r, l | \Delta t_c) \right) / n. \quad (9)$$

$\bar{D}_r(\cdot)$ is parametrically assessed. If $\bar{D}_r(\cdot)$ does not significantly differ from 0, then the tested effect of factors in the retrospective period is not significant; if $\bar{D}_r(\cdot)$ is positive, then the effect has increased growth, if negative it has decreased.

3. Results

Presently, the results from 16 forest stand plots have been statistically analysed. For each plot, the time of occurrence of statistically significant changes in incremental growth has been determined. Changes in trends of growth are determined by varying the control period times. For example, around the Mažeikiai oil refinery, the $\bar{d}(\cdot)$ values began to decrease in 1981, after start of operation of the industry. However, at the Skrunda radar site, $\bar{d}(\cdot)$ values began to decrease in 1975, four years after start of operation. Using mean relative additional annual increment values, the change with respect to any retrospective period can be assessed.

For longer periods of time (a few years), the additional annual increments can be summed to give the mean cumulative relative additional annual increment values. In Figure 1 shows the retrospective period $t_3 = 1971 \dots t_4 = 1980$, and the period $t_3 = 1981 \dots t_4 = 1990$. The highest growth reduction in Latvia occurred in front of the Skrunda radar (plot 11). This area has been studied in detail using this method (Balodis et al., 1996). Plot 16 (around Mažeikiai) was also assessed earlier (Nikodemus and Brūmelis, 1994), and dendroindicative results confirm earlier studies. Here, from 1971 to 1980, trees grew normally, but from 1981 to 1990, with beginning of operation of a refinery, tree growth decreased.

In other cases, when growth has decreased (plots 6, 7, 8, 9 and 14), the causal factors must yet be obtained, but some seem obvious. Plots 7 and 9 occur near Riga, which has many small to medium size industries and 2 large thermoelectric power plants. Plot 9 is near the polluted town of Olaine, a pharmaceutical and chemical producing centre, which has a large thermal electrical power plant (Nikodemus and Brūmelis, 1994). Plot

14 is located beside a military missile base, and the decrease in growth may be related to the previous activity on this, now deserted base (pollution, radiation, drainage?). We have no idea of the causal factors that decreased growth in plot 6.

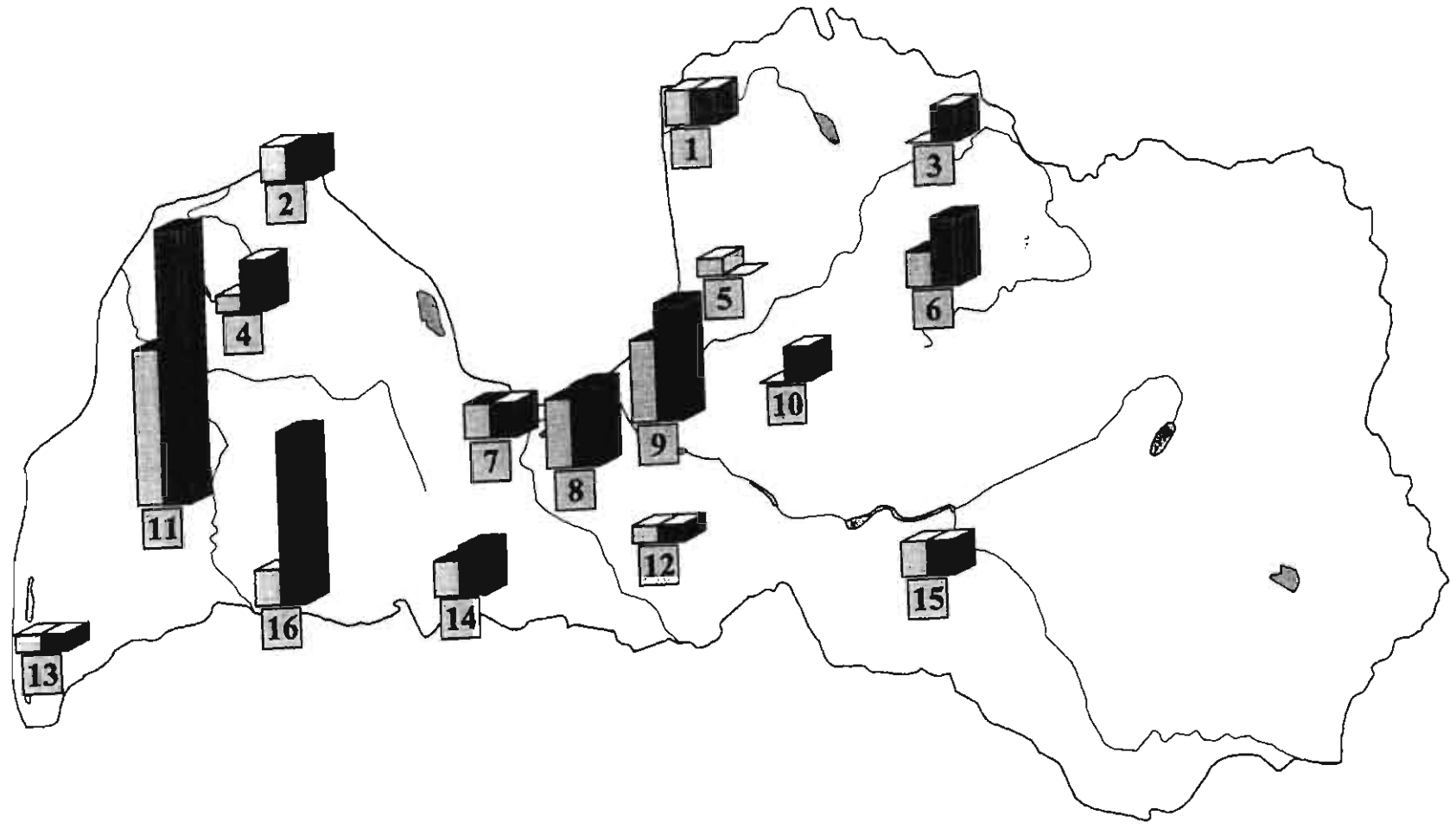
Of the 16 plots, statistically significant differences occurred in 7 of them. The causal effects in two have been shown previously, four have logical explanations, and only one is not understood and must be checked.

References

- Anderson, T.W. (1971) *The Statistical Analysis of Time Series*. John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney, Toronto. 756 pp.
- Balodis, V., Brūmelis, G., Kalviškis, K., Nikodemus, O., Tjarve, D., Znotiņa, V. (1996) Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees? *The Science of the Total Environment*, **180**, 57-64.
- Nikodemus, O., Brūmelis, G. (1994) The spatial dynamics of atmospheric pollution in Latvia and the Baltic republics, as measured in mosses, topsoil and precipitation. *GeoJournal*, **33**, 71-80.
- Балодис В.А. (1986) *Кинетика камбиального роста* [Kinetics of cambial growth]. Елгава, ЛСХА. 59 с.

received May 27, 1997

Fig. 1. The cumulative relative annual increment values, $\bar{D}(\Delta t_r, l | \Delta t_c)$, for 16 Pine stands in Latvia. Left bar - retrospection period $\Delta t_c = 1971 \dots 1980$; Right bar - retrospection period $\Delta t_c = 1981 \dots 1990$. The bar heights represent the negative $\bar{D}(\Delta t_r, l | \Delta t_c)$ values. Black tops of bars represent statistically significant differences.





EURODENDRO '97

**Conference of the European Working Group for Dendrochronology
Wednesday May 28 to Sunday June 1, 1997, Savonlinna, Finland**

Lecture Abstracts (in order of presentation)

V. Balodis

Valdis Balodis, Didzis Tjarve and Andris Kalnins

Department of Botany and Ecology, University of Latvia, Kronvalda blvd. 4,
1842 Riga, Latvia

DENDROECOLOGICAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY OF LATVIA.

Abstract.

Changes in environmental quality were investigated using annual tree ring width time series for the previous 42 years. Tree core samples at 1.3 m height were collected from 20 and more trees in each of 76 plots, in similar dominant Scotch pine forests (Norway spruce understorey) throughout Latvia. Cored trees were aged 70 - 100 years. For each plot the mean relative additional annual increment values, and the cumulative relative additional annual increment values for the retrospective periods 1971 to 1980 and 1981 to 1990, were determined in relation to the control period 1959 to 1969. In almost all cases, significant decreases in expected growth were observed in areas with known anthropogenic sources of stress. Negative additional increment values occurred near the Mazeikai Oil Refinery (began operation in 1990), the Skrunda Radio Location Station (began operation in 1971), around urban areas (Riga, Olaine etc.) and close to previous Soviet military bases. In a few areas significant decrease in growth cannot presently be explained and further work is required in those areas to determine possible sources (drainage, pests etc.).

In general the tree increment time series have adequately reflected changes in environmental quality in Latvia. The major benefit of dendroindicative assessment is that retrospective comparison can be achieved.

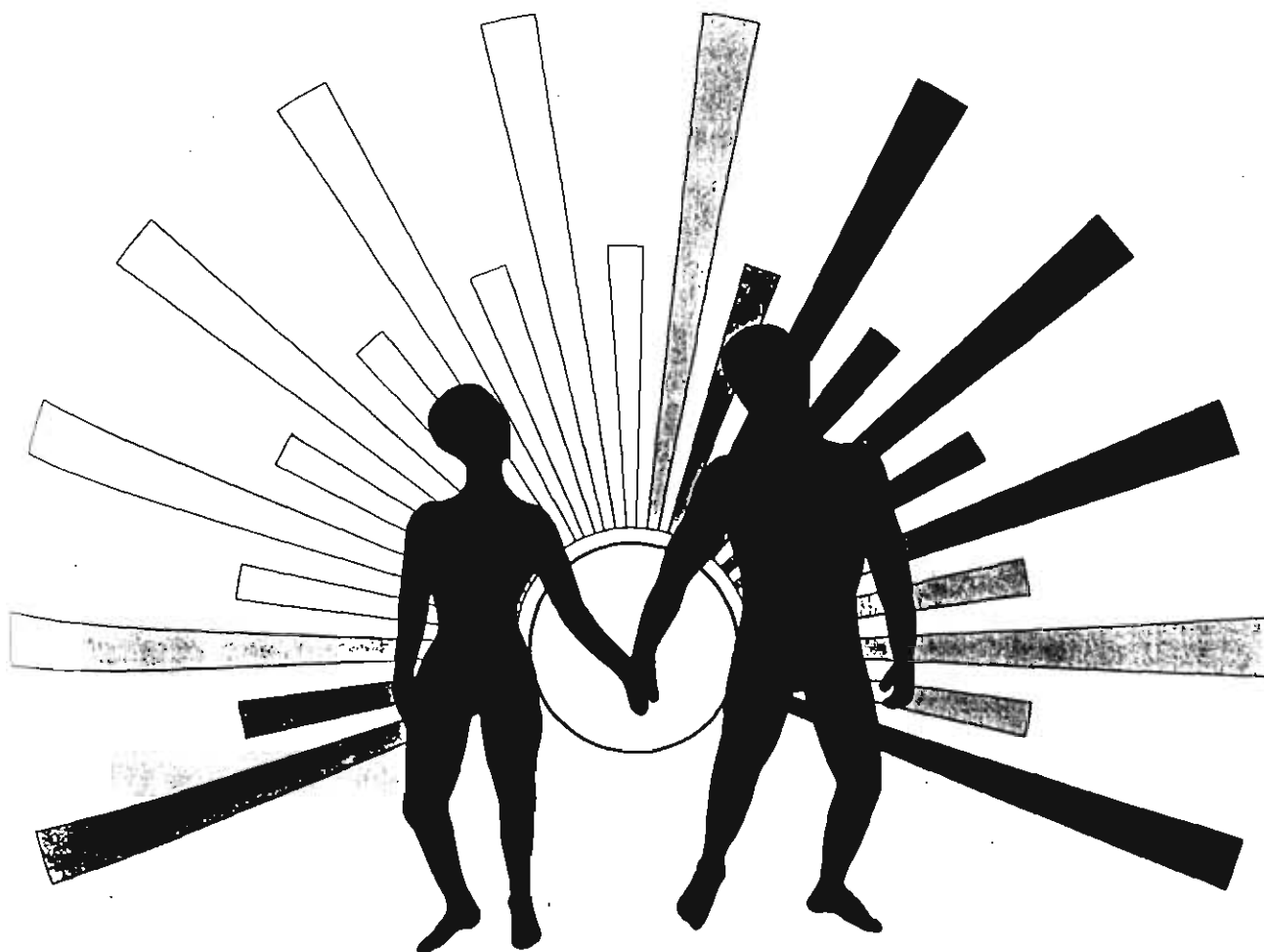
Vol. 180, NO. 1

2 FEBRUARY 1996

ISSN 0048-9697
PUBLISHED IN 48 ISSUES PER YEAR

the Science of the Total Environment

An International Journal for Scientific Research
into the Environment and its Relationship with Man



SPECIAL ISSUE
EFFECTS OF RF-RADIATION
ON ORGANISMS

Elsevier

Radio-frequency electromagnetic fields. The Skrunda Radio Location Station case

Guntis Brūmelis, Valdis Balodis, Zanda Balode

Department of Botany and Ecology, University of Latvia, Kronvalda blvd. 4, LV 1842, Riga, Latvia

Abstract

The Skrunda Radio Location Station in Latvia, an early warning radar system which operates in the 156 to 162 Mhz frequency range, has been in operation since 1971 and is scheduled to operate until 1998. Currently, information on the biological effects of radio frequency electromagnetic radiation emissions on plants is rare. A brief introduction to six papers in this issue of *The Science of the Total Environment*, which deal with the effects of the Skrunda Radio Location Station, is presented.

Keywords: Radio-frequency; Electromagnetic radiation; Radio location station; Radar

The Skrunda Radio Location Station began operation in 1971 and since then, it has continually emitted pulse radio-frequency electromagnetic radiation in the 156- to 162-MHz frequency range (power of each transmitter — 1.25 MW, pulse duration 0.8 ms, duty cycle — 50, polarization of transmitting signal — horizontal). This radar system is part of an early warning chain of stations located along the western edge of the former Soviet Union. The Skrunda Radio Location Station is now operated by the Russian Army in the territory of Latvia as established in an agreement between these two countries and will continue to operate for another 3 years. This radar is unique due to its pulse regime, high power broadcasting frequency range, the accessibility to the exposed zone, and the fact that it is

situated in a region where natural ecosystems and local residents are exposed. Due to the military nature of these types of radar, they are usually located in remote areas, closed to residents including scientists. In this issue of *Science of the Total Environment*, papers report on the effects of the Skrunda Radio Location Station on tree incremental growth, pine needles at the cellular level, duckweed, cows and possible effects on learning development of children. These types of effects are reported for the first time for a radar system. Presumably, other radars of this type have the same potential effects, but they are so situated that no effects are apparent, for example on mountain tops.

The effects of radio-frequency electromagnetic radiation reported elsewhere on plants are rare and they are mostly experimental studies that

deal with heating effects (Schmutz, 1995). Epidemiological studies are more common and effects have been reported in a broad assessment of electromagnetic fields (Goldsmith, 1995). There is a need and an inherent desire to summarize all of the available information on the effects of various doses and frequencies to provide an assessment of the potential dangers of radio-frequency electromagnetic radiation. However, the comparison of different frequencies, doses and effects at this time is not valid, since only minimal information exists on effects and almost nothing is known of mechanisms. In this respect, the comparison of high and low doses, which presumably have completely different mechanisms (for speculative ex-

ample, heating effects versus minor changes in ionic oscillations) would be analogous to the grouping of Cd and Pb toxicity effects.

The Skrunda Case study adds important knowledge towards an understanding of pulse 156 to 162 MHz radio-frequency electromagnetic radiation effects, but still, very little is known. It is not even clear what should be measured to relate to the observed effects (i.e. the integrated dose, as given in allowed levels, the cumulative dose, or the maximum pulse dose). The authors of the following reports on the Skrunda Radio Location Station encourage all interested scientists to participate in future work for the next 3 years of the Skrunda radar operation.



PROCEEDINGS OF THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

SECTION B

: NATURAL SCIENCES

LATVIJAS ZINĀTŅU AKADEMIJAS VĒSTIS • B DAĻA: DABASZINĀTNES

ISSN 0868-6556

THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES

Effect of pulse radio-frequency radiation on the functioning of the immune system.

Rūta Brūvere, Olita Heisele, Guna Feldmane⁺, Ārija Volrāte⁺, Natālija Gabruševa, Valdis Balodis⁺⁺

Biomedical Research and Study Center, University of Latvia, Riga, Latvia.

⁺Institute of Virology and Microbiology, Riga, Latvia.

⁺⁺Faculty of Biology, University of Latvia, Riga, Latvia.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the immune systems functional competence in residents from Skrunda Radio Location Station's (RLS) radiation zone. The Skrunda RLS has continually emitted pulse electromagnetic radiation in 156-162 MHz frequency range since 1971. Pulse duration is 0,8 ms, and during each pulse, there are 120 000 oscillations. The electric field intensities in several points of the exposed territories at 2m height during the pulses are 50 times higher than the allowed level (Kalniņš et al., 1996.). The RLS is surrounded by agricultural communities and situated so that the local residents are exposed.

108 residents from 3 villages subjected to radiation of the RLS and 61 residents from 2 villages not subjected to the radiation (control) who have been living in these territories at least 21 years were examined. To investigate the functioning of B-system the level of immunoglobulins A, G, M (IgA, IgG, IgM) was determined in peripheral blood sera by the single radial immunodiffusion method. To evaluate endogenous interferon (IFN) deficiency as well as to obtain information about functioning of peripheral blood leukocytes (PBL), the titers of IFNs in serum were determined, the number of PBL counted and their ability to produce IFNs was tested in patients whole blood cultures by the standard virus cytopathic inhibition micromethod after their in vitro induction by Newcastle disease virus (NDV), phytohemagglutinin (PHA) and double-stranded RNA (dsRNA).

Data analysis showed significantly increased frequency of leukocytosis and of elevated IgA levels in residents from the exposed villages. The titers of IFN were elevated but the ability of PBL to produce IFNs were significantly reduced in residents from the exposed villages: PBL of 40-84.2% residents from RLS's radiation area were unable or had low ability to produce IFNs (0-100 units/10⁶ PBL). The ability of PBL to produce IFNs in 71.4-87.5% of residents from non-exposed territories was evaluated as good and correspond with that of 80% healthy residents of Latvia (101-400 units/10⁶ PBL) tested previously.

It is concluded that functional competence of the immune system is essentially decreased in the residents exposed to Skrunda RLS. It manifests itself mainly by disturbances in the interferon system and elevated levels of IgA.

Key words: pulse electromagnetic fields, human studies, immunoglobulins, interferons, leukocytes, large granular lymphocytes.

Introduction

For more than 25 years, residents of several villages in Kurzeme region of Latvia are subjected to radio-frequency electromagnetic radiation, generated by Skrunda Radio Location Station (RLS).

The RLS is a part of the Russian military early warning system located in Latvia. It has been operation since 1971 . The location of this RLS is rather unusual because it is surrounded by agricultural communities and situated in a valley, so that the local residents are constantly exposed to its electromagnetic radiation (EMR). Elsewhere in the world similar type radars are situated in locations that do not affect surrounding living nature. Skrunda's radar is unusual not only due to its ability to expose the neighboring residents to EMR but also due to working within an inadequately studied high power broadcasting frequency range and pulse regime. (Kalnins et al., 1996.). Therefore, the surrounding ecosystems provide a unique area for study. A great deal of speculation and serious research has occurred concerning possible risks arising from the continual exposure. Several effects of radio-frequency electromagnetic radiation emitted by Skrunda RLS has been reported in literature: progressive reduction of pine trees radial growth (Balodis et al., 1996.), and promoted senescence of trees (Selga and Selga, 1996.), abnormal progeny of *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden (Magone, 1996.), increased number of erythrocytes with micronuclei in cows (Balode, 1996.), decreased motor and psychological functions of school children (Kolodynski and Kolodynska, 1996.) have been reported. However, the health effects on the exposed residents have not been systematically investigated. Because the electromagnetic energy is becoming more and more popular and its application is growing extensively the effect of EMR on organisms is an important global problem. During recent years at least two major reviews of the biological effects of low frequency electric and magnetic fields have been published under the sponsorship of the World Health Organization (World Health Organization, 1984;1987.).

The aim of this work was to evaluate the immune systems functional competence in residents from Skrunda RLS radiation zone, because the immune system is one of the most sensitive system reflecting environmental hazards, especially radiation. The immune system also is known to be the system that enables an organism's adaptation to changed environmental conditions.

MATERIALS AND METHODS.

Selection of study subjects.

The study subjects were randomly selected from residents of three villages exposed to radiation emitted by Skrunda RLS who have been living in this territory at least 21 years. Residents from two villages not-exposed were used as control subjects. Individuals who have

been under treatment for acute infections, active autoimmune diseases or malignancy were excluded.

A total of 169 residents were examined during 1995 and 1996 (May-June), consisting of 108 from the exposed and 61 from non-exposed territories. 39 residents were examined twice, in 1995 and in 1996. The characteristics of residents studied are presented in table 1. The distribution of individuals according to age (λ and χ^2 tests) within the residents did not differ significantly ($p < 0.05$). In both the exposed and non-exposed groups, more than 60% of examined individuals were between ages 21-40. Statistic analysis (ϕ -method) obtained an appropriate balance among the sample residents with respect to sex, smoking, occupational exposure to clastogens and EMR. Domestic exposure to EMR was significantly higher in the control group (table 2).

The number of peripheral blood (PB) leukocytes (PBL) and formula, the number of T-killers and large granular lymphocytes (Lgly) as well as the level of immunoglobulins A, G, M (IgA, IgG, IgM) in serum were determined. Serum interferon (IFN) titers (circulating IFN), and the ability of PB leukocytes to produce IFN were detected in 81 resident from the exposed zone and 24 residents from the non-exposed territories in 1996.

Methods.

For each individual PB samples were collected from vein into disposables vacuum tubes containing preservative - free heparin 30 IU ml^{-1} for PB leukocyte studies and without heparin for Ig-s.

The level of IgA, IgG, IgM in PB sera were determined by single radial immunodiffusion method using agarose gel (Mancini et al., 1965.). Each individual result was calculated as a mean of three measurements.

Lgly and white blood cell formula were determined by counting 200 cells in blood smears stained by Leishman's stain, **PBL** - by counting in hemocytometer.

The ability of PBL to produce IFNs was tested in patients whole blood cultures by the standard virus cytopathic inhibition micromethod on continuous cell line L-41 of human leukemia cell origin. The culture was maintained in Eagles MEM supplemented with 10% newborn calf serum and 100 IU/ml penicillin and tylosin. Within 3 hr after the collection the blood samples were diluted at a ratio 1:10 with RPMI 1640 medium.

Three IFN inducers were used in following doses: Newcastle disease virus (NDV) - 128 HA units/ml, double-stranded RNA (dsRNA) 100 $\mu\text{g/ml}$ and Bacto-phythemagglutinin M (PHA, Difco) in concentration 10 $\mu\text{g/ml}$. Diluted blood samples were incubated for 24 hr (for NDV and dsRNS) and for 72 hr for PHA.

For IFN assay twofold serial dilutions of the test samples were added to the confluent monolayers of L-41 cells in 96-well plates and incubated for 24 hr. in 5% CO_2 atmosphere at 37°C . The encephalomyocarditis (EMC) virus used as a test virus was added (100 $\text{TCD}_{50}/\text{ml}$) and the incubation was continued for another 24 hr. The plates were then stained and evaluated for cytopathic effect. The results were expressed in units/ 10^6 PBL by calibration against the laboratory standard of human leukocyte IFN.

Serum IFN titers were determined in a virus cytopathic inhibition assay. Confluent monolayers of L-41 culture cells in 96-well plates were overlaid with 2-fold serial dilutions of

each individual serum sample. After 24 hr EMC virus in Eagles medium (containing 2% newborn calf serum) at a concentration of 100 TCD₅₀/ml was added. 24 hr later the plates were stained and the cytopathic effect evaluated. IFN titers were expressed as the reciprocal at the dilution corresponding to a 50% reduction of virus effect.

RESULTS

The level of immunoglobulins in peripheral blood serum

The levels detected were compared with concentration of Ig-s for healthy population: IgA 1.4-4.0 g/l, IgG 8.0-16.0 g/l, IgM 0.5-2.0 g/l.

The data obtained did not reveal any differences of IgG and IgM levels in exposed and non-exposed resident groups. In addition, they were similar to the above mentioned control levels.

A positive asymmetry of empirical distribution of IgA concentration was distinctive for the exposed group. Prevalence of individuals with IgA concentration more than 4.0 g/l was obvious (Fig. 1)#. The percent occurrence of individuals with elevated IgA level in the exposed group is exceeded two times that of the control group. Mathematical analysis showed $\{F_{emp}=6.2>3.9=F_{0.05}\}$ more individuals with levels exceeding 3.5 g IgA/l in the exposed group (21.4%) as compared with the control group (8.9%) (Fig. 2)#.

The number of PB leukocytes.

A normal distribution of PB leukocyte number were seen both in the control and exposed group. However, the the distribution of the exposed group seems to be right-shifted (Fig.2A). There are 28.2% individuals with leukocytosis ($>8.10^9/l$) in the exposed group and 13.1% in the control.

The distribution of individuals according to the prevalence of LGly in their PB was different in the control group in comparison with the exposed group. Using a count of 200 white blood cells in PB smears the exposed group showed that 46,9% of individuals did not have any LGly while only 30,45% of such individuals were found in the control group. On the other hand, the control group showed no individuals with 5% or more LGly as compared to 3.05% in the exposed group (Fig.2B)@.

No other significant differences were seen in other white blood cells comparing the exposed versus the control group.

The ability of PBL to produce IFNs.

Previous experience regarding the ability of PBL to respond with IFN production to various interferon (Bruvere et al., 1995.) inducers permits the assumption of results as *good* with IFN ranges 100-400 units/10⁶ PBL or *lowered* between 21-100 units/10⁶ PBL. Responses below 21 or above 400 units/10⁶ PBL are estimated as *inability* to produce IFN or *increased ability*, respectively.

The viral inducer, NDV, is considered to induce mainly α -IFN. In the exposed group, 40% of individuals had leukocytes @without or with lowered ability to produce IFN after induction by NDV. In the control group there were only 6.25% such individuals while most of them (87.5%) had leukocytes with good ability to produce IFN (Fig.3A).

The ability of PBL to produce IFN when induced by PHA which is considered to be an inducer of γ -IFN, mainly in T-lymphocytes, is presented in the Fig. 3B. The data showed that 22.9% of individuals from the exposed group have PBL that are unable to produce IFN. At the same time, there were no such individuals in the control group. Furthermore, the number of individuals whose leukocytes showed lowered ability to produce IFN were $\{F_{emp}=4.4>4.0=F_{0.05}\}$ two times higher in the exposed group when compared with those in the control group (54.2 and 25.0%) respectively). Good response to PHA was observed only in 29% of individuals in the exposed group while it reached 75% in the control group.

The ability of PBL to produce IFN's when induced by dsRNS (mainly alfa-IFN, but also beta and gamma-IFN) is depicted on Fig.3C. Depressed ability of PBL to respond with IFN production was observed with the same regularity as that by using NDV and PHA, but the difference between groups was more greater. $\{F_{emp}=9.2>7.0=F_{0.01}\}$

Serum IFN titres.

The titers of circulating IFN in 75% of the examined residents from villages non-exposed to the radiation (control) were in ranges of 2-4 units/ml. In comparison, 70% of the residents from the exposed zone had serum IFN ranges of 8-16 units/ml, while 7.5% inhabitants showed 32 units/ml (Fig.4).

DISCUSSION

In this study we have found the prevalence of individuals with increased levels of IgA (in 12% of individuals), leukocytosis (in 28,2% of individuals) in the exposed resident samples when compared with the control and markedly decreased ability of leukocytes to produce IFNs in the exposed group. The ability of PBL in 71.4-87.5% of individuals from non-exposed group was found to be good and it correspond to that of most (80%) healthy residents of Latvia tested previously (Bruvere et al., 1995). We also noticed difference in the number of LGly: PB smears of 46,9% individuals from the exposed group did not contain LGly.

It has been reported previously that short-term (5 hr) exposition of volunteers to elektromagnetic fields (EMF) causes slight changes within the normal physiological range in some blood cell variables (Haufe, 1974.). Hematological changes as well as several other health effects among workers occupationally exposed to EMF have been also reported by the researchers in early 70 (Sazanova, 1967; Revkova et al., 1968; Fillipov, 1972; Fole and Dutrus, 1974.). However, comparable health surveys on occupationally exposed workers performed in many other countries (Malbojsson, 1976; Knave et al., 1979; Baroncelli et al., 1985.) have failed to confirm the health effects reported by Soviet researchers. To our knowledge, there have been no studies investigating the health effects of such a long-term impulse radio-frequency EMR similar to that emitted by Skrunđa RLS.

IFN's are cellular proteins that inhibit viral replication, modulate immune responses, inhibit cellular division and have anti-tumoral activity (Stewart, 1979). Therefore, IFNs are considered to play a role as an integral part of the defense system against infections and malignancy

(Kirchner, 1984; 1986.). The detection of deficiencies in the IFN system may lead to a more rational design for therapy.

The ability of PBL to produce IFNs is a test for the detection of endogenous IFN deficiency and provides information about the functional activity of PB mononuclear cells. A variety of cells can produce IFNs but PBL are the most important producers. The decreased ability of PBL to produce IFN indicates that their effector functions are weakened. Therefore, the prevalence of leukocytosis in the exposed group could be interpreted as compensatory.

It is known that PHA induces mainly gamma-IFN production in T-lymphocytes, but NDV is known as an inducer for α -IFN in HLA-DR+ cells, namely in monocytes and NK cells (Fernandez et al., 1986.). As for dsRNA, it is reported that polynucleotides could induce β -IFN and γ -IFN in lymphocytes and monocytes and α -IFN in monocytes (Lepe-Funiga et al., 1989.). The depressed ability of PBL to produce IFNs in individuals of the exposed group could indicate that the resistance to virus infections in these persons is markedly weakened. Partly this may be due to the decreased numbers of LGly.

It is considered that normal state of the interferon system characterizes itself by low levels of IFNs in serum and good ability to respond with IFN production to IFN inducers *in vitro*. In our study 71,4 -87,5% of individuals from the non-exposed resident samples corresponded to these characteristics. Deviations from the normal state have been observed at different pathologic disorders, such as acute and chronic infections, malignancies, autoimmune diseases, etc. (Hahn and Levin, 1992; Tolentino et al., 1992.).

The results of the present study, namely the elevated levels of circulating IFNs and the depressed ability of PBL response *in vitro* of residents from the exposed territories, indicate that the impulse radio-frequency EMR emitted by Skrunda RLS has provoked certain pathologic disorders in the interferon system that is similar to that observed in stress situations, acute viral infections, allergy etc. (Ershov, 1996.).

Immunoglobulins are thought to represent the sum of all antibodies produced in response to various antigens. IgM is known to be a powerful first-line defense against bacteremia. IgG is the most abundant Ig. It neutralizes toxins and combats microorganisms particularly in the extravascular fluids. We have not seen any statistically significant deviations of IgG and IgM levels in both groups examined.

The role of IgA is essentially distinctive. IgA is known to be the major Ig in seromucous secretions and is closely related to the defense of external body surfaces. It is synthesized locally by plasma cells, dimerized and linked to secretory component. Essential in the formation and transport of secretory IgA are mucosal epithelial cells and liver. IgA in PB exists as a monomer. The body uses it for the neutralization of any antigens which breach the epithelial barrier. The increase of IgA concentrations in plasma could be due to the weakening of the epithelial barrier, especially that for hepatic and intestinal systems (Roitt, 1966.). The present study shows that the number of individuals with elevated levels of circulating IgA was significantly greater than that in the control group.

Thus, from the obtained results we conclude that the functional competence of the immune system is essentially decreased in the residents exposed to impulse radio-frequency electromagnetic radiation emitted by Skrunda RLS. It manifests itself mainly by disturbances in the interferon system and elevated levels of IgA.

REFERENCES

- Balodis, V., Brūmelis, G., Kalviškis, K., Nikodemus, O., Tjarve, D., Znoļiņa, V. (1996) Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees? *Sci. Total Environ.*, 180, 57-64.
- Balode, Z. (1996) Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in Bovine peripheral erythrocytes. *Sci. Total Environ.*, 180, 81-85.
- Baroncelli, P., Battisti, S., Checcucci, A., Grandolfo, M., Serio, A., Vecchia, P. (1985) Uno studio trasversale sullo stato di salute di laboratori esposti a campi elettromagnetici a 50 Hz. *Med. Lav.*, 76, 491.
- Brūvere, R., Heisele, O., Zvagule, T., Volrāte, Ā., Dūks, A., Čurbakova, E. (1995) The immune state of Latvia's Inhabitants involved in the clean-up of high levels of radioactivity in Chernobyl. *Aeta Medica Baltica*, 2, 36-43.
- Fernandez, R. C., Lee, S. H. S., Fernandez, L. A. V., Pore, B. L., Rozee, K. R. (1986) Production of interferon by peripheral blood mononuclear cells from normal individuals and patients with chronic lymphocytic leukemia. *J. Interferon Res.*, 6, 573-580.
- Fillipov, V. (1972) Der Einfluss von elektrischen Wechselfeldern auf den Menschen. In: *Int. Colloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität*. Köln: *Berufskrankheiten der Feinmechanik und Electrotechnik*, 170-7.
- Fole, F. F., Dutrus, E. (1974) Nueva aportacion al estudio de los campos eletromagnéticos generados por muy altas tensiones. *Med. Segur Trab.*, 22, 15-8.
- Hahn, T., Levin, S. (1992) The interferon system in patients with malignant disease. *J. Interf. Res. May, Spec. Issue*, p. 23-28.
- Hauf, G. (1974) *Untersuchungen über die Wirkung energietechnischer Felder auf den Menschen (Dissertation)*. Freiburg aus Breisgan (Federal Rep. Of Germany): J. Krause.
- Kalniņš, T., Kriz'bergs, R., Romančuks, A. (1996) Measurment of the intensity of electromagnetic radiation from the Skrunda radiolocation station, Latvia. *Sci. Total Eviron.*, 180, 51-56.
- Knave, B., Gamberale, F., Bergström, S. (1979) Long-term exposure to electric fields: a cross - sectional epidemiologic investigation of occupationally exposed workers in high-vollage substations. *Scand. J. Work Eviron. Health*, 5, 115-25.

- Kirchner, H. (1984) Interferons, a group of multiple lymphokines. Springer Semin. Immunopathol., 7, 347-376.
- Kirchner, H. (1986) The interferon system as an integral part of the defense system against infections. Antiviral Res., 6, 1-17.
- Kolodynski, A. A., Kolodynska, V. V. (1996) Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radio Lokation Station in Latvia. Sci. Total Envir., 180, 87-93.
- Lepe-Zuniga, J. L., Rolbein, J., Gutlerman, J. M. (1989) Production of interferon α induced by dsRNA in human peripheral blood mononuclear cell cultures: role of priming by dsRNA-induced interferons γ and β . J. Interferon Res., 9, 445-451.
- Magone, I. (1996) The effect of electromagnetic radiation from the Skrunda Radio Location Station on *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden cultures. Sci. Total Environ., 180, 75-80.
- Malbojsson, E. (1976) Medical control of men working within electrical fields. Rev. Gen. Electr., July (special number), 75-80.
- Mancini, G., Carbonara, A., Heremans, J. (1965) Immunochemical quantitation of antigens by single radial diffusion. Immunochemistry, 20, 235-248.
- Revnova, N. N., Azanova, T. P., Semenovskaya, N. A. (1968) Effects of the high-intensity electric field of industrial frequency. In: Proceedings of the All-Union symposium on the hygiene of labour and biological effects of the radio-frequency electromagnetic waves.
- Roitt, I. (1996) Essential immunology.
- Sazanova, T. G. (1967) Physiological and hygienic assessment of labour conditions at 400-500 kV outdoor switch-yards. Inst. Of Labour Protection of the All-Union Central of Trade Unions (Scientific pubs issue 46, Profizdat). (Translation in Special Publication no 10, Piscataway, NJ: IEEE Power Engineering Society, 1975.)
- Selga, T., Selga, M. (1996) Response of *Pinus silvestris* L. needles to electromagnetic fields. Cytological and ultrastructural aspects. Sci. Total Environ., 180, 65-73.
- Stewart, W. E. (1979) The Interferon System. Springer Verlag, New York. 312 pp.
- Tolentino, P., Diazani, F., Zucca, M., Guacchino, R. (1992) Decreased interferon response by lymphocytes from children with chronic hepatitis. J. Interferon Res., May, Spec. Issue, p. 3-6.
- World Health Organization (1984) Extremely low frequency (ELF) fields. Geneva: World Health Organization (Environmental health criteria 35.).
- World Health Organization (1987) Magnetic fields. Geneva: World Health Organization (Environmental health criteria 69.).

TABLES

Table 1

CHARACTERISTICS OF RESIDENT SAMPLES OF OBSERVATIONS

Sample	Sample size	Mean age	From all studied				
			male	smokers	occupational exposure to:		domestic exposure to EMR
					clastogens	EMR	

Exposed groups

1995	46	28.1±1.2	18	13	17	5	33
1996	81	39.8±1.7	26	21	53	4	72
Total ^{*)}	108	36.2±1.4	35	27	58	8	88

Control groups

1995	57	30.6±0.9	15	12	22	6	53
1996	24	33.2±1.6	6	5	18	1	24
Total	61	31.3±1.0	17	13	25	6	57

^{*)} 39 residents were examined twice

Table 2

COMPARISON OF RESIDENT SAMPLES

Variables	Exposure	Control	F _{emp} ¹⁾
Male	32	28	0.382
Smokers	25	21	0.298
Domestic EMR	81	93	5.389
Clastogens	48	59	1.859
Occupational EMR	7	10	0.293

¹⁾ F_{emp} - empirical value of Fisher's test; v₁=1; v₂=167; F_{0.95}=3.9

Legends to figures

- Fig. 1. Distribution of IgA concentration in non exposed () and exposed () resident sample deviation from normal level in the exposed group.
- Fig. 2. Relative frequency of individuals with different numbers of PBL (A) and Lgly (B) within non exposed (exposure) resident samples.
- Fig. 3. Relative frequency of individuals with different ability of PBL to produce IFNs within the non exposed (control) and exposed (exposure) resident samples:
A - by using viral inducer NDV
B - by using PHA
C - by using dsRNA.
- Fig. 4. Relative frequency of individuals with different titres of circulating IFNs within the non-exposed (coated) and exposed (exposure) resident samples.

Impulsveida radiofrekvenču starojuma ietekme uz imūnsistēmu

Rūta Brūvere, Olita Heisele, Guna Feldmane⁺, Ārija Volrāte⁺, Natālija Gabruševa, Valdis Balodis⁺⁺

Latvijas universitātes Biomedicīnas pētījumu un studiju centrs, Rīga, Latvija.

⁺ Virusoloģijas un mikrobioloģijas institūts, Rīga, Latvija.

⁺⁺ Latvijas universitātes bioloģijas fakultāte, Rīga, Latvija.

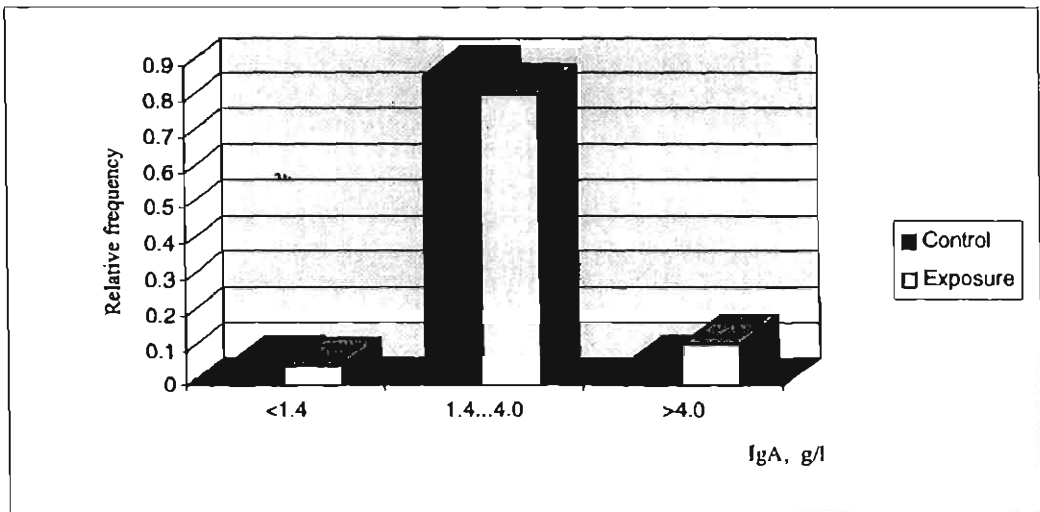
Darba mērķis ir novērtēt imūnsistēmas funkcionālo stāvokli to Latvijas pagastu pastāvīgajiem iedzīvotājiem, kuri vismaz 21 gadus dzīvo teritorijā, kas ir pakļauta Skrundas radiolokācijas stacijas (RLS) starojumam. Skrundas RLS staro 156-162 MHz frekvencē kopš 1971. gada. Starojums ir pulsveida ar 120 000 oscilācijām un pulsa ilgumu 0.8 ms. Ekspozētajā teritorijā 2m augstumā elektriskā lauka intensitāte 50 reizes pārsniedz atļauto (Kalniņš n-c, 1996).

