

---

# Technogeninių radionuklidų akumuliacija vandens augaluose cheminės ir terminės taršos fone

---

**Danutė Marčiulionienė**

*Botanikos institutas,  
Radioekologijos laboratorija,  
Žaliųjų ežerų g. 49,  
LT-2021 Vilnius*

Nustatyti technogeninių radionuklidų akumuliacijos lygiai bei procesai testinėse vandens augalų rūšyse (*Nitellopsis obtusa*, *Elodea canadensis*) ir jų ląstelėse Ignalinos AE, celiuliozės ir popieriaus pramonės nuotekų, branduolinėje šiluminėje energetikoje naudojamų kompleksonų EDTA, DTPA, OEDF, ištirpusios organinės medžiagos bei didesnės terminės taršos (31°C) fone.

Gauti duomenys rodo, kad radionuklidų akumuliacijos testinėse augalų rūšyse ir jų ląstelėse lygius sąlygoja tirtų teršalų sukelti augalų funkcinės būklės bei radionuklidų fizikinių-cheminių savybių vandens terpėje pokyčiai. Metaboliniuose procesuose dalyvaujančių joninės formos <sup>137</sup>Cs ir <sup>90</sup>Sr akumuliaciją vandens augaluose labiau sąlygoja augalų funkcinės būklės pokyčiai, o metaboliniuose procesuose nedalyvaujančių ir linkusių hidrolizuotis <sup>144</sup>Ce ir <sup>106</sup>Ru akumuliaciją vandens augaluose labiau sąlygoja fizikinių-cheminių procesų, vykstančių tarp vandens terpės ir augalų ląstelės, pokyčiai, kuriuos sukelia cheminė ir terminė tarša. Metaboliniuose procesuose dalyvaujančio, bet linkusio hidrolizuotis <sup>65</sup>Zn akumuliaciją vandens augaluose cheminės ir terminės taršos fone sąlygoja tiek augalų funkcinės būklės, tiek šio radionuklido fizikinių-cheminių savybių pokyčiai.

Terminės taršos fone (31°C) tirtų cheminių medžiagų ir nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai vandens augaluose daugeliu atvejų mažai keičiasi, t. y. išlieka panašios šių medžiagų ir nuotekų poveikio tendencijos kaip ir esant 22°C temperatūrai.

**Raktažodžiai:** nuotekos, kompleksonai, radionuklidai, vandens augalai, terminė tarša

---

## ĮVADAS

Yra žinoma, kad radionuklidai į aplinką patenka su įvairiomis cheminėmis medžiagomis, kurios gali turėti įtakos radionuklidų akumuliacijos gyvuose organizmuose lygiams, procesams ir jų biologiniam poveikiui. Todėl siekiant įvertinti kompleksinį radioaktyviųjų ir cheminių medžiagų toksinį poveikį gyviems organizmams, pirmiausia reikia nustatyti radionuklidų akumuliaciją šių cheminių medžiagų fone.

Vandens terpėje esantys radionuklidai, taip pat kitos toksinės medžiagos sąveikauja su augalais pirmiausia ląstelės lygmenyje, o šių toksinių medžiagų pralaidumo augalo ląstelėje pirmas barjeras yra ląstelės sienelė. Todėl labai svarbu nustatyti radionuklidų akumuliacijos bei lokalizacijos augalų ląstelėje procesus ir įvertinti tiriamų cheminių medžiagų poveikį šiems procesams (Blust, 2001). Šiuose tyrimuose chemoradioekologiniu modeliu gali būti naudojami makrodumbliai *Nitellopsis obtusa*, nes jie pasižymi didelėmis ląstelėmis (Марчюленене, 1994).

Vienos svarbesnių cheminių medžiagų, turinčių įtakos radionuklidų akumuliacijai gyvuose organizmuose, yra organiniai junginiai bei sunkieji metalai (Blust, 2001; Шестопалов и др., 2001), kurie į vandens baseinus patenka su įvairiomis pramoninėmis ir buitinėmis nuotekomis. Įvairiose pramonės šakose, taip pat atominėje bei šiluminėje energetikoje plačiai naudojamos organinės medžiagos – tai dirbtiniai kompleksonai, kurie patekę į vandens baseinus lengvai sudaro kompleksonatus su metalais bei jų radioizotopais ir padidina pastarųjų tirpumą vandenyje (Дятлова и др., 1988). Be to, kompleksonai, surišdami sunkiuosius metalus ir jų radioizotopus, juos efektyviai šalina iš organizmo. Vandens baseine vykstančiuose hidrobiologiniuose procesuose dalyvauja ne tik su įvairiomis nuotekomis patenkantys dirbtiniai, bet ir gamtiniai kompleksonai, kurie gaminasi gyvuose organizmuose, o jiems žuvus, kartu su ištirpusia organine medžiaga patenka į vandenį.

Šio darbo tikslas – nustatyti technogeninių radionuklidų akumuliacijos lygius bei procesus testi-

nėse vandens augalų rūšyse Ignalinos AE, celiuliozės ir popieriaus pramonės nuotekų, branduolinėje ir šiluminėje energetikoje naudojamų EDTA, DTPA ir OEDF kompleksonų, ištirpusios organinės medžiagos bei didesnės terminės taršos fone.

## TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Laboratoriniai tyrimai atlikti su testinėmis vandens augalų rūšimis *Nitellopsis obtusa* (makrodumbliai) ir *Elodea canadensis* (aukštesnieji augalai) 1 litro akvariumuose, pripildytuose filtruoto ežero vandens. Tiriama radionuklidų akumuliacija vandens augaluose ir jų ląstelėse laboratorinėmis sąlygomis buvo naudojamos standartinės radioekologinės metodikos (Рындина, Зесенко, 1970; Чибирайте и др., 1973; Foulquier et al., 2001). Ląstelės kompartmentai (sienelė, protoplazma, vakuolė) buvo atskiriami naudojant Hampsono (1967) metodiką.

