

(19)



(10) **LT 5897 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patento numeris: **5897** (51) Int. Cl. (2011.01): **G01T 1/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2011 006**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2011 02 07**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2012 08 27**
- (45) Patento paskelbimo data: **2013 01 25**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:  
**Donatas BUTKUS, LT**  
**Ingrida PLIOPAITĖ BATAITIENĖ, LT**
- (73) Patento savininkas:  
**Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
—

- (54) Pavadinimas:  
**<sup>137</sup>Cs radioaktyviosios užtaršos paprastosios pušies rievėse nustatymo būdas**
- (57) Referatas:

Išradimas priklauso analizės būdams, kuriais nustatomas radionuklido, skleidžiančio gama spinduliuotę, savitąjį aktyvumą medienoje, nenukertant medžio. Savitasis <sup>137</sup>Cs aktyvumas metinėje rievėje nustatomas pagal šio radionuklido pasiskirstymą dirvožemyje po medžio laja. <sup>137</sup>Cs pasiskirstymui dirvožemyje po medžio laja nustatyti surenkami dirvožemio bandiniai 1 m atstumu nuo medžio, išdžiovinami iki pastovios masės 105 °C temperatūroje, paruošiami tyrimui, atliekama gama spektrometrinė analizė. Žinant cheminių analogų konkurencingumo, 40K santykinio pasiskirstymo koeficientus bei gama spektrometrijos tyrimo duomenis, nustatomas savitasis aktyvumas paskutinėje suformuotoje medžio rievėje – santykinis skirtumas, išreikštas procentais, tarp būdo ir natūrinio eksperimento rezultatų yra iki 16,7 %. Vertinant <sup>137</sup>Cs savitojo aktyvumo pasiskirstymą metinėse rievėse gaunamas vidutinis santykinis skirtumas, išreikštas procentais, tarp būdo ir natūrinio eksperimento rezultatų, yra 27,0 %.

**LT 5897 B**

### Technikos sritis

- 5 Išradimas priklauso aplinkos užtaršos analizės būdams, kuriais nustatomas radionuklido ( $^{137}\text{Cs}$ ), skleidžiančio gama spinduliuotę, savitasis aktyvumas medienoje.

### Technikos lygis

- Aplinkos užtaršos radionuklidais įvertinimo būdas aprašytas patente RU 2265869 C1.
- 10 Šis būdas apima medienos bandinių parinkimą, jų paruošimą ir radionuklidų pasiskirstymo metinėje rievėje analizę, taikant skeveldrinės radiografijos būdą. Pasitelkiant šį būdą galima įvertinti maksimalios radionuklidų taršos patekimą į aplinką. Tačiau šiuo metodu nenustatoma konkreti radioaktyvios užtaršos ir konkretaus radionuklido savitojo aktyvumo vertė metinėje rievėje.

- 15 Šiuo metu vienas iš taikomų radioaktyviosios užtaršos retrospektyvinės analizės metodų yra  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paprastosios pušies metinėje rievėje nustatymas gama spektrometrinės analizės būdu. Šis metodas apima medžių kirtimo darbus ir pirminį medžio bandinių surinkimą, toliau seka medžio bandinių paruošimas gama spektrometrinei analizei, t.y. skaldymas, džiovinimas, deginimas ir smulkinimas, ir pati medienos bandinių gama spektroanalizė, kurios metu nustatoma metinių medžio rievėlių radioaktyvioji užtarša (**Buziny, M.; Los, L.; Shepelevich, K.** 2000. The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the biomass of pine trees planted in 1987 – 1988 in the near zone of Chernobyl nuclear power plant. *Radiation and Isotopes* 52: 905–910.; **Kagawa, A.; Aoki, T.; Okada, N.; Katayama, Y.** 2002. Tree – Ring Strontium – 90 and Cesium – 137 as Potential Indicators of Radioactive Pollution. *Journal of Environmental Quality* 31: 2002–2007.; **Malek, M. A.; Hinton, T. G.; Webb, S. B.** 2000. A comparison of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  uptake in plants via three pathways at two Chernobyl – contaminated site. *Journal of Environmental Radioactivity* 58: 129–141).
- 20
- 25

Pagrindinis šio metodo trūkumas – medžių kirtimas.