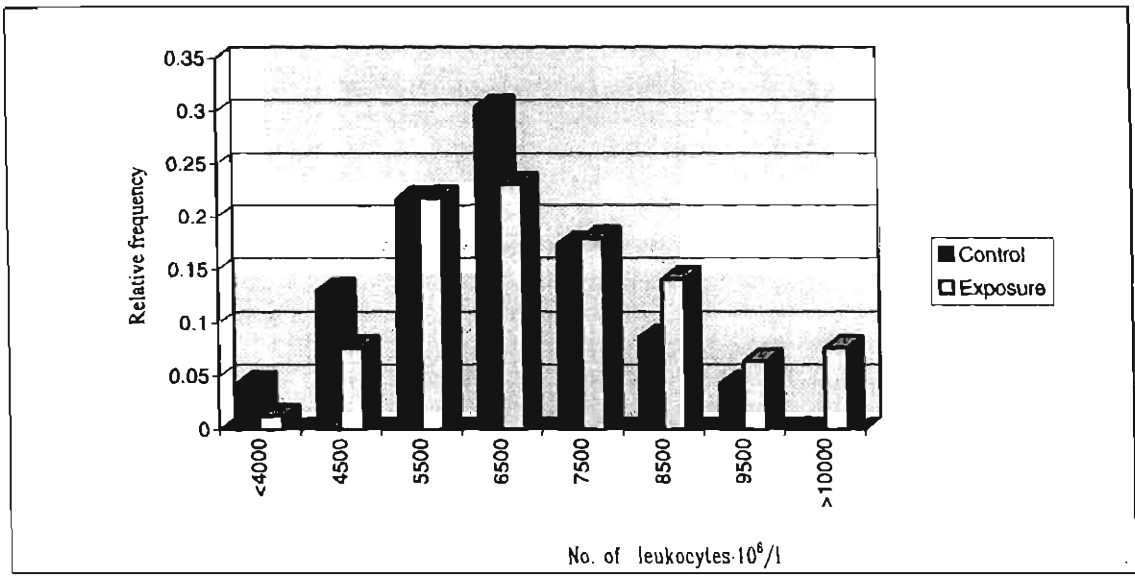
Pārbaudīti 108 iedzīvotāji no 3 pagastiem, kas atrodas RLS starojuma zonā un 61 iedzīvotājs no 2 pagastiem, ārpus tās (kontrolē). B-sistēmas darbība tika vērtēta pēc seruma imūnglobulīnu līmeņa, kas tika noteikts ar radiālās imūndifūzijas metodi. Lai izvērtētu interferona (IFN) sistēmas stāvokli un perifēro asiņu leukocītu (L) funkcionālo aktivitāti, noteicām leukocītu skaitu un formulu, un ar vīrusu inhibīcijas standartveida mikrometodi arī IFN titru asins serumā un L spēju producēt IFN-us pēc to *in vitro* ierosmes ar Ņūkastles slimības vīrusu, fitohemaglutinīnu un dubultspirālisko RNS.

Ekspozēto pagastu iedzīvotājiem konstatējām biežāk leukocitozi un paaugstinātu IgA līmeni serumā. Ekspozēto pagastu iedzīvotājiem bija arī paaugstināti IFN titri serumā bet stipri pazemināta leukocītu IFN producēšanas spēja: 40-84,2% šo pagastu iedzīvotājiem leukocīti vai nu nespēja producēt IFN vai producēja to samazinātā apjomā (0-100 vienības/10⁶L). Turpretī, vairumam iedzīvotāju (71,4-87,5%) no starojumam nepakļautiem pagastiem leukocīti uzrādīja tikpat labas IFN producēšanas potences kā iepriekš pārbaudītiem veseliem (Rīgas) iedzīvotājiem.

Iegūtie dati ļauj secināt, ka starojums, ko raida Skrundas RLS ir radījis traucējumus starojumam pakļauto iedzīvotāju imūnsistēmas darbībā.

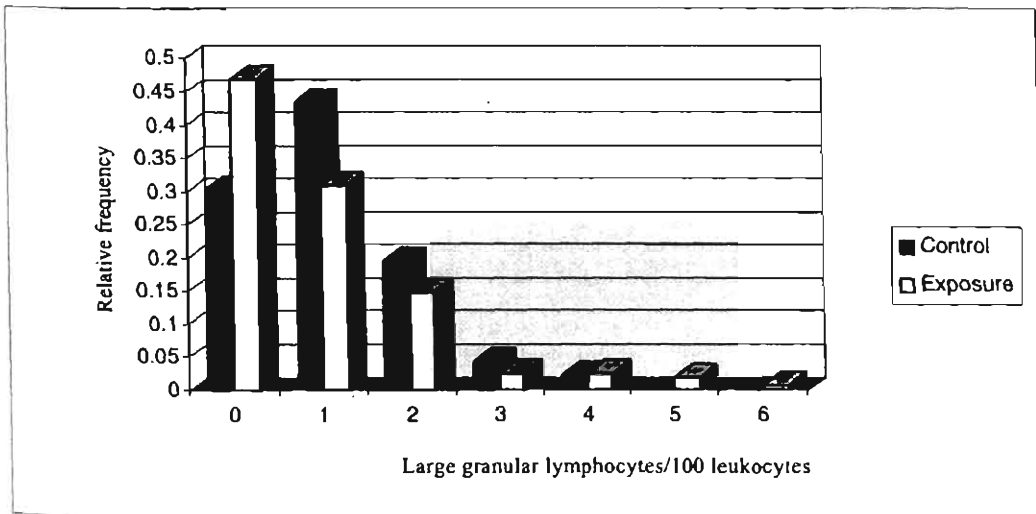
Fig. 1.





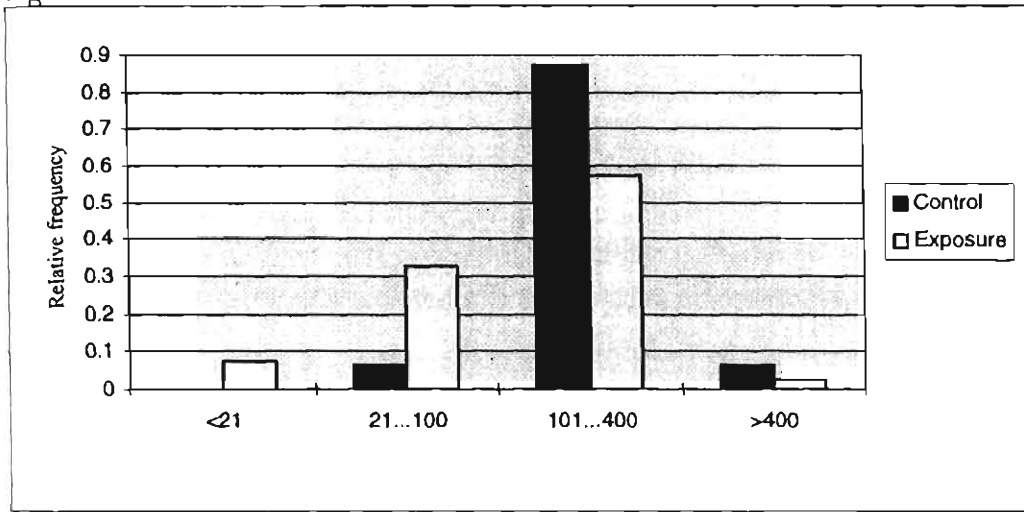
A

Fig.2

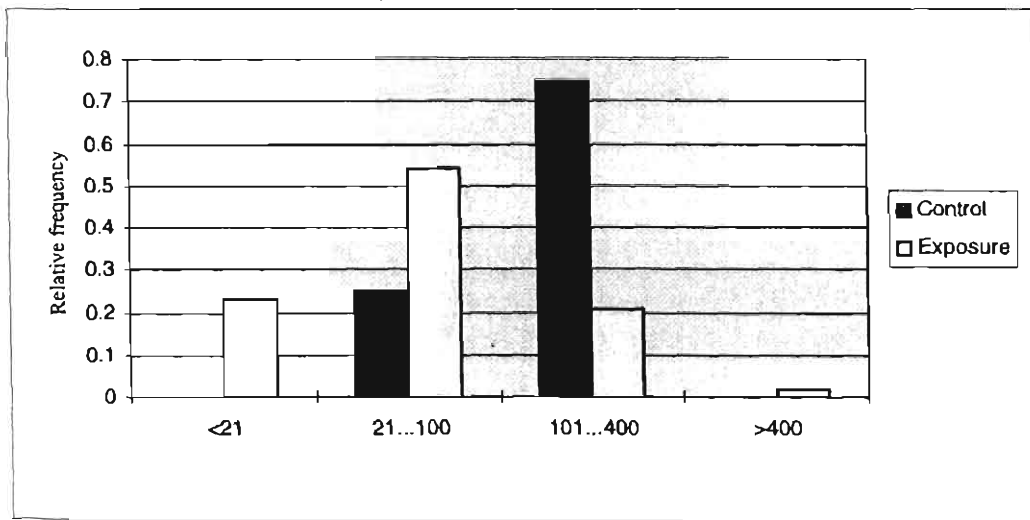


B

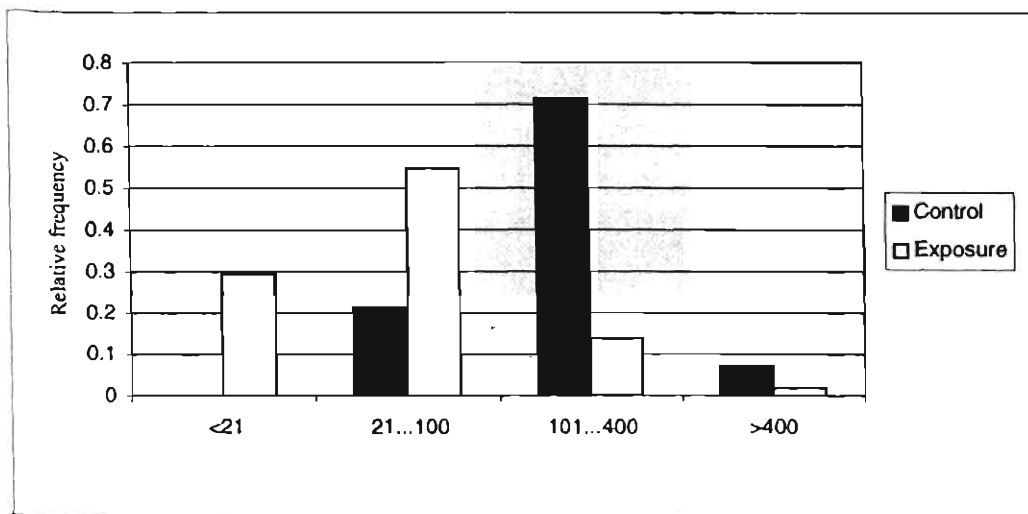
Fig. 3



A

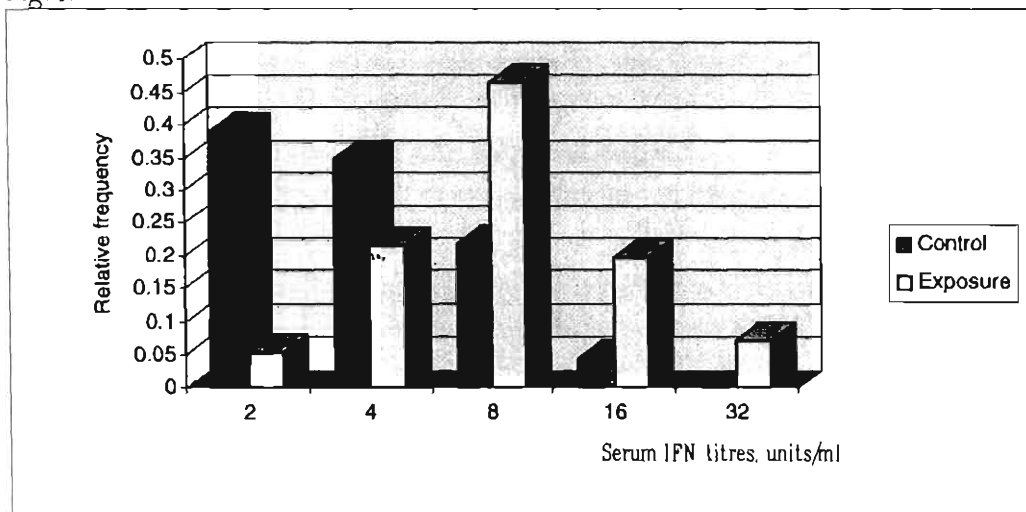


B



C

Fig. 4.





SECOTOX 97

A B S T R A C T S

Ecotoxicology and Environmental Safety

Central Eastern European Conference

24 - 27 August 1997

Jurmala - Latvia.

Organised by

University of Latvia, Institute of Aquatic Ecology
and

Medical Academy of Latvia, Institute of Occupational and Environmental
Health

In cooperation with:

Council of Science of Latvia,

Environmental Protection Foundation of Latvia
and

International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety
(SECOTOX)

SESSION 3: IMPACT OF POLLUTION ON HEALTH

EFFECT OF RADIO-FREQUENCY RADIATION ON THE IMMUNE SYSTEM

**Rūta Brūvere¹, Olita Heisele¹, Ārija Volrāte³, Guna Feldmane³,
Valdis Balodis²**

University of Latvia: ¹Biomedical Research and Study Centre,

²Faculty of Biology

³Institute of Microbiology and Virology, Riga, Latvia.

More than 25 years, residents of several villages in Kurzeme region of Latvia are subjected to radio-frequency electromagnetic radiation, generated by Skrunda Radio Location Station (RLS). Even though the average integrated electric field intensities at 2 m height in the exposed territories do not exceed the allowed levels of $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ used in the former Soviet Union, the radiated pulses are at levels that are 50 times higher. Pulse duration is 0.8 ms, and during each pulse, there are 120 000 oscillations (1). Other radars of similar type elsewhere in the world are situated in such a way that they do not affect living nature.

The aim of this investigation was to characterize several functions of the immune system of residents of the exposed territories.

108 residents from 3 villages subjected to radiation of RLS and 61 residents from village not subjected to radiation (control group) were examined. To demonstrate the functioning of B-system the level of immunoglobulins A, G, M (IgA, IgG, IgM) was determined in peripheral blood sera by the single radial immunodiffusion method (2). To detect endogenous interferon (IFN) deficiency as well as to obtain information about functioning of peripheral blood leukocytes (PBL), the ability of PBL to produce IFNs was tested by a standard cytopathic inhibition micro-method assay. IFNs were induced in patients whole blood cultures by phytohemagglutinin (g-IFN), Newcastle disease virus (a-IFN) and double-stranded RNA (a-, b-, g-IFN). Statistically significant differences were evaluated by Student's, t , χ^2 criteria.

Data analysis showed significantly increased frequency of markedly elevated ($>4,0 \text{ g/l}$) IgA levels in residents of villages subjected to radiation by RLS. The ability of PBL to produce IFNs in persons from villages subjected to radiation is significantly reduced when compared with that in the control group: for 60% of residents from RLS's radiation area PBL were unable to produce IFNs or had a very low ability to produce IFNs ($<60 \text{ IU}/10^6 \text{ PBL}$); ability of PBL to produce IFNs in residents of control villages corresponds with that of healthy residents of Riga city ($100\text{--}400 \text{ IU}/10^6 \text{ PBL}$).

Conclusions: In residents of Skrunda Radio Location Station radiation area 1) the ability of PBL to produce IFNs is significantly weakened. 2) IgA level in peripheral blood sera are elevated.

References:

1. T. Kalniņš et al (1996) Measurement of the intensity of electromagnetic radiation from the Skrunda radio location station, Latvia. *Sci Total Environ.*, 1996, vol. 180, 51-56
2. G. Mancini et al (1965) Immunochemical quantitation of antigens by single radial diffusion. *Immunochemistry*, vol. 20, 235-248



Baltic Birds - 7

Conference on the Study and Conservation of Birds of the Baltic Region

Organized by:
Lithuanian Fund for Nature
Bird Protection and Research Bureau (Lithuania)

Supported by:
Naturschutzbund Deutschland

In cooperation with:
Lithuanian Ornithological Society
Institute of Ecology (Lithuania)
Vilnius University
Kaunas Zoological Museum
National Environmental Research Institute (Denmark)



Vilnius 1993

MONITORING OF BIRD BREEDING NEAR A POWERFUL RADAR STATION. V.Liepa,
Inst. of Biology, Miera 3, LV-2169 Salaspils, Latvia; V.Balodis,
Faculty of Biology Univ. of Latvia, Kronvalda 4, LV-1842 Riga, Latvia

A Russian army radar station /RS/ of type "Dnepr" for discovering far cosmic targets still is operating near Skrunda. Occupation of nest-boxes and breeding success of birds were registered in 1992 at 6 plots, placed in a line at distances 2-19 km from RS. Only 14% of the 600 nest-boxes were occupied by Pied Flycatcher. Such extremely low level of inhabitation differs significantly ($p < 0,005$) from the level, observed in 1992 at nest-box areas in other parts of Latvia. The total amount of nesting Tits (Great+Blue) corresponds to that, recorded in other regions. Yet, the % of nest-boxes inhabited by Tits tends to correlate ($r=0,7074$; $p > 0,05$) with the distance of a particular plot from the RS. In none of the species any signs of correlation of mortality of embryos or young with the distance from RS were found.

Apparently the adult birds choosing their nesting sites had reacted to the electromagnetic radiation as to a discomfort factor, different species being of different sensitivity to it.



SECOTOX 97

Ecotoxicology and Environmental Safety

Central Eastern European Conference

24 - 27 August 1997

Jurmala - Latvia.

Organised by

**University of Latvia, Institute of Aquatic Ecology
and**

**Medical Academy of Latvia, Institute of Occupational and Environmental
Health**

In cooperation with:

Council of Science of Latvia,

**Environmental Protection Foundation of Latvia
and**

**International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety
(SECOTOX)**

EVALUATION OF GENOTOXICITY OF SKRUNDA RADIO LOCATION STATION RADIATION

Nagle E. *, Balodis V. **, Krumina A. *, Strepmane I. *

* Latvian Academy of Medicine, LV 1007, 16 Dzirciema str., Riga, Latvia

** University of Latvia, LV 1842, 4 Kronvalda blvd., Riga, Latvia

Introduction

All around the world undivided attention has been paid on evaluation of genotoxicity of different environmental factors. Among environmental factors radiofrequency electromagnetic radiation (EMR) as a genotoxin is of special interest because in the last decades increased exposure of the world population to EM fields is observed [1]. Electromagnetic radiation as a possible genotoxin play an important role in Latvia because of Skrunda Radio Location Station (RLS).

The Skrunda Radio Location Station (RLS) is located in the Kuldigas district - western part of the country. Skrunda RLS is used for air defense and it is military base of Russian army. This station was set in action in 1971 and thereafter it has irradiated natural ecosystems and humans with a pulse radio-frequency EMR in a frequency range 156-162 MHz [2]. Population size irradiated by Station radiation is about 2000 people.

The motivation for our study arose from reports of Latvian University researchers. It has been shown that this Radar gives some influence on different organisms [3,4]. It was shown also, that school children living in the front of the RLS had less developed motor and psychological function in comparison with unexposed children [5]. In addition people who live in Skrunda Radar exposed area complain about splitting headaches, sleeping disorders, nervousness. Statistically significant effects observed are increased levels of immunoglobulin A and decreased ability to produce interferons in exposed people [6].

For the reasons mentioned above it seemed extremely important to evaluate possible genotoxic effect of this Radar. To evaluate such exposure effect we have selected metaphase chromosome assay to determine whether radiofrequency EMR of Skrunda RLS can induce chromosome alterations in humans.

Materials and methods

1. Subjects

For this study subjects were Skrunda region residents. Two resident samples have been chosen. Sample 1 (exposed) was from direct exposure region. In this study group three small rural areas were included. Sample 2 (unexposed) was from the same district but not exposed to Skrunda RLS radiation. In this study group two rural areas were included. Volunteers 17-35 years old were invited to Skrunda hospital for questionnaire and blood sampling. 46 individuals arrived from direct exposure zone and 57 from unexposed area.

2. Questionnaire

Questionnaire includes information about age, sex, possible chemical clastogens, domestic and occupational exposure to electromagnetic fields. More than 30 parameters

were used to match study samples. Main parameters between study samples were compared applying ϕ -method and differences were evaluated by Fisher's criterion.

3. Lymphocyte culture

Samples of peripheral blood were collected and used for cell culture. Exposed and unexposed samples were grown under identical conditions. Whole blood (0.6 ml) was added to 6ml of MEM or 199 medium supplemented with 20% fetal calf serum and 5 $\mu\text{g/ml}$ PHA. Cultures were incubated for 50 h at 37⁰ C in sterile bottles. Colchicin (4 $\mu\text{g/ml}$) was added for the last 2 h of the culture period. After hypotonic treatment (5,5 g/l KCl for 8 min at 37⁰ C) and fixation (methanol: acetic acid = 3:1, three times for 20 min) flame-dried slides were prepared. Slides were stained with conventional Giemsa stain and scored for chromosome aberrations and aneuploid cells.

4. Cytogenetic analysis

The cytogenetic analysis includes assay for metaphase chromosome analysis. Chromosome aberrations (breaks, dicentrics, acentrics, rings) as well as aneuploid cells have been used as indicators for genotoxicity. In metaphase chromosome analysis we followed instructions according to several publications [7,8,9,10]. Cytogenetic analysis was performed on coded slides .

Results

1. Characteristics of study samples

Study samples were matched for following parameters: sex, smoking habit, alcohol usage, chonical diseases, long-term drug intake, offspring with inborn anomalies, exposure to chemical clastogens, domestic and occupational exposure to electromagnetic radiation. No statistically significant ($P < 0.05$) differences were found between chosen parameters in sample 1 and sample 2 (Fig. 1-3). The only exception was the parameter "long-term drug intake". In this parameter significant differences were found between resident samples. The frequency of individuals who use the drugs for a long period (several years) in exposed sample is $32.6 \pm 6.9\%$, but in unexposed sample - $12.3 \pm 4.3\%$.

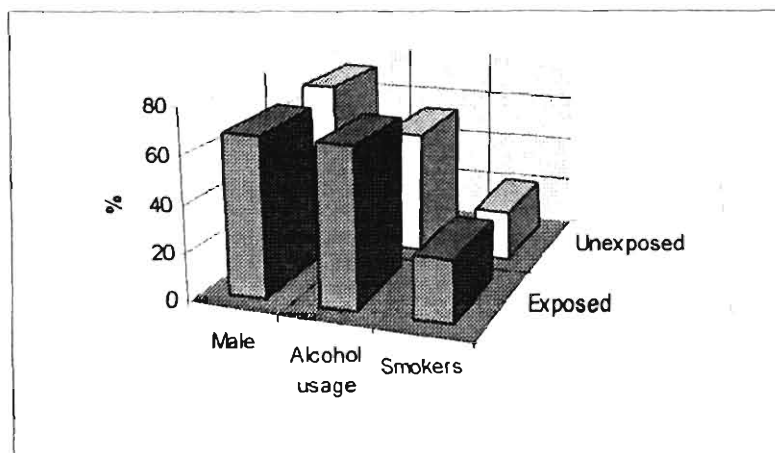


Figure 1. The percentage of male, alcohol users, and smokers in resident samples

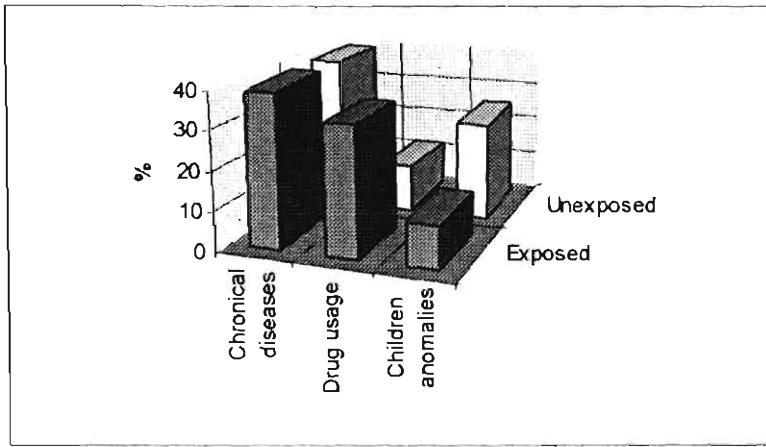


Figure 2. The percentage of inhabitants with chronic diseases, drug users, and children with inborn anomalies

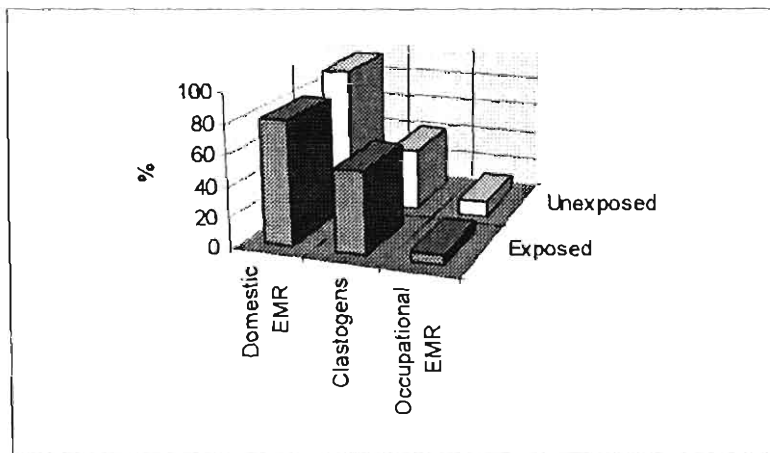


Figure 3. The percentage of inhabitants exposed to domestic EMR, chemical clastogens, and occupational EMR

2. Metaphase chromosome analysis

Our results are obtained from the research of chromosomal abnormalities in human lymphocytes after long-term *in vivo* exposure to pulse radiofrequency EMR. Metaphase chromosomes of 28 individuals (14 from each resident sample) have been studied. The frequency of abnormal cells in exposed lymphocytes was $2.6 \pm 0.5\%$, but in unexposed (control sample) - $1.4 \pm 0.4\%$. As it is shown in figure 4, the frequency of abnormal cells is higher in exposed sample. However, difference is not statistically significant. We have analyzed the frequency of different types of aberrations as well (table 1). Breaks, dicentrics, acentric fragments were studied. In exposed lymphocytes most common aberrations were breaks and dicentrics ($33.3 \pm 11.1\%$ in both cases). In a lesser amount acentric fragments were found ($22.2 \pm 9.8\%$). Frequency of the rings in this study sample was only $11.1 \pm 7.4\%$. In unexposed lymphocytes prevalent amount of the breaks were obtained ($41.7 \pm 14.2\%$), then dicentrics and acentric fragments followed each $25.0 \pm 12.5\%$. Only few cases of the rings were identified. The frequency of the rings in this study group was only $8.3 \pm 8.0\%$.

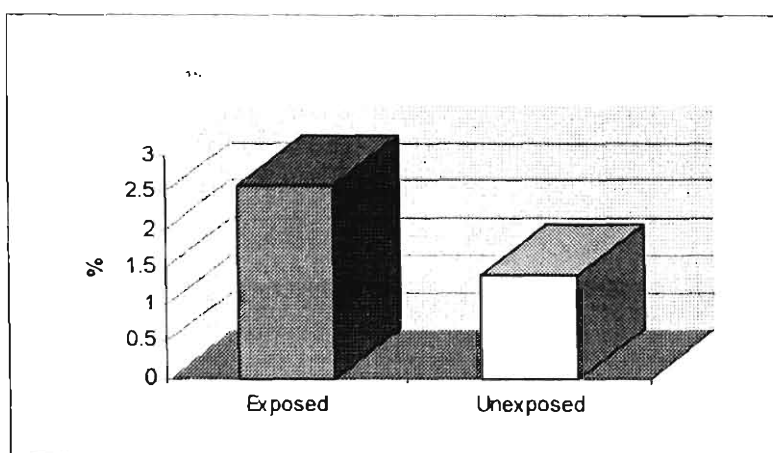


Figure 4. The percentage of abnormal cells in resident samples

Table 1. The frequency of the different chromosome aberrations in exposed and unexposed lymphocytes

Aberrations	Exposed			Unexposed		
	Frequency	Standard error	95% conf. limits	Frequency	Standard error	95% conf. limits
Breaks	0.333	0.111	0.141-0.561	0.417	0.142	0.017-0.694
Dicentrics	0.333	0.111	0.141-0.561	0.250	0.125	0.057-0.521
Acentric fragments	0.222	0.098	0.066-0.437	0.250	0.125	0.057-0.521
Rings	0.111	0.074	0.012-0.292	0.083	0.080	0-0.296

Discussion

An attempt has been made to evaluate the possible genotoxicity of Skrunda RLS radiation. We have selected metaphase chromosome assay to determine whether radiation of this Radar can act as genotoxin because chromosome abnormalities in radiation exposed people are excellent indicators of radiation exposure [11,12,13].

To achieve this aim the first step was to compare chosen study samples. Statistical analysis showed that study samples do not significantly differ in most parameters and differences between the samples would not influence genetic effect of the Radar on humans. The only exception the parameter - " long-term drug intake " showed statistically significant differences between study samples. It could be explained by so called "Skrunda syndrome". People in exposed area feel ill. They have a lot of information, that the radiation from the Radar is harmful [14].

Metaphase chromosome analysis have been used to assess influence of EMR by several researchers. Data are contradictory. In some publications it has been shown that EMR increases incidence of chromosomal aberrations [15,16]. Much experimental evidence suggests that acute or long-term RF exposures do not result in an increase in chromosomal aberration frequency [17,18]. To our knowledge there is no data about genotoxic effect after long-term *in vivo* exposure to pulse radiofrequency EMF. We did not obtain strong evidence for a link between exposure to Skrunda RLS emitted radiation and increase of chromosome alterations. As regards to different types of aberrations the most common type was breaks. It concurs with the results of the other authors [10].

In further research less time consuming and more sensitive methods should be used for evaluation Skrunda RLS radiation impact on genetic constitution of exposed people. Because a strong positive correlation between the incidence of chromosome aberrations and micronuclei has been found [12] micronuclei test could be used as an alternative in our research.

References

1. Electromagnetic fields (300Hz to 300 GHz) (1993) WHO, Geneva.
2. Kalnins T., Krizbergs R., Romancuks A. (1996) Measurements of the intensity of electromagnetic radiation from the Skrunda radio location station Sc. Total Environ. No 1, 51-56.
3. Balodis V. et al. (1996) Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees? Sc. Total Environ. No 1, 57-64.
4. Magone I. (1996) The effect of electromagnetic radiation from the Skrunda Radio Location Station on *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden cultures Sc. Total Environ. No 1, 75-80.
5. Kolodynski A.A., Kolodynska V.V. (1996) Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radio Location Station in Latvia Sc. Total Environ. No 1, 87-93.
6. Bruvere et al. (1997) Deviations of the immune system functions in the inhabitants of Latvia after long-term exposure to radiofrequency electromagnetic fields 3rd Congress of Latvian physicians Riga, 21 (in Latvian).
7. Brogger A. et. al., (1984) Comparison between five Nordic laboratories on scoring of human lymphocyte chromosome aberrations Hereditas 100, 209-218.

8. Knut Skyberg, Inger-Lise Hansteen, Arnt Inge Vistnes (1993) Chromosome aberrations in lymphocytes of high-voltage laboratory cable splicers exposed to electromagnetic fields Scand. J. Work Environ. Health 19, 29-34.
9. Lloyd D.C. et. al., Chromosomal aberrations in human lymphocytes induced *in vitro* by very low doses of X-rays Int.J.Radiat. Biol.61(3), 335-343.
10. Kasuba V., Sentija K., Garaj-Vrhovac V., Fucic A. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from control individuals Mutat. Res. 346(4), 187-193.
11. Paz-y-Mino C. et.al.(1995) Follow up study of chromosome aberrations in lymphocytes in hospital workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation Mutat. Res. 335(3), 245-251.
12. Vijayalaxmi, Leal B.Z., Deahl T.S., Meltz M.L.(1995) Variability in adaptive response to low dose radiation in human blood lymphocytes: consistent results from chromosome aberrations and micronuclei. Mutat. Res. 348(1), 45-50.
13. Chung H.W., Ryu E.K., Kim Y.J., Ha S.W. (1996) Chromosome aberrations in workers of nuclear-power plants. Mutat.Res. 350 (2), 307-34.
14. Balodis V. (1995) Biological and emotional effects of the Skrunda radar Akademiska Dzive 37, 24-28 (in Latvian).
15. Garcia-Sagredo J.M., Monteagudo J.L. (1991) Effect of low-level pulsed electromagnetic fields on human chromosomes *in vitro*: analysis of chromosomal aberrations. Hereditas 115(1), 9-11.
16. Scarfi M.R. et. al. (1994) Lack of chromosomal aberration and micronucleus induction in human lymphocytes exposed to pulsed magnetic fields Mutat. Res. 306(2), 129-133.
17. Valjus J. et al. (1993) Analysis of chromosomal aberrations, sister chromatid exchanges and micronuclei among power linesmen with long-term exposure to 50-Hz electromagnetic fields Radiat. Environ. Biophys.32(4), 325-336.
18. Khalil A.M., Qassem W. (1991) Cytogenetic effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes *in vitro*: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics Mutat. Res. 247(1), 141-146.

ENVIRONMENTAL PROTECTION COMMITTEE OF LATVIA. RESEARCH CENTRE.

ENVIRONMENTAL MONITORING IN LATVIA



PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

RĪGA, 1992

Didzis TJARVE

Guna ĀDAMSONE

Valdis BALODIS, Department of Botany and Ecology, University of Latvia

PHYTOINDICATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN LATVIA

V. PROBLEMS AND FUTURE WORK

The described results of the phytoindicative survey were based on quick and easily gathered descriptive features of trees which have been widely used in Europe. Using this method, the goals of assessing the environmental quality of Latvia and identifying stressed regions have been accomplished. Problems in the use of some of the parameters as indicators of environmental quality exist, and work conducted by different workers would be difficult to calibrate. Further work will focus on modifying the method used to attempt to increase the correlation between measured factors and environmental impact. Earlier critical work on the methodology of phytoindication include Cairns (1984, 1986); Krupa, Kickbert (1987); Muir, McCune (1987, 1988); and Innes (1989). Some of the problems in the methods use for the phytoindicative survey of Latvia are given below.

5.1. NECROSIS OF PINE NEEDLES

The phytoindicative survey of Latvia was based on the necrosis of pine needles. Two parameters of necrosis were determined: the intensity of necrosis (Jäger, 1980) and the percentage of needles with necrosis.

During the study period, the percentage of needles with necrosis increased, except in areas where 100% of the needles already were affected. This was apparent during periodic checks of already sampled sites. As a result, the study area of 1990 in eastern Latvia had maximum values of necrosis (figure 5.1.1.). The entire area of Latvia could not be surveyed in one year due to technical difficulties.

The frequency distribution curves of the percentages of needles with necrosis are exponential. Thus, the necrosis classes should not be classified using a linear scale. An exponential scale best shows the distribution of necrosis in Latvia (figure 5.1.2.). However, since sample collection was conducted over a few years, temporal differences are superimposed on the spatial pattern. Therefore, this phytoindicative character is not a stable indicator of environmental quality. Needle necrosis are used as indicators of large point sources of emissions (Jäger, 1980). In Latvia, which lacks major point sources of the magnitude of western Europe, high values using Jäger's 6 point. scale were uncommon. Thus the scale did not allow good resolution of environmental impact.

5.2. DEFORMATION OF TREE APICES

The extent of deformation of tree apices are displayed in figure 5.2.1. This parameter was used the most to place sites into groups according to the 7 point phytoindicative classification scheme. A poor correlation existed between the deformation of tree apices and the necrosis of needles.

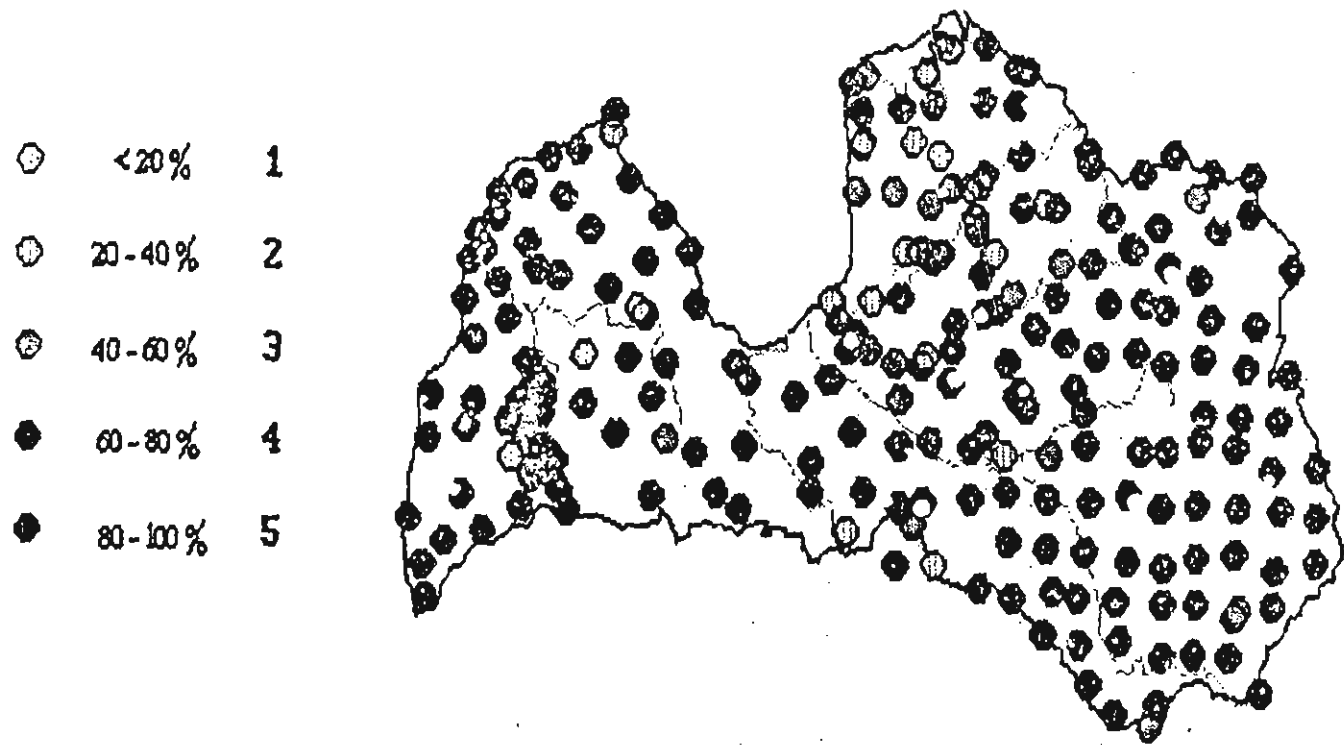


Fig. 5.1.1. Percent distribution of needle necroses.
1 - 5 - Percent classes.



Fig. 5.1.2. Percent distribution of needle necroses by exponential classes.
1 - 5 - Exponential classes.

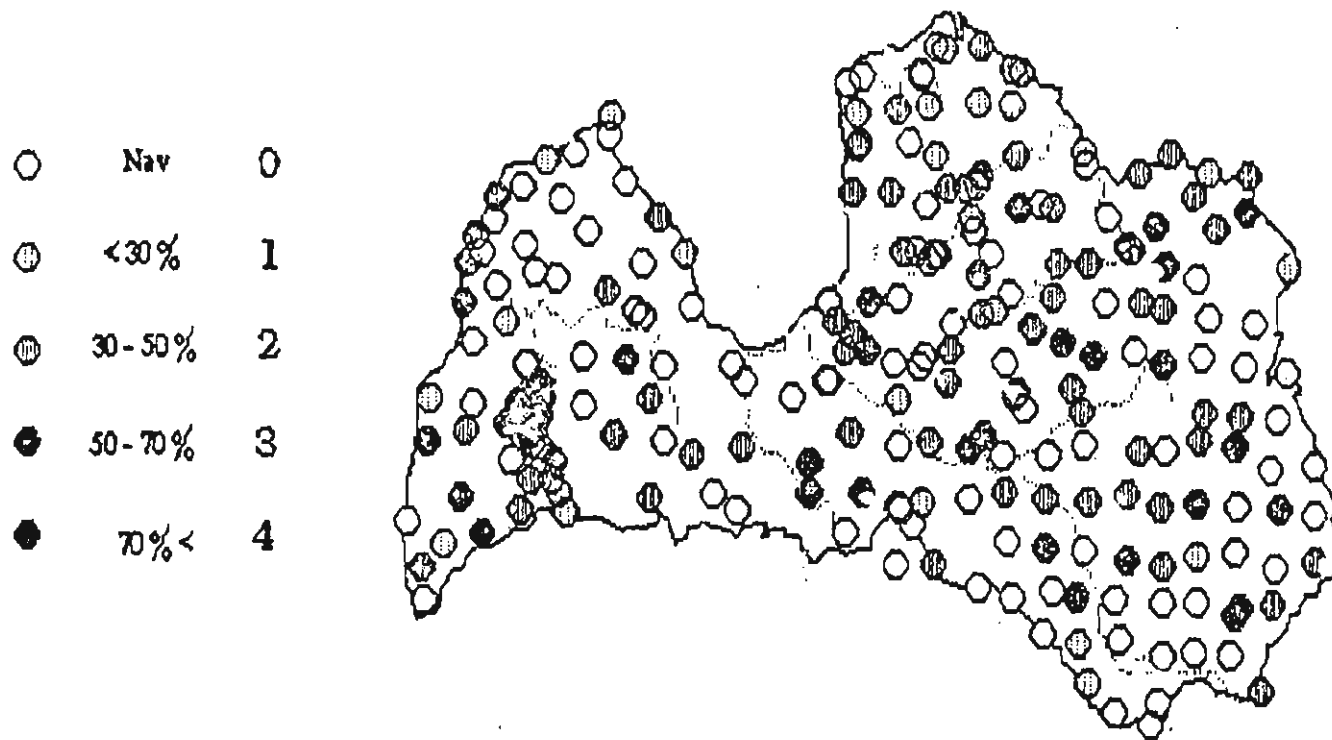


Fig. 5.2.1. Deformation of coniferous tree apices.
0 - 4 - Deformation classes of tree apices.