Iš tirtų radionuklidų  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  gamtiniuose vandenyse daugiausiai būna joninės formos, o  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  ir  $^{65}\text{Zn}$  pasižymi skirtingomis hidrolizinėmis savybėmis, nes jų stabilų izotopų druskos linkusios hidrolizintis (Поликарпов, 1964; Куликов, Чеботина, 1988).

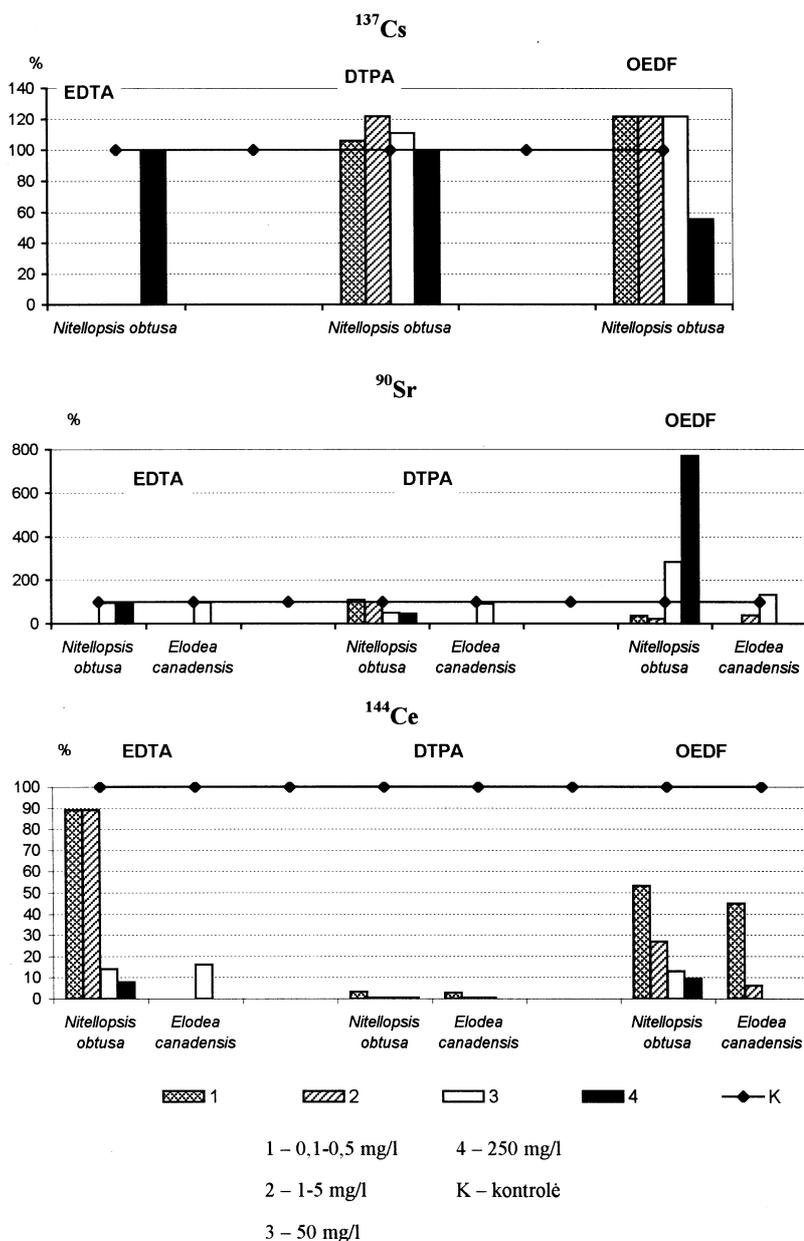
Tyrimuose naudojamoje vandens terpėje radionuklidų pradinis aktyvumas buvo  $10^5$  Bq/l. Radionuklidų matavimai buvo atliekami radiometrine aparatūra PS02-2EM su torciniu (langelinu) skaitliuku MST-17, kuris patalpinamas 5 cm storio šviniame apvalkale.

Radionuklido akumuliacijos vandens augaluose ir jų ląstelėse kompartmentuose lygį rodo kaupimo koeficientas ( $K_k$ ).  $K_k = C_1/C_2$ ; čia  $C_1$  – radionuklido koncentracija vandens augaluose,  $C_2$  – radionuklido koncentracija vandenyje (Поликарпов, 1964; Blust, 2001).  $K_k$  aritmetinė verčių standartinė paklaida buvo ne didesnė kaip 10%. Kompleksonų – etilendiamintetraacto rūgšties (EDTA), dietiltriaininpentaacto rūgšties (DTPA), oksietilendendifosono rūgšties (OEDF), ištirpusių organinių medžiagų (IOM), kurios paruoštos ir nustatytos Botanikos institute (Drūkšių ežero hidrobiontų struktūros ir funkcionavimo pokyčiai

ilgamečio antropogeninio poveikio sąlygomis, 1997), Ignalinos AE, celiuliozės ir popieriaus pramonės (CPP) nuotekų ir terminės taršos ( $31^\circ\text{C}$ ) poveikis radionuklidų akumuliacijai vertinamas % nuo  $K_k$  kontrolėje.