### 30 Išradimo esmė

Išradimo tikslas – sudaryti galimybę įvertinti retrospektyvinę radioaktyviąją užtaršą medžio rievėse, išsaugant medį.

Radioaktyviosios užtaršos medžio rievėse nustatymo būdas kaip ir prototipas apima bandinių surinkimą ir paruošimą spektrometrinei analizei bei spektrometrinę analizę. Nauja

yra tai, kad bandiniai formuojami iš dirvožemio po medžio laja, radionuklido kiekis medžio rievėse įvertinamas pagal spektrometrine analize nustatytą radionuklido savitąjį aktyvumą dirvožemyje, naudojant  $^{40}\text{K}$  santykinio pasiskirstymo ir cheminių analogų konkurencingumo koeficientus. Be to, dirvožemio bandiniai parenkami 0,5-1,3 m atstumu nuo medžio, kas 2 cm iki 10 cm gylio, o gilesniuose sluoksniuose – kas 5 cm.

Aplinkos užtarša  $^{137}\text{Cs}$  atsispindi dendrochronologinėse sekose. Taigi šiame išradime siūlomas būdas  $^{137}\text{Cs}$  kaupimuisi metinėse rievėse tirti pagal jo pasiskirstymo dirvožemyje po medžio laja analizės duomenis.

### Brėžinio aprašymas

Išradimui paaiškinti pateikiamas grafikas, kuriame nurodyta medžio amžiaus priklausomybė nuo koeficiento, apibūdinančio santykį  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotose rievėse ( $A_{(r-n)}$ , čia  $n = 1 \dots n$ ).

### Išradimo įgyvendinimo aprašymas

$^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas metinėje rievėje nustatomas pagal šio radionuklido pasiskirstymą dirvožemyje po medžio laja.  $^{137}\text{Cs}$  pasiskirstymui dirvožemyje po medžio laja nustatyti surenkami dirvožemio bandiniai 1 m atstumu nuo medžio, 0-10 cm gylyje kas 2 cm, 10–25 cm – kas 5 cm. Dirvožemio bandiniai išdžiovinami iki pastovios masės  $105\text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje, jie paruošiami tyrimui, nustatomas  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas dirvožemyje.

Norint įvertinti  $^{137}\text{Cs}$  pasiskirstymą paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) metinėse rievėse priimama, kad:

1.  $^{40}\text{K}$  ( $^{137}\text{Cs}$  cheminis – biologinis analogas) dirvožemyje yra pasiskirstęs homogeniškai.
2.  $^{137}\text{Cs}$  vienodai pasiskirstęs dirvožemyje po medžio laja pagal pasaulio šalis.
3.  $^{137}\text{Cs}$  vertikalus pasiskirstymas dirvožemyje nustatomas eksperimentiškai tiriamaisiais metais.
4.  $^{137}\text{Cs}$  vertikalus pasiskirstymas dirvožemyje prieš tai buvusiais metais įvertinamas teoriškai, pagal  $^{137}\text{Cs}$  difuzijos ir kryptinės pernašos lygties sprendinį.
5. Atsižvelgiama į tai, kad per šaknų sistemą  $^{137}\text{Cs}$  į medį patenka apie 80 %, o efektyviausiai  $^{137}\text{Cs}$  įsisavinamas praėjus apie 9 – 15 metų nuo užtaršos. Be to, iš 0-5 cm dirvožemio gylio  $^{137}\text{Cs}$  nežymiai patenka į augančios pušies medieną, tuo tarpu aktyviausia  $^{137}\text{Cs}$  pernaša yra iš 15-20 cm dirvožemio gylio. Paprastosios pušies šaknų biomasės išsidėstymas dirvožemio vertikaleje apibūdinamas taip: 0 – 5 cm gylyje 5 %; 5 – 10 cm – 16,7 %; 10 – 15 cm – 21,7 %; 15 – 20 cm – 28,3 %; 20 – 25 cm – 21,7 %; 25 – 30 cm – 10,0 %.