5.3. THE GROWTH OF ALGAE ON PINE NEEDLES

The occurrence of algae on pine needles was not used in the phytoindicative survey. One species of algae was often found on needles, *Pleurococcus vulgaris* Naeg., which formed an epidermal thick layer. *P. vulgaris* was found in almost all sampling sites in southeastern Latvia. The usefulness of this parameter for bioindication is not known.

5.4. THE EXUDATION OF RESIN FROM NEEDLES

The exudation of resin from pine needles was assessed at each sampling site, but was not used for bioindication. This feature varied temporally and spatially. The use of this factor for bioindication is unclear, as well as its relationship with climatic factors.

5.5. PERSPECTIVES

The need for environmental assessment using bioindication is clear, due to its ability to discern the integrated response of biota to multiple factors, as well the ease of data collection. Future work in this field will include:

1. the critical assessment of existing methods,
2. the development and assessment of new methods,
3. bioindication using ecoepidemiological, ecoepizootological and microbiological methods for environmental assessment.

REFERENCES

- Cairns J., Jr., 1984. Are single species toxicity tests alone adequate for estimating environmental hazard? - *Environm. Monit. Assessment*, 4 :259-273.
- Cairns J., Jr., 1986. The myth of the most sensitive species. - *BioScience*, 36, 10 :670-672.
- Darral N.M., Jäger H.J., 1984. Biochemical diagnostic tests for the effect of air pollution in plants. - In: *Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism* (Ed. by M.I.Koziol & F.R.Whatley) :331-351. - London :Butterworths.
- Fu Mao-Yi, Tamm C.O., 1985. Predicting branch and needle growth of spruce (*Picea abies* (L.)Karst.) from easily measurable tree parameters. I.Length of first order shoots. - *Acta Oecol., Oecol. Plant.*, 6, 20 :347-363.
- Getko N., 1988. Plants in an anthropogenic environment. - Minsk, 205 p. (in Russian).
- Gluch W., 1988. Zur Benadelung von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) in Abhängigkeit vom Immissionsdruck. - *Flora*, 181, 5/6 :395-407.
- Hartmann G., Niehais F., Butin H., 1988. Farbatlas Waldschäden: Diagnose von Baumschäden. - Stuttgart :Ulmer, 256 S.
- Heath R.L., 1975. Ozone. - In: *Responses of Plants to Air Pollution* (Ed. by J.B.Mudd & T.T.Kozlowski) :23-55. - New York :Acad.Press.
- Innes J.L., 1988. Forest health surveys - a critique. - *Environm. Pollution*, 54 :1-15.
- Jäger E.J., 1980. Indikation von Luftverunreinigungen durch morfometrische Untersuchungen an höheren Pflanzen. - In: *Biindikation* (Hrsg. R.Schubert & J.Schuh) :43-52. - Halle.
- Keller Th., 1988. Growth and premature leaf fall in American aspen as bioindicators for ozone. - *Env. Pollut.*, 52, 3 :183-192.
- Keller Th., Hässler R., 1988. Some effects of long-term fumigations with ozone on spruce (*Picea abies* (L.) Karsten). - *GeoJournal*, 17, 2 :277-278.
- Kovács M., Podani J., 1986. Biindikation: a short review on the use of plants as indicators of heavy metals. - *Acta Biol. Hung.*, 37, 1 :19-29.
- Krause G.H.M., Jung K.-D., Prinz B., 1985. Experimentelle Untersuchungen zur Aufklärung der neuartigen Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. Waldschäden. Einflussfaktoren und ihre Bewertung. - *Beichte des Vereins Deutscher Ingenieure*, 560 :627-656.
- Krupa S., Kickert R.N., 1987. An analysis of numerical models of air pollutant exposure and vegetation response. - *Environm. Pollut.*, 44 :127-158.
- Lackovišová A., 1988. Literature on lichen indication in socialist countries. - *Biologia*, 43, 1 :79-83.
- LeBlanc D.C., Raynal D.J., White E.H., 1987. Acid deposition and tree growth. I.The use of stem analysis to study historical growth patterns. - *Journ. Environm. Qual.*, 16, 4 :325-333.
- Liepa I., 1980. The dynamics of wood yield. Modelling and ecology. - Riga: Zināre, 170 p. (in Russian).
- Liepiņa L., Nikodemus O., 1990. Biindikācijas rezultāti Rīgā. - *Latv. Ekol.*, 2 :50-60.

- Manning W.J., Feder W.A., 1980. Biomonitoring air pollutants with plants. - London: Appl. Sci. Publ.-Ltd.
- Mudd J.B., 1975. Peroxyacyl nitrates. - In: Responses of plants to air pollution (Ed. by J.E. Mudd & T.T. Kozlowski) :97-119 - London :Acad. Press.
- Muir P.S., McCune B., 1987. Index construction for foliar symptoms of air pollution injury. - *Plant Disease*, 71, 6 :558-565.
- Muir P.S., McCune B., 1988. Lichen, tree growth, and foliar symptoms of air pollution: Are the stories consistent? - *Journ. Environm. Qual.*, 17, 3 :361-370.
- Murin A., 1987. Flowers as indicators of mutagenicity and phytotoxicity of polluted environments. - *Biologia*, 42, 5 :447-456.
- Nebe W., Schierhorn E., Ilgen G., 1988. Rasterelektronmikroskopische und chemische Untersuchungen von immissionsgeschädigten Fichtennadeln (*Picea abies* (L.) Karst.). - *Flora*, 181, 5/6 : 409-414.
- Odzuk W., 1985. Standortbedingte Unterschiede des Baumsterbens bei Fichte und Waldkiefer aus Parabraunerde und Torfboden. - *Allg. Forstztschr.*, 40, 5 :97-98.
- Piterāns A., Bērziņa S., 1990. Rigas pilsētas lihenindikācija. - *Lav. Ekol.*, 2 :61-65.
- Prinz B., 1987. Ozone effects on vegetation. - *Advanced Research Workshop on Tropospheric Ozone*. - Lillenhammer, 24 pp.
- Schmuel G.K., 1986. Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Vitalität von Bäumen. - Karlsruhe, 173 S.
- Schubert R., Ebel F., Heins S., Mishra G.P., 1973. Nadelgehölze der Botanischen Gärten als Bioindikatoren für SO₂-Luftverschmutzung. - *Wiss. Z. Univ. Halle*, 27M, 3 :81-92.
- Sigal L.L., Sutter G.W., II, 1987. Evaluation of methods for determining adverse impacts of air pollution on terrestrial ecosystems. - *Environm. Management*, 11, 5 :675-694.
- Skeffington K.A., Roberts T.M., Blank L.W., 1985. Schadsymptome an Fichte und Kiefer nach Belastung mit Ozon und saurem Nebel. - *Allg. Forstztschr.*, 40, 5 :1359-1362.
- Stölzer J., 1980. Zur Anatomie gesunder und durch gasförmige Immissionen geschädigter Blätter von *Betula pendula* Roth. - *Wiss. Z. Univ. Halle*, 29M, 5 :95-101.
- Syroid N.A., 1988. The ability of spruce and pine trees to grow in areas of high air pollution. In: *Anthropogenic effects on ecosystems in the Kola peninsula* - Apatits: 24-29
- Themlitz R., 1960. Die individuelle Schwankung des Schwefelgehaltes gesunder und rauchgeschädigter Kiefern und seine Beziehung zum Gehalt an den übrigen Hauptnährstoffen. - *Allg. Forst- und Jagdztschr.*, 131 :261-264.
- Wada M., Shimizu H., Abe H., Kadota A., Kondo N., 1986. A model system to study the effect of SO₂ on plant cells. I. Experimental conditions in the case of fern gametophytes. - *Environm. Control in Biol.*, 24, 3-4 :95-102.
- Wolfenden J., Robinson D.C., Cape J.N., Peterson I.S., Francis E.J., Mellhorn H., Wellburn A.R., 1988. Use of carotenoid ratios, ethylene emissions and buffer capacities for the early diagnosis of forest decline. - *New Phytol.*, 109, 1 :85-95.

LATVIJAS PSR ZINĀTŅU AKADEMIJAS

VĒSTIS ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР

IZNAK REIZI MENESI KOPS 1947. GADA AUGUSTA
ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО С АВГУСТА 1947 ГОДА



12 (413)

R I G A «Z I N Ā T Ņ E»

1981

Новое в лабораториях ученых

УДК 34.19.23:

В. А. Балодис

ГИСТОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ СЕЗОННОГО РОСТА ДРЕВЕСИНЫ

В течение последних десятилетий заметно повысился интерес к дендрохронологическим исследованиям. Причина тому — возможность надежно и относительно просто по образцам древесины проследить за ростом каждого изучаемого дерева. Основной принцип метода хорошо известен — ширина последовательных годовичных колец древесины преимущественно зависит от условий роста дерева в году их образования. При помощи анализа изменения по годам ширины годовичных колец успешно решается ряд климатологических, экологических, лесоводческих и других вопросов.

Ширина годовичного кольца ксилемы — показатель, который позволяет оценить рост древесины в году образования каждого отдельного кольца. Оценка эта — интегральная, она характеризует рост дерева за весь данный вегетационный период целиком. Нередко, однако, важно проследить за ростом по последовательным его этапам. В таком случае, как правило, пользуются методами, которые требуют регулярных наблюдений за ростом в течение каждого отдельного года [1, 2]. С другой стороны, предполагается [3—6], что особенности роста фиксируются в течение вегетационного периода в структуре годовичных колец древесины.

Изучение сезонного роста древесины по структуре годовичных колец весьма перспективно, так как в случае разработки адекватной методики отпала бы необходимость многолетних регулярных наблюдений за ростом ксилемы. Кроме того, исследования на клеточном уровне необходимы для распознавания механизма роста древесины. На данном этапе разработки методики изучения сезонного роста ксилемы по структуре годовичных колец представляется необходимым выяснить возможные пути возникновения отличий между клетками древесины.

Клетки ксилемы образуются в результате деления клеток камбиальной зоны. У голосеменных и двудольных древесных растений эта латеральная меристема представляет собой сплошное кольцо клеток снаружи от ксилемы. Одновременно с продуцированием клеток во время камбиальной деятельности дерева протекает и увеличение размеров клеток — рост растяжением. Для апикальной и базальной части клеток ксилемы характерен интрузивный рост, основная же часть поверхности клеток растет симпластически [7]. Таким образом происходит увеличение размеров клеток ксилемы в длину, в тангентальном и в радиальном направлениях. В результате интрузивного роста увеличивается поверхность контакта между расположенными друг над другом клетками ксилемы, тангентальный рост обеспечивает увеличение окружности годовичного кольца, а радиальный рост — его ширину. Следовательно, именно радиальный рост отражает специфику прироста древесины в каждом отдельном году.

Ввиду симпластического характера радиального роста клетки ксилемы, которые произошли от одной и той же камбиальной клетки, рас-

положены в радиальном ряду, в последовательности их возникновения — чем раньше клетка древесины образовалась, тем дальше от камбия она находится. Особенно четко такие «временные» ряды клеток прослеживаются у голосеменных, у которых древесина состоит преимущественно из одного типа клеток — трахейд. Они занимают 90—96% объема древесины [8]. Отдельные трахейды в радиальном ряду клеток могут отличаться по своей радиальной ширине, по толщине клеточных стенок и по другим показателям. Применимость этих гистометрических показателей для анализа сезонного роста древесины мы изучали для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Образцы древесины брали за 1970—1979 годы буровом М. Пресслера на высоте 1,3 м от корневой шейки для каждого дерева с южной, восточной, северной и западной стороны. Поперечные срезы годовичных колец окрашивали раствором основного фуксина [9] и изучали под световым микроскопом в отраженном свете, применяя метод темного поля. Измерения и подсчет клеток проводили на микрофото-снимках (увеличение 500-кратное) по последующим участкам (шириной 200 мкм) каждого годовичного кольца. В каждом участке для 26 клеток измерили ряд гистометрических показателей. В настоящей статье излагаются результаты изучения одного из них — радиальной ширины клеток ксилемы (l_R). Биометрическую обработку результатов проводили на ЭВМ типа GE-400. Соответствие данных нормальному распределению проверялось по критерию Колмогорова-Смирнова; достоверность отличия величины между отдельными участками определялась по критерию Стьюдента (при уровне значимости $\alpha=0,05$).

Средняя радиальная ширина клеток ксилемы (\bar{l}_R) в радиальном ряду годовичного кольца равна $30,8 \pm 0,7$ мкм. Нами не обнаружено корреляции между величиной l_R и шириной годовичного кольца. Следовательно, кольца различной ширины возникают не за счет отличий по величине клеток, а в результате продуцирования разного количества клеток: чем шире годовичное кольцо, тем больше клеток в его радиальном ряду. Наши измерения свидетельствуют, что эта зависимость имеет линейный ($r=0,67$; $s_{xy}=1,19$) характер (рис. 1).

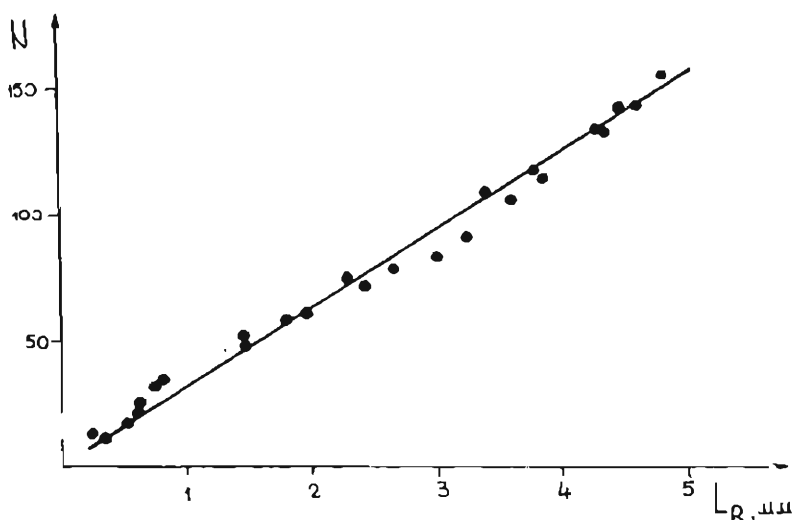


Рис. 1. Зависимость количества трахейд от ширины годовичного кольца у сосны обыкновенной. По оси абсцисс — ширина годовичного кольца (мм), по оси ординат — количество клеток в радиальном ряду

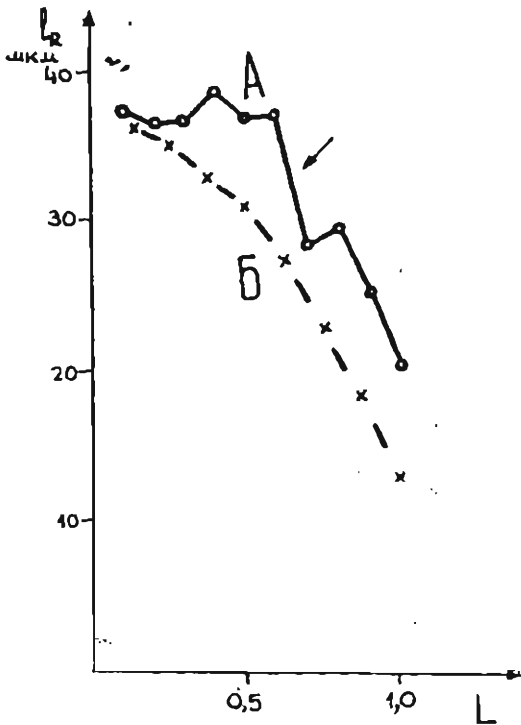


Рис. 2. Характер изменения радиальной ширины трахеид по годичному кольцу у сосны обыкновенной. По оси абсцисс — доли годичного кольца; по оси ординат — радиальная ширина клеток (мкм). А — кольцо 1979 года, образец взят с северной стороны дерева; Б — кольцо 1977 года, южная сторона. Стрелкой обозначен переход от ранней к поздней древесине в кольце А

зование ранней древесины, характерно быстрое увеличение диаметра ствола. Темпы роста замедляются во второй половине периода вегетации, когда формируется поздняя древесина. Сопоставление этих данных влечет за собой вывод, что может существовать положительная корреляция между скоростью прироста древесины и величиной l_R , что отличия по тренду ширины клеток между годичными кольцами могут свидетельствовать о различиях по распределению скоростей роста в течение сравниваемых сезонов роста. При разработке методики гистометрического анализа роста древесины, однако, требуется более детальное изучение этой зависимости. В частности, допущение жесткой связи между скоростью роста и величиной l_R затрудняет объяснение линейной зависимости между шириной годичного кольца и количеством трахеид в радиальном ряду клеток (рис. 1), поскольку установлено, что различная ширина годичных колец может образоваться в результате не только различной продолжительности, но и различной скорости [11] роста древесины.

Кроме отличий по тренду радиальной ширины клеток, различные годичные кольца имеют характерные для них достоверные локальные минимумы или максимумы величины l_R . Так, например, для кольца, который образовался в 1978 году, по трем сторонам света прослеживается

Обобщение наших результатов изучения направленности изменения радиальной ширины трахеид по последующим участкам годичного кольца представлено на рис. 2. По тренду кривой и по абсолютным значениям величины l_R в кольце А можно выделить 2 части — раннюю и позднюю древесину. Ранняя древесина расположена ближе к центру ствола и содержит широкие ($l_R > 35$ мкм) трахеиды во всей ширине участка. Для поздней же древесины характерно уменьшение величины l_R в направлении к внешней границе годичного кольца. Такое четкое разграничение ранней и поздней древесины по ширине клеток, однако, возможно не во всех образцах: часто наблюдается постепенное уменьшение величины l_R по всей ширине кольца (кривая Б, рис. 2). В пределах этих двух типов тренда величина l_R меняется по ширине всех изученных нами годичных колец сосны.

По непосредственным измерениям скорости прироста древесины [10, 11] известно, что для начальных этапов роста, когда происходит обра-

для данного сезона рисунок кривой с 7 достоверными точками перегиба (рис. 3). Кривая четвертой стороны — запада — имеет лишь 2 точки (е, ж) достоверного отклонения величины l_R от общего тренда.

Эти локальные отклонения от тренда заслуживают наибольшего внимания при изучении закономерностей роста и образования клеток в каждом отдельном году. Именно они могут показать, какова была специфика прироста древесины в данном сезоне, а при сопоставлении с кривыми колебания в течение данного года внешних факторов (например, температуры воздуха) можно узнать, как каждый из факторов влияет на скорость прироста на разных этапах вегетационного периода. Сопоставление же отдельных образцов одного года свидетельствует о разнообразии ответных реакций на воздействие того или иного комплекса факторов. Именно последним объясняются различия между кривой Г и остальными кривыми (рис. 3).

При обсуждении общего характера изменения величины l_R по ширине годовичного кольца указывалось на необходимость более глубокого изучения процесса роста древесины для разработки метода гистометрического анализа. Чтобы наметить комплекс исследований, которые в первую очередь необходимо проводить в этом направлении, рассмотрим модель процесса роста древесины.

Результаты исследований изменения ширины годовичных колец в течение вегетационного периода в самом общем виде можно формализовать при помощи уравнения (1):

$$L = \int_{t_0}^t v dt, \quad (1)$$

где L — ширина годовичного кольца в момент времени t вегетационного периода;

$t_0 = 0$ — момент начала роста годовичного кольца;

$v = f(t)$ — скорость увеличения ширины годовичного кольца.

Исходя из (1) проследим за изменением L с момента времени t_0

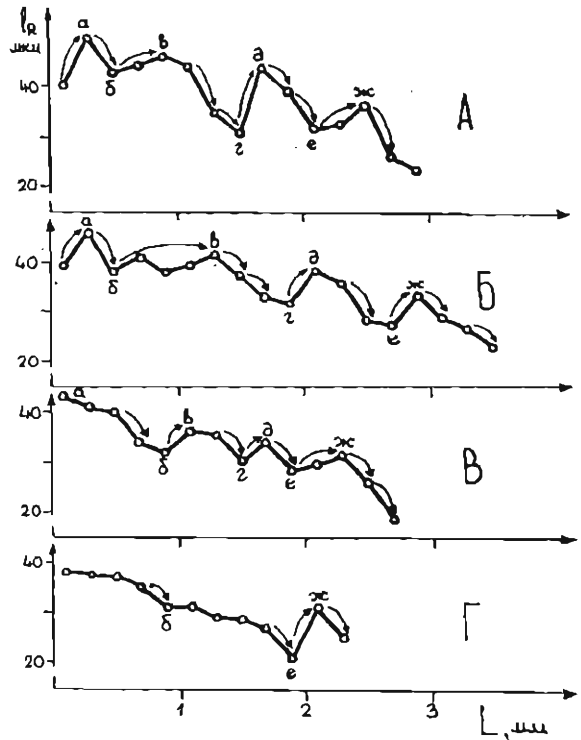


Рис. 3. Радиальная ширина трахейд по кольцу 1978 года. По оси абсцисс — расстояние (мм) от внешней границы годовичного кольца; по оси ординат — радиальная ширина клеток (мкм). А — северная, Б — восточная, В — южная, Г — западная сторона годовичного кольца. а... ж — локальные экстремумы величины l_R . Стрелками соединены ближайшие точки, которые достоверно отличаются по величине l_R

в наиболее простом случае — при постоянной относительной скорости роста (k) элементов ксилемы. Пусть v_0 — скорость увеличения радиальной ширины клеток камбиальной зоны в момент времени t_0 . В силу экспоненциального характера роста [12] в произвольном моменте времени t скорость увеличения ширины годичного кольца будет

$$v = v_0 \exp(kt), \quad t_0 \leq t \leq t_G, \quad (2)$$

а ширина кольца соответственно

$$L = \int_{t_0}^t v_0 \exp(kt) dt = L_0 \exp(kt), \quad (3)$$

где L_0 — ширина камбиальной зоны в момент времени t_0 .

Из (2) и (3) следует, что при заданных условиях величина v возрастает за счет увеличения ширины участка L_G годичного кольца — зоны роста ксилемы. Подобный процесс нетрудно, например, представить для начала роста годичного кольца — сперва в процессе роста участвуют лишь камбиальные клетки, а после первых их делений происходит и увеличение размеров молодых клеток древесины.

Величина L_G , видимо, более или менее стабилизируется после определенного промежутка времени $t_G - t_0$, когда возникшие раньше других клетки древесины прекращают свой рост и выходят из зоны роста ксилемы. При этих условиях можно допустить, что скорость увеличения ширины годичного кольца ксилемы на некоторый промежуток времени $t_R - t_G$ становится постоянной и равна

$$v_G = v_0 \exp(kt_G), \quad (4)$$

а ширина годичного кольца в любой момент t этого промежутка времени описывается:

$$L = L_G [1 + k(t - t_G)]. \quad (5)$$

При заданных условиях по зависимостям, аналогичным (3) и (5), можно проследить за увеличением расстояния между любой точкой годичного кольца и внешней границей зоны роста ксилемы. Поскольку радиальная ширина l клетки ксилемы формально есть расстояние между двумя точками годичного кольца, расположенными радиально друг к другу, нетрудно проследить и за величиной l каждой отдельной клетки. Пусть l_M — радиальная ширина материнской клетки, l_0 — молодой клетки ксилемы, а l_c — молодой клетки камбия в момент цитотомии $l_M = 0$. Согласно (3), радиальная ширина клетки ксилемы в любой момент t ее экспоненциального роста равна:

$$l = (l_M - l_c) \exp(kt) = l_0 \exp(kt), \quad 0 = t_M \leq t \leq t_E, \quad (6)$$

где t_E — момент окончания экспоненциального роста клеток.

В произвольный момент t во время выхода клетки из зоны роста ксилемы по (5) и (6):

$$l = l_M \exp(kt_E) [1 + k(t - t_E)] - l_c \exp(kt), \quad t_E \leq t \leq t_R, \quad (7)$$

где t_R — момент окончания роста клетки.

При $t = t_R$ получаем радиальную ширину l_R выросшей клетки ксилемы:

$$l_R = l_M \exp(kt_E) k(t_M - t_c) = L_G k(t_M - t_c) \quad (8)$$

или

$$l_R = v_G(t_M - t_c),$$

где $t_M - t_c$ — промежуток времени, за который камбиальная клетка вы-

растает от величины l_c до l_m . Скорость v_G характеризует рост годичного кольца растяжением, а промежуток времени $t_m - t_c$ зависит от процесса деления камбиальных клеток. Следовательно, конечную радиальную ширину клеток ксилемы и тем самым структурные особенности годичного кольца определяют оба эти процесса.

Исходя из (8), проследим, каким образом на величину l_R может повлиять процесс деления клеток. По уравнению видно, что каждой величине l_R соответствует вполне определенный промежуток времени $t_m - t_c$, за который формируется клетка ксилемы шириной l_0 . Подобной однозначной зависимости нет, однако между величиной l_R и наиважнейшим показателем процесса деления клеток — продолжительностью (T) митотического цикла:

$$l_R = v_G [T - (t_c - t_k)], \quad (9)$$

где $t_c - t_k$ — промежуток времени, за который клетка камбия «доращивается» от радиальной ширины l_k (в начале митотического цикла) до ширины l_c . По (9) следует, что только в случае последовательных делений, при которых не меняется начальная радиальная ширина клеток камбия ($l_c = l_k$), величина l_R прямо пропорциональна продолжительности митотического цикла.

Итак, рассмотренная модель показывает, что конечная радиальная ширина клеток ксилемы — результат процесса роста годичного кольца растяжением и процесса деления камбиальных клеток. Закономерности деления камбиальных клеток изучены мало. Для развития методики гистометрического анализа роста древесины в первую очередь необходимы сведения о степени асимметрии цитотомии при образовании клеток древесины и о продолжительности митотического цикла по этапам вегетационного периода и в зависимости от воздействия внешних условий. По модели видно, что скорость роста древесины зависит как от относительной скорости, так и от продолжительности роста клеток. Изучение закономерностей изменения этих характеристик — также необходимое условие для создания методики восстановления процесса роста по величине l_R .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Изучение прироста главнейших древесных пород. — М.: Наука, 1967. — 95 с.
2. Kern K. G., Moll W. Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenwachstums von Fichten verschiedener Standorte im Trockenjahr 1959. — Allg. Forst- und Jagdztg., 1960, N 5, S. 97—116.
3. Polge H. Le «message» des arbres. — La Recherche, 1971, N 2, p. 331—338.
4. Ваганов Е. А., Терсков И. А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. — Новосибирск: Наука, 1977. — 94 с.
5. Schwäcgruber F. H., Fritts H. C., Bräker O. U. a. o. The x-Ray Technique as Applied to Dendroclimatology. — Tree-Ring Bull., 1978, N 38, p. 61—91.
6. Eckstein D. Die Dendrochronologie in Baugeschichte und Volkskunde. — Allg. Forstzeitschrift, 1979, N 49, S. 1348—1351.
7. Эсау К. Анатомия растений. — М.: Мир, 1969. — 564 с.
8. Ванин С. И. Древесиноведение. — М.—Л.: Гослесбумиздат, 1949. — 472 с.
9. Balodis V. Laboratorijas darbi citoloģijā. — R., 1977. — 76 lpp.
10. Ladefoged K. The Periodicity of Wood Formation. — Det. Kong. Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skrift, 1952, N 3, p. 1—98.
11. Смирнов В. В. Сезонный рост главнейших древесных пород. — М.: Наука, 1964. — 167 с.
12. Erickson R. O., Sax K. B. Rates of Cell Division and Cell Elongation in the Growth of the Primary Root of Zea Mays. — Proc. Amer. Philos. Soc., 1956, N 100, p. 499—514.

Ордена Трудового Красного Знамени
Латвийский государственный университет им. П. Стучки

Дата поступления 04.06.81.

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
В БИОЭКОЛОГИИ

Сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1982

ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ

За последнее время достаточно обстоятельно разработан биологический, или дендроклиматический метод изучения изменений климата. Основная идея этого метода хорошо известна: на поперечном разрезе ствола любого дерева обнаруживается серия концентрических колец. Каждое кольцо свидетельствует о годичном приросте дерева, а подсчет всех слоев дает возраст дерева. Совокупность колец данного дерева представляет очевидную хронологическую ценность, каждое отдельное кольцо само по себе представляет ценность климатологическую. Оно является отражением истории метеорологических условий — благоприятных или неблагоприятных, существовавших в год образования этого кольца. Год благоприятный — кольцо широкое, толстое. Год неблагоприятный — узкая каемка, иногда еле заметная. Годичное кольцо суммирует метеорологические данные того года, в котором оно образовалось. Оно как бы дает климатическую оценку этому году [4].

Тем не менее корреляция между шириной годичных колец и усредненными за год или сезон роста характеристиками погоды часто несущественна [2; 9]. Одна из причин этого — нелинейность связи между ростом и погодными условиями в различные периоды роста. Поэтому увеличилось количество исследований, в которых выявляется зависимость между шириной годичных колец и погодой в различные периоды года [8; 12-14; 16]: Однако и этот подход не безупречен, так как представляет собой другую крайность — объясняет колебания ширины годичных колец погодными условиями лишь короткого периода года. Непосредственный контроль за радиальным ростом ствола при помощи дендрометров или стальных измерительных лент [5; 7; 10, 11; 15] требует продолжительных и регулярных стацио-

растения, в частности, в отношении строения проводящих тканей, а также в отношении строения и функций коры.

В фазе активного роста различают 3 основные зоны: зону деления, зону растяжения и зону дифференциации. В зоне деления, находящейся в заднем полюсе побега, происходит образование клеток, формирующих заднюю часть побега [10].

В зоне растяжения клетки растягиваются во время роста. Она характеризуется наличием Ca^{2+} , который поступает из почвы и способствует клеточному делению (рис. 1). В зоне роста формируются клетки из одной основной зоны роста побегов (апомеристической зоны роста). Рост преимущественно осуществляется радиальным направлением. Типовый рост многоклеточных животных по сравнению с радиальным направлением роста. При этом, когда животные в определенном направлении растут, они растут в радиальном направлении. Радиальный рост характерен для растительных клеток и для животных и растений. При этом рост в радиальном направлении не является результатом деления зоны роста.

В фазе активного роста, ввиду быстрого роста, клетки, образующие заднюю радиальную часть растения, в первую очередь возникают при делении, в центре побега, и постепенно переходят, образуясь в начале роста данного побега, в заднюю часть и, ввиду быстрого растяжения, образуют заднюю часть побега. Образование задних частей побега происходит в направлении упорядоченности клеток андрогенитов. У всех животных, преимущественно состоит из клеток одного типа — трахеид. На первичных органах древесины видны мелкие радиальные ряды трахеид. Каждый такой ряд — поперечное сечение спиральной или радиальной трубки трахеид.

Для животных, по сравнению с радиальными древесными тканями, характерно, кроме того, более строгое соответствие между радиальной шириной трахеид и их ростом. Во-первых, радиальные ряды трахеид представлены клетками, образующими которых протекает по единой схеме. Формообразующая роль гибели или передвижения клеток здесь, по-видимому, ничтожно

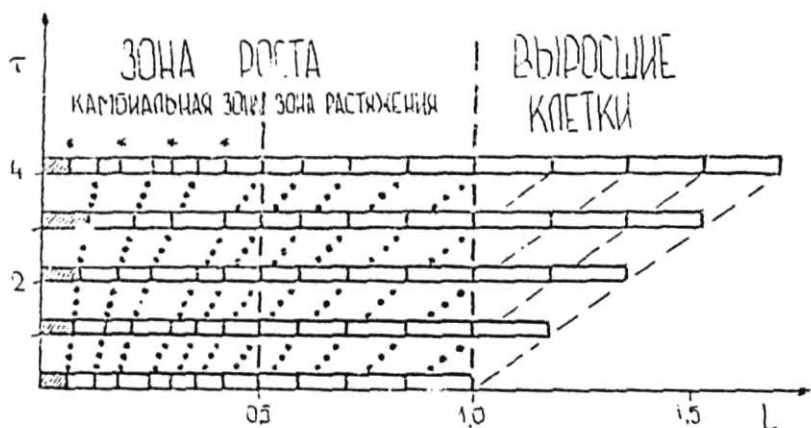


Рис. I. Схема временной организации роста древесины при идентичной конечной радиальной ширине выросших клеток. По оси абсцисс - расстояние от внешней границы камбия; по оси ординат - время. ▨ - инициалы камбия; ... экспоненциальный рост клеток; - - - удаление от инициалы выросших клеток; * - места образования новых тангентальных стенок.

на. Во-вторых, анатомическое строение древесины хвойных свидетельствует об относительно жесткой связи между соседними клетками. Радиальный рост трахеид у хвойных носит симпластический характер. Интрузивный же рост трахеид [6], судя по анатомическому строению древесины хвойных, в основном влияет на продольные и тангентальные размеры трахеид. Перечисленные особенности формирования древесины хвойных делают их наиболее подходящим объектом для исследования связи между радиальными размерами клеток и ростом ксилемы. Поэтому в дальнейшем мы будем обсуждать только радиальный рост трахеид хвойных растений.

Гистометрическая индикация [1] хода роста древесины предполагает наличие зависимости между скоростью радиального роста и радиальной шириной трахеид. Эта зависимость наблюдается при сравнении результатов изучения изменения скорости прироста стволов в толщину в течение сезона и тренда радиальной ширины трахеид: падению скорости роста в конце сезона соответствует уменьшение ширины клеток по направлению к внешней границе годичного кольца [2;3]. На трахеидограммах, наряду с общей тенденцией изменения ширины клеток, наблюдается и локальные отклонения от общего тренда. Показано, что эти локальные минимумы или максимумы радиальной ширины клеток могут быть характерны для данного года у разных образцов одного и того же дерева [1], а также совпадать для разных деревьев одного вида и места произрастания [3]. Эти отклонения связывают с соответствующими изменениями скорости роста древесины в результате погодных колебаний в течение сезона роста [3].

Подобные данные свидетельствуют в пользу возможности восстановления кинетики роста древесины хвойных по размерам трахеид. Однако метод гистометрической индикации сезонного хода роста требует еще тщательной разработки. Некоторые особенности роста ксилемы, которые связаны с временной организацией ее зоны роста, обсуждаются в данной работе.

Представим, что процесс роста ксилемы в течение некоторого промежутка времени строго стационарен: что постоянна ширина ($l_{\text{з}}$) зоны роста, радиальная ширина ($l_{\text{р}}$) выросших

клеток ксилемы и относительная скорость (κ) растяжения в зоне роста. В таком случае постоянна и скорость (V_G) роста ксилемы, так как

$$V_G = \bar{\kappa} L_G, \quad (1)$$

и скорость (\bar{D}_G) проликации клеток мериستمой

$$\bar{D}_G = V_G / \ell_R. \quad (2)$$

Поскольку промежуток времени τ , за который клетка при выходе из зоны роста прекращает свой рост, обратно пропорционален величине \bar{D}_G , при данных условиях расстояние между соседними тангентальными стенками выросших клеток, а также клеток в зоне растяжения, соответствует времени τ . При том эта "временная шкала" линейна в участке выросших клеток и в предположении экспоненциального роста [I] трахеид - экспоненциальна в зоне растяжения. Если допустить, что относительная скорость (κ) роста клеток постоянна в любом участке зоны роста и равна величине $\bar{\kappa}$, то соотношение радиальной ширины (ℓ_j) любой растущей клетки и радиальной ширины (ℓ_i) соседней, расположенной ближе к камбию клетки в зоне растяжения постоянно:

$$\ell_j / \ell_i = \exp(\kappa \tau). \quad (3)$$

При рассмотренных условиях из (3) следует, что строго определенные соотношения между радиальными ширинами соседних клеток должны существовать и в камбиальной зоне. Требуемые соотношения могут образоваться только в результате неравных делений клеток. Тангентальные стенки клеток при этой схеме роста в камбиальной зоне также представляют собой временные маркеры, только здесь их масштаб зависит от того, сколько раз данной клетке предстоит делиться до ее перехода в зону растяжения - для клеток, которые завершили последнее деление, этот временной интервал равен τ , для тех, которым предстоит еще одно деление - 2τ и т.д. (рис. 1).

В рассмотренной модели временной организации роста ксилемы пред-злагались идентичные величины ℓ_R для всех клеток, которые образовались во время стационарного роста. Следстви-

ем этого оказавшаяся необходимостью строго определенного, неравного деления клеток. Столь жесткие ограничения, разумеется, не имелись в реально растущей древесине. Они полностью, однако, отпадают, если вместо $\bar{\ell}_R$ и радиальной ширины отдельных клеток зоны роста в модель ввести их усредненные значения — соответственно, $\bar{\ell}_R$ и $\bar{\ell}$. Тогда та или иная сторона неравенств клеточных делений будет зависеть лишь на дисперсию показателей $\bar{\ell}_R$ и $\bar{\ell}$.

Относительная постоянность величины $\bar{\ell}_R$ во время постоянного скорости роста клетки предопределяется уже вполне реальной, так же как и равномерное изменение величины $\bar{\ell}$ по ширине зоны роста ствола. Эти показатели несложно получить эмпирически, если учесть, что соседние радиальные ряды клеток должны расти согласованно, с одинаковой относительной скоростью. По рис. 2 предопределены схемы роста, получаемые при усреднении радиальной ширины клеток. Здесь, как и в предыдущей главе (рис. 1), последующие тангентальные стенки клеток взрослой древесины и клеток зоны растяжения метят интервал времени \bar{T} . Для зоны растяжения остается в силе и соотношение (3). К тому же теперь мы можем и отбросить условие $\kappa = \bar{\kappa}$ и допустить, что величина κ по ширине зоны роста может меняться. Маркировка свободных тангентальных стенок клеток зоны растяжения при этом осуществляется в силе, единственно, согласно (3) не будет выполняться экспоненциальный характер зависимости $\bar{\ell}$ от продолжительности нахождения клеток в зоне растяжения.

В камбиальной зоне при усреднении величины $\bar{\ell}$ значение тангентальных стенок как маркеров времени полностью теряется даже в том случае, если мы вернулись бы к условию $\kappa = \bar{\kappa}$ — усреднение влечет за собой необходимость допущения отличий между отдельными делящимися клетками по продолжительности (\bar{T}) митотического цикла. Вообще изменение продолжительности \bar{T} у камбиальных клеток само по себе меняет лишь структуру зоны роста (рис. 2). Конечная величина $\bar{\ell}_R$ непосредственно зависит от количества делений (\bar{N}_D), которые в среднем протекают в каждой клетке после ее возникновения от инициации.

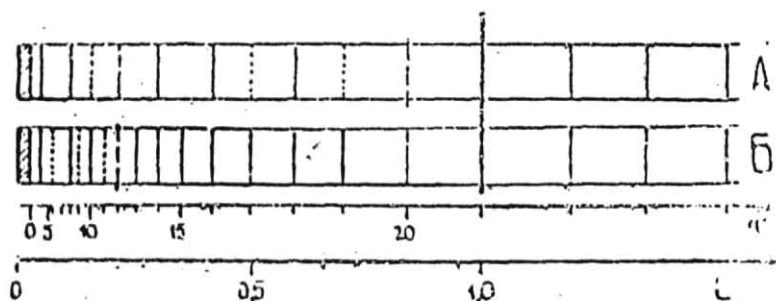


Рис. 2. Изменение усредненной радиальной ширины клеток по зоне роста при постоянной скорости растяжения.

- L - расстояние от внешней границы камбия; τ - временная шкала продвижения клеток по зоне роста. А и Б - радиальные ряды клеток; у обоих рядов одинаковы показатели V_G , \bar{T}_c и \bar{N}_d ; в ряду А продолжительность митотических циклов в камбиальной зоне в 2 раза больше, чем в ряду Б.
- — — — — граница зоны роста;
 - - - - - граница камбиальной зоны;
 вновь возникшие тангентальные стенки клеток;
 ▭ - инициальные клетки.

4. Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды.-М.,1976.
5. Нарышкин М.А., Смирнов В.В. Прибор для определения прироста деревьев.- Лесное хозяйство,1959,7,с.76.
6. Эсау К. Анатомия растений.-М.,1969.
7. Borgmann F.H., Kozlowski T.T. Measurements of tree ring growth with dial gage dendrometer and vernier tree ring bands. - Ecology,1962,43, p.289-294.
8. Brett D.W. Dendroclimatology of elm in London.- Tree-Ring Bulletin,1978,38,p.35-44.
9. Eckstein D. Die Dendrochronologie in Baugeschichte und Volkskunde.- Allgemeine Forstzeitschrift, 1979,49,S.1348-1351.
10. Frierner R.C. Dendrometer studies of five species of broad-leaf trees in Indiana.- Butler Univ.Bot. Stud.,1942,5,p.160-172.
11. Fritts H.C. Radial growth of beech in a Central Ohio forest during the growing season of 1952.-Ohio J. Sci.,1956,56,p.17-3.
12. Fritts H.C. Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation.- Ecological Monographs,1974,44,4,p.411-440.
13. Huges M.K., Gray B., Pilcher J., Baillie M., Leggett P. Climatic signals in British Isles tree-ring chronologies.- Nature,1978,272,5654,p.605-606.
14. Jazewitsch W. Zur klimatologischen Auswertung von Jahrrings Kurven.- Forstwiss. CB1,80,1961,5-6,p.175-190.
15. Kern K.G., Moll W. Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenwachstums von Fichten verschiedener Standorte im Trockenjahr 1959.- Allg.Forst-und Jagdztg.,1960,131,5,S.97-116.
16. Serre F. The dendroclimatological value of the European Larch (*Larix decidua* Mill.) in the French Maritime Alps.-Tree-Ring Bulletin,1978,38,p.25-34.

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
В БИОЭКОЛОГИИ

Сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1982

В. А. Балодис

ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ СИНХРОННОСТИ
КРИВЫХ В ДЕНДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

"С первого же дня рождения живое дерево является очевидцем многочисленных явлений и той среды, где оно произрастает. Годичные кольца — это память природы, в которой хранятся с точностью до одного года оценки разнообразных климатических условий прошлого — осадки, температура воздуха, влажность почв, солнечная активность и даже удельная радиоактивность земной атмосферы" [3:5].

Возможность извлечения с высокой точностью датировки разносторонней информации о событиях в прошлом обусловило в последние десятилетия заметное увеличение объема дендроиндикационных исследований. Поэтому актуальными являются работы, направленные на расширение области применения электронно-вычислительной техники в анализе годичных колец древесины. В частности, идет поиск путей алгоритмизации точной датировки годичных колец — одного из наиболее трудоемких и отчасти субъективных звеньев дендроиндикационных исследований. На нынешнем этапе разработки этого направления ЭВМ, как правило, используются для оценки степени синхронности сравниваемых рядов годичных колец.

Определенный опыт оценки синхронности кривых накоплен в дендрохронологических исследованиях. Здесь в качестве критериев синхронности чаще всего используют коэффициент синхронности (K_c) [6] и коэффициент корреляции (r) [10].

В настоящей работе обсуждается возможность применения этих критериев в дендрэкологических исследованиях. Подобная переоценка критериев необходима по той причине, что временные ряды, которые изучаются в дендрэкологии, сложнее дендрохронологических рядов.

Модельным объектом настоящего исследования послужили деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), заложившие в результате рекреационного выщипывания в курортном городе Брната (6 спилов) или же при естественном заремизации лесонасаждений (Аматское лесничество Цесисского леспромпхоза (6 спилов). Спили были взяты на высоте 1,3 м от корневой шейки. На тщательно отполированных спилах ширину каждого годичного кольца измеряли по 3 направлениям (север-север-восток, восток и т.д.). Точность измерений — $\pm 0,02$ мм. Биометрическая обработка эмпирического материала проводилась на ЭВМ типа ДМБ-400.

Пригодность показателей K_c и ϵ оценивали сравнением рядов ширины годичных колец, полученных при измерениях на различных сторонах света одних и тех же спилов. Это позволило точно контролировать синхронность кривых, так как исключалась возможность десинхронизации в результате выпадения отдельных годичных колец. При оценке критериев K_c и ϵ сравнивали их величины для: а) синхронных кривых и б) намеренно десинхронизованных.

На промеренных спилах по всем направлениям измерения прослеживается характерный ход кривой зависимости ширины (z) годичных колец от этапов усыхания — относительно высокие значения z при "нормальном" росте, падение ширины годичных колец при переходе к усыханию и минимальные значения величины z в периоде усыхания деревьев (рис. I). Спили отличаются друг от друга по степени выраженности и продолжительности перечисленных этапов усыхания. Подобные же отличия иногда наблюдаются и между отдельными направлениями на одних и тех же спилах.

Чтобы проверить пригодность показателя K_c для оценки синхронности сравниваемых кривых, мы подсчитали его величины для упомянутых трех этапов усыхания. Расчеты проводились для синхронных кривых, а также для кривых, которые были десинхронизованы путем их сдвига на один год относительно друг другу. В таблице I представлены средние для изученных деревьев результаты расчетов.

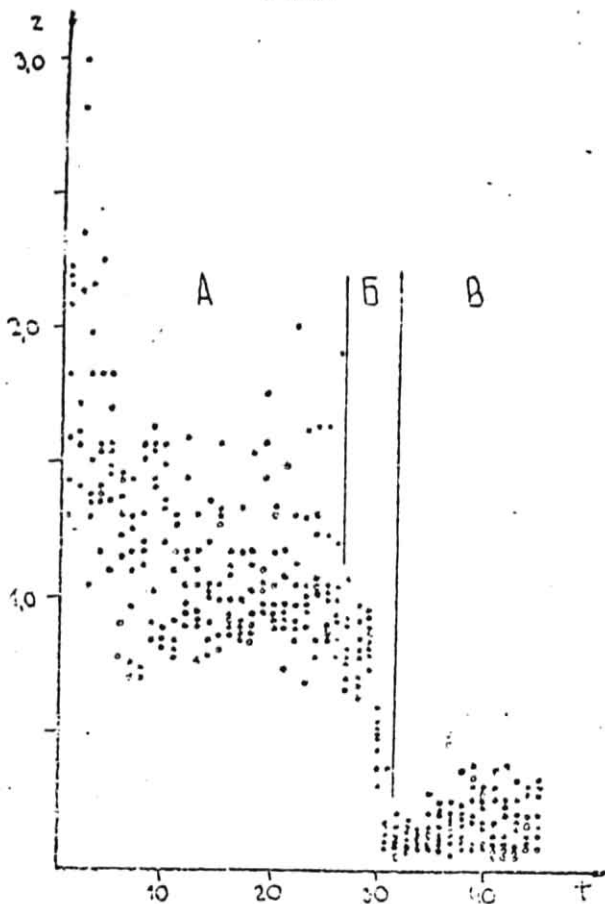


Рис. I. Зависимость ширины годичных колец от этапов усыхания сосны обыкновенной.

По оси абсцисс - порядковый номер годичного кольца от центра ствола; по оси ординат - ширина годичных колец в мм.

А - этап "нормального" роста дерева;

Б - этап перехода к усыханию;

В - этап усыхания.

Для каждого кольца на рисунке представлены измерения по 8 направлениям.

Таблица I

Величины коэффициента синхронности ($K_c \pm \delta_p$)
на разных этапах усыхания деревьев сосны

Положение кривых	Этапы усыхания деревьев		
	"нормальный" рост	переход к усыханию	рост перед усыханием
синхронное	0,70±0,02	0,87±0,03	0,62±0,03
несинхронное	0,48±0,02	0,67±0,04	0,59±0,03

Согласно формулировке коэффициента синхронности [8], величина K_c достоверно больше 0,5 в случае сравнения синхронных кривых, а для несинхронных рядов $K_c \approx 0,5$. По таблице I видно, что только при "нормальном", не подавленном внешними неблагоприятными условиями росте деревьев, величина K_c позволяет судить о синхронности кривых годовичных колец. Для этапа перехода деревьев к усыханию величина K_c достоверно (уровень существенности $\alpha = 0,05$) больше 0,5 как в случае синхронных, так и несинхронных кривых. Этот исход очевиден, если учесть, что для данного этапа характерна четкая тенденция последовательного уменьшения ширины годовичных колец, вызванная влиянием неблагоприятных внешних условий. Здесь выраженный тренд превалирует над ежегодными колебаниями прироста деревьев и не позволяет воспользоваться показателем K_c .

Менее очевидна несущественность отличия обеих величин K_c для последнего этапа усыхания. На этом этапе наиболее подавленного роста нет явно выраженного тренда. "Нелояльное поведение" критерия K_c в данном случае можно объяснить двумя причинами. Во-первых, необходимо иметь в виду, что коэффициент синхронности - показатель непараметрический и учитывает лишь направленность изменений ширины годовичных колец, независимо от их величины. При малых приростах древесины на этом этапе усыхания увеличивается вероятность

случайных отличий по направлению изменения ширины годичных колец между сравниваемыми кривыми. Во-вторых, можно допустить, что при подавленном росте на этом этапе снижается уровень чувствительности ответной реакции на воздействие флуктуирующих внешних факторов среды. Подобное предположение высказал Дугласс [7] относительно роста стареющих деревьев.

Использование линейного коэффициента корреляции для анализа рассмотренных кривых неправомерно. Известно, что коэффициент корреляции применим в качестве критерия только при соблюдении некоторых довольно жестких ограничений. Во-первых, сравниваемые выборки должны, хотя бы приблизительно, следовать двумерному нормальному распределению. В противном случае статистическая значимость полученных результатов остается весьма сомнительной [2]. Распределение данных, получаемых при изучении прироста древесины в нашем случае, существенно отличается от нормального (рис. 2). Во-вторых, оценку корреляции при помощи показателя r можно проводить только в случае, когда у исследуемых временных рядов нет тенденции [5]. В дендрозкологических рядах же тенденция неизбежна, так как именно по направлению и выраженности тренда судят о воздействии изучаемого фактора на прирост древесины.

Таким образом, в дендрозкологических исследованиях, в отличие от дендрохронологических [10], оценку синхронности нельзя проводить путем сравнения временных рядов абсолютных значений ширины годичных колец. Значит, до применения показателя K_c или r для оценки синхронности с кривых прироста древесины должна быть удалена тенденция так, чтобы остаточные данные образовали последовательность независимых величин. Для этого в первую очередь необходима адекватная методика построения базисных кривых.

В качестве базисных кривых, пожалуй, наиболее часто используют параболы, получаемые методом наименьших квадратов [9]. Мы провели регрессионный анализ наших эмпирических данных с целью проверки пригодности этого полиномиального

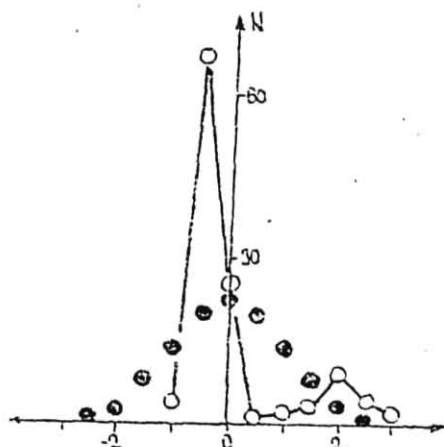


Рис.2. Пример существенных отличий между эмпирическим (○) распределением ширины годовых колец и соответствующим нормальным (●) распределением. По оси абсцисс – нормированные отклонения от средней; по оси ординат – количество годовых колец по классам распределения. Критерий Колмогорова-Смирнова $\lambda = 2,52 > \lambda_{0,05} = 1,36$; критерий $\chi^2 = 157,4 > \chi^2_{0,05;4} = 9,5$.

подхода для построения базисных кривых в дендрозоологических исследованиях. Для каждой эмпирической кривой методом наименьших квадратов были вычислены теоретические полиномиальные кривые до многочленов шестой степени включительно. Формально, по величине регрессионной дисперсии [4], эмпирические кривые достаточно хорошо описываются многочленами третьей степени. Однако полиномиальные теоретические кривые недостаточно гибки, так как дают остаточную тенденцию в участках перелома тренда эмпирических кривых (рис.3). Кроме того, в случае резких перепадов тренда применение регрессионного анализа не вполне корректно. Дело в том, что величины стандартных отклонений эмпирических данных непостоянные и положительно коррелируют с шириной годовичных колец. Это же явление прослеживается для каждого отдельного годовичного кольца: чем шире кольцо, тем больше дисперсия результатов измерений (рис.1).

Наши расчеты показали, что наиболее адекватные результаты при вычислении базисных кривых дает скользящее полиномиальное сглаживание с применением метода наименьших квадратов. Эта методика снимает недостатки полиномиального тренда, так как, во-первых, обеспечивает большую гибкость теоретических кривых и, во-вторых, менее зависит от изменения во времени стандартных отклонений эмпирических данных [1]. Наиболее хорошие результаты дает скользящее сглаживание по пятилетиям с применением полиномов третьей степени. Получаемые по этой методике остаточные данные - отклонения эмпирических величин Z от теоретических (\hat{Z}), имеют распределение, близкое к нормальному, с математическим ожиданием, равным 0. Исключается также тенденция данных. Следовательно, по остаточным кривым правомерна оценка синхронности флуктуаций не только при помощи показателя K_c , но и при помощи коэффициента корреляции. Результаты расчетов (рис.4) показывают, что показатели K_c и r при применении описанной методики позволяют оценить степень синхронности сравниваемых временных рядов - для синхронных кривых коэффициент синхронности достоверно больше величины K_c , по-

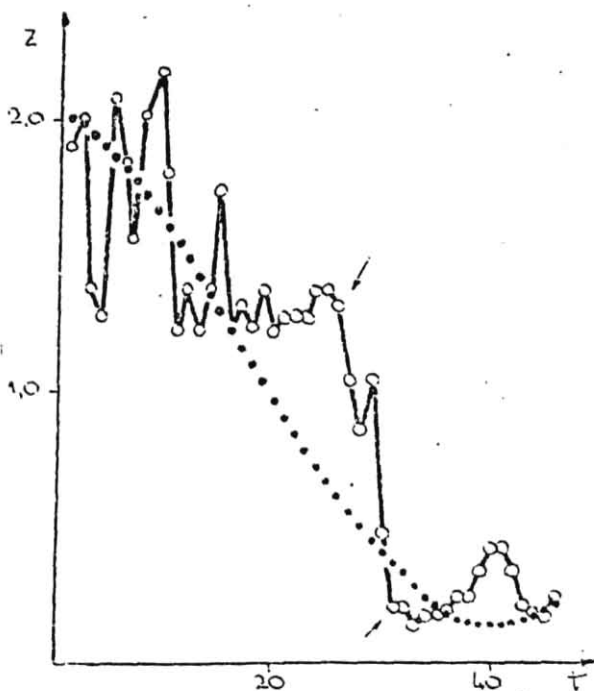


Рис. 3. Пример недостаточной гибкости теоретических полиномиальных кривых.

По оси абсцисс - номер годичных колец от центра ствола; по оси ординат - ширина годичных колец в мм. \circ - эмпирические данные; \bullet - теоретическая кривая:

$$\hat{z} = 2,048 - 0,023t - 0,002t^2 + 0,0004t^3$$

Стрелками показаны переломные точки эмпирического тренда.

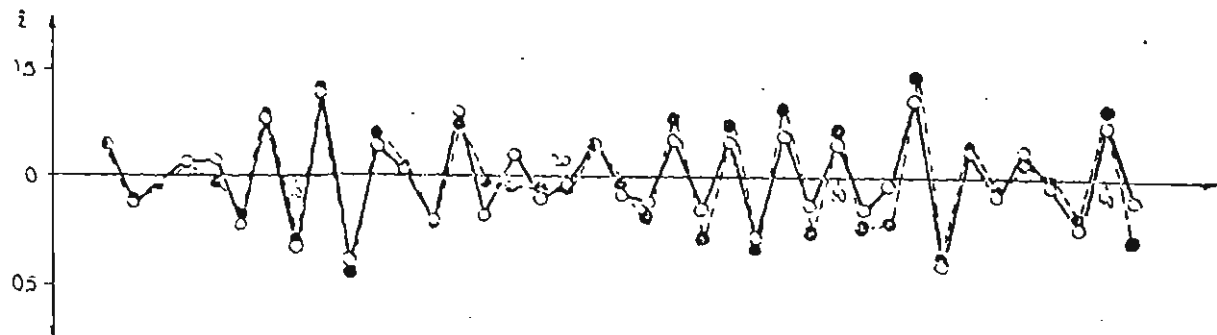


Рис. 4. Усредненные по четырем сторонам света остаточные кривые. Скользящее 5-точечное полиномиальное (четвертой степени) сглаживание. По оси абсцисс - порядковые номера годовичных колец от центра ствола; по оси ординат - величины $z - \bar{z}$ (в мм)

○ - - - результат усреднения по С.Б.Ю и З;

● - - - усреднение по СВ, ЮВ, ЮЗ и СЗ. $K_c = 0,95$; $\tau = 0,89$.

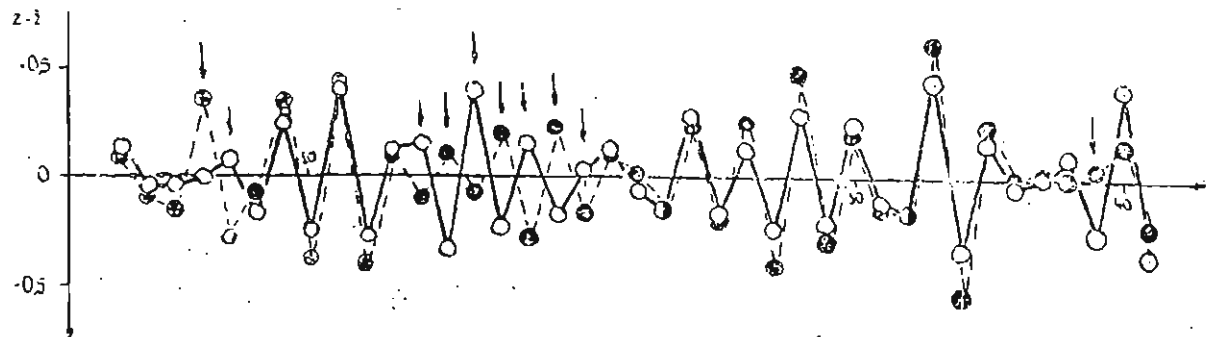


Рис. 5. Остаточные кривые полиномиального (четвертой степени) скользящего 5-точечного сглаживания. По оси абсцисс — порядковые номера годичных колец от центра ствола; по оси ординат — величины $z - \hat{z}$ (в мм).
 о — Юг; ● — Север. Стрелками обозначены существенные различия по величине $z - \hat{z}$ для сравниваемых сторон света. $K_c = 0,71$; $\gamma = 0,67$.

лучаемой при сравнении десинхронизованных кривых. То же для всех образцов характерно и в отношении коэффициента корреляции. Необходимо отметить, что наблюдаются определенные отличия по флюктуации величин $x - \hat{x}$ между отдельными временными рядами одних и тех же деревьев (рис. 5). Это результат различий по приросту древесины вдоль окружности ствола. Подобные отличия ширины годичных колец по различным сторонам света являются одной из основных причин возникновения асимметрии поперечных разрезов стволов, весьма характерной для усыхающих деревьев. Усреднение величин $x - \hat{x}$ по четырем взаимно перпендикулярным направлениям измерения (рис. 4) позволяет достаточно адекватно представить характер и размеры флюктуации величин $x - \hat{x}$ для каждого отдельного дерева.

Итак, результаты нашего исследования показывают, что при оценке синхронности дендрозоологических кривых необходима особая методика, отличная от применяемой в дендроклиматологии.

Список литературы

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. - М., 1976.
2. Бейли Н. Статистические методы в биологии. - М., 1963.
3. Колчял Б. А., Черных Н. Б. Дендрохронология Восточной Европы. - М., 1977.
4. Румянский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М., 1971.
5. Да Дз. Э., Кендалл М. Теория статистики. - М., 1960.
6. Berthelin T. H. Dendrochronology of oak in southern Sweden. - Tree-Ring Bulletin, 1975, 35, p. 25-29.
7. Douglass A. R. Climatic cycles and tree growth. 2. Washington, Carnegie Inst. Wash. Publ., 1929, p. ...
8. Huber B. Über die Sicherheit jahresklimatologische Datierung. - Holz als Roh-Werkstoff, 1943, 5, S. 263-268.

9. Warren W.G. On removing the growth trend from dendro-chronological data.-Tree-Ring Bulletin,1980,
40, p.35-44.
10. Wendland W.M. An objective method to identify missing or false rings.- Tree-Ring Bulletin,1975,35,
p.41-48.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА,
БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. В. Л. КОМАРОВА

I ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АНАТОМИИ РАСТЕНИЙ

ЛЕНИНГРАД, ОКТЯБРЬ 1984 г.

Тезисы докладов



Ленинград
«НАУКА»

Ленинградское отделение
1984

КАМБИАЛЬНЫЕ ИНИЦИАЛИ (ТЕРМИНОЛОГИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ)

Б а л о д и с В. А.

Латвийский государственный университет им. П.Стучки, Рига

В настоящее время нет единого мнения относительно термина «камбиальная инициаль». Различное применение термина вызвано различиями в толковании клеточной организации камбиального роста.

Большинство исследователей строят модель камбиального роста, исходя из предположения о наличии одной инициали в каждом радиальном ряду клеток вторичного тела растения. Альтернативный подход – в радиальном ряду имеется несколько равноценных инициалей. Методы идентификации одной инициали справедливо критикуются сторонниками концепции нескольких инициалей.

Анализ закономерностей камбиального роста показывает, что, несмотря на наличие апикального интрузивного роста отдельных клеток, сохраняется общий симпластичный характер роста. Следовательно, радиальный камбиальный рост необходимо рассматривать, исходя из понятий градиентов роста. При этом правомерно выделить «границу инициалей», отделяющую рост в сторону флоэмы от роста в сторону ксилемы. Местоположение этой границы зависит от условий и этапа роста. Она ограничивается «кольцом потенциальных инициалей». При таком подходе инициальными следует считать клетки, которые пересекает граница инициалей. Следовательно, в каждом радиальном ряду клеток по мере роста выделяется лишь одна инициаль. Распознавание ее возможно только ретроспективно. В каждый данный момент в ряду клеток можно идентифицировать лишь несколько сходных клеток – потенциальных инициалей. Которая из них станет единственной инициалью, зависит от хода дальнейшего роста. Разногласия по применению термина «камбиальная инициаль» появляются при выделении отдельных этапов цитогенеза.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ЛАТВИЙСКАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ



В. А. Балодис

*Кинетика камбиального роста
древесных растений*

В В Е Д Е Н И Е

В течение длительного времени ведется поиск способов, которые позволили бы, не проводя крайне трудоемких и зачастую нереализуемых наблюдений, следить за индивидуальным ростом отдельных особей. Большую роль в реконструкции динамики роста многолетних растений играют те постоянные структуры организма, которые увеличиваются в размерах параллельно росту организма и в морфологических изменениях которых отражаются темп роста и состояние индивидуума. Это — "регистрирующие структуры".

Типичной регистрирующей структурой является древесина. В годичных кольцах заключена интегральная информация об условиях роста. Если кольцо широкое, то в год его образования погода благоприятствовала росту, а в неблагоприятный год — кольцо узкое, иногда еле заметное. Принципы и методы изучения зависимости между шириной годичных колец и погодными условиями разработаны дендроклиматологами. В исследованиях, в которых эти принципы соблюдаются, удается реконструировать климатические условия с точностью до одного года.

Долгая сохранность древесины, простота получения образцов и возможность восстановления с большой точностью событий прошлого привлекли внимание исследователей самых разных направлений и специальностей. Стали появляться работы, в которых рассматривается связь между структурой годичных колец древесины и условиями сезона их образования. Предложено несколько моделей, которые связывают вариабельность размеров клеток древесины с изменениями скорости камбиального роста. Ожидается увеличение количества работ в этом направлении, тем более что стало возможным автоматизированное измерение параметров структурных элементов древесины.

Особенно важно выявление связи между условиями роста и структурой древесины для лесного хозяйства. Успехи в этом направлении позволят не только выбрать стратегию лесохозяйственных мероприятий для оптимального увеличения массы древесины, но и заранее планировать и обоснованно управлять продукцией древесины определенного качества.

Для успешного выявления зависимости между скоростью роста и структурой древесины прежде всего необходимо хорошо знать закономерности кинетики камбиального роста. Основы кинетики камбиального роста излагаются в настоящем пособии.

1. КЛЕТОЧНЫЕ ОСНОВЫ КАМБИАЛЬНОГО РОСТА

1.1. Общая характеристика камбия

Все клетки вторичной флоэмы и вторичной ксилемы — продукты деятельности камбия. В стволах и корнях древесности древесных растений умеренной зоны камбий расположен между флоэмой и ксилемой в виде сплошного кольца. Он получает воду и минеральные вещества — от ксилемы и путем образования новых клеток наращивает их количество во вторичном теле растения. Большинство производимых камбием дифференцируется в клетки ксилемы, а некоторая их часть становится клетками новой флоэмы.

Камбий содержит два типа клеток: удлиненные клетки с заостренными концами и — веретеновидные клетки камбия и почти изодиадрические, сравнительно небольшие — лучевые клетки. Эти типы клеток особенно отличаются друг от друга по длине и объему, причем веретеновидные клетки значительно крупнее, чем клетки лучей. Однако по одному признаку, а именно радиальному диаметру, лучевые клетки превосходят веретеновидные клетки. Таким образом, у древесных растений в широкой латеральной меристеме клетки уже дифференцированы по своим размерам.

Таким, возникающие из апикальных меристем, содержат клетки многих типов, которые резко отличаются от меристематических клеток по своей форме и размерам. Однако между клетками камбия и их производными наблюдается сходство. Сходство в расположении клеток вторичной ксилемы и флоэмы уже можно предначертать в форме и расположении камбиальных клеток.

Веретеновидные камбиальные клетки лежат поперек во всех клеткам ксилемы и флоэмы, которые расположены так, что их длинные оси параллельны продольной оси ствола, где они находятся. Словом, они образуют продольные или радиальные элементы ксилемы и флоэмы. Примерами этих элементов являются следующие элементы: камбиальные клетки, ксилемные и флоэмные клетки, которые образуются из клеток камбия.

древесинной паренхимы (в ксилеме) и ситовидные клетки, флоэмные волокна и клетки флоэмной паренхимы (во флоэме). Лучевые клетки камбия дают начало клеткам лучей, то есть элементам поперечной или лучевой системы ксилемы и флоэмы.

Изменения размеров клеток камбия вызывают подобного же типа изменения вторичной ксилемы и флоэмы, но окончательные размеры их клеток зависят от величины камбиальных клеток лишь частично, так как изменения наблюдаются и в процессе их роста.

1.2. Камбиальный рост

Увеличение размеров клеток после их возникновения — одно из проявлений камбиального роста. Само понятие "рост" четко определено. Это "... необратимое увеличение размеров и массы тела, связанное с новообразованием элементов структуры организма" [3].

Рост растений складывается из роста клеток, тканей и органов. Рост клеток в свою очередь — из составляющих их структурных элементов. На всех уровнях организации практическое определение процессов роста зачастую весьма сложно. Например, увеличение размеров клеток в результате роста нередко сопровождается колебаниями этих размеров при изменении проводимости тканей. Поэтому термин "рост" нередко применяется лишь приблизительно, а иногда и неверно. В дальнейшем изложении следует применять этот термин по возможности ближе к данному определению.

При изучении морфогенеза самой важной стороной роста является непрерывное увеличение объема клеток, органа или организма. При этом предполагается и соответствующее увеличение массы.

При рассмотрении камбиального роста основное внимание уделяется росту клеточных оболочек по нескольким причинам. Во-первых, именно рост клеточных оболочек отражает протекание процессов морфогенеза. В результате роста клеточных оболочек определяется форма и величина как отдельных клеток, так и каждого органа и растения в целом. Во-вторых, клеточные оболочки составляют зачастую основную и используемую часть продукции роста камбиальной ткани. В-третьих, клеточные оболочки определяют

структуру вторичных проводящих тканей, которая сохраняется довольно долго. Особенно продолжительное время сохраняется структура, образованная клеточными оболочками древесины. Р-четвертых, что тоже весьма важно, рост клеточных оболочек можно измерить более точно и проще, чем рост других составных частей клеток. Звиду продолжительного времени сохранности оболочек, по выросшим клеточным оболочкам представляется возможным в определенных случаях восстановить ход роста во время их становления.

При изучении роста клеточных оболочек необходимо различать рост оболочек в поверхность и рост оболочек в толщину. В первом случае происходит увеличение объема клетки, а в результате роста в толщину увеличивается толщина клеточных оболочек. Оба процесса роста оболочек в большинстве случаев сопровождаются увеличением массы оболочек. При этом происходит и новообразование элементов клеточной стенки. Увеличение массы и новообразование элементов оболочек происходят и при цитотомии. Деление клеток — третий процесс роста, на который следует обратить внимание. При цитотомии происходит образование новых клеточных оболочек, и этот процесс одновременно сопровождается ростом клеточных оболочек в поверхность.

I.3. Деление камбиальных клеток

По общей схеме организации митотического цикла камбиальные клетки не отличаются от клеток апикальных меристем. Некоторые особенности выявляются в камбиальных клетках из-за их сильной вакуолизованности и огромной длины перетягиваемых клеток.

Для камбия характерны периферические митотические деления.

Антиклинальные (мультипликативные) деления в меристеме увеличивают число клеток по окружности меристемы. В зависимости от расположения новой клеточной стенки различают четыре типа мультипликативных делений: радиально-продольное, поперечное (латеральные), полупоперечное и тангентально-продольное. Для радиально-продольного деления и для полупоперечного деления характер-

лагается параллельно, при поперечном — перпендикулярно, при ложнопоперечном — наклонно по отношению к продольной оси клетки. При латеральном делении одна из сестринских клеток "отщепляется" от материнской клетки у одной из радиальных стенок.

Радиально-продольные деления характерны для мультипликативных веретенovidных клеток у растений с ярусным строением камбия. Число веретенovidных клеток в неярусном камбии увеличивается преимущественно путем ложнопоперечных делений. Поперечные и латеральные деления дают новые лучевые клетки. Мультипликативные деления приводят не только к увеличению количества камбиальных клеток по мере возрастания окружности камбия в результате роста, но и служат для возобновления "выпадающих" камбиальных клеток. Отмирание старых камбиальных клеток и замена их новыми происходит в довольно больших масштабах.

Тем не менее количество мультипликативных делений в камбии намного меньше количества аддитивных делений и составляет лишь несколько процентов всех митозов. Большая часть мультипликативных делений в камбии ложнопоперечные или радиально-продольные.

Аддитивные деления имеют место в течение всего сезона деления клеток, а мультипликативные чаще всего происходят под конец сезона камбиального роста. Только у молодых и очень быстро растущих деревьев мультипликативные деления наблюдаются в течение всего сезона камбиальных делений.

Преобладание аддитивных камбиальных делений приводит к образованию четких клеток во флюэме и ксилеме. В каждом отдельном радиальном ряду расположены производные одной определенной ксильмальной клетки камбия. При этом в каждом радиальном ряду прослеживается временная последовательность возникновения клеток. Чем дальше клетка расположена от камбия, тем раньше она возникла, и наоборот.

Рост клеток в поверхность

Деление клеток в камбии неразрывно связано с их ростом в поверхность. Процесс роста в поверхность продолжается и после деления клеток до достижения ими окончатель-

ных размеров и форм. Для роста в поверхность характерно увеличение поверхности и массы клеточных стенок.

Невозможно непосредственно наблюдать за ростом интактных клеток древесных растений, поэтому вся информация о камбиальном росте получена при изучении убитых клеток. При этом допускают, что при подготовке изучаемых объектов к микрофотографированию стираются колебания размеров клеток, вызванные физиологическим состоянием клеток к моменту взятия образца. Соотношение размеров отдельных клеток отражает соотношение продуктивности их роста.

Радиальная рядность клеток в камбии и во вторичных васкулярных тканях благоприятствует изучению процесса роста клеток в поверхность. Тем не менее, закономерности изменения размеров клеток по всей длине радиальных рядов "родственных" клеток, начиная от инициалей и кончая взрослыми клетками, прослеживались немногими исследователями. Причина, по-видимому, в том, что технически сложно качественно приготовить препараты, включающие "полные" радиальные ряды клеток. Поэтому в большинстве случаев о росте в поверхность судят по форме, расположению и размерам взрослых клеток.

В целом рост в поверхность клеток вторичных тканей исследован мало, и большинство сведений о протекании этого процесса получено при изучении роста клеток первичных тканей.

1.5. Направление роста

Основное направление камбиального роста — радиальное. Одновременно с ростом в радиальном направлении происходит увеличение окружности стебля. Зависимость между ростом в тангентальном и радиальном направлениях при цилиндрической форме стебля на тканевом уровне предельно проста:

$$\Delta U = 2\pi r \cdot \Delta r,$$

где Δr — прирост радиуса стебля за промежуток времени Δt ,
 ΔU — прирост окружности за Δt .

В продольном (осевом) направлении осевым вторичным тканевым тканям при камбиальном росте не изменяется

Степень связанности роста отдельных клеток и всей ткани у большинства видов деревьев и кустарников высока только в радиальном направлении. В тангентальном же направлении она может быть весьма низкой. В первую очередь это относится к видам древесных растений, у которых отдельные типы клеток во время своего развития растут в длину. У них в результате увеличения длины отдельных клеток возрастает и количество клеток в плоскости поперечного разреза стебля. И поэтому увеличение объема вторичных проводящих тканей по окружности в большей или меньшей мере обеспечивается ростом клеток в длину — степень связанности роста отдельных клеток и ткани в тангентальном направлении низка. Только в случае ярусного строения проводящих тканей рост отдельных клеток соответствует увеличению окружности ткани.

Это, однако, не означает, что при неярусном строении васкулярных тканей отдельные типы клеток или определенные части клеток не растут в тангентальном направлении. Ведь, по существу, рост клеток в длину уже включает в себя увеличение их в тангентальном направлении в удлиняющихся частях. В то же время в центральных частях удлиняющихся клеток рост в тангентальном направлении может полностью отсутствовать.

Наряду с клетками, тангентальная ширина которых во время развития не увеличивается, существуют также клетки, которые растут в тангентальном направлении очень сильно. Это будущие членики сосудов. Они часто разрастаются настолько сильно, что их окончательная ширина превышает высоту. Увеличивается во время камбиального роста и тангентальная ширина ситовидных клеток.

Если увеличение окружности стебля при образовании неярусной ксилемы происходит в результате интрузивного роста определенных типов клеток, то при формировании вторичной флоэмы увеличение окружности идет благодаря росту клеток в тангентальном направлении.

1.6. Поверхность роста

Для большинства типов растительных клеток характерна плоская поверхность всей поверхностью. Однако для трахеид, а также для других типов клеток, которые во время своего раз-

вития увеличивает длину, характерен апикальный рост. Об апикальном росте этих клеток свидетельствует ряд признаков. Концы этих клеток долго остаются тонкостенными и богатыми цитоплазмой. В цитоплазме кончиков удлиняющихся клеток наблюдается повышенная концентрация элементов эндоплазматической сети. Удлиняющиеся части клеток лигнифицируются позже остальной оболочки. У клеток, удлиняющихся при камбиальном росте, поровые поля в основном расположены в средней части клетки, равной по длине инициали, а поры на растущих концах могут расколоться со смежными клетками. Об апикальном росте удлиняющихся клеток свидетельствуют и частые изменения формы апексов клеток. Они как бы прилаживаются к контурам полости внедрения и могут оказаться зубчатыми, раздвоенными, смятыми, то есть отличными от кончиков инициальных клеток.

3.7. Связь между клетками

Исходя из степени связи между смежными растущими клетками различают два альтернативных типа роста клеток: симпластный и скользящий. Под скользящим ростом подразумевают скопление значительной части стенки данной клетки при росте в поверхности по стенкам других клеток, с которыми она соприкасается. Скользящий рост характерен для клеток животных, у растений наблюдается очень редко.

При симпластном, или сопряженном, росте не наблюдается никакого отхождения смежных клеток, отдельные ряды клеток не выпячиваются. Все клетки плотно прижаты одна к другой или скреплены друг с другом, и между ними не образуются трещины и разрывы [2].

Камбиальный рост объясняли с точки зрения как скользящего, так и симпластного роста. В частности, рост клеток в юруском камбии полностью соответствует всем критериям симпластного роста. Но симпластным ростом нельзя объяснить увеличение длины волокон, трахеид и других типов клеток, а также возрастание диаметра будущих клеточных стенок. Эти характеристики этого типа связей между растущими клетками введено понятие "интрузивный или интертрузивный рост".

Интрузивный рост рассматриваем как форму апикального роста. В отличие от скользящего без интрузивного роста в процессе роста

клеткой и ее соседями. При удлинении развивающихся клеток ксилема или флоэма происходит апикальный интрузивный рост. При таком типе роста центральные части смежных клеток остаются скрепленными, и интрузивно растут лишь их концы. Относится ли интрузивный рост только к самым кончикам растущих клеток и скольжение соприкасающихся поверхностей вовсе не происходит или же интрузивный рост охватывает и некоторую часть клеток под апексом и там наблюдается скольжение оболочек — точно неизвестно.

Интрузивно растущие концы клеток пробивают свой путь между антиклинальными стенками соседних клеток. При продвижении верхушки растущей клетки между оболочками соседних клеток, связывающее их межклеточное вещество, по-видимому, изменяется, и первичные стенки смежных клеток отделяются друг от друга. Возможно, что это происходит таким же образом, как и при образовании межклетников. Установлено, что интрузивно растущие клетки содержат пектиназу.

Обычно предполагают, что если продвигающаяся верхушка клетки пересекает плазмодесмы, то последние разрываются. Хотя это явление никто не наблюдал, тем не менее были отмечены случаи отделения друг от друга первичных поровых полей.

Клетки, которые увеличивают свою длину, не только остаются скрепленными средними частями с соседними клетками, но и продолжают свой радиальный рост. Таким образом, интрузивно удлиняющиеся клетки по большей части своей поверхности растут симпластно, а интрузивно — на верхушках. Интрузивный рост клеток никогда не нарушает последовательности расположения клеток в каждом радиальном ряду, так как удлиняющиеся кончики клеток всегда внедряются между клетками двух соседних радиальных рядов.

При ускоренном апикальном интрузивном росте, например у хвойных деревьев, не нарушается стройность радиальных рядов и сохраняются абсолютные размеры клеток в них. При сильном растяжении волокон у некоторых видов двудольных деревьев стройность радиальных рядов может быть нарушена, и ряды четки только в начале и конце годичного кольца древесины.

У некоторых древесных растений в зависимости от эволю-

постоянной продвинутой стене и, следовательно, от степени различия длины клеток во время их становления можно найти все случаи: от стройных радиальных рядов до полного их отсутствия.

1.3. Рост клеточных оболочек аппозицией

Рост аппозицией, или наложением, — последовательное отложение вещества оболочки, слой за слоем, на ее внутреннюю поверхность. Путем аппозиции осуществляется увеличение толщины оболочек.

Наиболее простая зависимость между толщиной оболочек и ростом наложением существует для тех клеточных стенок, которые не растут в поверхность. У них чем больше и интенсивнее идет процесс аппозиции, тем больше толщина клеточной стенки. Однако отложение нового материала оболочки характерно и при росте клеток в поверхность.

При одновременном росте в поверхность и аппозиции направление толщины клеточной стенки зависит от соотношения интенсивности этих двух процессов. Если более интенсивно идет рост в поверхность, то толщина клеточной стенки уменьшается, а если преобладает рост аппозицией, — увеличивается.

При камбиальном росте тангентальные стенки в поверхность не растут или растут в незначительной степени. Поэтому характерна прямая корреляция между толщиной этих стенок и их возрастом и интенсивностью роста наложением.

Различную толщину отдельных стенок камбиальных клеток заметил уже в прошлом столетии Санио. Он первым высказал предположение о связи толщины этих стенок с их возрастом. Закономерные соотношения толщины стенок камбиальных клеток Санио интерпретировал в концепции о наложении нового слоя оболочки после цитокинеза вокруг всего протопласта дочерней клетки.

Эта концепция, "ambixing concept", и в наши дни находит многих последователей. Аргументы в пользу концепции обычно те же, которые выдвинул Санио: зависимость толщины тангентальных стенок от их возраста и не убывающая толщина радиальных стенок, несмотря на рост растяжением.

Отличия по толщине между отдельными стенками соседних клеток, а также результаты электронно-микроскопических исследований, несомненно, подтверждают наличие роста наложением.

камбия, но непосредственная зависимость этого процесса от деления клеток в последние годы подвергается серьезной критике.

Рост наложкем в меристематических клетках в разных участках клеточной оболочки протекает неоднородно. Удалось установить, что оболочка любой камбиальной клетки неоднородна как по строению, так и по химическому составу и что после шитония ее характерно гетерогенное размещение полисахаридов. К тому же локально может происходить и лизис ранее отложенных полисахаридов.

Вопреки ранее отстоявшемуся предположению, не обнаруживается простое наложение первичной оболочки на клеточную пластинку, возникающее в результате литоканализа. Классические три части оболочки: первичная оболочка — срединная пластинка — первичная оболочка — появляются лишь во время созревания новой тангентальной стенки и являются результатом не простого наложения слоев, а результатом преобразований в самой перетеродке.