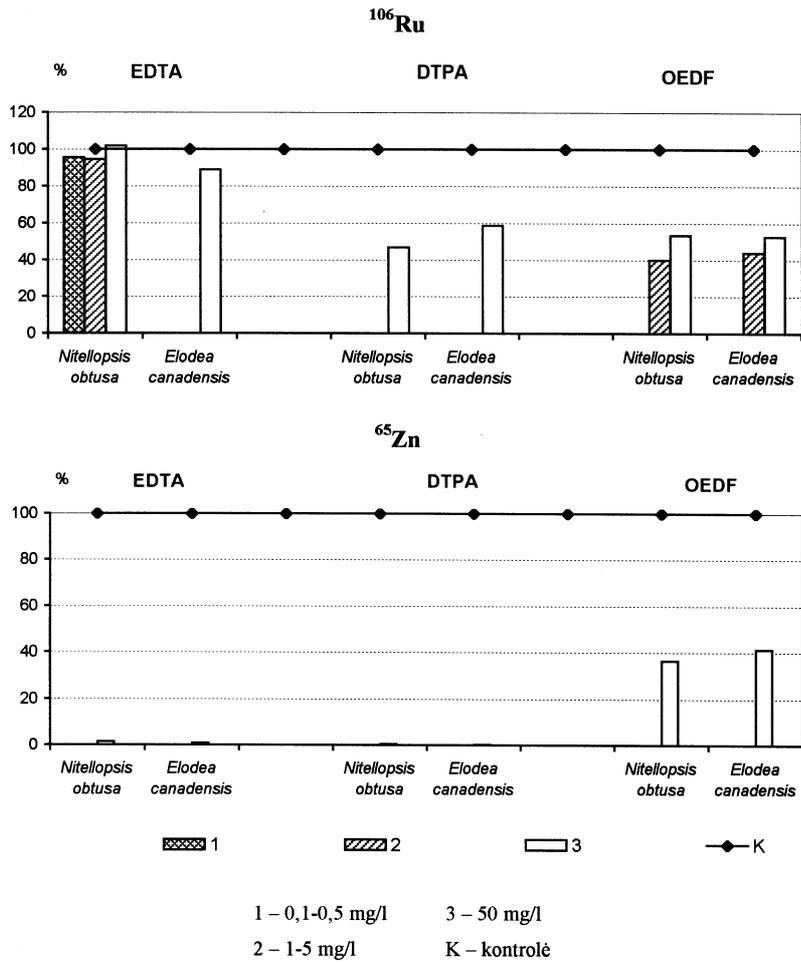
## REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Ištyrus radionuklidų akumuliaciją vandens augaluose, veikiant dirbtiniams kompleksams EDTA, DTPA ir OEDF, nustatyta, kad šie kompleksai labai sumažina  $^{144}\text{Ce}$  ir  $^{65}\text{Zn}$  akumuliaciją augaluose (1, 2 pav.). Šių radionuklidų akumuliacija augaluose



1 pav. Kompleksonų poveikis  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{144}\text{Ce}$  akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) vandens augaluose

Fig. 1. Effects of complexones on  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{144}\text{Ce}$  accumulation (% of AC in the control) in water plants



2 pav. Kompleksonų poveikis <sup>106</sup>Ru ir <sup>65</sup>Zn akumuliacijai (% nuo K<sub>x</sub> kontrolėje) vandens augaluose  
 Fig. 2. Effects of complexones (EDTA, DTPA, OEDF) on <sup>106</sup>Ru, <sup>65</sup>Zn accumulation (% of AC in the control) in water plants

daugiausia sumažėja dėl kompleksonų EDTA ir DTPA poveikio. Veikiant tirtiems kompleksonams <sup>106</sup>Ru akumuliacija augaluose sumažėja kur kas mažiau nei <sup>144</sup>Ce ir <sup>65</sup>Zn, tačiau daugiau nei <sup>90</sup>Sr ir <sup>137</sup>Cs. Iš tirtų kompleksonų <sup>106</sup>Ru akumuliaciją labiausiai veikia kompleksonai DTPA ir OEDF, o mažiausiai – EDTA (2 pav.). <sup>90</sup>Sr akumuliaciją augaluose daugiausiai veikia kompleksonas OEDF (1 pav.). Tačiau, jeigu dėl mažesnių (0,5 ir 5,0 mg/l) šio kompleksono koncentracijų <sup>90</sup>Sr akumuliacija augaluose sumažėja, tai dėl didesnių koncentracijų (50 ir 250 mg/l) – padidėja. <sup>137</sup>Cs akumuliacija dėl visų tirtų kompleksonų poveikio mažai keičiasi arba nežymiai didėja, išskyrus 250 mg/l koncentracijos OEDF, kuriai esant šio radionuklido akumuliacija augaluose sumažėja (1 pav.).

Gauti duomenys rodo, kad tirti kompleksonai skirtingai veikia linkusių hidrolizuotis (<sup>144</sup>Ce, <sup>65</sup>Zn, <sup>106</sup>Ru) ir joninės formos (<sup>90</sup>Sr ir <sup>137</sup>Cs) radionuklidų akumuliaciją vandens augaluose. Dėl stipraus ryšio su vandeniu tirpiu kompleksonu padidėja linkusių

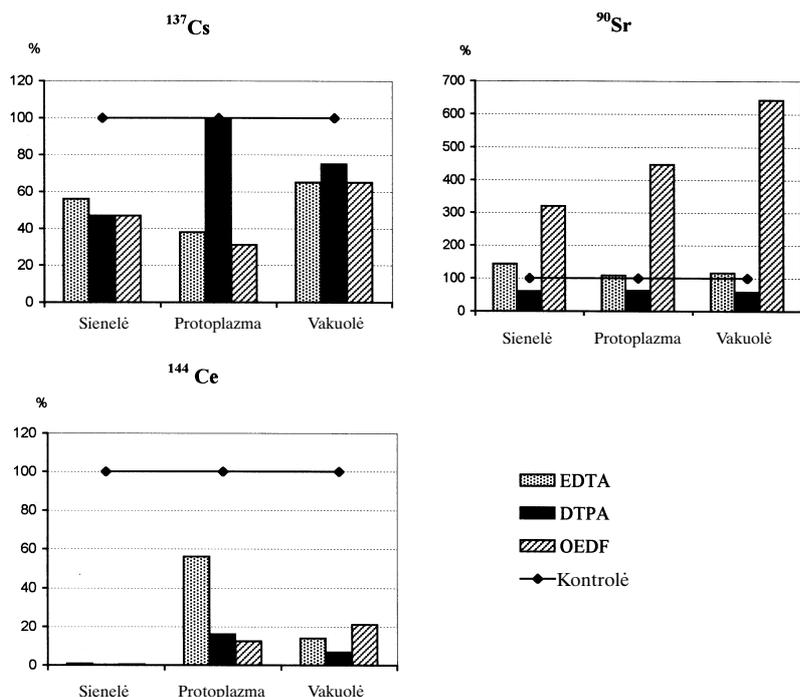
hidrolizuotis metalų ir jų radioizotopų tirpumas vandenyje, kartu sumažėja jų akumuliacija sistemoje vanduo–augalai. Tačiau atskirų metalų ir jų radioizotopų kompleksonatai su EDTA, DTPA ir OEDF pasižymi nevienodomis patvarumo konstantomis, todėl šių kompleksonų poveikis atskirų radionuklidų akumuliacijai pasireiškia labai skirtingai (Дятлова и др., 1988). Kompleksonai EDTA ir ypač DTPA priklauso organinėms karboksirūgštims, kurios, stipriai surišdamos esančius vandens terpėje 2- ir 3-valenčius katijonus, sumažina <sup>144</sup>Ce akumuliaciją ląstelės sienelėje. Padidėjus metalų kompleksonų judrumui vandens terpėje, jų mažiau patenka į protoplazmą ir vakuolę (3 pav.). Dėl šių kompleksonų poveikio <sup>90</sup>Sr akumuliacija ląstelės kompartmentuose nesikeičia, o <sup>147</sup>Cs juose sumažėja, tačiau gerokai mažiau nei <sup>144</sup>Ce.

