
Technogeninių radionuklidų akumuliacija Ignalinos AE aplinkoje

**D. Marčiulionienė,
D. Kiponas,
D. Hansen**

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

Ištirti ^{137}Cs , ^{60}Ni ir ^{54}Mn akumuliacijos lygiai Ignalinos AE regiono sausumos ir Drūkšių ežero svarbiausiuose abiotiniuose (dirvožemyje, dugno nuosėdose) ir biotiniuose (sausumos ir vandens testinėse augalų rūšyse bei žuvyse) komponentuose.

Nustatyta, kad Ignalinos AE kilmės radionuklidų ^{60}Co ir ^{54}Mn Drūkšių ežero ir jo priekrantės (atitinkamai iki 200 ir 90 Bq/kg) augaluose bei dugno nuosėdose (atitinkamai iki 180 ir 204 Bq/kg) akumuliuojasi daugiau nei sausumos augaluose (atitinkamai iki 14,5 ir 0 Bq/kg) ir dirvožemyje (atitinkamai iki 7,3 ir 0 Bq/kg). Tai galima paaiškinti tuo, kad iš Ignalinos AE į ežerą patenka šių radionuklidų daugiau nei į sausumos ekosistemą. Daugiausia šių radionuklidų į Drūkšių ežerą iš Ignalinos AE patenka su pašildytu vandeniu ir pramoninės lietaus kanalizacijos nuotėkomis.

Globalinės ir Ignalinos AE kilmės radionuklido ^{137}Cs Ignalinos AE regiono sausumos augaluose akumuliuojasi daugiau (iki 224 Bq/kg) nei Drūkšių ežero ir jo priekrantės augaluose (atitinkamai iki 56 ir 61 Bq/kg). Tačiau dirvožemyje šio radionuklido dažniausiai akumuliuojasi mažiau (iki 73 Bq/kg) nei dugno nuosėdose (iki 407 Bq/kg).

Žuvyse ^{137}Cs ne daugiau kaip 5 Bq/kg, ^{60}Co – 0,1 Bq/kg.

Daugiametį tyrimų (1988–1998) duomenys rodo, kad Drūkšių ežere stebima Ignalinos AE kilmės radionuklidų (^{60}Co ir ^{54}Mn) kiekio mažėjimo tendencija.

Raktažodžiai: Ignalinos AE aplinka, radionuklidai, ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , augalai, žuvis, dugno nuosėdos, dirvožemis

ĮVADAS

Norint įvertinti Ignalinos AE regiono radioekologinę būklę, pirmiausia reikia identifikuoti į aplinką patenkančius technogeninius radionuklidus bei išmatuoti jų kiekius pagrindiniuose sausumos ir vandens ekosistemos komponentuose.

Vienas iš labiausiai gyviems organizmams pavojingų technogeninių radionuklidų, patenkančių į aplinką iš AE, yra γ spindulius skleidžiantis ^{137}Cs . Šis radionuklidas savo cheminėmis savybėmis artimas K, todėl lengvai įsijungia į biologinės apykaitos procesus, sudarydamas $^{137}\text{Cs}/\text{K}$ santykį. Šis santykis suvra tik organizmams žuvus. ^{137}Cs vandenyje yra tirpios formos, todėl pagal savo geochemines charakteristikas priklauso cheminių elementų grupei, kuri sudaro jonines formas. Tačiau dėl efektyvios šio radionuklido akumuliacijos dugno nuosėdose ir dirvožemyje jo migracinės savybės tiek vandens, tiek sausumos ekosistemose iš esmės keičiasi [6, 7].

Radioekologiniu požiūriu gana reikšmingi AE produktai yra koroziniai radionuklidai ^{60}Co ir ^{54}Mn , kurie yra linkę hidrolizuotis, todėl jų judrumas siste-

mose *dirvožemis–augalas* bei *vanduo–dugno nuosėdos–augalas* yra mažesnis negu ^{137}Cs .