И, наконец, процесс роста наложкем продолжается и после окончания деления клеток во время увеличения их размеров. При этом так же, как во время деления клеток, наблюдается неравномерное отложение материала клеточных стенок. Об этом, в частности, свидетельствует стирание различий по толщине тангентальных стенок, которые замечены в камбии. В то же время более отчетливо выделяются различия по толщине тангентальных стенок между интрузивно растущими кошками клеток и остальными их частями.

После окончания роста растяжением начинается отложение вторичной оболочки. Она образуется у определенных типов клеток, например у трахеальных элементов, у волокон и др. Длительная толщина вторичной оболочки имеет решающее значение при формировании окончательной толщины клеточных оболочек, так как первичная оболочка составляет лишь несколько процентов толщины оболочки зрелой клетки.

Толщина оболочки может отличаться в разных частях одной и той же клетки. Одной из причин этого является неопеременное время образования вторичной оболочки в разных частях клетки. Процесс отложения вторичной оболочки может начинаться раньше в тех частях клетки, которые раньше других закончили деление. Это имеет место в трахеидах хвойных деревьев, например.

образование вторичной оболочки начинается в центральной части тангентальной стенки и распространяется к концам клетки по мере окончания или интрузивного роста. Следствием этого, по-видимому, является большая толщина стенок трахеид в центральной их части.

Толщина клеточных оболочек трахеальных элементов после окончания процесса роста в дальнейшем не меняется, но в некоторых клетках может по мере прекращения их функций уменьшаться.

Для определенных типов клеток вторичных васкулярных тканей, например трахеальных и волокончатых элементов, характерна лигнификация клеточных оболочек. Процесс одревеснения, подобный образованию вторичных оболочек, начинается после окончания роста растяжением. Так же, подобно образованию вторичной оболочки, процесс одревеснения протекает только в клетках, которые имеют функционирующую цитоплазму.

В отличие от вторичных оболочек при лигнификации не происходит утолщение клеточных оболочек: лигниин располагается в клеточные стенки центрипетально, начиная с района перитангентальной оболочки, а потом — в постепенно образующийся слой вторичной оболочки.

Итак, высокая степень связанности радиального роста клеток и их аддитивного деления с ростом стебля, радиальная ритмичность последовательно возникающих клеток дает возможность характеризовать рост стебля по радиальным размерам клеток. В процессе эти размеры клеток — свидетели протекания роста, сохраняются неизменными продолжительное время и могут служить для восстановления хода роста. Клетки дуба после их созревания выполняют свои функции в течение непродолжительного промежутка времени (в проводящей флоэме), а после этого (в непродолжительной флоэме) они трансформируются или разрушаются и теряют свое значение как хранители информации о камбиальном росте.

С. ПЕРИОДИЧНОСТЬ КАМБИАЛЬНОГО РОСТА

Деревья — наиболее долго живущие организмы. Известные примеры долгожительств (секвойя — более 3000 лет и сосна вековая — более 4500 лет) свидетельствуют об отсутствии естественного (биологического порядка) ограничения продолжительности жизни деревьев. Рост деревьев в высоту у большинства видов прекращается только в результате смерти. Камбиальная ткань продолжает существовать

всей жизни дерева.

В то же время для камбиального роста характерна периодичность. Периоды покоя сменяются периодами активного камбиального роста. Для деревьев умеренных и холодных регионов смена периодов покоя и активной камбиальной деятельности совпадает со сменой холодных и теплых сезонов года, для деревьев засушливых областей сезонность камбиального роста определяется распределением осадков в течение года. Периодичность камбиального роста тропических деревьев мало исследована. Тем не менее есть данные о наличии периодов роста и в этих оптимальных условиях произрастания деревьев.

Продолжительность сезона камбиального роста — одна из характеристик кинетики камбиального роста.

3.1. Цитологические признаки периодичности камбиального роста

Клетки покоящегося камбия отличаются от клеток активно действующего камбия. Эти отличия заметны при использовании как светового, так и электронного микроскопа. Покоящиеся камбиальные клетки сильно "сплюснуты" в радиальном направлении, имеют толстые радиальные стенки, относительно густую цитоплазму с небольшими вакуолями. Активно растущие камбиальные клетки более широкие в радиальном направлении. Для них свойственны относительно тонкие оболочки, положение цитоплазмы — периферическое, так как центр клетки занимает вакуоль.

Первый признак реактивации камбия весной — набухание клеток. В результате набухания радиальная ширина клеток увеличивается в два и более раз. Набухание камбиальных клеток наблюдается одновременно с началом весеннего сокодвижения по всему стволу дерева. У отдельных деревьев одного вида и лесонасаждений дата набухания (как и начало сокодвижения) может отличаться. Набухание происходит за несколько недель до распускания почек. В это время камбиальные клетки очень чувствительны к морозу и воздействию других неблагоприятных условий.

Иногда называют набухание "стадией роста без деления". Но что это за рост? Во время набухания не наблюдается деления клеток, ни рост антоциана. Увеличение радиальной ширины клеток при этом сопровождается уменьшением толщины

... в начале сезона роста камбиальных клеток и в начале покоя не существу представляет собой их возврат к той величине, морфологическим особенностям и физиологическим характеристикам, которые им были свойственны в конце предыдущего сезона роста. Известно, что после окончания сезона роста дала при обильных осадках происходит уменьшение радиальной ширины камбиальных клеток, сморщение их. При этом появляются все те морфологические признаки, которые характерны для покоящихся клеток.

Все эти изменения, происходящие в камбиальных клетках концы и в начале вегетационного периода, связаны с их подготовкой для переноса неблагоприятных условий. Процессом роста при этом, по-видимому, не происходит.

1.10. Начало и окончание сезона камбиального роста

Деление камбиальных клеток обычно начинается через несколько недель после их пробуждения. Самые первые аддитивные деления в камбии, по-видимому, могут происходить одновременно с началом радиального роста. Об этом свидетельствуют фактальные размеры клеток пробуждаемого камбия: самые широкие клетки по своим размерам соответствуют целлюлозным клеткам. Остальные, более мелкие камбиальные клетки до начала сезона должны вырасти.

Созревание клеток весной у разных видов древесной клетчатки может начинаться с клеток луба и древесины. Между началом созревания клеток флоэмы и началом созревания клеток ксилемы может проходить относительно продолжительное время, иногда более месяца. Созревание клеток нередко начинается до начала аддитивных делений. Следовательно, в покоящемся камбии клетки могут находиться в разных стадиях своего развития. Они могут продолжать развитие после периода покоя.

Аддитивные деления обычно завершаются раньше окончания процесса созревания клеток. По-видимому, более или менее одновременно с окончанием делений завершается и радиальный рост. После окончания делений не наблюдается увеличения радиальных размеров камбиальных клеток.

Переход клеток к морфологическим признакам, характерным для покоящихся камбия, происходит некоторым время после окончания процесса созревания клеток. При этом уменьшается

...иногда разрабатываются, разламываются только радиально
...тонки, центральная вакуоль делится на удлиненные, нерегу-
лярные вакуоли, которые позже превращаются в мелкие, глобу-
лярные вакуоли.

3.3. Продолжительность сезона камбиального роста

В большинстве случаев в практике исследований камбиального
роста употребляется понятие "продолжительность сезона камби-
альной активности". Оно лишено четкого содержания, так как
некоторыми авторами толкуется по-разному. В каждом отдельном
случае содержание этого понятия зависит от конкретных целей
исследования и примененной методики.

Цитологически чаще начало деятельности камбия определяют
по появлению митотических фигур, а окончание - по их исчезно-
ванию. Начало и окончание камбиального деления также можно
определить, посчитав количество клеток в радиальных рядах клеток
и последовательно взятых образцах.

Кроме начала и окончания деления клеток, для отсчета про-
должительности сезона камбиальной активности используют момент
начала и завершения радиального роста или набухание клеток
весной и сморщивание оседей. В некоторых случаях фиксируется
момент начала созревания клеток весной и окончание этого про-
цесса осенью, в том числе начало и завершение процесса вторич-
ного утолщения клеточных оболочек.

Таким образом, при помощи цитологического метода разными
авторами определяется продолжительность сезона различных про-
цессов камбиального роста. Наиболее четкая цитологическая
картина наблюдается при определении момента начала и окончания
камбиального деления. Точность определения этих моментов не
одинакова весной и осенью. Выявление начала деления клеток
весной не представляет особых трудностей. Количество клеток в
радиальном ряду кольца сезона весной небольшое. Оно относитель-
но мало варьирует по окружности одного и того же ствола.

Напротив, выявление точной даты завершения камбиального деления -
начало весьма сложная, и точность ее определения не велика.

Нередко продолжительность сезона камбиальной активности
определяют по отделению коры от древесины. По легкому отделению
коры от древесины весной определяют начало сезона, а по времени,

когда кора перестает отставать от древесины, — окончание сезона камбиальной активности. Многократно наблюдалось, что время легкого отделения коры начинается за несколько недель до начала деления камбиальных клеток, когда происходит массовое набухание клеток. Такое явление вполне объяснимо. Увеличение радиальных размеров клеток при набухании камбия сопровождается снижением механической прочности радиальных стенок, так что достаточно приложить небольшие усилия, чтобы вызвать разрыв стенок. Кора легко отделяется и позднее, во время деления клеток и дифференцировки тканей. Но в это время разрыв идет главным образом по клеткам, которые достигли своих максимальных размеров, но не образовали еще вторичную оболочку.

Итак, легкое отделение коры может быть результатом либо определенной степени набухания камбиальных клеток, либо радиального роста клеток. У разных видов деревьев отделение коры начинается и завершается, по-видимому, в различные моменты камбиальной деятельности. При использовании этого приема большой вес имеет также и субъективное представление исследователя о "легкости отделения коры". Очевидно, что этот прием весьма неточен и может быть использован только для приблизительного определения состояния камбиальных клеток, но для точного выявления момента начала или завершения камбиального роста он неприменим.

Иногда продолжительность сезона камбиальной активности определяется по результатам внешнего обмера ствола дерева. Результаты внешних обмеров диаметра деревьев в высокой степени зависят от гидротермического режима растений и не являются адекватными для определения продолжительности камбиального роста.

Ранее отмечалось, что отдельные процессы камбиального роста: деление клеток, радиальный рост, утолщение клеточных оболочек — начинаются весной и завершаются осенью неодновременно. При этом между началом (или завершением) отдельных процессов роста может быть значительный интервал во времени. Кроме того, предполагается, что последовательность начала (или завершения) процессов роста может отличаться у разных видов древесных растений. Исходя из этого весной необходимо различать момент начала набухания камбия радиального роста,

начала деления камбиальных клеток, радиального роста и начало вторичного утолщения клеточек. Соответствующие моменты окончания камбиальной деятельности следует различать осенью.

Вместо термина "сезон камбиальной активности" следует пользоваться терминами, которые более четко связаны с моментами начала и окончания определенных процессов камбиального роста. Определим эти термины следующим образом. "Сезон аддитивного деления клеток" — период между началом и завершением аддитивных делений. "Сезон радиального роста" — отрезок времени между началом и окончанием радиального роста. "Сезон роста аппозиций" — период между началом и завершением утолщения вторичных оболочек. "Сезон камбиального роста" — период, в течение которого имеет место любой процесс камбиального роста.

Продолжительность этих периодов с достаточной точностью можно определить только при помощи цитологических методов.

2.4. Начало деления клеток в разных частях дерева

Общепризнано, что камбиальное деление клеток у рассеянно-сосудистых двудольных деревьев начинается весной у апикальных почек и после этого волна первых делений распространяется базипетально: вниз по ветвям, потом — по стволу и, наконец, достигает корней. У взрослых рассеянно-сосудистых деревьев эта инициация камбиального деления может длиться даже более месяца.

По целому ряду данных, возобновление делений у хвойных деревьев происходит так же, как у рассеянно-сосудистых двудольных деревьев, начиная с основания почек, и потом распространяется базипетально. Единственно, у хвойных деревьев базипетальное перемещение волны делений идет гораздо быстрее. У большинства видов хвойных деревьев инициация камбиальных делений занимает небольшой промежуток времени, всего около недели.

Подобная последовательность реактивации камбиальных делений, однако, не означает, что самые первые деления в стволе происходят у основания терминальной почки. Дело в том, что деление клеток у основания апикальных почек разных ветвей происходит в разное время. Замечено, что у целого ряда видов первые деления происходят не в верхних, а в более низко рас-

подчиненных ветвях. Предполагается, что камбиальная деление в основном начинается с ветвей, которые имеют наибольший объем веса листвы. Потом деления начинаются в ветвях, расположенных ниже и затем, а в последнюю очередь — в терминальных ветвях.

Начало делений в разных участках ствола зависит от расстояния каждого отдельного участка от ветвей, от длины ветвей, от скорости перемещения волны реактивации камбиальных делений по ветвям и стволу и этой скорости в стволе. Начале ветви, в которых деление клеток начинается в первую очередь, более длинные, чем вышележащие. И скорость реактивации деления по длине нижних ветвей меньше, чем у вышеразвешенных. Поэтому начало камбиальных делений в стволе вполне может быть в верхних его частях. Однако возможны и другие варианты. Начало деления клеток в стволе сперва начинается под ветвями, которые имеют наибольшую ассимиляционную поверхность, и оттуда волна начала делений идет как вниз, так и вверх по стволу. Это перемещение начала делений вверх по стволу иллется результатом протекания реактивации делений в стволе у оснований ветвей.

По общепринятым представлениям, реактивация делений на много проще протекает у кольцесосудчатых деревьев. Начало деления начинается почти одновременно по всему растению. При изучении реактивации камбиальных делений в деревьях бука и дуба разных возрастов были сделаны такие выводы. Установлено, что в однолетних ветвях у дуба наблюдается типичная дифференциальная реактивация камбиальных делений, а в более старых ветвях и в стволе — одновременная. Оба типа реактивации были обнаружены и у рассеянно-сосудчатого вида — бука. Дифференциальная реактивация у обоих видов зависит от деятельности почек, а одновременная протекает и в случае удаления почек. Таким образом, время начала деления клеток в разных частях дерева зависит от вида, возраста особи, внешних условий и т.д. Поэтому у рассеянно-сосудчатых и хвойных деревьев практически невозможно найти какие-то правила для вычисления хода реактивации по дереву.

В большинстве случаев момент начала камбиальных делений оценивается по образцам, взятым со ствола на высоте 1,5 м от корневой шейки. Это самое удобное место для взятия образцов.

но, по-видимому, одно из самых неблагоприятных для жизни момента начала камбиальной деятельности. Данные, полученные около основания ствола, скорее соответствуют моменту окончания реактивации камбиальной деятельности и, следовательно, зависят как от момента начала этого процесса, так и его продолжительности. Длительность же процесса реактивации камбиальных деления подвержена всем перечисленным выше различным условиям реактивации.

Учеными часто обсуждается связь между распусканием почек и началом камбиального роста. У разных видов древесных растений различно время начала процесса реактивации камбия. Причин этому несколько. Во-первых, по-видимому, следует искать взаимосвязь между распусканием почек и началом одного, характерного процесса камбиального роста, а именно деления клеток. Поэтому не следует обращать внимания на данные, которые относятся к соотношениям между распусканием почек и временем начала легкого отставания коры, между распусканием почек и набуханием ствола и т.д. Во-вторых, рассмотрим результаты исследований, в которых связь между распусканием почек и началом деления определялась непосредственно у камбиальных почек. Для всех исследованных видов установлено, что начало деления клеток, которое происходит недалеко от почек, наблюдается за несколько дней или одновременно с раскрытием почек. Многие данные о различии во времени начала деления клеток у отдельных видов относятся к расстоянию к 1,0-метровой высоте ствола, т.е. они отражают различия между разными видами по началу камбиального деления именно на этом участке. Эти различия в основном подтверждаются хорошо документированными данными о различиях между видами по началу деления клеток в разных частях дерева. Так, у коллизусосудистых деревьев начало деления клеток на расстоянии 1,0 м от корневой шейки совпадает с распусканием почек или опережает его, а у рассеяно-сосудистых деревьев начало камбиальных делений обычно наблюдается тогда, когда почки цветут или полностью уже развиты.

Итак, если рассматривать раскрытие почек и начало деления клеток. Если от них, то просматривается непосредственная взаимосвязь. Если наблюдать за началом камбиальных делений далее от почек, то эта взаимосвязь у многих видов

теряется. Распускание почек может служить в качестве ориентира для определения начала периода реактивации камбиальных делений, а начало делений у основания ствола — для определения момента окончания процесса реактивации.

3.5. Окончание камбиального роста в разных частях дерева

Окончание процессов камбиального роста труднее поддается изучению и менее исследовано, чем начало. Бесспорно то, что в разных частях дерева камбиальный рост заканчивается в разное время. В большинстве случаев отмечено, что завершение процессов камбиального роста происходит в той же последовательности, в какой эти процессы начались весной: сперва камбиальный рост заканчивают малые ветви, потом следуют более крупные и далее окончание процессов роста идет в базипетальном направлении по стволу. Весь процесс завершения камбиального роста (от ветвей до корней) может длиться 8... 9 недель.

В отдельных случаях базипетальное направление завершения камбиального роста не наблюдается. Например, у подавленных деревьев рост у основания ствола обычно кончается раньше, чем у основания кроны. Базипетальная направленность нарушается при образовании ложных годичных колец древесины. Они при благоприятных условиях роста могут образоваться в ветвях, и потому ветви последними заканчивают камбиальный рост.

Поиски фенологических признаков, сопровождающих момент завершения камбиального роста, обычно не дают положительного исхода. По-видимому, должно быть учтено то, что завершение камбиального роста занимает определенный, довольно продолжительный промежуток времени. Не исключено, что начало процесса завершения камбиального роста у апексов ветвей связано с окончанием процесса роста ветвей в длину. Закономерность последовательности окончания камбиального роста еще недостаточно раскрыта.

3. ЗОНЫ СТАНОВЛЕНИЯ КЛЕТОК КСИЛЕМЫ И ЛОСЖИ

Рассмотренные ранее процессы роста: деление клеток, рост в поперечность и рост апикальный — по существу, характеризуют три фазы роста клеток растений: эмбриональную, растительную и дифференцировку, выделенные Вилдусом Саксом уже во второй половине XIX века.

Ввиду высокой степени векторизованности камбиального роста, клетки, которые проходят очередную стадию роста, расположены рядом в радиальном ряду родственных клеток. Они занимают определенный отрезок радиального ряда. Исходя из этого радиальные ряды клеток удобно разделить на зоны становления клеток ксилемы и флоэмы. Такие зоны выделялись как при исследовании морфологических особенностей развивающихся клеток вторичных проводящих тканей, так и при изучении самого процесса становления клеток этих тканей. Моделирование кинетики камбиального роста без четкого выделения этих зон вообще не представляется возможным.

Зонация и термины, применяемые в настоящей работе, представлены на рисунке (стр. 24).

1.1. Камбиальная зона

Камбиальная зона — отрезок радиального ряда клеток (или совокупность отрезков радиальных рядов) между флоэмой и ксилемой, в котором происходит аддитивное деление клеток.

Основное свойство камбиальной зоны — наличие делящихся клеток. Поэтому границы этой зоны определяют нередко по наличию митозов. Однако один только учет делящихся клеток может привести к слишком широкому раздвиганию границ этой зоны, так как поперечные деления в клетках паренхимы могут иметь место даже в взрослых клетках. Кроме того, митотические фигуры образуются также при формировании многоядерных клеток.

Другой способ определения границ камбиальной зоны возможен по радиальной ширине клеток. Клетки камбиальной зоны характеризуются небольшой радиальной шириной, они как бы сплюснуты в радиальном направлении. Это результат аддитивных делений, протекающих в камбиальной зоне. По завершении этих делений радиальная ширина клеток заметно возрастает.

С морфометрическими свойствами клеток камбиальной зоны тесно связаны и некоторые другие морфологические признаки, которые иногда используются при приблизительном определении ширины камбиальной зоны.

Клетки камбиальной зоны функционально неоднородны. По морфологическим признакам в ряду клеток камбиальной зоны можно различить клетки с формами прилежания начала диффе-

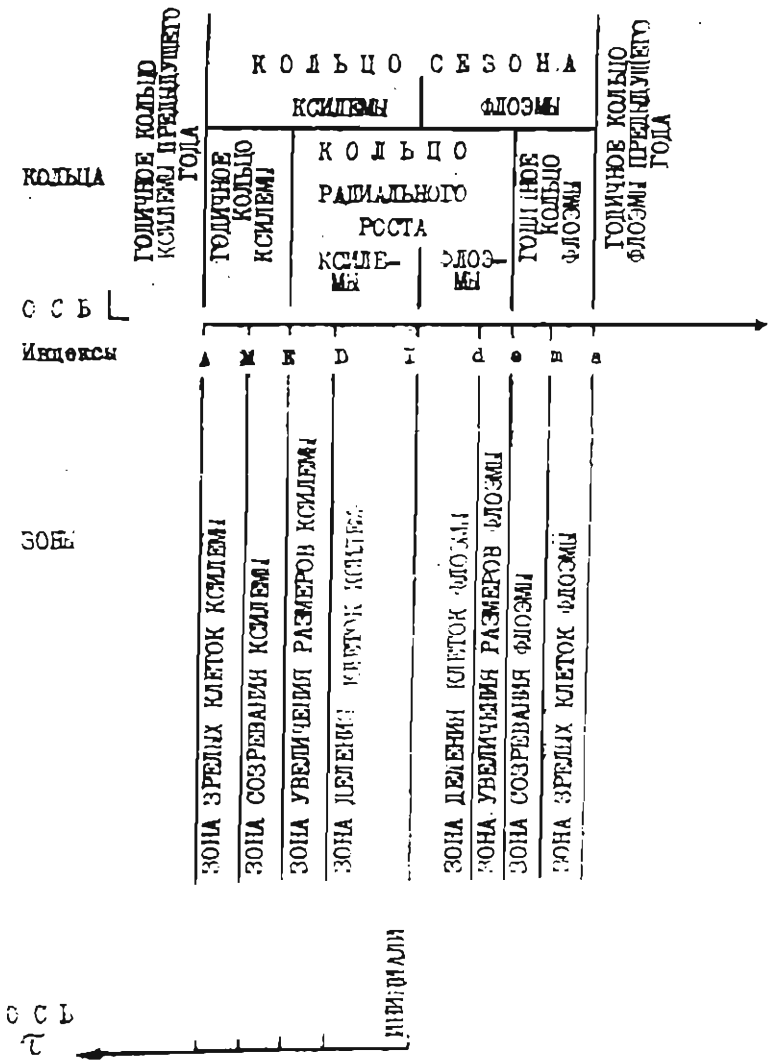


Рис. Схема числовой оси \uparrow и временной шкалы \rightarrow .
 Начало отсчета \uparrow в точке \uparrow , начало отсчета \rightarrow в точке \rightarrow .

рэншировки в элементы ксилемы или флоэмы, а в средней части - клетки, у которых отсутствуют какие-либо признаки дифференшировки. Исходя из этого различают в камбияльной зоне зону деления клеток ксилемы, кольцо инициалей и зону деления клеток флоэмы.

3.3. Кольцо инициалей

Инициалей или инициальные клетки - это клетки, которые являются по две сестринские клетки, одна из которых функционирует подобно своей предшественнице как инициаль, а другая дифференцируется в определенный специфический элемент ткани (17). Термином "кольцо инициалей" обозначают совокупность камбияльных инициалей на данном поперечном разрезе стебля.

На количество инициалей в каждом радиальном ряду клеток различают три точки зрения: 1) есть два слоя инициальных клеток - один инициаль имеет начало всем клеткам флоэмы, другой - началом ксилемы; 2) все клетки камбияльной зоны могут выполнять функции инициалей; 3) в каждом радиальном ряду существует одна единственная инициаль, а остальные клетки ряда - ее предшественники.

Определение о количестве инициалей основывается на микроскопических картинках и теоретических рассуждениях. При истолковании микроскопическом исследовании камбияльной зоны в каждом радиальном ряду клеток есть несколько морфологически не отличающихся "полюсных" клеток, не проявляющих никаких признаков дифференшировки. Особые морфологические признаки, характерные для единственной инициали, не удается обнаружить и в электронном микроскопе.

Идентификация единственной инициали в каждом радиальном ряду проводят с помощью методами однослойности инициалей в соответствии сдвигав по толщине тангентальных клеточных стенок или по наличию структурных признаков деления. Оба способа не дают надежных результатов. В частности, при применении этих подходов нередко получаются, что инициалей не образуют непрерывное сплошное кольцо по окружности стебля, то есть в смежных радиальных рядах инициалей могут располагаться на различном расстоянии от центра стебля.

Подобный вывод не совместим с симметричным ростом клеток в камбиальной зоне. При сопряженном росте клеток, не расположенные в смежных рядах рядом, должны расходиться, и рано или поздно часть из них должна попасть либо в развивающуюся ксилему, либо во флоэму. Признание симметричной связи между клетками, бесспорно, влечет за собой вывод о наличии одной единственной инициалы в каждом отдельном радиальном ряду клеток. Но в то же время инициалы должны образовывать сплошное кольцо. Более того, каждая инициала в результате радиального роста и аддитивных делений со временем даст производные, удаляющиеся в направлении ксилемы или флоэмы. С этой точки зрения правомерно признать существование "границы инициал", которая остается в камбиальной зоне и определяет направленность развития либо в сторону флоэмы, либо в сторону ксилемы. При таком рассмотрении инициалы следует считать клетку, которую пересекает эта граница.

Итак, в каждом радиальном ряду остается только одна инициала. Более того, по группировкам клеток, выделяемым по толщине тангентальных стенок, однозначно можно определить, какая именно клетка явилась инициалой для клеток, которые в данный момент уже развиваются в элементы ксилемы или флоэмы, т.е. определить инициалы ретроспективно. В момент деления образца эта инициала уже разрослась и разделилась на дочерние клетки.

Какая из дочерних клеток не потеряла функций инициалы? Именно на этот вопрос морфологические исследования клеток камбиальной зоны четкого ответа не дают. Более возможно, что они не смогут дать. Ведь неизвестно, когда и в зависимости от чего дочерние клетки инициалы переходят в др. сгруппированные в клетки флоэмы или ксилемы. Не исключено, что в какой-то момент после своего возникновения от дочерних клеток одной инициалы отделяются даже четыре дочерние клетки после повторного деления и остаются потенциальными инициалами. В таком случае, когда инициалы образуют единственную инициалу для каждого радиального ряда, можно говорить о многократности камбиальной инициалы, а не о нескольких инициалах. Месторасположение границы инициалы можно лишь прогнозировать при помощи вероятностно-статистических методов исходя из данных о клетках и их развитии.

3.3. Камбий

Термин "камбий" уже более 100 лет употребляется в двух различных интерпретациях. В узком смысле камбий представляет собой совокупность инициальных клеток латеральной меристемы, которая производит клетки вторичных васкулярных тканей. При этом имеется в виду совокупность единственных инициалей какого-либо радиального ряда. В другом, более широком смысле камбий состоит из инициалей и их меристематических производных. Вопрос о двойственности понятия "камбий" в научной литературе обсуждался неоднократно и, как правило, выводился за рамки глубоко конвенционального мира, так как принадлежность к той или иной школе употребления термина обычно сопряжена с определенной точкой зрения об организации камбиального роста. Эти спорные вопросы рассмотрены в двух предыдущих разделах. Для термина "камбий", таким образом, остался лишь конвенциональный аспект вопроса.

Об организации камбиальный рост весьма сходен с ростом, который протекает в апикальных меристемах. Для них понятия "инициалы" и "меристема" всегда четко размежевались. Камбий — латеральная меристема. Относительно этой формулировки термина разногласий нет. Меристема — популяция постоянно обновляющихся клеток, подавляющее большинство которых находится в состоянии активной пролиферации. Устойчивость этой популяции в основном обеспечивается ее гетерогенностью.

Если в таком понимании термин "меристема" относится к зоне как инициалы, так и их непосредственные производные. Если понятие "меристема" употребляется в широком смысле и включает инициалы и все пролиферирующие их производные. Рекомендуют употребить термин "меристема" в широком смысле и, следовательно, понятие "камбий" — в качестве синонима понятия "камбиальная зона".

3.4. Зона увеличения размеров клеток

Зона увеличения размеров клеток исходит от латеральной меристемы радиального ряда клеток, в котором имеют место рост клеток в трехмерном, но идентичном радиальном направлении. Сущность понятия этой зоны соответствует вторичной латеральной камбиальной зоне. В отличие от латеральной зоны радиального ряда, в которой

клеткам проходит там, где прекращается рост клеточных оболочек в поверхность.

Проблемы, связанные с практической идентификацией границы между камбиальной зоной и зоной увеличения размеров клеток ксилемы, рассмотрены в разделе 3.1. Границу между зоной увеличения размеров клеток ксилемы и зоной созревания клеток обычно выделяют по прекращению увеличения радиальной ширины клеток и началу увеличения толщины клеточных стенок. Для тех типов клеток, стенки которых при созревании лигнифицируются, иногда граница выделяется по началу лигнификации.

Увеличение размеров клеток после окончания анатомических изменений происходит и при образовании клеток в сторону лавины. Таким образом, с внешней стороны камбиальной зоны находится зона увеличения размеров клеток (лава). Структурная граница этой зоны — задача неясная, так как ширина этой зоны очень мала. В зону увеличения размеров клеток лавины, как правило, входят из более 1-3 клеток радиального ряда.

3.3. Зона созревания клеток

Участок радиального ряда клеток, в котором клетки заканчивают рост в поверхность и заканчивают свое развитие перед выполнением основных функций, называется зоной созревания клеток. Различные типы клеток сильно различаются по характеру своего окончательного созревания. У клеток лавины паренхимы, например, зона созревания вообще отсутствует, так как эти клетки выполняют функции, по-видимому, уже находясь в камбиальной зоне.

Из разных проявлений процесса созревания вытекают в первую очередь два явления: только процесс роста аппозицией после окончания роста растяжением.

У клеток, у которых выполнение их функций связано с полтерей протопласта, например трахеид, внутреннюю границу зоны созревания клеток обычно выделяют по началу или протопласта. Выявление протопласта обычным светомикроскопическим методом затрудняется тем, что паренхимативный слой клеточной оболочки в радиальном направлении очень тонкий. Более тонкие радиальные срезы можно получить с помощью световой техники.

3.3. Кольцо радиального роста и годичные кольца

Рассматриваемые процессы камбиального роста: деление клеток, рост в поперечность и аппозиционный рост — взаимно перекрываются. В камбиальной зоне проходят все три процесса, в зоне увеличения размеров клеток — рост в поперечность и аппозиционный рост, а в зоне созревания клеток — только рост аппозицией.

Отдельные процессы камбиального роста различаются между собой по значимости в органогенезе и цитогенезе. Процессом деления клеток и роста аппозицией определяется специфичность размеров и толщины стенок разных типов клеток камбия и флоэмы. Соответственно специфична и величина участков радиальных рядов клеток там, где эти процессы наиболее характерны.

Процесс роста в поперечность также обусловлен специфичностью специфичной формы разных типов клеток. Через аннизотропное интрузивное деление происходит формирование клеток радиальной линии, а специфичная в поперечном сечении форма сосудов образуется в результате тангентального интрузивного роста. Радиальный рост, ввиду симметричности его структуры, протекает несвойственно для различных типов клеток. Он не имеет форму звезд и величину прироста по диаметру.

Таким образом, рост в поперечность и радиальное интрузивное деление — основное проявление органогенеза в створе. В отличие от участка, где протекает симметричные для разных типов клеток процессы роста, область радиального роста имеет более ровную, но значимые от отдельных радиальных рядов клеток структуру. Область радиального роста створе имеет форму кольца радиального роста.

Полнота радиального роста обеспечивается процессом, который детерминирован на организменном уровне. На границе роста при этом, видимо, удобно принять границу между тем, что делит кольцо радиального роста на кольцо радиального роста концы и кольцо радиального роста — концы. Полнота роста границы интрузивного деления обеспечивается кольцом интрузивного деления.

Зеркала или типы в клетке — результат радиального интрузивного роста. Типичное кольцо образует ствол створе прироста и интрузивное деление. Кольцо "родительское" также образует

употребляют в статическом смысле для обозначения полноты образованной структурной единицы вторичных тканей с определенными размерами клеток и определенной шириной кольца. При изучении кинетики камбиального роста необходимо проследить за процессом становления годичного кольца во время его образования. В исследованиях кинетики становления годичных колец обычно рассматриваемым термином охватывают совокупность клеток текущего года, заключивших рост в поверхность. Следует придерживаться данного определения годичного кольца текущего сезона.

Следовательно, годичное кольцо граничит с кольцом предыдущего сезона, а граница, обращенная к камбию, совпадает с границей кольца радиального роста. Таким образом, в годичное кольцо данного сезона входят зоны созревания клеток и зрелых клеток.

Термином "кольцо сезона" обозначается совокупность всех зон становления клеток и флоэмы в момент взятия образца.

При зонировки кольца сезона исходил: исключительно из последовательности и места протекания деления клеток, роста в поверхность и роста аппозицией. При этом "зонами" обозначают участки радиальных рядов клеток или их совокупности в поперечном сечении стебля. Границы этих участков определяют переходы из совокупностей вторичных. "Кольца" обозначаются различные области вторичных.

4. ВОЗРАСТ КИНЕТИКИ КАМБИАЛЬНОГО РОСТА И ЕГО НОРМАЛИЗАЦИЯ

4.1. Характеристика места и времени протекания процесса камбиального роста

Процесс камбиального роста исходя из их организации можно проследить по длине радиальных рядов клеток. Для описания положения любой точки в радиальном ряду клеток, сезона вводим следующие обозначения. Начало отсчета — граница радиального ряда клеток в текущем году — граница предыдущего сезона роста. Для поперечного сечения радиального ряда клеток, по номеру n —

сторону внешней поверхности органа.

Пусть j — произвольно выбранная точка в радиальном ряду клеток. Ее место однозначно определит единственная координата L_j . Для обозначения произвольно выбранных точек употребим, кроме индекса j , индексы k и x . Для обозначения координат границ зон становления клеток будем пользоваться следующими индексами при символе L : A — для границы между годичным кольцом ксилемы предыдущего сезона и кольцом сезона (a — для соответствующей границы со стороны флоэмы), B — для границы между зоной зрелых клеток ксилемы и зоной созревания клеток (соответственно, со стороны флоэмы — b), E — между годичным кольцом ксилемы и кольцом радиального роста, e — между годичным кольцом флоэмы и кольцом радиального роста, F — для границы между камбиальной зоной и зоной деления размеров клеток в сторону ксилемы (f — в сторону флоэмы), G — для границы ксилалей.

Расстояние между произвольно выбранными точками j и k в ряду клеток, т.е. длину отрезка кольца сезона, ограниченного точками j и k , обозначим L_{jk} , где

$$L_{jk} = |L_j - L_k|$$

Для обозначения ширины зон становления клеток будем пользоваться индексами границ зон. Так, например, ширину зоны деления клеток обозначим L_{B-A} , ширину годичного кольца ксилемы — L_{E-A} , ширину участка, в котором происходят ростовые процессы в сторону ксилемы (т.е. сумму ширины зоны деления клеток, зоны увеличения размеров и зоны созревания клеток) — L_{E-B} , ширину кольца радиального роста — L_{E-e} и т.д.

Протяжение процессов камбиального роста необходимо контролировать во времени. Любой момент времени обозначим символом T , а промежуток времени — ΔT . Для обозначения определенных периодов ростовых процессов введем следующую систему двойной индексации. Индексом R обозначим радиальное положение, индексом I — радиальное деление клеток, индексом J — клеточные деления клеток. Парой индексов R, I обозначим деление R путем отсчета деловой индекса, который принадлежит определенному моменту в ряду от платявости оси. Парой индексов J, I , обозначим момент начала радиаль-

ного роста, $t_{0,2}$ — момент, когда прошла половина времени без продолжительности сезона деления клеток, $t_{0,1}$ — момент окончания процесса увеличения толщины клеточных стенок в данном образце. При описанной системе обозначений продолжительность сезона деления клеток будет иметь вид $(t_{0,1}, t_{1,1})$, продолжительность сезона радиального роста — $(t_{0,2}, t_{1,2})$, а продолжительность сезона увеличения толщины клеточных оболочек — $(t_{0,1}, t_{1,1})$.

При временной характеристике процесса роста без выделения типа роста будет обозначена буква индексом. Так, t_0 обозначает момент начала максимального роста, а (t_0, t_1) — продолжительность сезона максимального роста. Для обозначения периода покоя будем пользоваться знаком "-". Так, например,

t_0^- — обозначает любой момент периода покоя, $t_{0,2}^-$ — момент, когда прошла половина продолжительности роста периода покоя и т. д.

В случае временной характеристики показателей диаметра максимального роста символы t и dt будут употребляться в круглых скобках при соответствующем символе. Например, $L_j(t)$ обозначает положение точки j в момент времени t , $L_{ер}(t_{0,1})$ — радиус зоны увеличения размеров клеток колыбели в начале сезона деления клеток, а $L_{ер}(t_{0,1}, t_{1,1})$ — среднюю за сезон деления ширину этой зоны и т. д.

Для характеристики протекания процессов роста отдельных клеток обозначим радиальную ширину любой клетки символом l , причем $l = |L_j - L_k|$, где L_j и L_k — места расположения сегментальных стенок клетки.

Для указания места отдельной клетки в радиальном ряду будем пользоваться цифровым индексом, который обозначит порядковый номер клетке (сочет клеток ведется от границы L_k). То есть клетка, расположенная непосредственно у границы с предыдущим годичным кольцом колыбели, будет обозначаться l_1 и т. д. Для общего обозначения порядкового номера клеток будет служить индекс n .

Для описания динамики роста отдельных клеток во времени используем временную шкалу T (см. рис.) с началом отсчета t_0 в момент возникновения данной клетки от диаметра d и длиной

отсчета (τ_0 или τ_0^*) в момент завершения процесса утолщения клеточной оболочки. Согласно этой шкале продолжительность процесса деления клеток в сторону ксилемы в момент t будет обозначаться $\tau_{0,0}(t)$ а в сторону флоэмы - $\tau_{0,d}(t)$ продолжительность радиального роста клеток в сторону ксилемы - $\tau_{0,к}(t)$ и т.д. В свою очередь, $l_n(\tau_0)$ обозначает момент времени, когда n -ая клетка заканчивает свой процесс деления, $l_n(\tau_0, \tau_0^*)$ - продолжительность нахождения n -ой клетки в зоне увеличения размеров клеток ксилемы.

2.2. Показатели радиального роста

Определим скорость радиального роста участка $L_{1,к}$ в момент времени t (мм/сут) по скорости взаимного удаления точек 0 и $к$:

$$V_{1,к}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L_{1,к}}{\Delta t} = \frac{dL_{1,к}}{dt}$$

где $1,к$.

Согласно определениям зон становления клеток, радиальный рост имеет место только в кольце радиального роста, поэтому $V_{0,к}(t) \geq 0$, а $V_{0,0} = V_{0,d} = 0$. В пределах кольца радиального роста его скорость представляет собой неотрицательную функцию от $L_{1,к}$, где $L_{1,к} > L_0$.

Для характеристики радиального роста в любой точке $к$ по оси $L_{1,к}$ введем понятие относительной скорости радиального роста в момент t , мм/мм в сутки:

$$\Phi_k(t) = \frac{dV_{1,к}(t)}{dL_{1,к}(t)} \quad (3)$$

Заметим, что при $L_{1,к} = L_0$ и $L_{1,к} > L_0$, при $L_0 < L_{1,к} < L_0$ $\Phi_k(t) > 0$.

Согласно формулам (3) и (1)

$$V_{1,к}(t) = \int_{L_0}^{L_{1,к}} \Phi_k(t) \cdot dL_{1,к} \quad (4)$$

Таким образом, скорость радиального роста зависит от длины отрезка $L_{1,к}$ относительной скорости радиального роста по длине этого отрезка.

2.3. Скорости изменения ширины зон становления клеток

Ширина зон становления клеток не постоянна, она в процессе роста меняется. Изменение ширины зон становления во

времени будем характеризовать скоростью его роста:

$$W_{j,k}(t) = \frac{dL_{j,k}(t)}{dt}, \quad (2)$$

где $\{j,k\} = \{A, M, E, D, I, \alpha, \epsilon, \gamma \text{ или } a\}$.

Исходя из определения зон становления клеток ширина слоя-линьета из них в процессе роста может как увеличиваться, так и уменьшаться. Исключения составляют лишь годичные кольца древесины, дуба и кольцо сезона.

Для них соответственно $W_{A,E} \gg 0$, $W_{M,D} \gg 0$, $W_{I,\alpha} \gg 0$. Поэтому будем употреблять понятия "скорость увеличения ширины радиального кольца древесины" (или дуба) и "скорость увеличения ширины кольца сезона".

Исходя из формулы (2) конечная ширина годичного кольца сосны определяется так:

$$L_{A,E} = \int_{t_0}^{t_1} W_{A,E}(t) dt,$$

где $L_{A,E}$ - конечная ширина годичного кольца сосны,

$W_{A,E}(t)$ - скорость увеличения годичного кольца сосны в момент t ,

t_0 - момент начала сезона максимального роста,

t_1 - момент окончания сезона максимального роста.