Kompleksonas OEDF, priklausantis organinėms fosforūgštims, kurios silpnai suriša šarminius katijonus, bet sudaro gana patvarius kompleksus su mažo atominio svorio katijonais, padidina <sup>90</sup>Sr akumuliaciją ir sumažina <sup>137</sup>Cs akumuliaciją visuose ląstelės kompartmentuose (3 pav.). Šio kompleksono ir DTPA kompleksonų poveikis <sup>144</sup>Ce akumuliacijai ląstelės kompartmentuose buvo panašus.

Nustatyta, kad veikiant tirtiems kompleksonams, dėl Ca pašalinimo iš ląstelės sienelės pasikeičia ląstelės membranos pralaidumas ir sutrinka 1-valenčių (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) ir 2-valenčių (Ca<sup>2+</sup>) katijonų pusiausvyrą augalų ląstelėse (Мотейоене, 1988). Remiantis šiais duomenimis, galima teigti, kad kompleksonai, patekę į vandens baseiną, gali paveikti augalų mineralinę apykaitą.

Gauti duomenys rodo, kad EDTA, DTPA ir OEDF kompleksonai, padidindami linkusių hidrolizuotis radionuklidų (<sup>144</sup>Ce, <sup>106</sup>Ru, <sup>65</sup>Zn) tirpumą vandenyje, sumažina jų adsorbciją ant augalų ląstelės sienelės bei patekimą į vidinius ląstelės kompartmentus, taip pat, padidindami ląstelės membraną pralaidumą, sutrikdo 1- ir 2-valenčių katijonų balansą sienelėje ir kartu pakeičia 1-valenčių (<sup>137</sup>Cs) ir 2-valenčių (<sup>90</sup>Sr) radionuklidų metalų akumuliaciją augalų ląstelėse.

Nustatyta, kad EDTA, DTPA ir OEDF kompleksonai yra palyginti mažai toksiškos cheminės medžiagos, sukeliančios vandens augaluose didesnius poky-



3 pav. Kompleksonų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) dumblių *Nitellopsis obtusa* ląstelių kompartmentuose  
 Fig. 3. Effects of complexones (EDTA, DTPA, OEDF) on <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr and <sup>144</sup>Ce accumulation (% of the AC in the control) in the cell compartments of *Nitellopsis obtusa*

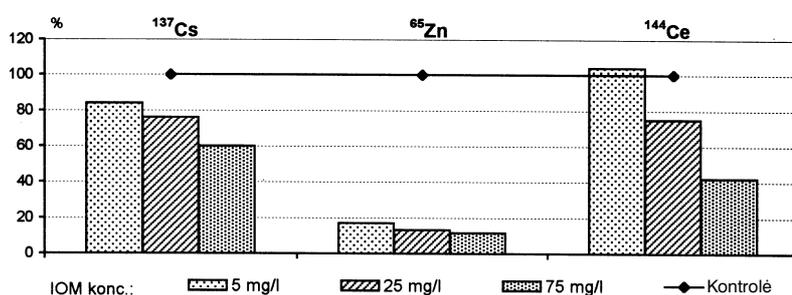
čius tik esant gana didelei jų koncentracijai (50 mg/l) (Марчулѐнѐне, 1994). Literatūroje nurodoma, kad kompleksonai priskiriami prie vidutiškai arba silpnai toksinių medžiagų, priklausančių tik 3 arba 4 pavojingumo klasei (Дятлова и др., 1988). Kadangi kompleksonai labai sumažina kai kurių radionuklidų, ypač linkusių hidrolizuotis, akumuliaciją vandens augaluose ir yra silpnai toksiniai, jie gali būti naudojami šių radionuklidų akumuliacijai augaluose reguliuoti.

Ištirpusių organinių medžiagų (IOM) poveikio radionuklidų akumuliacijai vandens augaluose tyrimai parodė, kad veikiant šiai medžiagai iš tirtų radionuklidų labiausiai sumažėja <sup>65</sup>Zn akumuliacija (iki 9 kartų) (4 pav.). Tai galima paaiškinti šitaip: ne tik šio metalo druskos lengvai hidrolizuojasi, bet ir jis linkęs sudaryti su organiniais junginiais organinius kompleksus. Linkusio hidrolizuotis <sup>144</sup>Ce akumuliacija esant vandens terpėje organinėms medžiagoms sumažėja iki 2,5 karto (4 pav.). Tuo tarpu joninės formos <sup>137</sup>Cs akumuliacija au-