Ignalinos AE regiono radioekologiniai tyrimai, pradėti vykdyti 1979 m., parodė, kad iš Ignalinos AE į aplinką pastoviai patenka technogeniniai radionuklidai ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe ir kt. [5, 8]. Akivaizdu, kad šių radionuklidų kiekiai Ignalinos AE aplinkoje turi būti nuolat kontroliuojami. Tačiau ilgamečiai radioekologiniai tyrimai baigti Valskybine mokslo programa „Atominė energetika ir aplinka“ (1993–1997). Šiuo metu Ignalinos AE regiono aplinkos būklės taip pat radioekologiniais aspektais įvertinimas nevykdomas, nes nėra Ignalinos AE regiono kompleksinio aplinkos būklės monitoringo, nepertraukiamai susijusio su Lietuvos aplinkos monitoringo sistema [4]. Šio regiono aplinkos būklės įvertinimas dėl objekto specifikos tam tikrais (visų pirma radioekologiniais) aspektais turi sietis su regioniniu bei tarpvalstybiniu monitoringu ir yra griežtai reglamentuojamas Europos Sąjungos direktyvų.

Šio darbo tikslas – nustatyti technogeninių radionuklidų ^{137}Cs , ^{60}Co ir ^{54}Mn kiekius bei jų kitimą Ignalinos AE regiono sausumos ir Drūkšių ežero svar-

biausiuose abiotiniuose (dirvožemyje, dugno nuosėdose) ir biotiniuose (sausumos ir vandens testinėse augalų rūšyse bei žuvyse) komponentuose; įvertinti Ignalinos AE nuotėkų įtaką Drūkšių ežero radioekologinei būklei; ištirti technogeninių radionuklidų sklaidos šiame ežere ypatumus.

Didesnė dalis Ignalinos AE aplinkos radioekologinių tyrimų, kuriuose dalyvavo Botanikos, Fizikos ir Geologijos institutų mokslininkai, bei pagrindiniai duomenų apibendrinimai buvo atlikti vykdant valstybinę mokslo programą „Atominė energetika ir aplinka“.

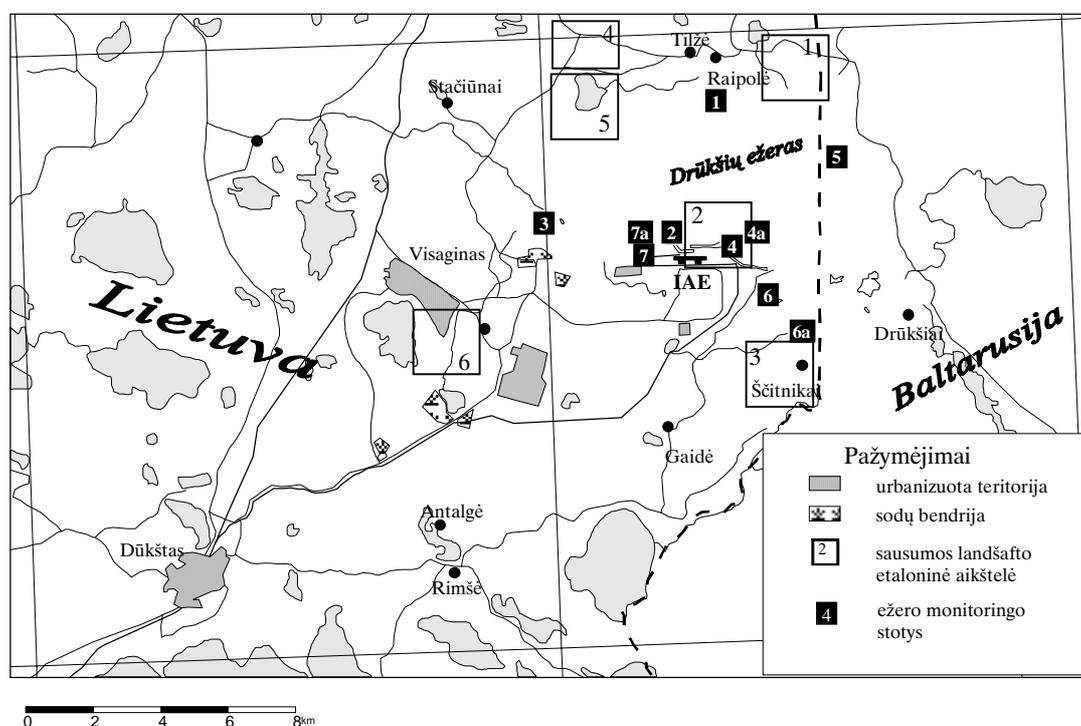
TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Drūkšių ežero radioekologinei būklei įvertinti buvo renkami augalų, dugno nuosėdų, sąnašų ėminiai įvairiose ežero dalyse, monitoringo stotyse, skirtingai nutolusiose nuo Ignalinos AE objektų (1 pav.). 1 stotis yra labiausiai nutolusi nuo Ignalinos AE, prie Tilžės; 2 stotis – elektrinės vandens ėmimo zonoje; 3 stotis – nutolusi nuo Ignalinos AE objektų ir yra Visagino miesto pramoninės-lietaus kanalizacijos (PLK) vandens išleidimo zonoje; 4 stotis – elektrinės pašildyto vandens išleidimo zonoje; 4a stotis – apie 200 m nutolusi nuo 4 stoties; 5 stotis – pašildyto vandens veikimo zonos pakraštyje; 6 stotis – sekloje bei labiau izoliuotoje nuo pagrindinės ežero dalies įlankoje; 6a –