Замена в уравнении (2) t_0 любым моментом t_0' сезона максимального роста ($t_0' < t_0 < t_1$), получаем ширину годичного кольца сосны в момент времени $t_0' = L_{A,E}(t_0')$.

На основе определения скорости радиального роста (2) и ширины кольца радиального роста сосны (см. рис.) конечную ширину годичного кольца сосны можно связать также следующим уравнением:

$$L_{A,E} = L_{A,E}(t_0') + \int_{t_0'}^{t_1} W_{A,E}(t) dt,$$

где $L_{A,E}(t_0')$, $W_{A,E}(t)$ - ширина кольца радиального роста сосны, соответственно, в начале и конце сезона максимального роста.

$W_{A,E}(t_0')$ - скорость радиального роста в начале сезона, в момент времени t_0' .

Поэтому в уравнении (10) за любым моментом t сезона максимального роста ($t_0 < t < t_1$) получаем ширину годичного кольца в момент времени $t_1 - t$ (рис. 1). Следовательно, ширина годичного кольца зависит от продолжительности и скорости радиального роста, а также характера изменения ширины кольца радиального роста кольцами.

3. Показатели кинетики аддитивного деления клеток

Определим скорость образования клеток на участке l в момент времени t по уравнению:

$$v_{\text{ад}}(t) = \frac{dN_{\text{ад}}(t)}{dt} \quad (11)$$

где $N_{\text{ад}}(t)$ — количество клеток в отрезке l радиального ряда клеток.

Предположим, что в зоне остановки: $R_{\text{ад}} = R_{\text{ад}} = 0$ и $R_{\text{ад}} > 0$.

Для характеристики процесса деления клеток в любой точке l радиального ряда введем понятие относительной скорости образования клеток в точке l в момент времени t :

$$v_{\text{ад}}(t) = \frac{dR_{\text{ад}}(t)}{dN_{\text{ад}}(t)} \quad (12)$$

Величину $v_{\text{ад}}(t)$ можно определить исходя из продолжительности митотического цикла T — отрезка времени между двумя последовательными делениями клеток и пролиферативного пула P — доли клеток, находящихся в митотическом цикле.

$$v_{\text{ад}}(t) = \frac{dR_{\text{ад}}(t)}{dN_{\text{ад}}(t)} \quad (13)$$

Величину $v_{\text{ад}}(t)$ можно определить исходя из продолжительности митотического цикла T — отрезка времени между двумя последовательными делениями клеток и пролиферативного пула P — доли клеток, находящихся в митотическом цикле.

$$v_{\text{ад}}(t) = \frac{dR_{\text{ад}}(t)}{dN_{\text{ад}}(t)} \quad (14)$$

Величину $v_{\text{ад}}(t)$ можно определить исходя из продолжительности митотического цикла T — отрезка времени между двумя последовательными делениями клеток и пролиферативного пула P — доли клеток, находящихся в митотическом цикле.

согласно формуле (11), в свою очередь, прямо пропорционален пролиферативному пулу и обратно пропорционален продолжительности митотического цикла.

4.5. Радиальная ширина клеток во время их роста растяжением

Исходя из формул (3) и (4) можно проследить за перемещением любой точки j вдоль оси L . В пределах радиального кольца ксидемы месторасположение точки j со временем не меняется, величина L_j постоянна. На всех остальных участках при наличии радиального роста со временем происходит увеличение L_j . Изменение положения точки j во времени характеризуется уравнение:

$$L_j(t_2, t_2 + \Delta t) = L_j(t_2) + \int_{t_2}^{t_2 + \Delta t} \int_{L_j(t)}^{L_j(t')} \Phi_j(t) \cdot S_L(t) \cdot dt =$$

$$= L_j(t_2) + \int_{t_2}^{t_2 + \Delta t} \int_{L_j(t)}^{L_j(t')} \Phi_j(t) \cdot S_L(t) \cdot dt, \quad (12)$$

где t_2 — момент времени, когда начинаем следить за точкой

$$j: L_E(t) < L_j(t).$$

$t_2 + \Delta t$ — любой момент времени, в течение которого

$$L_E(t_2 + \Delta t) < L_j(t_2 + \Delta t).$$

Пусть K — другая точка на оси L . Вне кольца радиального роста эти точки находятся на постоянном расстоянии друг от друга. В пределах кольца радиального роста расстояние между этими точками по формуле (13) равно:

$$L_{j,K}(t_2 + \Delta t) = L_{j,K}(t_2) + \int_{t_2}^{t_2 + \Delta t} \int_{L_j(t)}^{L_K(t')} \Phi_j(t) \cdot S_L(t) \cdot dt,$$

где $j \neq K$.

Поскольку радиальная ширина клеток формально есть расстояние между двумя точками в радиальном радиусе клеток, расположенных радиально друг к другу, то при помощи формулы (14) нетрудно проследить за изменением радиальной ширины

любой клетке. Для более удобного сравнения размеров отдельных клеток кохламы будем пользоваться временной длиной τ . В таком случае радиальная ширина определенной клетки Q_0 в любой момент τ_2 во время ее нахождения в зоне увеличения размеров клеток определяется по формуле:

$$Q_0(\tau_2) = Q_0(\tau_0) \exp \int_{\tau_0}^{\tau_2} \Phi(\tau) d\tau \quad (15)$$

где $\tau_0 < \tau_0 < \tau_2$

$\Phi(\tau)$ — средняя относительная скорость радиального роста клеток в момент времени τ .

Поскольку радиальный рост клеток в зоне имеет экспоненциальный характер, его описывает экспоненциальная зависимость, которую за формулу (15):

$$Q_0(\tau_2) = Q_0(\tau_0) \exp \int_{\tau_0}^{\tau_2} \Phi(\tau) d\tau \quad (16)$$

где $\tau_0 < \tau_0 < \tau_2$.

Заменив в формуле (16) τ_0 моментом времени τ_1 , когда клетка закончила свой радиальный рост, получим конечную радиальную ширину клетки кохламы:

$$Q_0 = Q_0(\tau_0) \exp \int_{\tau_0}^{\tau_2} \Phi(\tau) d\tau \quad (17)$$

Таким образом, конечная радиальная ширина клетки зависит от ее радиальной ширины в момент выхода из камбиальной зоны продолжительности ее нахождения в зоне радиального роста $(\tau_2 - \tau_0)$ и относительной скорости радиального роста клетки в течение этого периода.

Для оценки продолжительности $\tau_2 - \tau_0$ вернемся к зависимости (16). Пусть τ_1 — средняя продолжительность жизни клетки. В этот момент по тем же причинам для размеров клеток вычислим по формуле:

$$Q_0(\tau_1) = Q_0(\tau_0) \exp \int_{\tau_0}^{\tau_1} \Phi(\tau) d\tau \quad (18)$$

Согласно формуле (7)

$$L_E(\tau_n) = L_E(\tau_0) + \int_{\tau_0}^{\tau_n} W_{A,E}(\tau) \cdot d\tau; \quad (19)$$

где $\tau_0 < \tau_n \leq \tau_E$.

В момент окончания радиального роста клетки L_n по формулам (18) и (19):

$$L_{E,j}(\tau_0) + \int_{\tau_0}^{\tau_n} \int_{L_E}^{L_j} \Phi_{E,j}(\tau) \cdot dL(\tau) \cdot d\tau - \int_{\tau_0}^{\tau_E} W_{A,E}(\tau) \cdot d\tau = 0. \quad (20)$$

Следует, продолжительность нахождения клетки в зоне увеличения размеров зависит от ее расстояния до границы L_E , относительной скорости радиального роста на участке $L_{E,j}$ и скорости увеличения ширины годичного кольца древесины.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ГРОДЗИНСКИЙ Д.М., ГУДКОВ И.Н. Гетерогенность маршевых - основа надежности высших растений // Физиология и биохимия культурных растений. - 1982. - Т.14. - к 2. - С. 107-116.
2. МБАБОВ В.Б. Длеточные основы роста растений. - М.: Наука, 1974. - 223 с.
3. ЧАЙБАХЯН М.И. и др. Термодинамика роста и развития высших растений. - М.: Наука, 1982. - 96 с.
4. ЭСАУ К. Анатомия растений. - М.: Мир, 1968. - 564 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
1. Клеточные основы камбиального роста	4
2. Периодичность камбиального роста	14
3. Зоны становления клеток ксилемы и флоэмы	22
1. Понятия кинетики камбиального роста и их формализация	30
Литература	38

Министерство высшего и среднего специального
образования Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники и экологии

ТЕМПОРАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИИ

Сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П. Стучки
Рига 1986

В. А. Балодис
Ин-т биологии АН ЛатвССР (Саласпилс)

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КАМБИАЛЬНОГО РОСТА У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Сезонный характер камбиального роста древесных растений в умеренных, бореальных и аридных регионах Земли давно и хорошо известен. Продолжительность же сезона камбиального роста и темпоральная структура скорости этого роста по сезону, а также зависимость этих показателей камбиальной активности от эндогенных и экзогенных факторов исследованию поддаются нелегко. Тем не менее такие данные необходимы для решения ряда теоретических и практических вопросов. Например, для выяснения влияния погодных условий на камбиальный рост [28; 41], для согласования ритмики роста подвоя и привоя [8], а также во многих других случаях.

Задача настоящего краткого обзора - критически оценить современное состояние методики изучения темпоральной структуры некоторых показателей камбиального роста.

Понятие "рост" четко определено: "Рост - необратимое увеличение размеров и массы тела, связанное с новообразованием элементов структуры организма" [29, с. 40]. С цитологической точки зрения камбиальный рост складывается из деления клеток, роста клеток в поверхность и роста аппозицией [3]. Мы рассмотрим только рост в поверхность и, ввиду высокой степени векторизованности этого роста [2], радиальный рост в поверхность. Из многочисленных показателей радиального роста [3] уделим внимание только продолжительности сезона радиального роста и скорости радиального роста.

2. Продолжительность периода активности сезона радиального роста

Продолжительность периода активности сезона радиального роста можно определить по моменту начала и моменту окончания деления клеток камбия. О наступлении этих моментов судят по наличию или отсутствию деления коры от древесины [9; 26], по наличию или отсутствию годового обмера стебля [8; 25; 49; 61], по наличию или отсутствию цитологического анализа кольца радиального роста [33; 47]. Этот метод весьма сложен по технике выполнения и не всегда дает удовлетворительные результаты. Выявление момента начала и момента окончания радиального роста осложняется тем, что деление клеток камбия и собственного камбиального роста идет параллельно с делением клеток и увеличением их радиальных размеров [33; 47], а обратный процесс имеет место только после завершения камбиальной активности [33; 47]. Поэтому только по изменению ширины кольца радиального роста судить о наступлении или завершении радиального роста нельзя.

Результаты наших исследований, проведенных на растениях *Picea abies* (L.) Karst., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Syringa vulgaris* L., показывают, что момент начала радиального роста наступает практически одновременно с началом деления клеток в камбиальной зоне, а окончание деления клеток соответствует моменту завершения радиального роста. Наличие или отсутствие делящихся клеток в камбиальной зоне цитологически точно определяемо [15; 54; 58]. Следовательно, продолжительность сезона радиального роста можно определить по наступлению моментов начала и окончания клеточных делений в камбиальной зоне.

Нередко продолжительность сезона "камбиальной активности" выявляют по легкости отделения коры от древесины - по легкому отставанию коры от древесины весной определяют начало, а по времени, когда кора перестает отста-

вать от древесины - завершение сезона. При использовании этого приема большой вес имеет субъективное представление каждого исследователя о "легкости отделения коры". То, что результаты, получаемые при использовании этой методики весьма неточны, подчеркивалось неоднократно [5; 56]. К тому же отделение коры невозможно связать с наличием определенного процесса камбиального роста. Многие исследователи сообщают, что время легкого отделения коры начинается за несколько недель до начала делений камбиальных клеток - тогда, когда происходит весеннее набухание клеток [17; 40; 56]. Это вполне понятно. Увеличение радиальных размеров клеток при набухании сопровождается снижением механической прочности радиальных стенок, так что оказывается достаточным приложить небольшие усилия, чтобы вызвать их разрыв. Кора легко отделяется и позже, во время деления клеток и дифференциации тканей. Но в это время разрыв клеток идет главным образом по клеткам, которые достигли своих максимальных размеров, но не образовали еще вторичной оболочки. У лиственницы, по-видимому, отделение коры начинается только после появления клеток, которые находятся в фазе растяжения, так как легкое отторжение коры наблюдается только после начала деления клеток [13; 14].

Итак, легкое отделение коры может быть результатом как определенной степени набухания камбиальных клеток, так и радиального роста клеток. У разных видов растений отделение коры может начинаться, а также завершаться, по-видимому, в различные моменты камбиальной деятельности. Рассматриваемый прием может быть использован для приблизительного определения состояния камбиальных клеток, но для выявления момента начала или завершения камбиального роста не годится.

Часто о радиальном росте деревьев судят по результатам последовательного измерения диаметра или окружности стволов или ветвей. Для наружного обмера растущих деревьев применяют различные инструменты, начиная от штангенциркулей [7; 25] и измерительных лент [48] и кончая современными

дендрометрами, способными регистрировать малейшие изменения диаметра дерева [41; 49; 52].

Преимущества и отрицательные стороны различных методов наружного обмера оценены в обзорных работах по их применению [20; 37]. Но, независимо от точности того или иного метода наружного обмера, все они имеют общий недостаток - при наружном обмере радиальный рост часто маскируется сильными колебаниями диаметра деревьев, которые вызваны изменениями условий увлажненности [5; 6; 21; 27]. Особенно наглядно эти колебания видны во время зимнего покоя деревьев, когда радиальный рост вообще отсутствует. При снижении температуры воздуха осенью наблюдается уменьшение диаметра стеблей самых различных видов деревьев [59]. Во многих случаях уменьшение диаметра превышает величину прироста, который имел место за весь предыдущий сезон роста. Так, у молодых деревьев березы средняя контракция стволов зимой составляла 56% от ширины последнего годичного кольца древесины [59]. С повышением температуры воздуха весной происходит и увеличение диаметра стволов деревьев. Набухание коры и ксилемы происходит задолго до распускания листьев и вызвано исключительно накоплением воды до начала камбиального роста [19]. Это особенно наглядно видно при сравнении данных по наружному обмеру и результатов микроскопического анализа. В результате такого сравнения начала роста 29 видов в Воронежском дендропарке было обнаружено, что увеличение диаметров стволов начинается примерно за месяц до начала камбиального роста [22].

Естественный вывод из этих данных - продолжительность сезона радиального роста нельзя определить по результатам наружного обмера деревьев.

2. Измерение скорости радиального роста

Скорость радиального роста в различные периоды сезона роста оценивают либо по результатам дендрометрических измерений, либо по результатам анализа периодически взятых цитологических образцов.

Тренд прироста диаметра деревьев, получаемый при дендрометрических измерениях, как правило, представляет собой сигмоиду [39;59], т.е. соответствует характеру радиального роста древесных растений по сезону роста. Однако параметры тренда диаметра дерева могут существенно отличаться от параметров истинного камбиального прироста. Этому несколько причин. Увеличение диаметра ствола по сезону роста происходит не только в результате камбиального роста, но и вследствие деятельности феллогена. Правда, доля перидермы, продуцируемой за сезон, мала по сравнению с долей проводящих тканей [31]. Однако деятельность феллогена по сезону неравномерна [31;57] и в определенные периоды сезона может существенно влиять на тренд прироста.

Еще более существенные отличия между дендрометрически измеряемым трендом и истинным трендом камбиального прироста могут вызвать продолжительные периоды засухи или дождей. Это убедительно показал уже Роммель [55]. Флюктуация же диаметра деревьев, которая имеет место при меняющихся гидротермических условиях, отражает в основном изменения оводненности стебля - при преобладании транспирации над поглощением воды происходит сжатие, а в противном случае - набухание всех частей стебля [10;20].

Соответствует ли колебаниям диаметра стебля в какой-то степени и изменения скорости радиального роста? Вполне возможно. Однако дендрометрически эти колебания выявить в принципе нет возможности, так как гидратационные колебания на несколько порядков превосходят возможные колебания скорости радиального роста. Можно лишь умозрительно предположить, что при дефиците влаги происходит замедление скорости радиального роста или даже его прекращение, но связывать величину возможных изменений скорости радиального роста с результатами дендрометрических измерений весьма рискованно. Проведение подобной линейной связи привело, например, к появлению термина "отрицательный рост" [26], термина, который с процессом роста не может иметь ничего общего. Впрочем, не исключено, что радиальный рост может

Иметь место даже в случае уменьшения диаметра деревьев в условиях дефицита влаги, так как растущие части деревьев могут получать воду за счет не растущих [11]. Известно, например, что при уменьшении размеров дерева в результате засухи одновременно может происходить апикальный рост побегов [62].

Итак, первоначальный оптимизм относительно возможности применения дендрометров как инструментов для измерения скорости радиального роста не оправдал себя [35].

При изучении камбиального роста цитологическим методом, через определенные промежутки времени берут образцы кольца радиального роста и прилегающих к нему тканей. Взятые образцы используются для приготовления цитологических препаратов, по которым прослеживается протекание процессов роста во времени. Обычно при применении цитологического метода на последовательно взятых образцах измеряют ширину кольца древесины текущего года. По результатам измерений вычисляют скорость увеличения ширины годичного кольца ксилемы по вегетационному периоду [12; 24; 28; 46]. При этом предполагается, что скорость увеличения ширины годичного кольца характеризует радиальный рост. На самом деле этот показатель отражает темпы выхода клеток из процесса радиального роста и может существенно отличаться от скорости радиального роста [3]. Чтобы определить скорость радиального роста, необходимо выявить динамику увеличения ширины кольца сезона, включающего, кроме текущих годичных колец ксилемы и флоэмы, расположенное между ними кольцо радиального роста.

По существующей методике технически сложно приготовить препараты, включающие "полные" радиальные ряды клеток кольца сезона. Дело в том, что кольцо сезона включает клетки, которые сильно отличаются по своему строению. Это, в частности, клетки годичного кольца ксилемы с лигнифицированными оболочками, клетки зоны увеличения размеров клеток с тонкими целлюлозными оболочками и т.д. По существу, для приготовления препаратов для каждого типа клеток на-

обходимы свои способы фиксации, заливки в среду для микрофотографирования и окраски [50]. И в самом деле, образцы, подготовленные по типовой методике обычно рвутся в зоне увеличения размеров клеток, и срезы становятся не пригодными для измерения ширины кольца сезона. Нами [4] разработана и апробирована методика приготовления препаратов для точного измерения ширины кольца сезона.

Хорошо известно, что камбиальный рост по окружности ствола может заметно варьировать [32; 45; 53]. Принято считать, что эта вариабельность устраняется, если образцы берутся от деревьев, которые имеют круглый ствол, симметричную крону и растут при выравненных экологических условиях. Наши данные [4] показывают, что перечисленные признаки далеко не всегда гарантируют отсутствие вариабельности камбиального роста по окружности ствола. Чтобы устранить подобную вариабельность, мы ввели дополнительный отбор образцовых деревьев исходя из принципа, что одинаковая динамика камбиального роста дает в результате сходную структуру древесины [2]. После окончания камбиального роста поздней осенью необходимо повторно собрать образцы от всех исследуемых деревьев по всей окружности ствола с повторением ранее проведенного хода взятия образцов. Анализ камбиального роста можно проводить только по образцовым деревьям, конечная структура годичного кольца древесины которых существенно не варьирует по окружности ствола и, следовательно, рост по окружности ствола протекает наиболее равномерно. При соблюдении этих предписаний цитологический метод периодически взятых образцов дает возможность выявить как параметры темпа скорости радиального роста, так и флюктуации этого показателя во время сезона радиального роста.

3. Вариабельность темпоральной структуры камбиального роста по телу растения

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что разные части древесного растения существенно отличаются по темпоральной структуре камбиального роста [23; 34; 35; 42; 43].

Недооценка этой варибельности нередко является причиной разногласий при сравнении и истолковании результатов исследований камбиального роста. В частности, различия по последовательной структуре роста между разными частями тела растения, не считая, конечно, являются причиной весьма пестрых результатов при наличии фенологических признаков начала радиального роста весной. Например, одни авторы доказывают, что камбиальный рост начинается одновременно с распусканием почек, другие — что эти два события отделяет довольно продолжительный промежуток времени [28; 44; 51].

Как распускание почек, так и инициация радиального роста представляют собой процессы, которые разворачиваются по телу растения в течение определенного промежутка времени, а не происходят моментально во всех частях дерева. Этот период времени может быть довольно продолжительным. Например, у взрослых рассеяннососудистых деревьев инициация радиального роста по телу растения может длиться даже более месяца [16; 30; 44].

Возобновление радиального роста весной начинается с основания почек и потом распространяется базипетально. То, что последовательность реактивации камбия идет в направлении от почек к основанию ствола, однако, не означает, что самые первые проявления камбиального роста в стволе имеют место у основания терминальной почки. Дело в том, что рост начинается у основания почек разных ветвей в различное время. Показано, что первые проявления камбиального роста имеют место не в верхних, а в более низко расположенных ветвях [34; 35; 61]. В результате инициация камбиального роста в разных участках ствола зависит от расположения и длины отдельных ветвей, возраста дерева и многих других факторов [35], т.е. представляет собой трудно моделируемый процесс. Связь между началом камбиального роста и распусканием почек обычно ищут для момента начала радиального роста на высоте ствола 1,3 м от корневой шейки [38; 44], т.е. под конец процесса, продолжительность которого трудно предсказать. Естественно, что разнородность результатов при таком

подходе неизбежна. Во всех случаях, когда связь между распусканием почек и началом камбиального роста устанавливалась для участков ветвей вблизи апикальных почек, она однозначна - камбиальный рост начинается практически одновременно с распусканием почек [17;44].

Темпоральная структура скорости радиального роста по телу древесного растения до сих пор не изучалась. Тем не менее ожидается, что она варьирует подобно другим показателям камбиального роста. Наличие вариабельности темпоральной структуры камбиального роста по телу дерева обязывает с осторожностью относиться к распространению на все дерево результатов изучения камбиального роста в одной точке растения. Прежде чем делать выводы относительно зависимости между темпоральной структурой камбиального роста и, например, погодными условиями за сезон камбиального роста, необходимо знать, как камбиальный рост протекает в различных частях дерева или, по крайней мере, выяснить, в каких частях древесного растения эта связь выявляется наиболее четко.

Практическое же исследование темпоральной структуры камбиального роста в разных частях дерева при помощи цитологического метода периодически взятых образцов крайне трудоемко и часто нереализуемо. По-видимому, следует искать адекватные, но практически реализуемые методы по выявлению темпоральной структуры камбиального роста. В этом отношении перспективны поиски по выявлению темпоральной структуры камбиального роста в структуре вторичных проводящих тканей [1].

Литература

1. Балодис В.А. // Изв. АН Латв.ССР, 1981, -12. -С.98-103.
2. Балодис В.А. // Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. - Рига, 1982. - С.96-104.
3. Балодис В.А. Кинетика камбиального роста древесных растений. - В печати.

4. Балодис В.А. К методике выявления сезонной динамики камбиального роста у древесных растений. - В печати.
5. Бюксен И. Строение и жизнь наших лесных деревьев.- М.-Л., 1961.
6. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания.-М., 1954.
7. Гронский И., Аболинь М. // Тр. Латв.СХА, 1981.- 183.- С.89-97.
8. Гронский И., Аболинь М.// Тр. Латв.СХА, 1981.- 183.- С.97-101.
9. Елагин И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов.- Новосибирск, 1976.
10. Козловский Т. Водный обмен растений.- М., 1969.
11. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений.- М., 1963.
12. Лашкевич В.И. Ботаника. Исследования.- Минск, 1970.- С.256-263.
13. Лебеденко Л.А. // Ленинградский Сборник научно-исследов. работ по лесному хозяйству.- М., 1969.- Вып.12.- С. 149-167.
14. Лебеденко Л.А.// Лесная генетика, селекция и семеноводство.- Петрозаводск, 1970.- С.47-55.
15. Лебеденко Л.А., Яценко-Хмелевский А.А. Камбий и его цитологические особенности.- Л., 1984.
16. Лобжанидзе Э.Д. Камбий и формирование годичных колец древесины.- Тбилиси, 1961.
17. Малехова Т.А. // Тр. Арханг. лесотехн. ин-та, 1949.-13.- С.179-192.
18. Миронов Б.А.// Взаимосвязи среды и лесной растительности на Урале.- Свердловск, 1981.- С.110-116.
19. Молчанов А.А.// Тр. Лабор. лесовед., 1961.- 3.- С.5-50.
20. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений.-М., 1967.
21. Нарышкин М.А.// Тр. Лабор. лесовед., 1961, 3.- С.93-114.

23. Овсянников В. П. // Научн. зап. Воронеж. ун-та. Сер. Биол. науки. - 1941. - 3. - С. 35-43.
24. Работин В. В. Фитогормоны и рост деревьев. - М.: Наука, 1977.
25. Сенкевич Н. Г. // Лесоведение, 1962, - 3, 5. - С. 50-58.
26. Смирнов В. В. // Тр. Лабор. лесовед., 1961. - 3. - С. 57-67.
27. Смирнов В. В. Сезонный рост главной и древесной пород. - М., 1964.
28. Смеляк Л. П. и др. Ботаника. Исследования. - Минск. - 1970. - С. 86-92.
29. Федорова А. И. Фитогормоны и рост дерева (на примере лиственницы). - Новосибирск, 1962.
30. Чайлакян М. Х. и др. Терминология роста и развития высших растений. - М., 1982.
31. Амос С. С., Kinnel I. J., Dadswell H. E. // Austr. J. Sci. Res. / Ser. B. / Biol. Sci. - 1950. - 3, 4. - P. 393-413.
32. Argee T., Weisel Y., Lipschitz H. // New Phytol. - 1970. - 69, 2. - P. 395-398.
33. Brett D. W. // Tree-Ring Bull. - 1978. - 38. - P. 35-44.
34. Gatesson A. M. // Dynamic aspects of plant ultrastructure. - London, 1974. - P. 358-390.
35. Denne H. P. // Can. J. For. Res. - 1979. - 9, 3. - P. 406-427.
36. Denne H. P., Dodd R. S. // Mitt. Bundesforsch. Forst- u. Holzwirt., 1980. - 131. - S. 7-30.
37. Ford E. D. // Stud. Forest. Suec. - 1981. - 160. - P. 19-29.
38. Fritts H. C. Tree rings and climate. - London, 1976.
39. Chouse A. K. M., Hashmi S. // Phytomorph. - 1979. - 29, 1. - P. 64-67.
40. Hari P., Siren G. // Royal Coll. For., Stockholm. Res. Notan. - 1972. - 40. - P. 22.
41. Huber B. // Forstwiss. Cbl. - 1948. - 67. - S. 129-164.
42. Kramer H., Katsch G. // Forstarchiv. - 1982. - 53, 3. - S. 87-93.
43. Lachaud S. // Can. J. Bot. - 1981. - 59, 12. - P. 2692-2697.
44. Lachaud S. et Bonnermain J. - L. // Can. J. Bot. - 1981. - 59, 7. - P. 1222-1230.

44. Ladefoged K. // Kgl.Danske Vidensk.Selsk.Biol.Ser.-
1952.-7,3.-S.1-98.
45. Lück H.B. e.a.// C.R.Ac.Sc.Paris,1970.-270.-P.1996-
1999.
46. Matovič A. // Drev.Vysk.-1981.-25,2-3.-P.25-46.
47. Murmanis E.// Ann.Bot.-1971.-35,139.- P.133-141.
48. Ola-Adams B.A.,Charter J.R.//Indian Forest.-1980.-
106,9.-P.604-608.
49. Rogers S.// Ann. Bot.- 1981.-47,5.-P.603-610.
50. Roland J.C.,Vian B.// Int.Rev.Cytol.-1979.-61.-P.129-
166.
51. Romberger J.A.// USDA,For.Scrv.,Tech.Bull.-1963.-
N 1293.
52. Schütte K.H.,Burger C.P. // J.S.Afr.Bot.-1981.-47,2.-
P.273-291.
53. Serre F. // Tree-Ring Bull.-1977.-37.-P.21-31.
54. Skene D.S.// Ann.Bot.-1972.-36,144.-P.179-187.
55. Tredelenburg R.,Mayer-Wegelin H. Das Holz als Roh-
stoff,- München,1955.
56. Waisel Y.,Fahn A.// Physiologia Pl.-1965.-18,1.-P.44-46.
57. Waisel Y. e.a.// New Phytol.-1967.-66.-P.331-335.
58. Wilson B.F.,Howard R.A.// Forest Sci.-1968.-14.-P.77-
90.
59. Winget C.H.,Kozlowski T.T./ J.Forestry,1964.-62,5.-
P.335-337.
60. Wodzinski T.J.e.a.// Acta Soc.Bot.Fol.-1932.-51,2.-
P.187-201.
61. Worrall J.// TAPPI,1970.-53,1.- P.53-63.
62. Young H.E.// J.Forestry,1952.-50,8.-P.614-615.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ЛАТВИЙСКАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

ОХРАНА И БИОЛОГИЯ
ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ
В ЛАТВИИ

ТРУДЫ ЛСХА
ВЫПУСК 242

ЛСХА
Ёлгава 1987

8. Исаков В. Н. Автоматический набор параметров при описании формы листьев древесных растений / Бот. сад АН Латв. ССР. - 1980. - 28 с. Деп. в ВИНТИ. 13.10.80. № 4353—80.
9. Исаков В. Н. Формализация описания листа древесных растений (*Acer L. Aceraceae Lindl.*). — Автореф. дис... канд. биол. наук, Киев, 1982. — 22 с.
10. Исаков В. Н., Висковатова Л. И., Лейшовник Я. Я. Исследование морфологии листа средствами автоматизации. — Рига: Зинатне, 1984. — 195 с.
11. Косицын А. В., Алексеева-Попова Н. В. Действие тяжелых металлов на растения и механизмы металлоустойчивости// Растения в экстремальных условиях минерального питания. — М.: Наука. 1983. С. 5—22.

В. А. Балодис
(Ин-т биологии АН ЛатвССР)

ВЫЯВЛЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ КАМБИАЛЬНОГО РОСТА У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Камбиальный рост древесных растений в значительной степени отражает их физиологическое состояние. Поэтому изучение этого процесса существенно для оценки степени повреждения рекреационных лесонасаждений и эффективности лесохозяйственных мероприятий в леспромхозах. Обычно эта оценка проводится по результатам всего сезона камбиального роста — по приросту древесины за год. Однако при этом не всегда удастся выявить причины изменения физиологического состояния деревьев. В таких случаях перспективно прослеживание сезонной динамики камбиального роста.

В настоящее время отсутствуют методы, которые позволили бы непосредственно и непрерывно следить за процессами камбиального роста. Применяют два опосредствованных метода: цитологический метод периодического взятия образцов и метод наружного обмера диаметра ствола.

Задача настоящей работы — оценить возможности применения этих методов для измерения скорости камбиального роста по вегетационному периоду.

Материал, методика и результаты. Определение скорости камбиального роста цитологическим методом проводили по образцам древесных растений семи видов. Объектами изучения служили ель обыкновенная, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, сирень обыкновенная, береза бородавчатая, липа сердцелистная и осина.

Для исследования динамики камбиального роста образцы брали от 20 модельных деревьев каждого вида. Образцы собирали один раз в неделю с конца апреля до начала ноября 1978

года и в течение 1981—1983 годов, а также во время периода покоя растений. Место произрастания модельных растений — Агатское лесничество Цесисского леспромхоза Латвийской ССР. При взятии образцов у сирени отрезали двухлетние ветки. У остальных исследованных видов образцы камбия и прилегающих к нему тканей получали при помощи приростного бурава Пресслера и методом высечек.

Согласно общепринятой методике [6] образцы брали по медленно восходящей спирали. Расстояние между местами взятия образцов в нашем исследовании — около 6 см. Для уменьшения эффекта ранения раны заполняли вазелином. Образцы фиксировали в растворе ФУС: 50%-й этанол, формалин, ледяная уксусная кислота — 18:1:1 (по объему). Продолжительность фиксации — трое суток. Фиксированные образцы трехкратно промывали и до дальнейшей обработки сохраняли в 70%-м этаноле.

При применении цитологического метода обычно на последовательно взятых образцах измеряют ширину кольца древесины текущего года. По результатам измерений получают скорость увеличения ширины годичного кольца ксилемы в течение вегетационного периода. Этот показатель, однако, отражает темпы выхода клеток из процесса радиального роста и может существенно отличаться от скорости радиального камбиального роста [4]. Чтобы определить скорость радиального роста, необходимо выявить динамику увеличения ширины кольца сезона роста, включающего, кроме текущих годичных колец ксилемы и флоэмы, расположенное между ними кольцо радиального роста.

По обычной цитологической методике технически сложно приготовить препараты, включающие «полные» радиальные ряды клеток кольца сезона, так как при микротомировании ткани часто рвутся в зоне увеличения размеров клеток и срезы становятся не пригодными для измерения. По существу, при изготовлении тонких препаратов для каждого типа клеток требуются свои способы фиксации, заливки в среду для микротомирования и окраски [14].

Для точного измерения радиального прироста нам пришлось изменить методику приготовления препаратов. Наиболее простым и надежным оказался следующий подход. Блоки с тканями, залитыми в парафин, при микротомировании ориентировали для получения поперечных срезов. Для измерения кольца сезона использовали часть объекта, которая осталась в парафине в новом блоке. Клетки, расположенные на поверхности блока, окрашивали несколькими каплями водного раствора акридинового оранжевого. Исследование и измерение проводили, ми-

кроскопируя в отраженном свете. Наиболее четкая картина кольца сезона была при использовании ультрафиолетовых лучей ($\lambda = 360-440$ нм; микроскоп — Люмам РЗ).

Для каждого образца измеряли ширину L кольца сезона, которая представляет собой расстояние между внешней границей годичного кольца флоэмы и внутренней границей годичного кольца ксилемы текущего сезона. Ширину кольца сезона каждого образца получали, усредняя результаты 20 измерений. Скорость радиального роста V в промежутке времени Δt между последовательным взятием образцов вычисляли как соотношение прироста ΔL ширины кольца сезона и Δt .

Принято считать, что у особей, которые произрастают в выравненных экзохорологических условиях и имеют круглый ствол и симметричную крону, прирост кольца сезона по всем направлениям окружности протекает одинаково. Однако это далеко не всегда так. Наглядная иллюстрация тому — результаты измерения ширины кольца сезона во время камбиального роста у одной и той же особи (рис. 1). Получен отрицательный тренд изменения ширины кольца сезона во времени, что объяснимо различной по окружности ствола скоростью роста.

Подобных примеров много. Поэтому необходим дополнительный критерий для отбора образцовых деревьев. Критерий разработали на основе принципа, что одинаковая динамика кам-

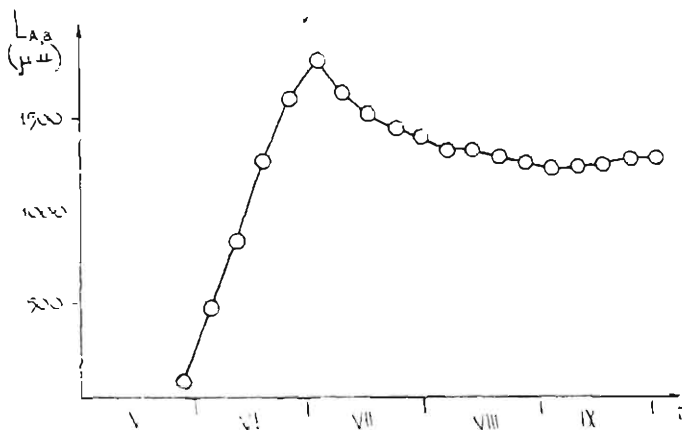


Рис. 1. Пример неадекватных результатов исследования увеличения ширины кольца сезона во время камбиального роста: t — время (месяцы). $L_{A,a}$ — ширина кольца сезона

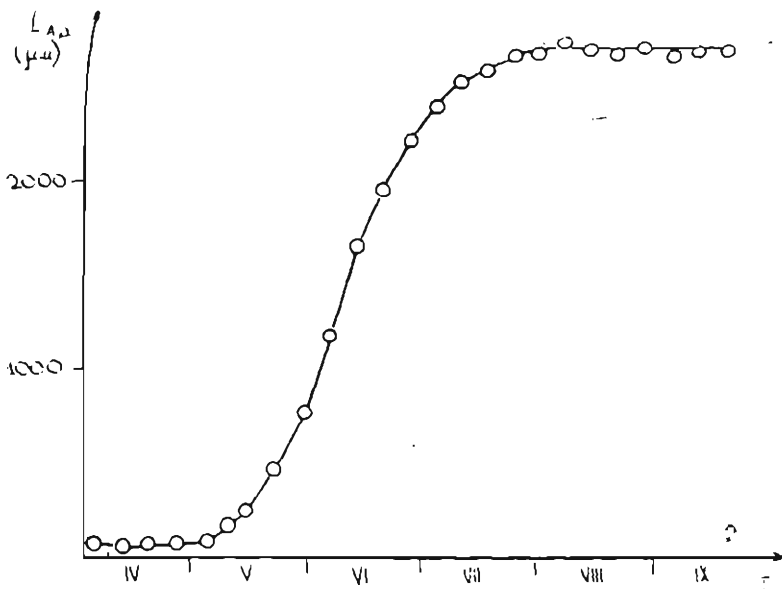


Рис. 2. Изменение кольца сезона ели обыкновенной в 1983 году. По оси абсцисс — время (месяцы), по оси ординат — ширина кольца сезона

биального роста в результате дает сходную структуру ксилемы [3]. После окончания камбиального роста поздней осенью повторно были собраны образцы. На них измеряли конечную ширину годичного кольца и радиальную ширину клеток. Анализ камбиального роста проводили только по образцовым деревьям, у которых конечная структура годичного кольца ксилемы одинакова для всех образцов.

Характерные результаты измерения ширины кольца сезона отражены на рисунке 2. Тренд величины L представляет собой сигмоиду, а отдельные деревья различаются по ее параметрам. Более наглядно эти различия выявляются при сравнении первой производной величины L по времени — скорости V радиального роста деревьев (рис. 3).

Скорость радиального роста у деревьев возрастает с начала сезона, достигает максимума к середине и после этого постепенно уменьшается к концу сезона. Отдельные деревья могут существенно различаться по абсолютным значениям скорости ра-

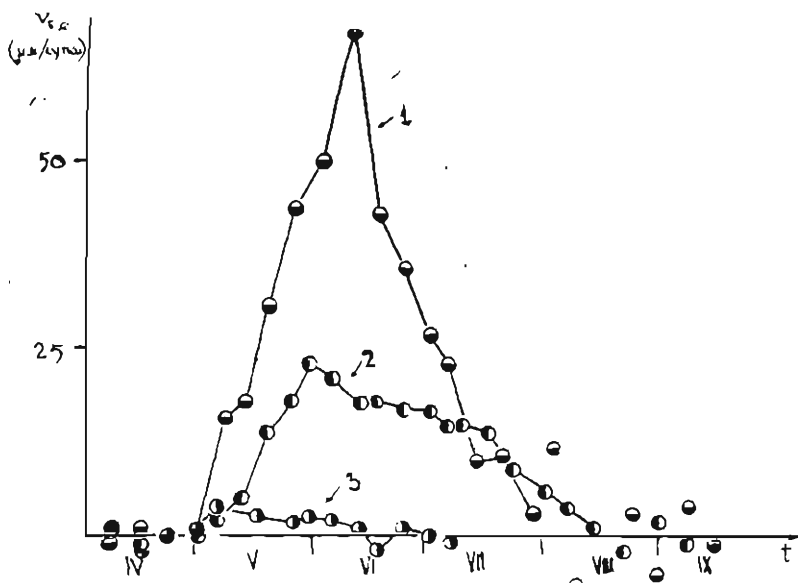


Рис. 3. Скорость радиального роста ели в 1983 году:

1 — дерево с конечной шириной кольца сезона 2723 мкм;
 2 — 1274 мкм; 3 — 149 мкм; t — время (месяцы).
 $V_{E.}$ — скорость радиального роста

диального роста — величина V у подавленных деревьев по всему сезону меньше, чем у сильных, доминирующих (см. рис. 3).

Тренд скорости камбиального роста в течение сезона описан при помощи скользящего полиномиального сглаживания по методу наименьших квадратов [1]. Лучшие результаты дает скользящее сглаживание по пяти точкам с применением полиномов третьей степени. Получаемые по этой методике остаточные данные — отклонения эмпирических величин V от выравненных (\hat{V}), характеризуют флюктуации скорости камбиального роста (рис. 4). В отдельных случаях флюктуации существенно отличаются от общего тренда и могут быть результатом резких колебаний погодных условий.

Таким образом, цитологический метод изучения последовательно взятых образцов дает возможность выявить как параметры тренда скорости камбиального роста, так и его флюктуации в течение сезона роста.