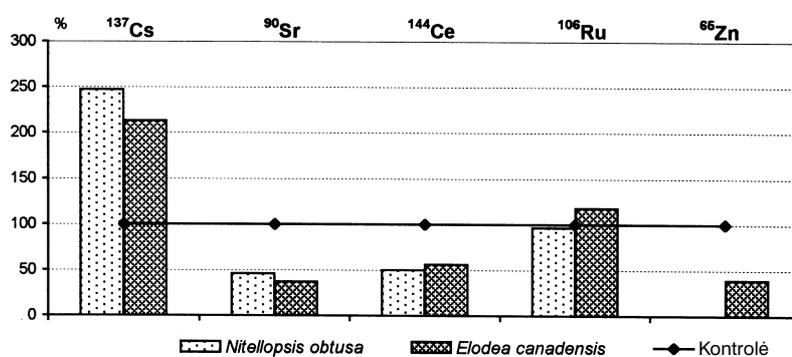
galuose mažai keičiasi ir tik esant didžiausioms organinės medžiagos koncentracijoms (75 mg/l) stebima šio radionuklido akumuliacijos mažėjimo tendencija (4 pav.).

Iš Ignalinos AE su pramonės-lietaus kanalizacijos (PLK) nuotekomis į Drūkšių ežerą kartu su radionuklidais patenka ir įvairios cheminės medžiagos – tai rūgščių ir šarmų praskiesti tirpalai, silpnos organinės rūgštys, sunkieji metalai, sausos medžiagos, kurios lieka po artzinio vandens išgarinimo, ir kt. Nustatyta, kad PLK nuotekos yra kenksmingos gyviems organizmams, tačiau pagal toksiškumo laipsnį jos priskiriamos prie palyginti mažai toksinių nuotekų (Biotestų taikymas vertinant Drūkšių ežero ekotoksikologinę būklę, 1997).

Ištirus PLK nuotekų poveikį radionuklidų akumuliacijai vandens augaluose, nustatyta, kad šios nuotekos sumažina <sup>90</sup>Sr, <sup>144</sup>Ce ir <sup>65</sup>Zn, tačiau padidina <sup>137</sup>Cs ir mažai veikia <sup>106</sup>Ru akumuliaciją (5 pav.). Gauti duome-



4 pav. Ištirpusių organinių medžiagų (IOM) poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Elodea canadensis*  
 Fig. 4. Impact of the dissolved organic matter (DOM) on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in *Elodea canadensis*



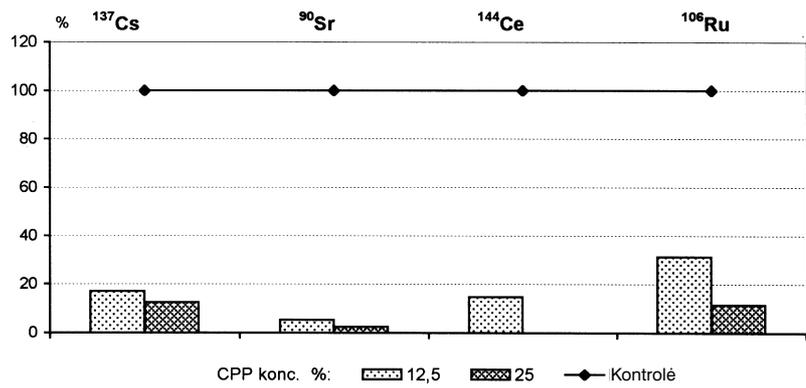
5 pav. Ignalinos AE pramonės-lietaus kanalizacijos (PLK) nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) vandens augaluose  
 Fig. 5. Impact of waste-water from the NPP on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in water plants

nys rodo, kad radionuklidų akumuliacijai PLK nuotekų ir tirtų mažesnių koncentracijų kompleksonų poveikis buvo panašus.

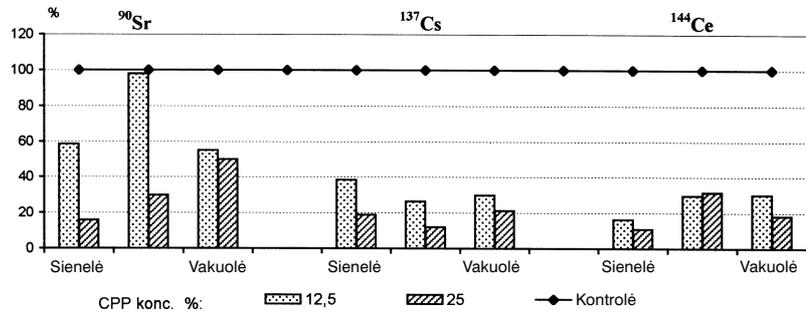
Buvo ištirtas toksiškesnių nei Ignalinos AE PLK nuotekos, celiuliozės ir popieriaus pramonės nuotekų, kurios patenka į Kuršių marias iš Klaipėdos ir Kaliningrado srities celiuliozės ir popieriaus kombinatų, poveikis radionuklidų akumuliacijai vandens augaluose ir jų ląstelių kompartmentuose. CPP nuotekose nustatytas didelis kiekis sieros junginių, ištirpusių organinių ir mineralinių medžiagų, kurios neigiamai veikia gyvus organizmus ir vandens biologinį produktyvumą (Климашаускене, 1974). Įvertinus CPP nuotekų toksiškumą vandens augalams, nustatyta, kad šios nuotekos jiems yra gana toksiškos ir, būdamos 12% koncentracijos, sukelia juose didesnius pokyčius (Мотюнене, Марчюлене, 1978).