Visagino miesto ir Ignalinos AE ūkinės-buitinės kanalizacijos (ŪBK) nuotėkų patekimo į ežerą zonoje; 7 – Ignalinos AE PLK kanalo pradžioje; 7a – Ignalinos AE PLK kanalo pabaigoje.

Ignalinos AE regiono sausumos landšaftų radioekologinei būklei įvertinti buvo renkami augalų ir dirvožemio ėminiai šiuos landšaftus reprezentuojančiose etaloninėse aikštelėse, brandaus pušyno, aukštapelkės, žemapelkės ir pievos ekotopuose (1 pav.). Ignalinos AE regione (Drūkšių ežero vandens surinkimo baseine) išskirti trys sausumos landšafto tipai [2]. Pirmasis landšaftas yra stambiai kalvotas, daubotas, ežeringas, moreninis priemolingas ir apima šiaurės vakarinę regiono dalį. Zavišiškių etaloninė aikštelė (5) reprezentuoja šį landšafto tipą. Antrasis landšaftas yra smulkiai kalvotas, daubotas, ežeringas, moreninis priemolingas ir apima beveik visą pietinę ir rytinę regiono dalį. Šaškų-Grikiniškių (2) ir Vosyliškių (3) etaloninės aikštelės atitinka antrą landšafto tipą. Trečiasis landšaftas apima vakarinę ir šiaurės rytinę regiono dalį. Tai silpnai banguota, pelkėta, fluvioglacialinė smėlinga lyguma. Šį landšafto tipą atitinka Tilžės (1) ir Visagino (6) etaloninės aikštelės.

Ignalinos AE regiono ir visos Lietuvos sausumos landšaftų radioekologinei būklei palyginti buvo renkami augalų ir dirvožemio ėminiai Ignalinos, Plungės ir Varėnos rajonuose.



1 pav. Drūkšių ežero monitoringo stotys ir Ignalinos AE regiono sausumos landšafto etaloninės aikštelės (1 – Tilžės, 2 – Šaškų-Grikiniškių, 3 – Vosyliškių, 4 – Šakių, 5 – Zavišiškių, 6 – Visagino)

Fig. 1. Monitoring stations of Lake Drūkšiai and terrestrial standard areas of Ignalina NPP vicinity (1 – Tilžės, 2 – Šaškų-Grikiniškių, 3 – Vosyliškių, 4 – Šakių, 5 – Zavišiškių, 6 – Visagino)

Surinkti ėminiai buvo džiovunami 45°C temperatūroje džiovinimo krosnyje ir sudeginti iki pelenų 400°C temperatūroje. Pelenai gama spektrų matavimams supilti į standartinės geometrijos (70 mm skersmens ir 35 mm aukščio) indelius. Mėginių gama spindulių spektrai matuoti Fizikos institute didelio jautrio ir aukštos energinės skyros gama spektrometru su puslaidininkiniu Ge(Li) detektoriumi, kurio santykinis efektyvumas 20–30%, energinė skyra 3,6 keV (1333 keV spinduliuotei).

Radionuklido savitasis aktyvumas buvo apskaičiuotas šio radionuklido aktyvumą matuotame aplinkos komponente dalijant iš šio orausio (išskyrus žuvis) aplinkos komponento masės.

kiniškių etaloninės aikštelės augaluose. Iš tirtų augalų rūšių daugiausia šio radionuklido akumuliuojasi kerpėse (1 lent., 3 pav.)