Обсуждение. Часто о радиальном росте деревьев судят по результатам последовательного измерения диаметра или ок-

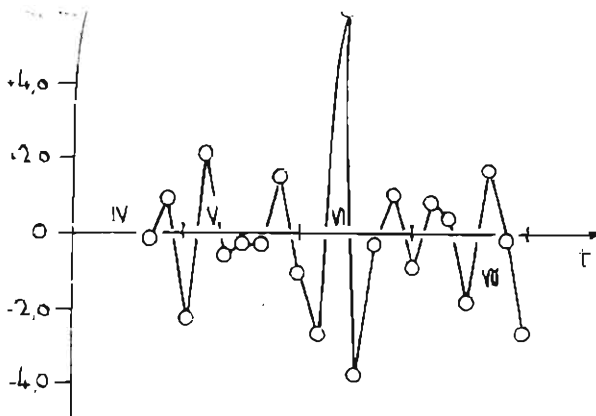


Рис. 4. Флюктуации скорости камбиального роста ели в 1983 году. По оси абсцисс — отклонения эмпирически определенной скорости радиального роста от выравненной (мкм/сутки)

ружности их стволов и ветвей. Для наружного обмера растущих деревьев применяют различные инструменты: от штангенциркулей и измерительных лент до современных дендрометров. Преимущества и недостатки различных методов наружного обмера оценены в обзорных работах [6; 12]. Но все эти приемы имеют общий недостаток — при наружном обмере величину радиального прироста нельзя выявить при колебаниях диаметра деревьев, которые происходят под воздействием гидрометеорологических условий [5; 7]. Особенно наглядны эти колебания во время зимнего покоя деревьев, когда радиальный рост вообще отсутствует. Во многих случаях колебания диаметра заметно превышают величину прироста, который имел место в течение всего вегетационного периода. Так, у молодых берез средняя контракция стволов зимой составляла 565% от ширины последнего годичного кольца древесины [15].

В течение сезона тренд изменения диаметра деревьев описывается S-образной кривой [11; 15]. Ее параметры могут в значительной степени различаться у разных видов, а также у географических рас одних и тех же видов [8]. Отмечены также различия параметров тренда на разных уровнях ствола каждого отдельного дерева [13].

При оптимальных погодных условиях общий тренд увеличения диаметра деревьев по сезону роста довольно точно описы-

вает радикальный камбиальный рост. Правда, увеличение диаметра происходит и в результате деятельности феллогена, но продуцируемая им перидерма обычно увеличивается в размерах незначительно по сравнению с васкулярными тканями [9].

При дефиците влаги и резких колебаниях температуры метод наружного обмера себя не оправдывает [10]. Следовательно, этот метод не пригоден именно при тех условиях, при которых изучение динамики камбиального роста особенно важно.

Как это показывают результаты нашего исследования, данные о тренде и флюктуациях скорости камбиального роста под влиянием меняющихся погодных условий могут быть получены при помощи цитологического метода. Но он требует больших затрат труда и времени. К тому же определение скорости камбиального роста возможно только для отдельных, строго отобранных образцовых деревьев. Поэтому применение этого метода целесообразно лишь для выявления общих закономерностей динамики камбиального роста. Существует связь между динамикой камбиального роста и клеточной структурой ксилемы и флоэмы [2]. Следовательно, важно точно выявить закономерности этой связи с тем, чтобы по структуре годовичных колец можно было судить о динамике камбиального роста.

Выводы и предложения

1. Цитологический метод периодического взятия образцов у древесных растений позволяет выявить тренд скорости камбиального роста по вегетационному периоду и оценить флюктуации этой скорости, вызванные меняющимися погодными условиями, если проводится строгий отбор образцовых деревьев.

2. Отбор образцовых деревьев может проводиться после окончания камбиального роста осенью по данным о клеточной структуре кольца сезона.

3. При применении цитологического метода обычно употребляемые способы подготовки препаратов малопригодны. Структуру кольца сезона роста можно изучать непосредственно в парафиновых блоках в отраженном свете, без приготовления тонких препаратов.

4. Применение цитологического метода перспективно для выявления зависимости структуры ксилемы от динамики камбиального роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. — М.: Мир, 1976. — 755 с.
2. Балодис В. А. Гистометрическая индикация сезонного роста древесины// Изв. АН Латв. ССР, 1981. № 12. С. 98—103.
3. Балодис В. А. Временная организация радиальной структуры древесины// Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. — Рига, 1982. С. 96—104.
4. Балодис В. А. Кинетика камбияльного роста древесных растений: Учебное пособие. — Елгава: ЛСХА, 1986. — 40 с.
5. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 263 с.
6. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. — М.: Наука, 1967. — 95 с.
7. Смоляк Л. П., Самонов А. С., Реуцкий В. Г., Степук В. А., Бережная Л. И. Зависимость изменения диаметра стволов сосны от влажности почвы// Ботаника/ Исследования. — Минск: Наука и техника, 1970. Вып. 12. С. 86—92.
8. Федорова А. И. Фитогормоны и рост дерева (на примере лиственницы). — Новосибирск: Наука, 1982. — 249 с.
9. Arzee T., Waisel Y., Lipschitz N. Periderm development and phellogen activity in the shoots of *Acacia raddiana* Savi. — *New Phytol.*, 1970, 69, Nr. 2, pp. 395—398.
10. Ford E. D. Can we model xylem production by conifers? — *Stud. forest. suec.*, 1981, Nr. 160, pp. 19—29.
11. Hari P., Sirén G. Influence of some ecological factors and the seasonal stage of development upon annual ring width and radial growth index. — *Royal College of Forestry, Res. Notes*, 1972, 40.—22 pp.
12. Kozłowski T. T. Growth and development of trees. — N. Y., London: Acad. Press, 1971, vol. 1 and 2.
13. Leikola M. The effect of some climatic factors on the daily hydrostatic variations in stem thickness of scots pine. — *Ann. Bot. Fenn.*, 1969, 6, Nr. 2, pp. 174—181.
14. Roland J. C., Vian B. The wall of the growing plant cell: its three-dimensional organization. — *Int. Rev. Cytol.*, 1979, 61, pp. 129—166.
15. Winget C. H., Kozłowski T. T. Winter shrinkage in stems of forest trees. — *J. Forestry*, 1964, 62, Nr. 5, pp. 335—337.

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ЭКОЛОГИИ

Межвузовский сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1980

В.А. Баранов, Т.А. Крутицова
ЛГУ им.П.Орлова (Луга)

МЕТОД ВНЕШНИХ И ВНЕДРЕВНЫХ ГОДИЧНЫХ
КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ

В настоящее время в литературе известны методы определения радиального прироста деревьев с помощью различных устройств для радиального роста деревьев. Наиболее широко известно радиолокаторное устройство, позволяющее определять годичные кольца деревьев в поперечном сечении ствола дерева. Устройство состоит из источника света, который проецирует свет на поверхность дерева. Свет отражается от поверхности дерева и попадает на фотодетектор. По времени задержки света можно определить радиальный прирост дерева. Однако этот метод имеет ряд недостатков. Во-первых, он требует использования специального оборудования, которое может быть дорогостоящим. Во-вторых, метод требует доступа к стволу дерева, что может быть затруднительно в некоторых случаях. В-третьих, метод может быть подвержен ошибкам из-за различных факторов, влияющих на радиальный прирост дерева, таких как влажность, температура и т.д. Кроме того, метод требует регулярного измерения образцов. Наличие ошибок при измерении годичных колец может привести к искажению данных, что может повлиять на результаты исследования. Поэтому необходимо использовать различные методы для определения радиального прироста деревьев.

В исследованиях, в которых проводится лесотаксационный и биологический анализ хода роста деревьев, выпавшие годичные кольца, как правило, не учитываются, так как отсутствие отдельных годичных колец в результатах измерений существенно не изменяет характер зависимости от времени усредненных для пробной площади величин радиального прироста. Тем не менее, учет в лесонасаждении доли деревьев, у которых в данной вегетационной периоде не происходит радиального прироста древесины, может служить одним из критериев определения состояния древостоев. Так, например, в лесонасаждениях с наличием антропогенных факторов (загрязнение, изменение климата, изменение гидрологического режима и т.д.) наличие или отсутствие годичных колец может служить важным фактором для определения состояния древостоев. Поэтому необходимо использовать различные методы для определения радиального прироста деревьев, которые позволяют учитывать все факторы, влияющие на радиальный прирост деревьев.

кольцами. Учет вегетационных периодов с увеличенной долей выпавших годовичных колец может также оказаться полезным при выявлении наиболее неблагоприятных для радиального роста древесины сочетаний внешних факторов среды.

Выпавшие годовичные кольца в образцах древесины выявляются при помощи метода перекрестного датирования. Этот метод был разработан в начале нынешнего столетия и до сих пор является основным методом для точной датировки годовичных колец. Применение этого метода в экологических исследованиях стало реальным в последние десятилетия, когда были разработаны программы для ЭВМ [2,3,4], которые обеспечивают возможность анализа большого количества образцов и снижают долю субъективных заключений при датировке годовичных колец. Ввиду длительного периода камеральных работ и большой трудоемкости, метод перекрестного датирования мало пригоден в случаях, когда необходимо быстрое определение доли выпадающих годовичных колец текущего вегетационного периода для большого количества пробных площадей. Для подобных случаев мы предлагаем простой метод выявления наличия радиального прироста древесины в текущем вегетационном периоде.

Метод основывается на использовании отличий по содержанию характерных высокомолекулярных соединений в зрелых клетках коры и древесины, меристематических и незрелых клетках. После деления клеток камбия проходит определенный промежуток времени, пока вновь возникшие клетки древесины достигают зрелости. В частности, молодые клетки древесины, так же как и клетки камбия, не имеют лигнифицированных клеточных оболочек и лигнификация начинается лишь несколько месяцев после возникновения клеток. Для клеток флоэмы в свою очередь, в отличие от клеток меристемы и камбия, характерно наличие дубильных веществ [5]. Следовательно, если гистологически окрасить образцы на микрофотографическом уровне, то в зрелых клетках древесины будет отмечено наличие дубильных веществ, в отличие от меристематических клеток камбия и молодых клеток древесины. В зрелых клетках флоэмы также будет отмечено наличие дубильных веществ, в отличие от клеток меристемы и камбия.

ла из образцов. Из-за недостаточной промывки при дальнейшем окрашивании образцов для выявления лигнина, формальдегид в присутствии соляной кислоты дает с дубильными веществами желтые осадки, которые затрудняют исследование образцов. Результатом слишком продолжительного промывания образцов является изменение окраски дубильных веществ. Оптимальная продолжительность промывки - 30 минут.

После промывки образцы погружаются в насыщенный раствор фторопластана в 20% соляной кислоте до появления ярко вишневой окраски. Процедура окрашивания лигнина проводится непосредственно перед исследованием образца, так как окраска лигнина недолговечна.

Результат проведенных гистологических процедур - оболочки зрелых клеток полностью окрашены в ярко вишневый цвет, клетки коры - темне желто-коричневые, между окрашенными полосами находится бесцветный участок меристематических клеток и клеток, не достигших зрелости.

Чтобы выяснить наиболее подходящие сроки обследования лесонасаждений для выявления выпавших годовичных колец текущего года, были взяты образцы с деревьев сосны за период с 15 апреля по 26 августа 1978 года. Образцы брались в высоте 1,3 м от корневой шейки в лесонасаждениях сосняка черничника Валмиерского и Цесисского районов Латвийской ССР и в Московской области. Во избежание вредного антропогенного воздействия на прирост древесины, участки для взятия образцов были выбраны вдали от промышленных предприятий и рекреационных зон. В каждый день обследования было зафиксировано до 30 образцов деревьев сосны. Измерение ширины участка радиального прироста текущего года проводили под бинокулярной лупой МБС-2, разрешающая способность измерений - 0,01 мм, точность измерений $\pm 0,03$ мм. Биометрические расчеты выполнены по нашим программам ЭВМ типа GE-400.

Постепенное увеличение неокрашенной полосы радиально-прироста текущего года наблюдается до середины июня, после чего начинается уменьшение ширины этой полосы (рис. 1).

Уменьшение ширины полосы в июле и августе вызвано одревеснением оболочек у клеток, которые возникли в начале вегетационного периода. Так как кольцо древесины текущего вегетационного периода вплоть до конца августа месяца не имеет зрелых клеток позднего прироста, выявление наличия прироста древесины не представляет трудностей не только в июне, когда неокрашенная полоса прироста имеет наибольшую ширину, но и в течение июля и августа. Результатом благоприятных для радиального прироста древесины климатических условий в году взятия образцов и отсутствия вредного антропогенного влияния в обследованных лесонасаждениях является наличие прироста древесины во всех (более чем 400) образцах.

Для выяснения возможной преимущественной ориентации по сторонам света выпадающих участков древесины в случаях образования неполного годичного кольца, были взяты спилы у деревьев сосны, усохших в результате вытаптывания в рекреационных лесонасаждениях курортного города Юрмала. На каждом спиле подсчитали количество годичных колец по южному, северному, восточному и западному направлениям. Результаты подсчета для 25 спилов (табл. I) сравнили методом парных сравнений [6]. Собранные эмпирические данные не выявляют достоверной преимущественной ориентации участков выпадения годичного прироста по какой-либо стороне света. Неполные годичные кольца на просмотренных спилах расположены преимущественно на периферии спилов. Такое расположение выпадающих участков свидетельствует об уменьшении камбиальной активности у деревьев за 10-15 лет до их полного усыхания в результате вытаптывания.

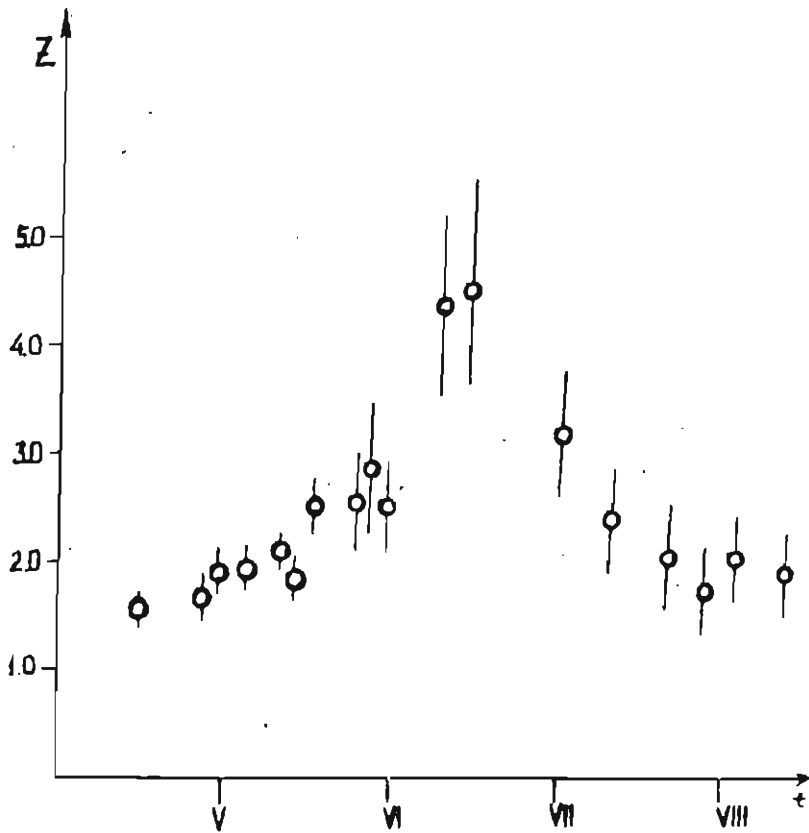


Рис. I. Зависимость ширины прироста Z текущего вегетационного периода (по оси ординат в мм; \pm стандартное отклонение) от срока t взятия образцов (по оси абсцисс, месяцы).

Различия между сторонами света по количеству
годовых колец древесины на спилах сосны
обыкновенной

№ п/п	Класс воз- раста	Разница между сторонами света по количеству годовых колец древесины					
		С-Ю	З-В	С-З	К-В	С-Б	К-З
1.	II	0	-1	-1	-2	-2	-1
2.	II	5	-4	+4	-5	0	-1
3.	II	0	+1	-2	-1	-1	-2
4.	III	+5	0	+3	0	+3	0
5.	III	-1	-1	-1	-1	-2	0
6.	IV	+2	+7	-2	+3	+5	-4
7.	V	+12	+10	-9	-11	+1	-21
8.	V	0	-10	+5	-10	-10	+8
9.	VI	+6	+2	+2	-2	+4	-4
10.	VI	+1	-3	+2	-2	-1	+1
11.	VI	+8	-7	+14	-1	+7	+6
12.	VII	+11	-5	+15	-1	+10	+4
13.	VII	+2	+10	0	+8	+10	-2
14.	VIII	-3	-5	+3	+1	-2	+6
15.	VIII	0	-3	+4	+1	+1	+4
16.	VIII	0	+6	+2	+6	+6	+2
17.	IX	+3	-3	-2	-8	-5	-5
18.	IX	+4	-6	+13	+2	+5	+6
19.	IX	+9	-4	+4	-5	0	-5
20.	IX	-6	+1	-2	+5	-1	+4
21.	X	-9	+5	-15	-1	-10	-6
22.	X	-3	+3	-5	+1	-2	-2
23.	X	-6	+5	+2	+13	+7	+8
24.	X	-4	-2	0	+2	-2	+4
25.	XIU	0	+16	-13	+3	+3	-13
Средние значения		1,30	0,26	0,60	-0,28	1,06	-0,36
Станд. ошибка							
средн. разл. 2х		1,00	1,01	1,40	1,11	1,00	1,11
t max		1,30	0,51	2,57	0,28	1,30	1,30
t min							

Литература

1. Шиятов С.Г. О некоторых неправильных подходах к дендрохронологическим исследованиям. - Экология, 1979, № 1, с. 25-36.
2. Fritts H.C. Computer programs for tree-ring research. Tree-Ring Bulletin, 1963, 25, Nr. 3-4, pp. 2-7.
3. Fritts H.C., J.E. Mosimann, C.P. Bette. A revised computer program for standardizing tree-ring series. Tree-Ring Bulletin, 1969, 29, Nr. 1-2, pp. 15-20.
4. Wendland W.M. An objective method to identify missing or false rings. Tree-Ring Bulletin, 1975, 35, pp. 41-48.
5. Эсау К. Анатомия растений. М.: Мир, 1969. 564 с.
6. Бейли Н. Статистические методы в биологии. М.: Мир, 1964. 271 с.

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

В БИОЭКОЛОГИИ

Сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П. Стучки
Рига 1982

В. А. Балодис, Г. Е. Поспелова,

К. К. Раман

ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСАДКОВ НА ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ПОДМОСКОВЬЕ

Лесные фитоценозы зеленых зон крупных городов подвергаются постоянному и непрерывно возрастающему антропогенному воздействию. Комплекс факторов, воздействующих на лесонасаждения зеленых зон, можно подразделить на три качественно различные группы: загрязнение воздуха и почвы промышленными выбросами; рекреационная деятельность; изменение гидрологического режима. В результате воздействия этих факторов нарушается саморегуляция биоценозов, а при достижении определенного уровня отрицательного воздействия начинается деградация древостоев. Процесс деградации в начальных стадиях протекает обычно визуально незаметно, и только на конечном этапе появляются его признаки: разреживание кроны, появление сухих ветвей, сухих вершин и т. д. После появления внешних признаков деградации, остановить ее гораздо труднее. Из лесных фитоценозов лиственных пород в Подмоскowie наиболее чувствительными к воздействию антропогенных факторов оказались дубравы, в которых наблюдается усыхание и гибель деревьев. Для составления эколого-прогностической оценки состояния фитоценозов, определения динамики их изменений, выявления основных отрицательных факторов воздействия и ответной реакции фитоценозов нами использовался метод математического моделирования. Теоретической основой этого подхода является знание биологической реакции живых организмов на воздействие внешних факторов. При этом учитывается, что одно и тоже воздействие оказывает различное влияние на отдельные компоненты древостоя и ответная реакция их на это

воздействие также различна. Решения задач наших исследований соответствовали такие показатели динамики хода роста древостоя, как текущий прирост по запасу (Z_{1t}) и радиусу (Z_2).

Эмпирический материал собирался в 1978 году в насаждениях дуба черешчатого Государственного исторического заповедника леспархоза "Горки Ленинские". Было заложено 8 пробных площадей и взято 100 спилов с усохших деревьев в дубравах, отличающихся по возрасту, бонитету и типу мессорастительных условий. Величина отдельных пробных площадей от 0,12 до 0,20 га. На каждой из них производился сплошной пересчет деревьев, измерялись высота и диаметр у 10-12 деревьев для конструирования кривой высот, у 25-30 деревьев буравом Пресслера брались образцы древесины, включающие весь период роста. Средний возраст древостоя определялся у 2-3 деревьев на уровне корневой шейки. Спили брались у 20-30 деревьев каждого класса возраста после полного их усыхания в наиболее деградированных фитоценозах. Ширина годичных колец на спилах и образцах, взятых с помощью бурава Пресслера, измерялась на электронной аппаратуре, сконструированной в Рижском политехническом институте.

По разработанному И. Я. Диевой [1] алгоритму проводился ретроспективный анализ как отдельных деревьев, так и целых насаждений. Ретроспективный анализ охватывал период существования древостоя начиная с времени достижения им средней высоты 8 м до 1978 года, при этом определялись погодичные значения основных таксационных показателей. Поскольку абсолютная величина годичных колец зависит, кроме метеорологических и антропогенных факторов, от типа леса, условий питания, возраста насаждений, ее сравнение для различных деревьев и древостоев является некорректным. Поэтому нами применялся индексный метод. Индексом ширины годичных колец вычислялись как отношение ширины кольца i -го года к средней арифметической прироста за последние 30 лет (I).

$$I = \frac{c_i}{Z_2}, \quad (I)$$

где I - индекс текущего прироста по радиусу;

- ширина годичного кольца I -го года;
2) среднее значение ширины годичных колец за последние 30 лет.

В экспериментальных кривых, построенных по индексам, в значительной мере элиминируются изменения, вызванные индивидуальными особенностями и экологическими условиями модельных деревьев. Динамика изменения текущего прироста по радиусу, выраженная в индексах, наиболее адекватно отражала хронологические изменения прироста под воздействием антропогенного фактора, что позволяло оценить поведение модельных деревьев и выявить характерные признаки их деградации.

На рис. 1 представлена динамика изменения текущего прироста по радиусу в индексах I усохших деревьев в зависимости от возраста. Графики рассчитаны по методу скользящей средней за II лет.

Как видно на рис. 1, существенный критический спад текущего прироста дубрав разного класса возраста наступил в 1966–1967 годах. Полное усыхание деревьев наступало, если средний текущий прирост по радиусу составлял 0,4–0,7 мм (0,1–0,5 в индексных единицах) и уменьшался в 2–3 раза по сравнению с максимальным. Усыхание молодых деревьев наступило при более высоких значениях текущего прироста, и тренд их деградации более динамичен.

Анализ пробных площадей, которые были заложены в основных массивах дубовых насаждений, показал, что большинство из них находятся в крайне опасном состоянии и относятся к прогностически отмирающим. На рис. 2 представлена динамика изменения текущего прироста по радиусу в индексных единицах у разновозрастных насаждений дуба. Насаждения в возрасте 90–115 лет находятся в лучшем состоянии, тренд их деградации не так динамичен, как у насаждений в возрасте 45 лет.

Существенное возрастающее отрицательное влияние на лесонасаждения заповедника оказывают промышленные выбросы коксогазового завода и общий фон загрязнения воздуха. Однако общее критическое состояние дубрав Подмосковья, находящихся на разном расстоянии от источников эмиссии при-

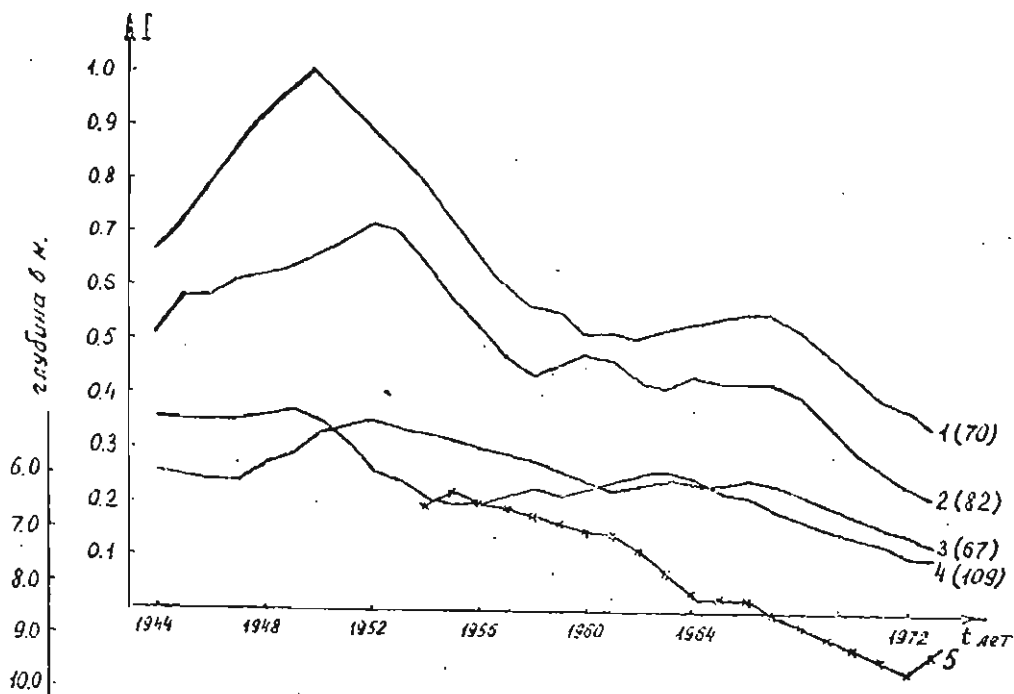


Рис. 1. Изменение текущего прироста по радиусу в индексах (I) разновозрастных усохших деревьев (I-4) дуба (возраст указан в скобках) и уровня грунтовых вод (5).

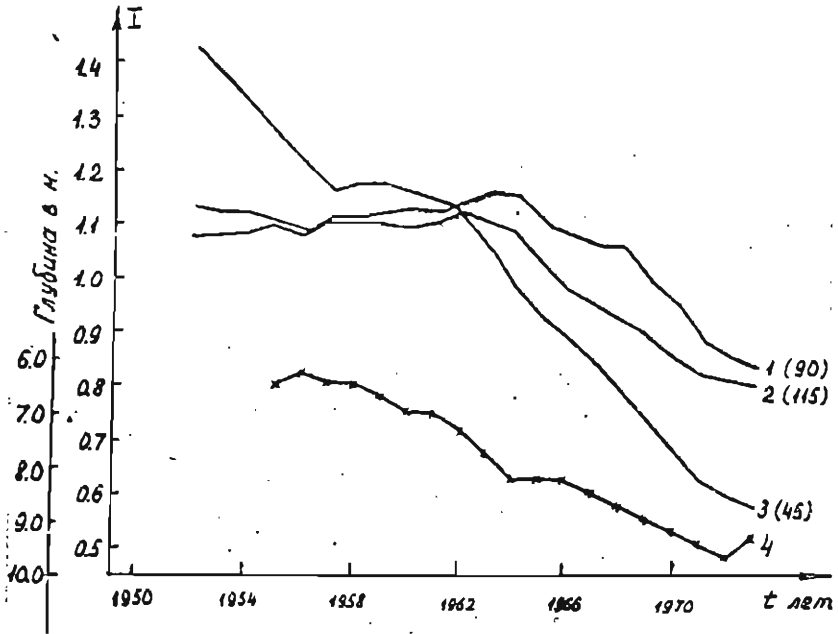


Рис.2. Изменение текущего прироста по радиусу в индексах (I) разновозрастных древостоев (1-3) дуба (возраст указан в скобках) и уровня грунтовых вод (4).

данных относятся к величине других отрицательных влияющих факторов. Одним из таких факторов является гидрологический режим дубрав, который обеспечивается грунтовыми водами и осадками. Способствование изменению уровня грунтовых вод Подпосковья (по данным Мещеряковой гидрогеологической партии) с динамикой текущего прироста показывает, что динамика трендов деградации древостоев и отдельных деревьев совпадает с трендом снижения уровня грунтовых вод. Более старые деревья находятся в меньшей близости от уровня грунтовых вод, тем не менее, что, очевидно, объясняется более развитой корневой системой. Корреляционная связь между уровнем грунтовых вод и текущим приростом по радиусу у насаждений в возрасте 30 лет $r = 0,56$, а в возрасте 35 лет $r = 0,39$ существенна при уровне значимости до $0,01$. Дуб черешчатый значительно больше, чем другие широколиственные породы потребляет воду на территории дубравы. По данным В. Маркера [2] на 1 г образованного сухого вещества дуб испаряет 340 г воды (дуб - 170 г, осина - 200 г, ольха - 240 г). С помощью этой зависимости был определен дефицит почвенной влаги за вегетационный период.

Приведенный для площади пробных площадей расчет показал, что в зависимости от возраста и биотипа насаждений, типа лесорастительных условий при учете средней многолетней нормы осадков количество минимально потребной влаги составляет от 270 до 440 м³/га. Восполнение дефицита влаги целесообразно проводить в период интенсивного роста и развития древостоев, когда он случается наиболее острый недостаток влаги. Для выявления этих периодов был проведен множественный регрессионный анализ по методике И. Я. Уиены [3], на основе которого была определена пороговая сила влияния суммарной осадков на текущий прирост по радиусу (Z_R) за четырнадцать месяцев (с июля предыдущего года по сентябрь текущего); составлена схема смены активных периодов воздействия этого фактора (рис. 3), а также определены критические значения удельного веса влияния фактора ($\delta_{a, b, c, d}$). На рис. 3 отмечены только те периоды, в которых влияние осадков существенно и

превышает критическое значение $F_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$ без влияния фактора $\gamma_j > \gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$.

$$\gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2} = \frac{F_{\alpha; \nu_1; \nu_2} (\sigma^2 - \sigma_0^2)}{n - k - 1} \quad (2)$$

где $\gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$ - критическое значение удельного веса влияния фактора;

$F_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$ - теоретическое значение критерия Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степенях свободы: $\nu_1 = 1$,

$\nu_2 = n - k - 1$;

n - число наблюдений;

k - число градаций исследуемого фактора;

$\sum \gamma_j$ - суммарное воздействие градаций исследуемого фактора.

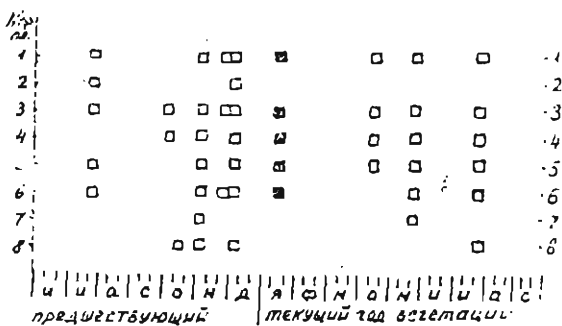


Рис. 3. Хронологическая схема смены активных периодов воздействия осадков на текущий прирост по запасу насечки дуба черешчатого на 8 пробных площадях (□ - влияние существенное, отрицательное; □ - влияние существенное, положительное; ■, □ - влияние незначительное).

На рис. 3 видно, что величина удельного веса влияния в июне и первых двух декадах июля не превышала критического уровня $\delta_{\alpha, \beta, \gamma}$, а в третьей декаде июля на 5 пробных площадях из 8 существенно увеличилось отрицательное влияние этого фактора. По данным Н.А. Бородиной [4], в третьей декаде июля заканчивается II этап органогенеза – формирование зачатков листьев, и начинается III этап – заложение осей мужского соцветия. Следующий активный период наблюдается в первой и третьей декаде ноября, первой декаде декабря и, очевидно, связан с тем, что дуб входит в зиму на очень чувствительном VI этапе органогенеза. В январе положительное влияние оказывает высота снежного покрова, который предохраняет корневую систему от отрицательного влияния низкой температуры. Активные периоды в апреле, мае и июне текущего года соответствуют процессам интенсивного роста и развития вегетативных органов дуба. На первый взгляд, кажется парадоксальным то обстоятельство, что, за исключением II декады января, влияние осадков на прирост по радиусу у дуба в активные периоды было отрицательным. Это можно объяснить повышенной требовательностью дуба черешчатого к реакции почвы. Исследования А.Ф. Иванова с сотрудниками [5] показали, что для нормального роста и развития дуба почвенная влага должна иметь $pH = 6,0-7,0$. В условиях Подмосковья эта реакция обеспечивалась грунтовыми водами и осадками, сформировавшимися в атмосфере, относительно свободной от природных и антропогенных источников загрязнения. Данные полевой станции Института агрохимии и почвоведения АН СССР [6] показывают повышение кислотности осадков за 1975–1978 гг. на 1,5 единицы, а в 1978 г. отмечалось pH атмосферных осадков 3,7.

Результаты наших исследований показывают, что одного лишь искусственного орошения дубрав Подмосковья недостаточно для предотвращения их дальнейшей деградации. Необходима система мероприятий по нейтрализации отрицательного воздействия кислых осадков. Для разработки такой системы требуются дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Лиєпа И.Я., Дрике А.Я., Поспелова Г.И. Методика ретроспективного анализа наличия факторов для изучения взаимосвязей между лесной флорой и средой. — В кн.: Количественные методы влияния растительности. Рига, 1971, с. 172-177.
2. Лархер В. Экология растений. — М., 1978.
3. Лиєпа И.Я. Методика составления хронологической схемы активных периодов влияния факторов воздействия. — В кн.: Ель и ельники Латвии, Рига, 1975, с. 152-159.
4. Бородина Н.А. Биологический контроль за развитием и ростом дуба. — В кн.: Биологический контроль в сельском хозяйстве /Под редакцией Ф.М.Куперман. М., 1962, с. 239-241.
5. Иванен А.Ф., Пономарев А.В., Дерюгина Т.Ф. Отношение древесных растений к влажности почвы. — Минск, 1966.
6. Будаткин Г.А. Рост кислотности атмосферных осадков. — Природа, 1981, №1, с. 88-89.

Академия наук Эстонской ССР
Таллинский ботанический сад

АНТРОПОТОЛЕРАНТНОСТЬ БИОЦЕНОЗОВ
И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Тезисы докладов
Прибалтийской конференции
27.09 - 28.09

Таллин 1977

Балодис В.А., Раманс К.К.
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет им.Петра Стучки

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
АНТРОПОТОЛЕРАНТНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ
ДРЕВОСТОЯ

Неуклонно возрастающее антропогенное воздействие на лесонасаждения вблизи крупных населенных пунктов приводит к деградации, а иногда и к полному разрушению лесных биоценозов. В рекреационных биоценозах первостепенным разрушающим фактором является вытаптывание. Оно в первую очередь влияет на нижние ярусы фитоценоза. Поэтому изучению в рекреационных зонах обычно подвергается живой напочвенный покров, а состояние деревьев учитывается лишь частично. Наряду с тем не менее важно прямым путем выявить степень и динамику процесса деградации древостоя, который является основным определителем структуры лесных биоценозов.

Восстановление лесных биоценозов, в которых уже отчетливо заметны признаки деградации древостоя, требует больших затрат материальных средств и времени. Поэтому важно заблаговременно, до появления визуально заметных признаков повреждения, выявить количество гибнущих деревьев в древостое.

Объективные сведения о "самочувствии" дерева в различных периодах его жизни можно получить путем анализа изменения ширины годичных колец во время существования дерева. Для оценки возможности прогностического выявления засыхающих деревьев по кривым изменения ширины годичных колец, нами было обследовано 200 спилов, взятых от соседей, засохнувших в рекреационных лесах курортного города Юрмала.

Анализ кривых изменения ширины годичных колец во

времени показал, что в большинстве случаев переход от нормального роста к росту перед засыханием происходит очень резко — кривая ширины годичных колец в течение нескольких лет падает до некоторого минимального уровня, на котором она держится весь период засыхания. Ширина годичных колец у сосен, которые засыхают, варьирует у разных индивидуумов одного возраста. Тем не менее выявляется четкая и достоверная (уровень достоверности 95%) отрицательная корреляция (коэфф. корреляции $r = -0.58$) между этим показателем и возрастом сосны — чем больше возраст, при котором дерево засыхает, тем меньше ширина годичных колец. Эту зависимость характеризует следующее уравнение регрессии:

$$y = 0,008x^2 - 4,664x + 783,687 \quad (I),$$

где x — возраст сосны (в годах), ($30 < x < 290$);

y — средняя ширина годичных колец при засыхании (в мм).

Однако небольшой, в среднем за последние десятилетия текущий прирост древесины, соответствующий (I), еще сам по себе не свидетельствует о том, что дерево страдает от отрицательного антропогенного воздействия. Деревья с узкими годичными кольцами можно найти и в относительно незатронутых человеком лесонасаждениях и подобный "минимальный" текущий прирост некоторых индивидуумов может длиться в течение многих лет. Последнее объясняется естественной гетерогенностью любой популяции сосен.

Результаты анализа хода кривых ширины годичных колец позволяют представить поврежденный человеком древостой суммой 2 совокупностей деревьев — 1) противостоящих вредному антропогенному воздействию и 2) резко сокративших прирост в результате этого воздействия.

Для выявления этих совокупностей нами разработан алгоритм, который мы практически реализуем при помощи программ, отлаженных для ЭВМ типа GE-400. По этому алгорит-

му эмпирическая кривая распределения средних ширин годичных колец конкретной пробной площади сравнивается с теоретическими кривыми, которые вычисляются как сумма 2 кривых нормального распределения:

$$y_i = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{n_1}{S_1} \exp \left[-\frac{(\bar{y}_i - \bar{y}_1)^2}{2S_1^2} \right] + \frac{n_2}{S_2} \exp \left[-\frac{(\bar{y}_i - \bar{y}_2)^2}{2S_2^2} \right] \right\} \quad (2)$$

где y_i - средняя ширина годичных колец i -того класса теоретической кривой распределения;

y_i - ожидаемое количество деревьев в i -том классе;

C - интервал группировки;

n_1 и n_2 - количество деревьев, соответственно страдающих (1) и не страдающих (2) от антропогенного воздействия;

\bar{y}_1 и \bar{y}_2 - средняя ширина годичных колец во множествах (1) и (2);

S_1 и S_2 - стандартное отклонение для множеств (1) и (2).

Согласно разработанному алгоритму, постепенно меняются величины n_1 , \bar{y}_1 и S_1 и, исходя из количества данных, суммы и суммы квадратов данных, полученных эмпирически для исследуемой пробной площади, подбираются единственно возможные величины n_2 , \bar{y}_2 и S_2 . Из теоретических кривых, полученных упомянутым образом, выбирается та, которая наиболее соответствует эмпирической кривой распределения средних ширин годичных колец исследуемой пробной площади. В случае, если эти обе кривые не отличаются между собой по критерию Колмогорова-Смирнова, доказано, что в исследованной пробной площади доля деревьев, страдающих от вредного антропогенного воздействия равна отношению $n_1 / (n_1 + n_2)$ (3). Описанный алгоритм позволяет проследить за динамикой изменения доли засыхающих деревьев, так как соотношение (3) можно подсчитать для любого периода ретроспекции.

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ЭКОЛОГИИ

Межузовский сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1978

В. А. Балодис, К. К. Раман
ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

К ОЦЕНКЕ СТРУКТУРЫ ДЕГРАДАЦИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ ПО ТЕКУЩЕМУ ПРИРОСТУ ДРЕВЕСИНЫ

Лес под влиянием рекреационного использования проходит ряд характерных состояний. Стадию рекреационной депрессии, в которой находятся лесонасаждения, можно определить по состоянию подстилки, по набору травянистых видов в живом напочвенном покрове, по состоянию подроста и доли вытоптанных участков [I] . Одновременно с процессом рекреационной депрессии при длительном вытаптывании лесонасаждений начинается и деградация взрослых деревьев. Процесс деградации деревьев менее динамичен по сравнению с депрессией лесонасаждения и поддается выявлению по внешним признакам часто только тогда, когда достигнуты высшие степени деградации и начинается массовое выпадение деревьев. Подобные лесонасаждения даже в случае немедленных и самых активных мероприятий по их спасению могут на продолжительное время терять свои рекреационные свойства. Поэтому важно найти возможности оценки состояния древостоя до наступления массовой гибели деревьев.

Структуру деградации древостоя можно характеризовать долей деревьев, страдающих от вредного антропогенного воздействия. Среди признаков, которые пригодны для оценки структуры деградации древостоя, выделяется текущий прирост древесины. Этот признак как показатель состояния деревьев удобен тем, что ширина годичных колец легко и точно измерима, способность к росту объективно отражает состояние растительного организма, по изменению ширины годичных колец в древесине можно восстановить динамику текущего прироста во времени.

Настоящая работа посвящается выяснению характера изменения текущего прироста перед засыханием деревьев и обсуждению возможности оценки структуры деградации дре-

востоя по текущему приросту древесины.

Материал для решения поставленных задач был собран в 1975-1977 годах при обследовании рекреационных лесов курортного города Юрмала. Было взято более 200 спилов на высоте 1,3 м у засохших в результате вытаптывания сосен. Возраст деревьев - от 30 до 250 лет.

На спилах, отдельно для южного, северного, восточного и западного направления, была измерена ширина всех годовичных колец. Измерения проводили на специальной установке конструкции Рижского политехнического института. Разрешающая способность измерений 0,01 мм, точность измерений $\pm 0,03$ мм. Расчеты и зарисовки кривых были выполнены по нашим программам на ЭВМ типа GE-400.

Кривые измерения ширины годовичных колец (Z) с возрастом (t) получены отдельно для каждого спила.