6. Pagal eksperimentinius duomenis įvertinus  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  savitųjų aktyvumų santykius dirvožemyje ir medienoje nustatomas cheminių analogų konkurencingumo koeficientas  $G$ , kuris yra lygus:

$$G = \left( \frac{A(\text{Cs})}{A(\text{K})} \right)_d \cdot \left( \frac{A(\text{K})}{A(\text{Cs})} \right)_m, \quad (1)$$

- čia  $A(\text{Cs})_d$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas dirvožemyje tam tikrais metais, Bq/kg;  
 $A(\text{Cs})_m$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas metinėje rievėje, įvertinus radioaktyvų suskilimą, Bq/kg;  
 $A(\text{K})_d$  –  $^{40}\text{K}$  savitasis aktyvumas dirvožemyje, Bq/kg;  
 $A(\text{K})_m$  –  $^{40}\text{K}$  savitasis aktyvumas metinėje rievėje, Bq/kg.

7. Nustatomas  $^{40}\text{K}$  santykinio pasiskirstymo koeficientas  $L$ , nusakantis vidutinį santykį  $^{40}\text{K}$  savitojo aktyvumo dirvožemyje ir medienoje:

$$L = \frac{A(\text{K}_d)}{A(\text{K}_m)}, \quad (2)$$

8. Žinant cheminių analogų konkurencingumo koeficientą  $G$  ir  $^{40}\text{K}$  santykinio pasiskirstymo koeficientą  $L$ , nustatomas  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas paskutinėje suformuotoje medžio rievėje pagal formulę:

$$A(\text{Cs})_m = \sum X_i \frac{A(\text{Cs})_{d,i}}{G_i L_{\text{vid}}}, \quad (3)$$

čia  $X_i$  – koeficientas, įvertinantis medžio šaknų vertikalų išsidėstymą;

$A(\text{Cs})_{d,i}$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas tam tikruose dirvožemio gyliuose tiriamaisiais metais, Bq/kg;

- $L_{\text{vid}}$  – koeficientas, nusakantis vidutinį santykį  $^{40}\text{K}$  savitojo aktyvumo dirvožemyje ir medienoje;

$G_i$  – koeficientas, įvertinantis  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  savitųjų aktyvumų santykius dirvožemyje ir medienoje, skirtas tam tikram dirvožemio gyliui.

- (3) formulėje, vertinančioje  $^{137}\text{Cs}$  kiekį medienoje, atmetamos dedamosios, kurios aprašo  $^{137}\text{Cs}$  patekimą iš gilesnių nei 15 cm sluoksnių dirvožemio, kadangi šiuose sluoksniuose pastarojo radionuklido kiekiai yra nedideli – pagal eksperimentinius, teorinius duomenis vidutiniškai mažiau nei 8 %. Todėl  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas paskutinėje suformuotoje medžio rievėje nustatomas pagal formulę:

$$A(\text{Cs})_m = \sum X_i \frac{A(\text{Cs})_{d,i}}{G_i L_{\text{vid}}} = \frac{1}{L_{\text{vid}}} \cdot \left( \frac{X_{0-2} \cdot A(\text{Cs})_{0-2}}{G_{0-2}} + \frac{X_{2-4} \cdot A(\text{Cs})_{2-4}}{G_{2-4}} + \frac{X_{4-6} \cdot A(\text{Cs})_{4-6}}{G_{4-6}} + \dots \right)$$

$$+ \frac{X_{6-8} \cdot A(Cs)_{6-8}}{G_{6-8}} + \frac{X_{8-10} \cdot A(Cs)_{8-10}}{G_{8-10}} + \frac{X_{10-15} \cdot A(Cs)_{10-15}}{G_{10-15}} \Big), \quad (4)$$

čia  $X_{0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-15}$  – koeficientas, įvertinantis medžio šaknų vertikalų išsidėstymą 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-15 cm dirvožemio gyliuose;

$G_{0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-15}$  – koeficientas, įvertinantis  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  savitųjų aktyvumų santykius dirvožemyje ir medienoje, 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-15 cm dirvožemio gyliuose.