Gauti duomenys rodo, kad dėl CPP nuotekų poveikio visų tirtų radionuklidų ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  ir  $^{106}\text{Ru}$ ) akumuliacija vandens augaluose labai sumažėja (6 pav.). Nustatyta, kad dėl CPP nuotekų poveikio sumažėja tirtų radionuklidų akumuliacija vandens augalų ląstelių kompartmentuose (7 pav.). Tai įgalina teigti, kad dėl šių nuotekų poveikio sumažėja ląstelės membranų pralaidumas. Tikriausiai šios nuotekos dėl jose susidariusio deguonies deficito blokuoja fotosintezės ir kvėpavimo procesus augaluose, trikdydamos ląstelėje energinius procesus, jonų balansą ir membranų struktūras. Tačiau CPP nuotekose esantys katijonai, matyt, ląstelės sienelėje blokuoja jonų apykaitos centrus, tuo pačiu dėl jų mažiau toksinių medžiagų, radionuklidų patenka į vidinius ląstelės kompartmentus. Be to, CPP nuotekos gali turėti įtakos linkusių hidrolizuotis radionuklidų fizikinėms-cheminėms savybėms, kartu sumažindamos jų adsorbciją ant ląstelės sienelės.

Radionuklidų akumuliacijos vandens augaluose ir jų ląstelių kompartmentuose cheminių medžiagų fone tyrimai rodo, kad šių medžiagų poveikio radionuklidų akumuliacijai laipsnį sąlygoja cheminių medžiagų sukelti augalų funkcinės būk-

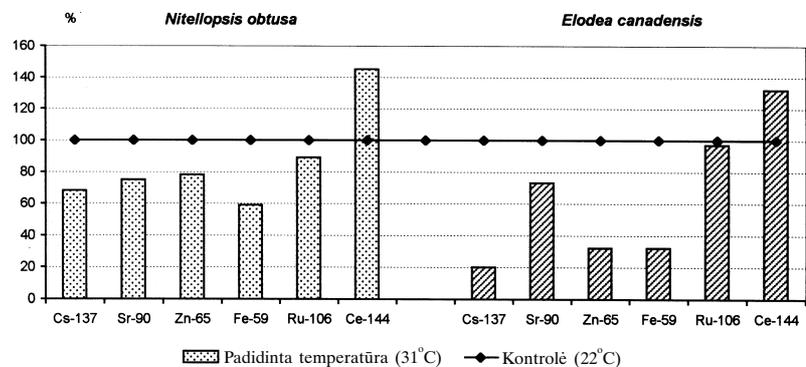


6 pav. Celiuliozės ir popieriaus pramonės (CPP) nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) dumbliuose *Nitellopsis obtusa*  
Fig. 6. Impact of waste-water from cellulose-paper industry on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in *Nitellopsis obtusa* algae

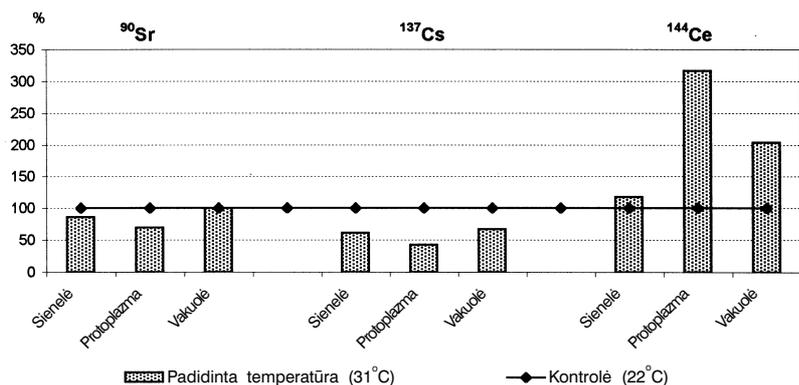


7 pav. Celiuliozės ir popieriaus pramonės (CPP) nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Nitellopsis obtusa* ląstelės kompartmentuose  
Fig. 7. Impact of waste-water from cellulose-paper industry on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in cell compartments of *Nitellopsis obtusa*

lės ir radionuklidų fizikinių-cheminių savybių vandens terpėje pokyčiai. Tačiau metaboliniuose procesuose dalyvaujančių joninės formos  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  akumuliaciją augaluose labiau lemia augalų funk-



8 pav. Terminės taršos (31°C) poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) vandens augaluose  
Fig. 8. Impact of thermal pollution (31°C) on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in water plants



9 pav. Terminės taršos (31°C) poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Nitellopsis obtusa* ląstelės kompartmentuose

Fig. 9. Impact of thermal pollution (31 °C) on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in cell compartments of *Nitellopsis obtusa*

cinės būklės pakitimai, kuriuos sukelia cheminės medžiagos, tuo tarpu metaboliniuose procesuose nedalyvaujančių ir linkusių hidrolizuotis  $^{144}\text{Ce}$  ir  $^{106}\text{Ru}$  akumuliaciją augaluose labiau sąlygoja fizikinių-cheminių procesų, vykstančių tarp vandens terpės ir augalų ląstelės, veikiant cheminėms medžiagoms, pokyčiai. Tuo tarpu metaboliniuose procesuose dalyvaujančio, bet linkusio hidrolizuotis  $^{65}\text{Zn}$  akumuliaciją augaluose cheminių medžiagų fone sąlygoja tiek augalų funkcinės būklės, tiek šio radionuklido fizikinių-cheminių savybių pokyčiai.

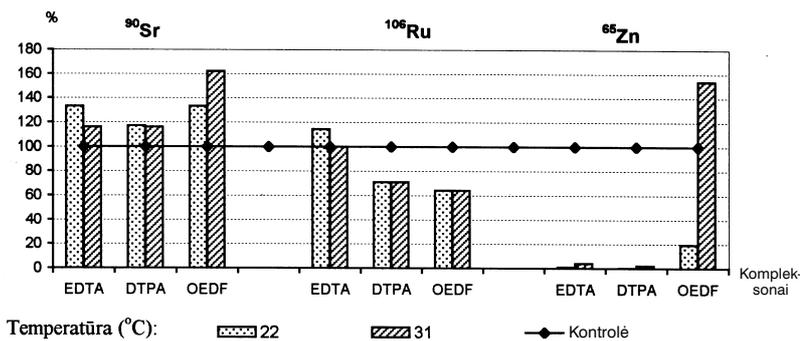
Iš Ignalinos AE į Drūkšių ežerą patenka ne tik cheminė, bet ir terminė tarša. Vasarą šilto vandens išleidimo zonoje vandens temperatūra gali pakilti net iki 30–31°C. Be to, su pašildytu vandeniu į Drūkšių ežerą taip pat patenka radionuklidai, sunkieji metalai, organinės medžiagos ir kt. Drūkšių ežere didžiausi  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  ir  $^{54}\text{Mn}$  kiekiai augaluose buvo nustatyti šilto vandens išleidimo zonoje ir pramonės-lietaus kanalizacijos kanale.