Tirtų augalų augaviečių dirvožemyje ⁶⁰Co išmatuotas tik Šaškų-Grikiniškių etaloninės aikštelės aukštapelkėje (1,8 Bq/kg) ir Vosyliškių etaloninės aikštelės žemapelkėje (7,3 Bq/kg). Dirvožemyje ⁶⁰Co nustatytas ir siaurose Drūkšių ežero priekrantės juostose, kur vyksta vandens ir sausumos ekosistemų sąveika (dėl bangavimo, nuoplovų su krituliais, sąnašų formavimo). Tiek dirvožemyje, tiek dugno nuosėdose didžiausias šio radionuklido aktyvumas išmatuotas priekrantės zonoje ties Vosyliškėmis. Matyt, į Vosyliškių etaloninę aikštelę ⁶⁰Co patenka su ūkinės-

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Sausumos ekosistema

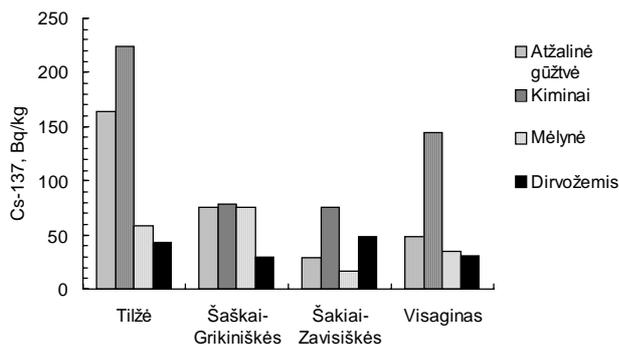
Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad Ignalinos AE sausumos regiono augaluose ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas priklauso mai nuo etaloninės aikštelės ir joje tirtų ekotopų bei augalų rūšies svyravo gana plačiose ribose (nuo 6,6 iki 224 Bq/kg) (1 lent., 2 pav.). Didžiausias ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas išmatuotas aukštapelkės (kiminuose) ir miško (atžalinėje gūžtvėje) augaluose, ypač Tilžės ir Visagino etaloninėse aikštelėse, mažiausias – pievos augaluose ir lapuočių miško gyvoje paklotėje. Iš tirtų etaloninių aikštelių daugiausia ¹³⁷Cs akumuliuosi arčiausiai Ignalinos esančios Šaškų-Grikiniškių ir ypač Tilžės etaloninių aikštelių augaluose (2 pav.). Padidėję ¹³⁷Cs kiekiai Tilžės etaloninės aikštelės augaluose gali būti susiję ne su padidėjusia šios zonos tarša ¹³⁷Cs, bet su įvairios kilmės medžiagų, taip pat ¹³⁷Cs padidėjusia akumuliacija šioje zonoje [3].

Visose tirtose etaloninėse aikštelėse ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas dirvožemyje svyravo nuo 16 iki 73 Bq/kg (1 lent.). Tačiau daugelyje atvejų šių etaloninių aikštelių dirvožemyje ¹³⁷Cs savitojo aktyvumo vidutinės vertės tarpusavyje mažai skyrėsi, be to, dažniausiai buvo mažesnės nei augaluose (2 pav.).

Visų tirtų etaloninių aikštelių augaluose išmatuotas Ignalinos AE veiklos produktas ⁶⁰Co (3 pav.). Didžiausi šio radionuklido kiekiai buvo arčiausiai Ignalinos AE esančios Šaškų-Gri-

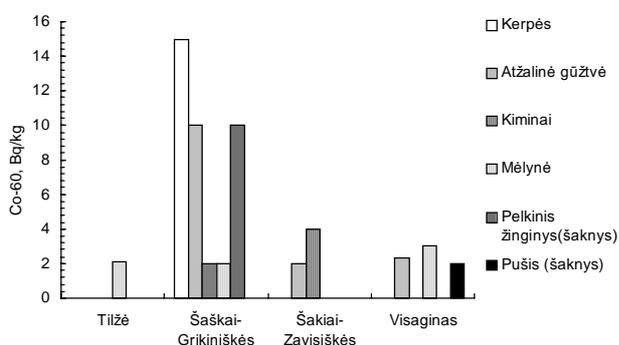
1 lentelė. Radionuklidų savitasis aktyvumas Ignalinos AE regiono sausumos ekosistemos augaluose ir dirvožemyje
Table 1. Radionuclide specific activity in plants and soil of the terrestrial ecosystem of Ignalina NPP vicinity