$^{40}\text{K}$  santykinio pasiskirstymo koeficientas  $L_{\text{vid}}$ , nusakantis  $^{40}\text{K}$  santykį dirvožemyje ir medienoje, atsižvelgiant į dirvožemio savybes, pateikiamas 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Koeficiento  $L_{\text{vid}}$  vertės priemolio dirvožemiui

$L_{\text{vid}}$	1,72	2,90	0,70	1,76	2,98	2,53
<b>Dirvožemio pH</b>	4,7	4,0	5,2	4,4	4,2	4,2
<b>Smėlis, %</b>	95	91	91	94	90	90
<b>Molis, %</b>	2	2	4	3	2	2

Cheminių analogų konkurencingumo koeficientas  $G$ , įvertinantis  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{40}\text{K}$  santykių dirvožemyje ir medyje santykį, pagal dirvožemio gylius paskutinei medžio suformuotai rievei, pateikiamas 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Cheminių analogų konkurencingumo koeficiento  $G$  vertės

<b>Gylis, cm</b>	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-15	15-20
<b>G</b>	6,01	7,05	4,56	1,85	0,59	0,33	0,03

Pagal (4) formulę įvertinus  $^{137}\text{Cs}$  savitąjį aktyvumą paskutinėje suformuotoje medžio rievėje, nustatomi kokie savitieji aktyvumai yra ankstesniais metais suformuotose medžio rievėse. 1 pav. pateikiama medžio amžiaus priklausomybė nuo koeficiento, apibūdinančio santykį  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotose rievėse ( $A_{(r-n)}$ ), čia  $n = 1 \dots n$ ).

Rievėms, suformuotoms iki 2005 metų, koeficientas, apibūdinantis santykį  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotų rivių ( $A_{(r-n)}$ ), įvertinamas pagal tokią ryšio formulę, gautą eksperimentiškai:

$$A_{(r-n)}/A_r = 7 \cdot 10^{-7} \cdot r^6 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot r^5 + 0,0022 \cdot r^4 - 0,0381 \cdot r^3 + 0,2971 \cdot r^2 - 0,7523 \cdot r + 0,8522, \quad (5)$$

čia  $A_r$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas paskutinėje rievėje, Bq/kg;

$A_{(r-n)}$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas prieš tai suformuotų rivių, čia  $n = 1 \dots n$ , Bq/kg;

$r$  – medžio augimo metai.

Rievėms, suformuotoms po 2005 metų (šiuo atveju atitinka 70 medžio augimo metus), medžio amžiaus priklausomybė nuo koeficiento, apibūdinančio santykį  $^{137}\text{Cs}$  savitojo

aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotų rievių ( $A_{(r-n)}$ , kur  $n = 1...n$ ), nustatoma pagal formulę:

$$A_{(r-n)}/A_r = 0,0428 \cdot r + 0,9338, \quad (6)$$

čia  $A_r$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas paskutinėje rievėje, Bq/kg;

5  $A_{(r-n)}$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas prieš tai suformuotų rievių, čia  $n = 1...n$ , Bq/kg;

$r$  – medžio augimo metai.