Ištyrus terminės taršos poveikį radionuklidų akumuliacijai augaluose, nustatyta, kad 31°C vandens temperatūroje  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$  akumuliacija augaluose sumažėja (1,5–4 kartus),  $^{144}\text{Ce}$  – padidėja (iki 2 kartų), o  $^{106}\text{Ru}$  – mažai keičiasi (8 pav.). Dėl terminės taršos poveikio  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{137}\text{Cs}$  akumuliacija sumažėja, o  $^{144}\text{Ce}$  padidėja ir atskiruose ląstelės kompartmentuose (9 pav.) Pakilus temperatūrai, dėl nepakankamo deguonies

kiekio pablogėja augalų funkcinė būklė, pasikeičia radionuklidų, ypač dalyvaujančių metaboliniuose procesuose, akumuliacija augaluose. Be to, pakilus vandens temperatūrai, gali padidėti linkusių hidrolizuotis radionuklidų judrumas vandenyje, taip pat augaluose gali pasikeisti jų adsorbciniai-difuziniai procesai, kurie vaidina svarbų vaidmenį radionuklidų, ypač linkusių hidrolizuotis, akumuliacijai augalų ląstelėse.

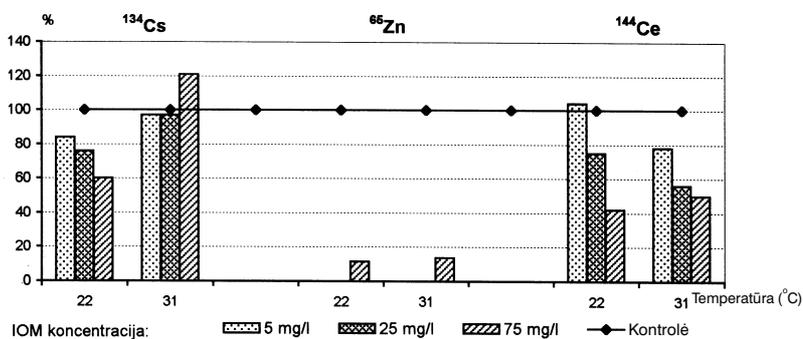
Terminės taršos fone (31°C) tirtų cheminių medžiagų poveikis radionuklidų akumuliacijai augaluose daugeliu atvejų mažai keičiasi, t. y. išlieka panašios poveikio tendencijos

kaip ir esant 22°C temperatūrai (10, 11, 12 pav.). Išimtis –  $^{65}\text{Zn}$  akumuliacija augaluose, veikiant OEDF kompleksonui, ir  $^{106}\text{Ru}$  akumuliacija augaluose, veikiant Ignalinos AE PLK nuotekoms, kai terminės taršos fone  $^{65}\text{Zn}$  akumuliacija 7,9 karto di-



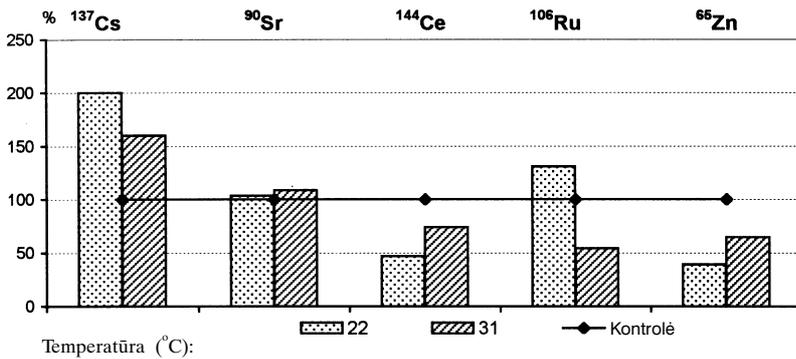
10 pav. Kompleksonų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Elodea canadensis* terminės taršos fone (31°C)

Fig. 10. Impact of complexones on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in *Elodea canadensis* under thermal pollution (31 °C)



11 pav. Ištirpusių organinių medžiagų (IOM) poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Elodea canadensis* terminės taršos fone (31°C)

Fig. 11. Impact of dissolved organic matter (DOM) on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in *Elodea canadensis* under thermal pollution (31 °C)



12 pav. Ignalinos AE pramonės–lietaus kanalizacijos nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai (% nuo  $K_k$  kontrolėje) *Elodea canadensis* terminės taršos fone (31°C)

Fig. 12. Impact of waste-water from the Ignalina NPP on radionuclide accumulation (% of AC in the control) in *Elodea canadensis* under thermal pollution (31 °C)

desnė, o <sup>106</sup>Ru – 2,4 mažesnė nei esant 22°C temperatūrai (10, 12 pav.).

## IŠVADOS

Ištyrus EDTA, DTPA, OEDF kompleksonų, terminės taršos (31°C) bei ištirpusių organinių medžiagų, Ignalinos AE, celiuliozės ir popieriaus pramonės nuotekų poveikį <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>65</sup>Zn, <sup>106</sup>Ru, <sup>144</sup>Ce akumuliacijai testinėse augalų rūšyse bei jų ląstelėse, nustatyta, kad radionuklidų akumuliacijos lygį sąlygoja šių teršalų sukelti augalų funkcinės būklės ir radionuklidų fizikinių-cheminių savybių vandens terpėje pokyčiai. Metaboliniuose procesuose dalyvaujančių joninės formos <sup>137</sup>Cs ir <sup>90</sup>Sr akumuliaciją vandens augaluose labiau lemia augalų funkcinės būklės pokyčiai, o metaboliniuose procesuose nedalyvaujančių ir hidrolizuotis linkusių <sup>144</sup>Ce ir <sup>106</sup>Ru akumuliaciją vandens augaluose labiau sąlygoja fizikinių-cheminių procesų, vykstančių tarp vandens terpės ir augalų ląstelės, pokyčiai, kuriuos sukelia cheminė ir terminė tarša. Metaboliniuose procesuose dalyvaujančio, bet linkusio hidrolizuotis <sup>65</sup>Zn akumuliaciją vandens augaluose cheminės ir terminės taršos fone lemia augalų funkcinės būklės ir šio radionuklido fizikinių-cheminių savybių pokyčiai.