Максимальные значения величина Z достигает на втором-восьмом десятилетии жизни сосны. Максимальная средняя за 11 лет ширина годовичных колец (Z_{max}) колеблется у разных индивидуумов от 0,9 мм до 4,7 мм.

После достижения максимальных величин текущего прироста, ширина годовичных колец у сосен, которые не подвергались вредному антропогенному воздействию, с возрастом уменьшается постепенно и равномерно. В ответ на сильное вытаптывание падение величины Z резкое - за 1-3 года текущий прирост уменьшается до минимальных величин, при которых происходит и засыхание сосен. Ширина годовичных колец у сосен, которые страдают от вытаптывания (Z_{min}) колеблется от 0,1 мм до 1,3 мм.

Величина Z_{min} варьирует у разных индивидуумов одного возраста. Тем не менее выявляется достоверная (уровень достоверности - 95%) отрицательная корреляция (коэффициент корреляции $r = -0,58$) между этим показателем и возрастом сосен - чем больше возраст, тем меньше ширина годовичных колец. Эту зависимость отражает следующее уравнение регрессии:

$$\bar{Z}_{min} = 0,008 t^2 - 4,644 t + 783,637 \quad (I)$$

где t - возраст сосен (в годах), ($30 \leq t \leq 250$);
 \bar{Z}_{min} - средняя ширина годовичных колец при засыхании (в мм).

От возраста зависит также продолжительность периода минимального текущего прироста перед засыханием. Деревья, которые начали страдать от вытаптывания в возрасте 20-30 лет, полностью засыхают в среднем через 10 лет, а сосны, которые подвергались вредному воздействию вытаптывания начиная с возраста 100 и более лет, держатся обычно более 30 лет.

При анализе кривых изменения \bar{Z} от t для молодых сосен, обнаружение точки перехода к периоду минимального текущего прироста, как правило, не представляет трудностей - этот переход четко выражен, так как обычно происходит падение текущего прироста от значений, близких к \bar{Z}_{max} , до \bar{Z}_{min} . Для молодых древостоев таким образом подсчет доли деревьев, страдающих от вытаптывания не представляет трудностей.

В случае же зрелых сосен переход текущего прироста к уровню \bar{Z}_{min} не всегда столь очевидно выражен, так как с увеличением возраста происходит естественное уменьшение текущего прироста. Для обоснованного обнаружения точки перелома в подобных трудных случаях появляется необходимость в подходящем биометрическом методе, позволяющем оценить достоверность различия между нормальным текущим приростом и \bar{Z}_{min} . Обычно применяемыми в подобных случаях критерии Стьюдента или Фшера здесь не пригодны, так как распределение величины \bar{Z}_{min} также \bar{Z} достоверно отличается от нормального распределения.

При переходе сосен к периоду минимального текущего прироста наблюдается резкое уменьшение абсолютной величины ежегодных колебаний текущего прироста. Однако использование величины дисперсии для обнаружения перехода от нормального роста к периоду минимального текущего прироста

та не оправдывает себя, поскольку по нашим данным между величиной текущего прироста и ее дисперсией имеется достоверная (уровень достоверности 95%) линейная корреляция ($r = 0,84$).

Оценка структуры деградации по эмпирическим кривым распределения величин текущего прироста. Исходя из результатов анализа кривых зависимости \bar{z} от \bar{c} для засохших сосен, представляется возможным оценить структуру деградации древостоя по эмпирическим кривым распределения средних за последние II лет ширин годичных колец.

Учитывая то, что, во-первых, вытапывание всего пространства лесонасаждения обычно происходит неравномерно, во-вторых, отдельные деревья обладают отличающейся антропопотолерантностью, поврежденное человеком лесонасаждение можно представить как сумму 2 совокупностей деревьев: А - противостоящих вредному антропогенному воздействию; Б - резко сокративших прирост в результате этого воздействия.

С целью характеристики совокупности Б, мы построили кривые распределения средних за последние перед засыханием II лет величин \bar{z} для каждого возрастного класса сосен. Эти эмпирические распределения не отличаются достоверно от соответствующих теоретических нормальных распределений. В качестве исходных данных для совокупности А послужили величины \bar{z} , которые относятся к периоду роста сосен, когда они не страдали от вытапывания. И в данном случае для полученных эмпирических распределений не было обнаружено достоверных отличий от соответствующих теоретических нормальных распределений.

Эмпирические кривые совокупностей А и Б одной и той же возрастной группы перекрываются друг с другом. Степень перекрывания возрастает с возрастом сосен. Следовательно, для выделения совокупностей А и Б в случае анализа естественных лесонасаждений, необходима подходящая методика для разделения эмпирических кривых, характеризующих каждую анализируемую древостой.

Для выявления совокупностей А и Б нами разработан алгоритм, который мы практически реализуем при помощи программы, отлаженной для ЭВМ типа СБ-400. По этому алгоритму кривая распределения средних ширин годичных колец конкретной пробной площади сравнивается с теоретическими кривыми, которые вычисляются как сумма 2 кривых нормального распределения:

$$Y_i = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{n_A}{\sigma_A} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_A)^2}{2\sigma_A^2}\right] + \frac{n_B}{\sigma_B} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_B)^2}{2\sigma_B^2}\right] \right\} (2)$$

- где x_i - средняя ширина годичных колец i -того класса теоретической кривой распределения;
 Y_i - ожидаемое количество деревьев в i -ом классе;
 C - интервал группировки, подбирается с учетом, чтобы количество классов () было более 10;
 n_A, n_B - количество деревьев, соответственно не страдающих (А) и страдающих (Б) от антропогенного воздействия ($n_A + n_B \geq 200$);
 μ_A, μ_B - средняя арифметическая ширина годичных колец в совокупностях А и Б;
 σ_A, σ_B - теоретическое стандартное отклонение для совокупностей А и Б.

Согласно разработанной программе, перед вычислением подбирает желаемое количество "шагов" (Ω) и желаемую точность (δ) расчетов. Подбор теоретических кривых производится следующим образом. Во внешнем цикле вычислений постепенно подбирается Ω различных значений n_B , начиная от $n_B = 0$ и кончая $n_B = n$ (где n - общее количество учитываемых деревьев). Во внутренних циклах идет подбор соответственно Ω различных значений μ_B (от 0 до $\mu_B = 0,5 \sum_{j=1}^{\Omega} z_j / n$, где z_j - измерения ширины годичных колец) и такое же количество различных значений σ_B (от 0 до $\sigma_B = s$ где s - стандартное отклонение эмпиричес-

ких данных). Соответственно величинам n_B , M_B и σ_B в каждом числе подбирается единственно возможное значение величины n_A , M_A и σ_A :

$$n_A = n - n_B \quad (3)$$

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i - M_B \cdot n_B}{n_A} \quad (4)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Z_i^2 - \sigma_B^2 (n_B - 1) + n_B M_B^2 - n_A M_A^2}{n_A - 1}} \quad (5)$$

Все полученные различные комбинации n_B , M_B , σ_B используются для вычисления возможных теоретических кривых по (2), которые сравниваются с эмпирической кривой. Из всех теоретических кривых выбирается одна, наиболее близкая эмпирической. Далее параметры выбранной кривой используются для более точного подбора теоретической кривой. Для этого описанная процедура повторяется \mathcal{J} раз, при сужающейся амплитуде использованных параметров.

Степень совпадения теоретической кривой, получаемой в результате расчетов и эмпирической кривой, оценивается при помощи критерия Колмогорова-Смирнова (λ) [2]. В случае, если между этими кривыми не обнаружено достоверных отличий, доля деревьев, страдающих от антропогенного воздействия (D) вычисляется как соотношение (6)

$$D = n_B / (n_A + n_B) \quad (6)$$

Описанный алгоритм позволяет проследить также за динамикой изменения структуры деградации, так как соотношение (6) можно подсчитать для любого периода ретроспекции.

Литературы

1. Казанская Н.С., Малина В.В., Марфенен Н.Н. Рекреационные леса. М., 1977, с.1-96.
2. Лиса I. Biometrija. B., 1974.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ЛЕСА
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ
ИНСТИТУТ ЛЕСА КАРЕЛЬСКОГО ФИЛИАЛА АН СССР

ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ
ПО БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ
И МЕТОДАМ УЧЕТА
ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ
В ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ

25—28 сентября 1973 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

РЕАКЦИЯ ЕЛИ НА ПРОХОДНЫЕ РУБКИ И ОПТИМАЛЬНАЯ СУММА ПЛОЩАДЕЙ СЕЧЕНИЙ ДРЕВОСТОЕВ

После рубок ухода текущий прирост ели увеличивается. Интенсивность этого процесса зависит от комплекса факторов, характер и сила воздействия которых изучены еще слабо. Это объясняется как чрезвычайной сложностью лесных онтогенезов, так и недостатками методического характера. Коэффициенты парной корреляции или соответствующие корреляционные отношения между текущим приростом и факторами среды не отражают истинную силу воздействия. Значение этих показателей связи зависит от мультиколлинеарности между собой и фона исследований. Используя показатель удельного веса влияния, изучали истинную связь между текущим линейным приростом чистых и смешанных еловых древостоев и множеством разных факторов (сумма площадей сечения перед рубкой, относительная величина суммы площадей сечения и запаса вырубленной части древостоя, возраст, высота, диаметр, среднее значение ширины годичного кольца за десятилетний период перед рубкой, число лет после рубки, число деревьев, доминатность пород, мощность разных генетических слоев почвы).

Известно, что с повышением интенсивности изреживания ширина годичного кольца ели увеличивается, а сумма площадей сечения уменьшается. Взаимосвязь между изменением этих параметров явилась опорной точкой для разработки новой методики определения оптимальной суммы площадей сечения, при которой текущий объемный прирост имеет наибольшее значение.

Академия наук СССР
Научный совет по проблеме
"Биологические основы рационального использования,
преобразования и охраны растительного мира"
Академия наук Латвийской ССР
Институт биологии

РАСТИТЕЛЬНЫЙ
МИР
ОХРАНЯЕМЫХ
ТЕРРИТОРИЙ



Рига "Зинатне" 1978

А.М. Чауринь, В.А. Балодис, В.И. Ушинская
 Латвийский государственный университет
 им. П. Стучки, Рига

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ
 КАЧЕСТВЕННО НОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ
 В ДИНАМИКЕ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Один из явно недостаточно разработанных разделов современной прогнозономии — теоретико-методические основы прогнозирования ожидаемых качественных изменений системы. Современные прогностические подходы построены в основном на экстраполяции, т.е. предположении, что развитие прогнозируемой системы и впредь будет происходить в принципе так же, как в прошлый период наших наблюдений. Такой подход противоречит не только диалектике, но и простому эмпирическому опыту. Мы знаем, что так называемое равновесие в экосистемах периодически нарушается как их естественным развитием, так и человеческой деятельностью.

Между двумя качественными переходами состояние системы действительно внешне напоминает равновесие. Но такое равновесие — это период латентного (скрытого) развития системы, когда в ее глубинной сущности происходят кардинальные изменения. Результаты этих скрытых изменений в будущем проявятся в переходе системы в новое качественное состояние. Например, ныне зеленеющий лес как бы вдруг начнет отмирать; чистая гладь водоема зарастет синезелеными водорослями; как бы без всякой причины начнется тотальное вымирание вида, особи которого как будто никем прямо не уничтожаются; произойдет невиданная вспышка увеличения численности антомофритов и т.п.

Противопоставляя ожидаемый качественный скачок, необходимо выявить и измерить сдвиги, происходящие в самой сущности системы во время периода ее "покоя" (равновесия). Трудно-

ти здесь огромные - не только методического, но и общетеоретического характера. В рамках современных теоретических возможностей разработка методики прогнозирования ожидаемых качественных изменений системы может основываться на анализе динамики структуры детерминации этой системы. В.С.Вишаренко в своей монографии о биологической детерминации выделяет три основные компоненты ее структуры: инфрадетерминацию (от элементов к системе), интердетерминацию (между элементами в пределах одного уровня организации) и супрадетерминацию (воздействие других систем, т.е. условий внешней среды). Для решения ряда задач прогнозирования общей динамики биоэкологических систем структуру детерминации достаточно подразделить на две компоненты: самодетерминацию (типическую, определяемую самой системой) и паратипическую (определяемую внешними условиями). Отношение количественного значения самодетерминированной компоненты в изменчивости данного признака к общему значению его изменчивости выражает относительный уровень самодетерминации. Такой показатель нами используется и как критерий выбора между типическими и паратипическими подходами в прогностическом моделировании. Этот показатель можно применять в качестве фактора дисперсионного анализа. Если закон вариации описан точной ретроспективной информацией, т.е. значения легко измерены. Но чтобы достоверно судить об ожидаемых тенденциях, необходимо определить динамику этого показателя, т.е. вычислить не одно, а необходимое множество значений его. Например, группируя структуру дисперсионного анализа по десятилетиям, мы должны располагать временем, т.е. ретроспективной информацией, крайней мере за 70 лет, т.е. как для аппроксимация вариаций в виде требуется не менее семи эмпирических точек. Поэтому такой способ решения данной задачи зачастую оказывается практически бесполезным.

Видной задачей исследования была разработка такого метода

лического подхода, с помощью которого можно было бы определить относительный уровень самодетерминации системы по ее актуальному состоянию, т.е. без анализа временных рядов. Мы вели поиск различными путями, в результате чего разработано несколько способов, составляющих взаимосвязанный методический комплекс.

Известно, что на воздействие одного и того же фактора (загрязнение среды, утаптывание почвы, переувлажнение или переосушение и т.п.) растения данного вида реагируют по-разному. Одни из них ускоренно деградируют и погибают, другие оказываются более выносливыми. Также известно, что воздействие различных отрицательных факторов на растение составляет неодинаковый эффект. Поэтому более устойчивой к разнообразному по структуре комплексу деградационных факторов будет популяция данного вида с более гетерогенной биологической структурой. В свою очередь, в изменении внутренней гетерогенности популяции проявляются динамика ее жизнеспособности и качественные изменения в ее биологической сущности. Биологическую гетерогенность изучаемой совокупности растений (дема, популяции) по данному признаку отражает уровень его самодетерминации. Один из способов определения относительного уровня самодетерминации биологической системы мы основываем на методике разделения эмпирического распределения, отклоняющегося от нормального, на отдельные компоненты. Как показали наши исследования, разложение эмпирического распределения, отклоняющегося от нормального, на два нормальных гипотетических распределения оправдывается, если анализируемая совокупность растений характеризуется высоким относительным уровнем самодетерминации по изучаемому признаку, поскольку в таком случае влияние пара илической (средовой) детерминации относительно мало и количественное значение взаимодействия ее с типической не ведет к существенному искажению последней.

В качестве примера приведем результат наших исследований по определению относительного уровня самодетерминации по признаку "максимальный диаметр цветка" у георгии (девяти сортов) и по признаку "прирост в высоту" у сосны обыкновенной. При разложении эмпирического распределения дисперсий упомянутого признака у георгии на два нормальных распределения значение типической компоненты оказалось равным 0,81, а паратипической компоненты - 0,19. Полученные результаты совпали с данными дисперсионного анализа этого же материала. Сопоставление данных по определению типической компоненты дисперсии количественных значений признака "прирост в высоту" у сосны обыкновенной, полученных обоими способами, выявило некоторое расхождение результатов. Количественное значение типической компоненты, определенной способом разложения эмпирического распределения дисперсий на два гипотетических нормальных распределения, оказалось 0,19, а в результате дисперсионного анализа было получено значение этой компоненты, равное 0,05.

В ряде случаев, когда относительный уровень самодетерминации биологической системы сравнительно невысок, как это и наблюдается в отношении большинства признаков растений, распределение требуется разлагать на три нормальных гипотетических распределения. Д. Фальконер и П. Ф. Рокицкий, обсуждая частный случай нашей задачи (т.е. определение коэффициента наследуемости), указывают, что общая или фенотипическая дисперсия биологического признака состоит не из двух, а из трех компонент: генотипической и паратипической дисперсий и их взаимодействия. Авторы подчеркивают, что при разложении общей дисперсии на две компоненты (генотипическую и паратипическую) получаются завышенные значения коэффициента наследуемости, так как величина взаимодействия генотипических и паратипических факторов при разложении эмпирического распределения на два нормальных распределения значительной частью включается в генотипическое, тем самым

завишая его относительный уровень.

Алгоритм разделения распределений, отклоняющихся от нормального, на два гипотетически нормальных распределения опубликовал В. Урбах в 1961 г. Но алгоритм разделения распределений, отклоняющихся от нормального, на три гипотетических нормальных распределения мы в литературе не нашли, поэтому нашей задачей была разработка такого алгоритма. С использованием метода случайного подбора составлена и отлажена программа MEPISTO-2 для ЭВМ СБ-415. С помощью этой программы и производилось разложение. Основой алгоритма послужила формула нормального распределения в общем виде

$$y(x) = A_1 e^{-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} + A_2 e^{-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}} + A_3 e^{-\frac{(x-\mu_3)^2}{2\sigma_3^2}}, \quad (1)$$

где A - амплитуда; x - даты; μ_1, μ_2, μ_3 - средние арифметические гипотетических распределений; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - стандартные отклонения гипотетических распределений.

Оценку результатов производит ЭВМ методом минимизации ошибки, представляющей собой разницу между эмпирическим распределением и суммой получаемых гипотетических распределений. В результате разложения были получены три гипотетических нормальных распределения для трех демонов: Ia, Pa и Ib.

Дем Ia образован 27 клонами сосны обыкновенной по приросту 1972 г. Дем Pa образован 20 клонами ели европейской по приросту 1974 г. Дем Ib образован теми же клонами ели европейской по приросту 1975 г. (таблица).

Биометрические характеристики демонов Ia, Pa, Ib

№ дёма	$\overline{\Delta x_1^2}$	$\overline{\Delta x_2^2}$	$\overline{\Delta x_3^2}$	D_A	η^2	β
Ia	5,5	39,7	57,3	0,77	0,155	0,111
Pa	0,4	7,8	402,3	0,32	0,090	0,001
Ib	9,5	19,2	490,1	0,324	0,090	0,001

За относительный уровень самодетерминации D_A изучаемого признака принимается отношение типической компоненты дисперсии к общему значению

$$D_A = \frac{\overline{\Delta x_T^2}}{\Delta^2} \quad (2)$$

Для идентификации типического среднего квадрата центральных отклонений Δx_T^2 по трем гипотетическим распределениям вычислялся показатель пестроты эдафических условий — показатель \mathcal{B} по Смитсу — для 5–7 вариантов дисперсионного комплекса с разным объемом групп, после чего определялась линейная функция показателя \mathcal{B} в зависимости от объема групп дисперсионного комплекса. По $\tan \alpha$ угла наклона этой прямой к оси абсцисс приблизительно определялась типическая гетерогенность изучаемой биологической системы. Если типическая гетерогенность была менее 0,5, то за типическое принималось гипотетическое распределение с меньшим арифметическим средним дисперсий, а если более 0,5, то с большим.

Для проверки адекватности данного способа использовались результаты дисперсионного анализа описанных выше демов. Здесь за уровень самодетерминации принимались сила влияния клона-сорта χ^2 по Н. А. Плохинскому и соотношение дисперсий (ρ) по Дж. Снедекору.

Принципиальный подход, который дан в формуле (1), при необходимости можно использовать для выявления относительной доли индивидуумов определенного дема или популяции, принадлежащих каждому из подмножеств, составляющих нормальное распределение. Согласно формуле распределения частот при нормальном законе, показатель λ_i из (1) равен

$$\lambda_i = \frac{c \cdot n_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \quad (3)$$

где c - интервал группировки; n_i - количество индивидуумов i -го подмножества; σ_i - стандартное отклонение i -го подмножества.

Рассмотрим наиболее простой случай, когда выборка представляет собой сумму из двух подмножеств, распределенных по нормальному закону. Согласно разработанной нами программе, перед вычислением подбирают желаемое количество "шагов" Ω и желаемую точность γ расчетов. Подбор теоретических нормальных кривых производится следующим образом. Во внешнем цикле вычислений постепенно подбираются Ω различных значений n_1 , начиная от $n_1 = 0$ и кончая $n_1 = n$ (n - общее количество учитываемых индивидуумов в исследуемой популяции). Во внутренних циклах идет подбор соответственно Ω различных значений M_1 - от 0 до $M_1 = 0,5 \sum_{j=1}^n Z_j / n$ (Z_j - измеренные значения изучаемого признака) и такое же количество различных значений σ_1 - от $\sigma_1 = 0$ до $\sigma_1 = s$ (s - стандартное отклонение эмпирических данных). Величинам n_1 , M_1 и σ_1 в каждом цикле подставляют единственно возможные значения n_2 , M_2 и σ_2 :

$$n_2 = n - n_1 \quad ; \quad (4)$$

$$M_2 = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j - M_1 n_1}{n_2} \quad ; \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n Z_j^2 - \sigma_1^2 (n_1 - 1) + n_1 M_1^2 - n_2 M_2^2}{n_2 - 1}} \quad . \quad (6)$$

Полученные комбинации n_1 , M_1 и σ_1 используются для вычисления возможных теоретических кривых по (1) и (3), которые сравниваются с эмпирической кривой частот. Из теоретических кривых выбирается одна - наиболее близкая к эмпирической. Далее параметры выбранной теоретической кривой используются для увеличения степени соответствия теоретической и эмпирической кривых. Для этого описанная процедура повторяется γ раз при сужающейся амплитуде использованных параметров.

III

Степень соответствия расчетной и эмпирической кривых оценивается с помощью критерия Колмогорова-Смирнова (λ). Если между кривыми не обнаружено достоверных различий, доля индивидуумов, принадлежащих к i -му подмножеству (D_i), вычисляется как

$$D_i = \frac{n_i}{n} \quad (7)$$

Описанный подход представляется возможным использовать, например, для оценки структуры деградации рекреационных лесонасаждений. В рекреационных лесах, которые подверглись длительному интенсивному вытаптыванию, можно выделить два подмножества деревьев - страдающих от антропогенного воздействия и в результате этого резко сокративших текущий прирост древесины ($i = 1$) и деревьев, противостоящих пока еще вредному антропогенному воздействию и растущих нормально ($i = 2$). В данном случае показатели Z_j представлены шириной годичных колец.

Описанный подход применим и в любом другом случае, когда эмпирическая выборка представляет собой сумму нескольких подмножеств, каждая из которых следует нормальному закону распределения.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. О. В. КУУСИНЕНА

РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Межвузовский сборник

ЭКОЛОГО-ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ

Концепция и частная методология

При решении целого ряда задач охраны природы и рационального природопользования, оптимизации хозяйственной деятельности, экологизации общественного производства возникает проблема экологической оценки и прогнозирования динамики природных комплексов. Особенно сложная ситуация складывается при прогностической оценке трендов ожидаемых изменений лесных биогеоценозов. Как показывает имеющийся опыт природопользования, отсутствие достаточно адекватного комплексного концептуально-методического подхода к решению этой проблемы приводит к принятию решений, осуществление которых наносит существенный экологический и экономический ущерб. Необходимость разработки комплексной эколого-прогностической оценки лесных биогеоценозов становится все более актуальной. Вариант такой комплексной эколого-прогностической оценки последствий антропогенного воздействия (хозяйственных мероприятий, загрязнения, рекреационной деятельности и др.) на лесные биогеоценозы разработан нами на кафедре ботаники и экологии Латвийского государственного университета.

Концептуально наша методика эколого-прогностической оценки основывается на выявлении ответной реакции живых организмов на воздействие внешних факторов. При этом учитывается, что одно и то же воздействие на экосистему оказывает разное влияние на различные ее компоненты и их реакция в разные интервалы времени проявляется не с одинаковой интенсивностью и направленностью. Поэтому для выявления показателей состояния и прогнозирования изменений экосистемы существенную роль играет правильный выбор наиболее характерного ее компонента, интегрально отражающего тренды всей экосистемы. В лесных биоценозах таким компонентом является древостой, т. е. совокупность деревьев. Древостой — это основной продуцент фитомассы и определитель функциональной структуры биоценоза. Ведущая роль этого компонента определяется и его четкой реакцией на воздействие внешних факторов, особенно тем, что дерево в своей структуре регистри-

рует информацию об ответной реакции на эти воздействия. Не менее важно и то, что при изучении ответной реакции древостоя возможно ее определение однозначной количественной оценкой (в м³ древесины на 1 га) [1]. В свою очередь такая сложная подсистема, как древостой, характеризуется многочисленными параметрами. Таким важнейшим показателем является текущий прирост древесины, адекватно отражающий реакцию деревьев. В годичных кольцах древесины содержится многолетняя ретроспективная информация о прошлой динамике развития древостоя. Таким образом, этот показатель дает возможность оценить состояние биоценоза не только в момент сбора данных, но и провести оценку динамики состояния во времени, исследовать реакцию древостоя за определенный период ретроспекции, что является необходимой основой прогноза дальнейшего развития древостоя. Кроме того, имеются определенные корреляционные связи этого показателя с динамикой других структурных элементов биоценоза. По текущему приросту можно определить, как в течение всей жизни деревьев менялось их «самочувствие» и тем самым составить прогноз дальнейшей судьбы древостоя и в определенной степени всего биоценоза. Поэтому наш методический подход основан на использовании текущего прироста древостоя как трендового интегрального показателя, отражающего ответную реакцию биотических систем на воздействие среды, а также биоиндикационной информации экологического качества среды. В качестве биоиндикаторов используются также лишайники. Анализ конкретных загрязняющих веществ и динамики их накопления во времени проводится лабораторными анализами экспонированных проб сфагновых мхов и образцов биомассы.

Данный методический подход подразделяется на два этапа — этап сбора исходной информации и этап переработки информации и использования выходных данных. На этапе сбора исходной информации основным ее источником являются полевые исследования. Они предусматривают сбор массива данных для: а) вычисления временного ряда количественных значений текущего древесного прироста и дополнительного текущего прироста как интегральных показателей ответной реакции лесного биоценоза; б) оценки экологических условий, определяющих развитие исследуемых биоценозов; в) визуальной оценки состояния деревьев и степени их усыхания; г) оценки изменения естественных экологических условий под влиянием антропогенного воздействия (изменение физических и химических свойств почвы, уровня загрязнения воздуха, изменение уровня грунтовых вод и др.); д) оценки других подсистем лесного биоценоза (подроста, подлеска, живого напочвенного покрова), обеспечивающих качественную определенность и длительное функционирование данного биоценоза как единой системы; е) оценки

вытапывания и уплотнения почвы на исследуемой территории (в пригородных лесах рекреационного назначения); ж) сбора специальных данных о встречаемости и состоянии видов растений, являющихся биоиндикаторами на задымление и загазованность воздуха.

Для определения кумулятивного загрязнения (суммарного накопления загрязнения в период времени) на каждой пробной площади (или эталонной точке) используются сфагновые мхи (*Sphagnum magellanicum* Brid.), которые накапливают загрязнители пропорционально их концентрации в воздухе и продолжительности экспонирования сфагновых проб («ловушек»). Время экспонирования сфагновых проб один, два и четыре месяца. Для этих же целей берутся пробы биомассы (листья и кора деревьев на высоте 1,5—2 м). Кроме этих данных, полученных в полевых исследованиях, привлекается информация о метеорологических условиях и загрязнении воздуха на исследуемых территориях (материалы гидрометеорологической службы), а также данные, характеризующие изменение уровня грунтовых вод (материалы гидрогеологической службы).

На этапе переработки информации и использования выходных данных решаются следующие основные задачи: а) выявление показателей характеристики хода роста деревьев исследуемой ценопопуляции и класса возраста в период непосредственно перед усыханием; б) ретроспективный анализ пробных площадей, выявление количественно обоснованных показателей состояния и динамики ожидаемых изменений исследуемых биоценозов; в) ранжирование пробных площадей по их экологическому качеству и динамике (трендам) изменений для разработки прогноза и определения приоритетности мероприятий в целях оптимизации; г) выявление характеристики кумулятивного загрязнения исследуемых пробных площадей и эталонных точек; д) выявление существенных отрицательных антропогенных факторов, определение силы их влияния и активных периодов воздействия; е) разработка прогноза и эколого-прогностических карт, определение приоритета экологических мероприятий.

В целях выявления пространственно-временной структуры деградации лесных биоценозов пробные площади подвергаются детальному ретроспективному анализу древостоев, так как именно ретроспективный анализ объективно отражает тренд роста и развития древостоя. Поэтому этот анализ является неотъемлемым элементом эколого-прогностической оценки лесных насаждений. Ретроспективный анализ раскрывает объективные закономерности развития насаждений и, связывая прошлое, настоящее и будущее, является незаменимым элементом оценки реакции древостоя на воздействие разных факторов среды, позволяет оценить их экологическую и экономическую значимость.

Формализация структуры деградации древостоя

Структура деградации древостоя характеризуется долей деревьев насаждения, которые страдают от отрицательного антропогенного воздействия. Индикацию деградированных деревьев обычно проводят по густоте и окраске хвои (у хвойных), или листьев (у лиственных), по степени отмирания ветвей и другим подобным признакам, которые позволяют выявить лишь конечный этап деградации и исключают возможность ретроспективного прослеживания динамики этого процесса. Нами была проверена возможность выявления деградации деревьев по их текущему приросту. Для этого при обследовании рекреационных лесов курортного города Юрмала (Латвийская ССР) было взято более 200 спилов на высоте 1,3 м у деревьев сосны обыкновенной с различной степенью деградации. На спилах измерялась ширина всех годовичных колец. С целью характеристики совокупности деревьев строились кривые распределения средних значений радиального прироста за последние 11 лет для особой каждого возрастного класса. Не было обнаружено достоверных отличий между этими эмпирическими распределениями и теоретическим нормальным распределением. Для сравнения использовали результаты измерения текущего прироста, которые относятся к периоду роста деревьев, когда они не подвергались отрицательному воздействию. И в последнем случае для полученных эмпирических распределений не было достоверных отличий от соответствующего нормального распределения. Эмпирические данные обеих совокупностей одной и той же возрастной группы достоверно отличаются между собой по среднему арифметическому ширины годовичных колец и среднему квадратическому отклонению. Учитывая это, поврежденное человеком лесонасаждение по результатам измерения ширины годовичных колец можно представить как сумму двух совокупностей: А — противостоящих отрицательному антропогенному воздействию; Б — резко сокративших прирост в результате этого воздействия.

Эмпирические кривые совокупностей А и Б одной и той же возрастной группы перекрываются. Степень перекрывания возрастает с возрастом деревьев. Следовательно, для разделения эмпирических кривых, характеризующих каждый анализируемый древостой, необходима подходящая методика. Для выделения совокупностей А и Б нами разработан алгоритм, который реализуется при помощи программ, отлаженных для ЭВМ. По этому алгоритму кривая распределения ширины годовичных колец (конкретной пробной площади) сравнивается с теоретическими кривыми, которые вычисляются как сумма двух кривых нормального распределения:

$$Y = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{n_A}{\sigma_A} \exp \left[-\frac{(x_i - \mu_A)^2}{2\sigma_A^2} \right] + \frac{n_B}{\sigma_B} \exp \left[-\frac{(x_i - \mu_B)^2}{2\sigma_B^2} \right] \right\}, \quad (1)$$

где x_i — средняя ширина годовых колец i -того класса теоретической кривой распределения;

Y_i — ожидаемое количество деревьев в i -том классе;

c — интервал группировки; подбирается с учетом, чтобы количество классов (k) было более 10;

n_A, n_B — количество деревьев, соответственно не страдающих (А) и страдающих (Б) от антропогенного воздействия ($n_A + n_B \leq 200$);

μ_A, μ_B — средняя арифметическая ширина годовых колец в совокупностях А и Б;

σ_A, σ_B — теоретическое стандартное отклонение для совокупностей А и Б.

Согласно разработанной программе, перед вычислением подбирают желаемое количество «шагов» (Ω) и желаемую точность расчетов (γ). Подбор теоретических кривых производится следующим образом. Во внешнем цикле вычислений постепенно подбираются Ω различных значений n_B , начиная от $n_B = 0$ и кончая $n_B = n$ (где n — общее количество учитываемых деревьев). Во внутренних циклах идет подбор соответственно различных значений μ_B (от 0 до $\mu_B = 0,5 \sum_{j=1}^n Z_j / n$, где Z_j — величина ширины годовых колец) и σ_B (от 0 до $\sigma_B = s$, где s — стандартное отклонение эмпирических данных). Соответственно величинам n_B, μ_B и σ_B в каждом цикле подбираются единственно возможные величины n_A, μ_A и σ_A :

$$n_A = n - n_B; \quad (2)$$

$$\mu_A = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j - \mu_B n_B}{n_A}; \quad (3)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n Z_j^2 - \sigma_B^2 (n_B - 1) + n_B \mu_B^2 - n_A \mu_A^2}{n_A - 1}}. \quad (4)$$

Все полученные различные комбинации n_B, μ_B, σ_B используются для вычисления возможных теоретических кривых по формуле (1), которые сравниваются с эмпирической кривой. Из всех теоретических кривых выбирается одна, наиболее близкая эмпирической. Далее параметры выбранной кривой используются для более точного подбора теоретической кривой. Для этого описанная процедура повторяется γ раз, при сужающейся амплитуде использованных параметров.

по сравнению с использованием систем линейных уравнений. Степень адекватности регрессионных уравнений оценивается при помощи стандартных отклонений регрессии и при помощи дисперсионного анализа. Отыскание точек К, М и Н перелома тренда проводится по уравнению

$$t_n = -\frac{Q_2}{3Q_3} \pm \sqrt{\frac{c - Q_1 + \frac{Q_2^2}{3Q_3}}{3Q_3}}, \quad (8)$$

где t_n — выявляемая точка перелома;

Q_1, Q_2, Q_3 — параметры многочлена;

c — коэффициент для вычисления точек перелома;

$c=1$ для точек Н и М; $c=0$ для точки К.

Прогнозная оценка и эколого-прогностическое картирование лесонасаждений

На основе выявленных показателей проводится эколого-прогностическая оценка исследуемых лесных биогеоценозов. Методически это осуществляется следующим образом. В первую очередь для исследуемых древесных насаждений с помощью математической модели (6) выявляется теоретический критический уровень текущего прироста (в зависимости от вида и возраста исследуемых насаждений). Далее, используя регрессионное уравнение (7), определяется тренд снижения текущего прироста (скорость деградации) древостоя. Затем, применив уравнение (8) (рис. 1), отыскивается начальная точка Н перелома тренда текущего прироста, означающая начало деградации. При сильно выраженной деградации деревьев отыскивается также точка К, означающая начало критической степени деградации деревьев. Прогноз ожидаемых изменений разрабатывается в два этапа. На первом этапе определяется лаг (интервал времени в годах), по прошествии которого исследуемая совокупность деревьев (или отдельное дерево) достигает критического уровня текущего прироста. Этот интервал определяет:

1) тренд снижения текущего прироста (угол наклона эмпирических линий) (см. рис. 1);

2) местонахождение уровня среднего текущего прироста последнего пятилетия в интервале между переломными точками Н (начало деградации) и К (наступление критического уровня) (см. рис. 1).

На втором этапе определяется лаг (интервал времени) возможного существования данной совокупности деревьев при критическом уровне текущего прироста, который в основном зависит от видового состава древостоя, класса возраста, а также вида и специфики отрицательного антропогенного воздействия. Так, например, у сосны обыкновенной, находящейся под интен-

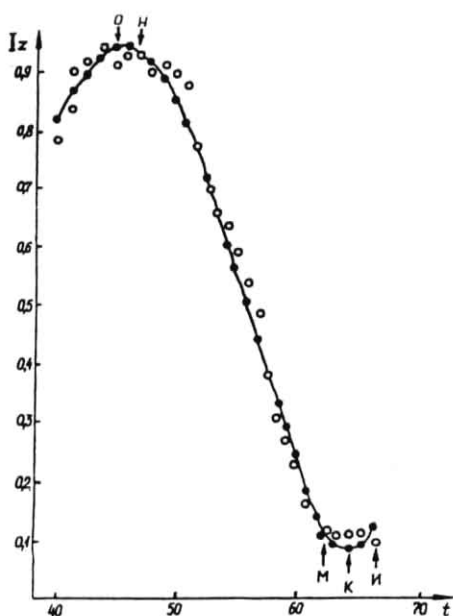


Рис. 1. Зависимость индекса ширины годичных колец от возраста дерева сосны обыкновенной перед засыханием.

Обозначения: \circ — эмпирические значения I_z ; \bullet — значения I_z , соответствующие уравнению регрессии $I_z = 0,0002t^3 - 0,0256t^2 + 1,3689t - 22,7640$. H — начало деградации; M — начало периода, при котором текущий прирост достигает значения Z_{min} ; K — начало критической степени деградации дерева; O — точка максимальной величины Z ; H — величина I_t и году засыхания дерева

сивным рекреационным воздействием, этот интервал в возрастной группе до 40 лет продолжается в основном от 7 до 10 лет, в группе возраста 50—80 лет — интервал 10—15 лет, в группе 90—120 лет — интервал 15—20 лет, в группе возраста более 120 лет — 20—25 лет. При очень интенсивных видах воздействия, особенно возросшем загрязнении воздуха и почвы, этот интервал может многократно сокращаться (даже до 1—3 лет) и не иметь существенного значения при прогнозировании.

Состояние и ожидаемые изменения исследуемых лесных биогеоценозов характеризуются, кроме тренда структуры древостоя, также и таким показателем, как усредненный балл деградации биоценоза, который определяется по визуально наблюдаемым признакам (состояние кроны, охвоенность или облиствен-

ность побегов, цвет хвон или листьев, стадия дигрессии кустарникового яруса и живого напочвенного покрова). По этим показателям, с применением прогностических моделей, выводится обобщенный комплексный трендовый критерий состояния и лаг перспективной угрожаемости древонасаждений. По этому критерию и обобщенному лагу прогноза производится классифицирование насаждений, на основе которого выделяются пять степеней прогнозируемой угрожаемости.

1. Насаждения с ненарушенной естественной структурой и развитием, текущий прирост равен или больше контрольного, полный набор характерных для данного типа леса видов.

2. Насаждения с заметными, но не существенными антропогенными повреждениями, несущественное (не более 10%)

снижение текущего прироста, визуально наблюдаемые признаки деградации не проявляются; появление антропоотолерантных и опушенных видов до 20% площади.

3. Насаждения с существенными антропогенными повреждениями, явно выражена точка Н перелома тренда текущего прироста, снижение не более чем наполовину текущего прироста между двумя переломными точками Н и К. Текущий прирост в полтора—два раза ниже контрольного, наблюдается слабое проявление внешних признаков деградации деревьев, III—IV стадии дигрессии [3], явное нарушение биогеоценологических связей — потеря способности естественного самовозобновления.

4. Ускоренно деградирующие насаждения — резкий наклон тренда снижения текущего прироста, уровень текущего прироста в интервале между точками Н и К, текущий прирост в 2—3 раза ниже контрольного, существенные внешние признаки деградации III и IV степени, IV—V стадии дигрессии живого напочвенного покрова [3].

5. Погибающие насаждения — текущий прирост снизился до критического уровня, дополнительный текущий прирост в 2—5 раз ниже контрольного, V стадия дигрессии [3].

При несовпадении отдельных показателей приоритетная роль в классификации насаждений по пробным площадям (совокупностям деревьев) отводится показателям тренда текущего прироста древесных насаждений.

Для эколого-прогностического картирования используется топографическая основа территории с нанесенными на нее контурами лесонасаждений. В пределах этих контуров различной штриховкой (или окраской) выделяются площади с соответствующей степенью прогнозируемой угрожаемости. Для сводного графического представления приоритетности (по территории и факторам) на эколого-прогностическую картосхему наносятся удельные веса влияния отрицательных факторов воздействия [2], которые разделены по трем блокам: а) загрязнение воздуха и почвы, б) изменение гидрологического режима, в) рекреационное воздействие и связанное с ним уплотнение почвы.

Эколого-прогностическая картосхема сопровождается соответствующим текстом, в котором дается прогнозная оценка картированных древонасаждений и обоснование лага ожидаемых изменений (по десятилетиям). Текст завершается рекомендациями по определению приоритетности вида, специфики и территориального распределения экологических мероприятий, необходимых для предотвращения отрицательных последствий, ожидаемых согласно эколого-прогностической оценке древонасаждений.

Разработанная методика апробирована и верифицирована в пригородных лесах Москвы, Ленинграда, Юрмалы, Кировска.

Эмпирические коэффициенты уравнения проверены также по достаточно репрезентативному материалу лесов Сибири. Однако все районы верификации методики относятся к лесной (частично лесотундровой и лесостепной) зоне. При применении методики в других природных зонах с другим видовым составом и существенно другими природными лимитирующими факторами (например, температура, режим увлажнения) необходима дополнительная верификация методики, в результате чего может потребоваться адаптирование и модифицирование некоторых методов. Модифицирование и дальнейшее совершенствование разработанной методики будет диктоваться также дальнейшим развитием науки и материально-технической базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лица И. Я. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология.— Рига: Зинатне, 1980.
2. Лица И. Я. Показатель удельного веса влияния факторов воздействия.— В кн.: Моделирование и прогнозирование в ботанике: Уч. зап. Латвийского госуниверситета. Рига, 1971, с. 36—40.
3. Казанская Н. С., Ланина В. В., Марфенин Н. Н. Рекреационные леса.— М.: Лесная промышленность, 1977.