Žinant koeficiento, apibūdinančio  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotose rievėse ( $A_{(r-n)}$ , čia  $n = 1...n$ ) santykį,  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo vertės rievėje nustatomos pagal formulę:

$$A(\text{Cs})_r = A(\text{Cs})_m \cdot \left( \frac{A_{r-n}}{A_r} \right) \quad (7)$$

čia  $A(\text{Cs})_r$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas bet kurioje rievėje, Bq/kg;

$A(\text{Cs})_m$  –  $^{137}\text{Cs}$  savitasis aktyvumas paskutinėje suformuotoje rievėje, įvertintas pagal (4) formulę, Bq/kg;

15  $\left( \frac{A_{r-n}}{A_r} \right)$  – koeficientas, apibūdinantis  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotų rievių ( $A_{(r-n)}$ , kur  $n = 1...n$ ) santykį, kuris nustatomas iš 1 paveikslo.

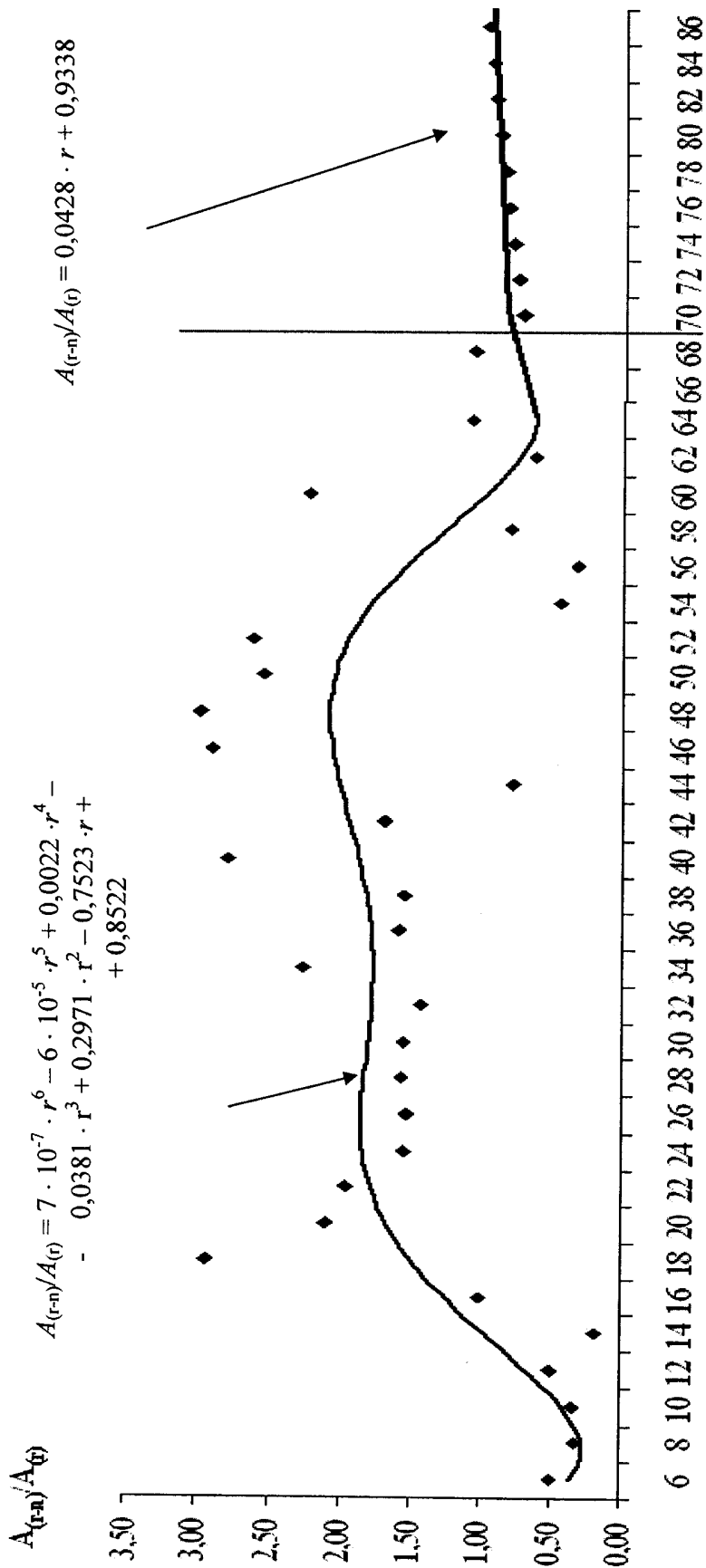
Vertinant medžio amžiaus priklausomybę nuo koeficiento, apibūdinančio santykį  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai suformuotų rievių ( $A_{(r-n)}$ , čia  $n =$   
 20  $1...n$ ), atsirado rievių suskirstymas atsižvelgiant į laikotarpį. Nuo 2005m (70 augimo metai) priklausomybės pobūdį nulėmė tokie veiksniai, kaip buvusios radioaktyviosios atmosferos taršos dėl branduolinių bandymų bei branduolinių įrenginių avarijų, vertikali  $^{137}\text{Cs}$  sklaida dirvožemyje ir įtaka augančiam augalui. 1. pav. medžio amžiaus priklausomybė nuo koeficiento, apibūdinančio  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paskutinėje rievėje ( $A_r$ ) ir prieš tai  
 25 suformuotose rievėse ( $A_{(r-n)}$  čia  $n = 1...n$ ), kai rievės suformuotos po 2005 m. yra nežymiai kylančios tiesės pobūdžio. Toks kitimas atitinka prielaidą, kad po 2005m. papildomos atmosferos radioaktyviosios taršos nėra, o medžio radioaktyvios taršos pagrindinis šaltinis – radionuklidai, esantys dirvožemyje. Šiuo metu  $^{137}\text{Cs}$  didžiausi savitieji aktyvumai nustatomi ties 5 cm dirvožemio sluoksniu. Po 40 metų šis radionuklidas turėtų pasiekti medžio  
 30 pagrindinę šaknų biomasę. Žinant, kad  $^{137}\text{Cs}$   $T_{0,5} = 30$  metų, savitasis aktyvumas šio radionuklido sumažės šiek tiek daugiau nei per pusę. Taip pat dirvožemyje vyksta ne tik