	Verčių intervalas / vidutinė vertė	
	¹³⁷ Cs, Bq/kg	⁶⁰ Co, Bq/kg
Kerpės (<i>Lichenies</i> spp.)	<u>50–71</u> 60,5	14,5
Atžalinė gūžtvė (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B., S.&G.)	<u>49–164</u> 96	<u>2,3–9,5</u> 5,9
Kiminiai (<i>Sphagnum</i> spp.)	<u>75–224</u> 130	<u>2,0–3,4</u> 2,7
Mėlynė (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	<u>17,3–75</u> 47	<u>1,6–2,8</u> 2,2
Šilinis viržis (<i>Caluna vulgaris</i> Salisb.)	<u>38–130</u> 75	1,2
Pelkinis žinginyš (<i>Calla palustris</i> L.)		
antžeminė dalis	<u>66,4–77,4</u> 72	–
požeminė dalis	<u>44,8–66,6</u> 56	9,6
Pievos augalai:		
antžeminė dalis	<u>4,1–9,2</u> 6,6	9,0
požeminė dalis	<u>8,0–25,8</u> 14,4	2,4
Juodalksnio požeminė dalis (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Geartn)	<u>16,7–83,6</u> 43	–
Pušies požeminė dalis (<i>Pinus silvestris</i> L.)	<u>3,4–8,7</u> 6,8	1,6
Paklotė		
gyva	<u>11–29</u> 23	1,9
negyva	176	–
Dirvožemis	<u>16–73</u> 34	<u>1,8–7,3</u> 4,6



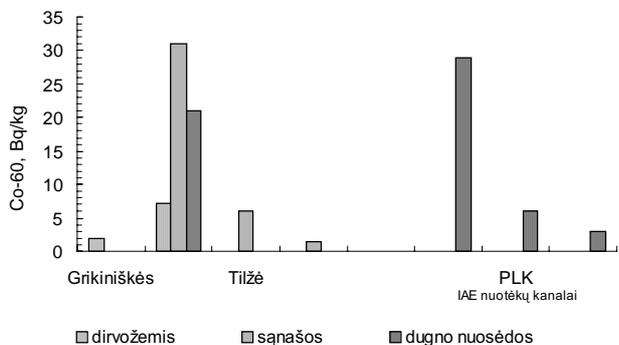
2 pav. ^{137}Cs savitasis aktyvumas Ignalinos AE regiono skirtingų etaloninių aikštelių augaluose ir jų augaviečių dirvožemyje

Fig. 2. Specific activity of ^{137}Cs in plants and their habitat soil from different standard areas of Ignalina NPP vicinity



3 pav. ^{60}Co savitasis aktyvumas Ignalinos AE regiono skirtingų etaloninių aikštelių augaluose

Fig. 3. Specific activity of ^{60}Co in plants from different standard areas of Ignalina NPP vicinity



4 pav. ^{60}Co savitasis aktyvumas Drūkšių ežero priekrantės zonos dirvožemyje ir dugno nuosėdose. Kanalai: ŠVI – šilto vandens išmetimo; PLK – pramoninė-lietaus kanalizacija; ŪBK – ūkinė buitinė kanalizacija

Fig. 4. Specific activity of ^{60}Co in soil and bottom sediments of the shoreline zone of Lake Drūkšiai. Channels: HWD – heated water discharge; IRS – industrial-rain sewage; EDS – economic-domestic sewage

buitinės kanalizacijos nuotėkomis, nes šis radionuklidas išmatuotas ir ūkinės-buitinės kanalizacijos nuotėkų kanalo dugno nuosėdose (4 pav.). Iš tirtų AE nuotėkų kanalų didžiausi ^{60}Co kiekiai nustatyti šilto vandens išmetimo kanalo dugno nuosėdose.