Terminės taršos fone (31°C) tirtų cheminių medžiagų ir nuotekų poveikis radionuklidų akumuliacijai vandens augaluose daugeliu atvejų mažai keičiasi, t. y. išlieka panašios šių medžiagų ir nuotekų poveikio tendencijos kaip ir esant 22°C temperatūrai.

Darbą parėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas.

Gauta  
2002 11 19

## Literatūra

1. Biotestų taikymas vertinant Drūkšių ežero ekotoksikologinę būklę. *Atominė energetika ir aplinka* (Mokslinių ataskaitų rinkinys 1993–1997). Vilnius, 1997. Šaš. 3. P. 311–405.
2. Blust R. Radionuclide accumulation in Freshwater organisms: Concepts and Models. *Radioecology: Radioactivity and Ecosystems*. Belgium, 2001. P. 275–307.
3. Drūkšių ežero hidrobiontų struktūros ir funkcionavimo pokyčiai ilgamečio antropogeninio poveikio sąlygomis. *Atominė energetika ir aplinka* (Mokslinės ataskaitos rinkinys 1993–1997). Vilnius, 1997. Šaš. 3. P. 77–185.
4. Foulguier L., Baudin J.-P., Pally M. Field studies, Monitoring. *Radioecology: Radioactivity and Ecosystems*. Belgium, 2001. P. 262–274.
5. Hampson M. Uptake of radioactivity by aquatic plants and location in the cells. *Journal of Experimental Botany*. 1967. Vol. 18(54). P. 17–33.
6. Дятлова М., Темкина В., Попов К. Комплексоны и комплексонаты металлов. *Химия*. Москва, 1988. 543 с.
7. Климашаускаене В. Влияние загрязнений на зоопланктон залива Куршю-Марес / Автореф. дис... канд. биол. наук. 1974.
8. Куликов Н., Чеботина М. *Радиоэкология пресноводных биосистем*. Свердловск, 1988. 126 с.
9. Марчиулёнене Д. Взаимодействие радионуклидов с гидрофитами в пресноводных экосистемах / Автореф. дисс. ... габил. д-ра ... наук. Вильнюс, 1994. 113 с.
10. Мотеюнене Э., Марчиулёнене Д. Влияние Рb и сточных вод целлюлозно-бумажного производства на функциональное состояние водорослей вида *Nitellopsis obtusa* в заливе Куршю-Марес. *Физиолого-биохимические основы развития планктонных организмов в северной части залива Куршю-Марес*. Вильнюс: Институт ботаники, 1978. С. 256–269.
11. Мотеюнене Э. Влияние ионного состава среды и токсикантов на биоэлектрические параметры и аккумуляцию радионуклидов в клетках *Charophyte* / Дисс. канд. биол. наук. Вильнюс, 1988.
12. Поликарпов Г. *Радиоэкология морских организмов*. Москва: Атомиздат, 1964. С. 292.
13. Рындина Д., Зесенко А. Методы экспериментального изучения аккумуляции радионуклидов в грунтах и гидробионтах. *Морская радиоэкология*. Киев: Наукова думка, 1970. С. 8–13.
14. Шестопалов В. М., Набока М. М., Мельник Н. В. и др. Анализ суммарного действия радиоактивных и нерадиоактивных факторов в зонах радиоэкологического риска. *Международная конференция „Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления“ / Сборник тезисов*. Киев, 2001. С. 2–183.

15. Чибирайте Н., Марчуленене Д., Поликарпов Г. Поглощение радионуклидов клетками харовых водорослей. *Харовые водоросли и их использование в исследовании биологических процессов клетки*. Вильнюс, 1973. С. 179–186.

**Danutė Marčiulionienė**

**ACCUMULATION OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN WATER PLANTS UNDER CHEMICAL AND THERMAL POLLUTION**

**S u m m a r y**

Levels of technogenic radionuclide accumulation and processes in test species of water plants (*Nitellopsis obtusa* and *Elodea canadensis*) and their cells under conditions of the Ignalina NPP and cellulose-paper industry waste-water, complexones EDTA, DTPA, OEDF (used in nuclear and thermal power industry), dissolved organic matter, and increased thermal (31 °C) pollution were determined.

The obtained results have shown that the levels of radionuclides in the test plant species and their cells are predetermined by changes induced by the pollutants in

the functional condition of plants and the physical-chemical properties of radionuclides in water medium. Accumulation of ionic  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  participating in metabolic processes in water plants is mostly determined by changes in the functional condition of the plants; however, accumulation of  $^{144}\text{Ce}$  and  $^{106}\text{Ru}$ , which do not participate in metabolic processes and are apt to hydrolyze, in water plants is mostly predetermined by changes in physical-chemical processes occurring between the water medium and the plant cell, induced by chemical and thermal pollution. Accumulation of  $^{65}\text{Zn}$ , which participates in metabolic processes but is apt to hydrolyze, in water plants under chemical and thermal pollution is predetermined by both changes of the plant functional condition and physical-chemical characteristics of this radionuclide.

Under thermal pollution (31 °C) the impact of the test chemical materials and waste-water upon accumulation of radionuclides in water plants in most cases undergoes only slight changes, *i.e.* the tendencies of the impact produced by these materials and waste-water remain similar as those at a temperature of 22 °C.

**Key words:** waste-water, complexones, radionuclides, water plants, thermal pollution