vertikali migracija žemyn, bet ir horizontalus persiskirstymas bei dirvožemio remediacija dėl kitų žemesnės klasės augalų veiklos.

5 Naudojant  $^{137}\text{Cs}$  savitojo aktyvumo paprastosios pušies metinėje rievėje nustatymo pagal jo pasiskirstymo dirvožemyje po medžio laja analizės duomenis tyrimo būdą, vidutinė santykinė paklaida (%) tarp tyrimo būdo rezultatų ir natūrinių tyrimų, nustatant savitąjį aktyvumą paskutinėje suformuotoje rievėje, yra 4,6 – 16,7 %, o nustatant savitojo aktyvumo pasiskirstymą visose rievėse yra 27,0 %.

**Išradimo apibrėžtis**

1. Radioaktyviosios užtaršos  $^{137}\text{Cs}$  medžio rievėse nustatymo būdas, apimantis bandinių surinkimą ir paruošimą spektrometrinei analizei bei spektrometrinę analizę,  
5 besiskiriantis tuo, kad bandiniai yra formuojami iš dirvožemio po medžio laja, radionuklido kiekis medžio rievėse įvertinamas pagal spektrometrine analize nustatytą šio radionuklido savitąjį aktyvumą dievožemyje, naudojant  $^{40}\text{K}$  santykinio pasiskirstymo ir cheminių analogų konkurencingumo koeficientus.
- 10 2. Radioaktyviosios užtaršos  $^{137}\text{Cs}$  medžio rievėse nustatymo būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad dirvožemio bandiniai yra parenkami 0,5-1,3 m atstumu nuo medžio.
- 15 3. Radioaktyviosios užtaršos medžio rievėse nustatymo būdas pagal 1–2 punktus besiskiriantis tuo, kad dirvožemio bandiniai yra renkami kas 2 cm iki 10 cm gylio, o gilesniuose sluoksniuose – kas 5 cm.



Medžio augimo metal, r

1 pav.