2 lentelė. ^{137}Cs , ^{60}Co ir ^{54}Mn savitasis aktyvumas Drūkšių ežero skirtingų rūšių priekrantės augaluose ir dugno nuosėdose

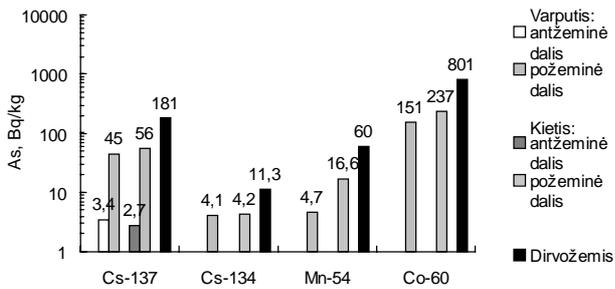
Table 2. Specific activity of ^{137}Cs , ^{60}Co and ^{54}Mn in different plant species and bottom sediments of shoreline of Lake Drūkšiai

	Verčių intervalas/vidutinė vertė		
	^{137}Cs , Bq/kg	^{60}Co , Bq/kg	^{54}Mn , Bq/kg
<i>Typha latifolia</i> L.:			
lapai ir stiebai	0–8,5 5,1	0–6,0 3,0	0–4,0 2,0
šaknys	2,2–61,2 20,0	0,6–85,0 20,4	0–31,0 10,1
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.:			
lapai ir stiebai	1,6–8,6 5,5	0–13,0 7,9	0–6,0 3,0
šaknys	4,0–16,2 10,4	0–13,2 6,0	0–0,9 0,4
<i>Acorus calamus</i> L.:			
lapai ir stiebai	1,8–5,0 3,4	0–0,3 0,2	0
šaknys	1,9–8,4 5,2	0,1–3,3 1,2	0
<i>Nuphar lutea</i> L.:			
lapai ir stiebai	0,2–3,8 2,0	0	0
šaknys	1,7–19,5 10,6	0	0
<i>Polygonum</i>	1,5–4,3	0,1–3,3	0,5–0,6
<i>amphybium</i> L.	3,0	1,2	0,55
<i>Cladophora</i> spp.	10,0–52,5	0–200	0–90,0
Sąnašos	47,8	45,6	31,8
	3,9–106 40,0	0–56 30,5	0
Dugno nuosėdos	2,4–63,0 25,5	0–53,0 27,3	0–18,0 9,0

Priekrantės augaluose daugiausia tirtų radionuklidų akumuliuojasi siūliniuose dumbliuose (*Cladophora* spp.). Nemažai šių radionuklidų akumuliuojasi ir aukštųjų helofitų šaknyse, kuriose labiau nei stiebuose su lapais išryškėjo radionuklidų akumuliacijos priklausomybė nuo augalo rūšies (2 lent.).

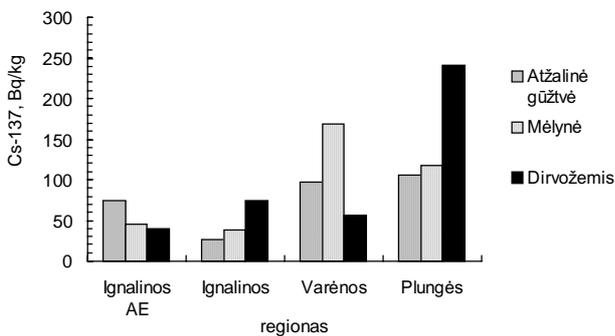
Ignalinos AE sausumos ekosistemoje padidėję tirtų radionuklidų, ypač ^{60}Co , kiekiai nustatyti AE sanitarinėje zonoje (5 pav.), į kurią radionuklidai pateko avarinio nutekėjimo iš ūkinės-buitinės kanalizacijos metu. Šioje zonoje ^{60}Co savitasis aktyvumas dirvožemyje siekė 801 Bq/kg ir buvo didesnis nei augalų požeminėje (237 Bq/kg) dalyje. ^{137}Cs ir ^{134}Cs savitojo aktyvumo dirvožemyje santykis (≈ 16) rodo, kad po įvykusio avarinio nutekėjimo pakartotinės didesnės taršos radionuklidais nebuvo.

Gauti duomenys rodo, kad ^{137}Cs savitojo aktyvumo lygiai augaluose Ignalinos AE regione ir Ignalinos ra-



5 pav. Radionuklidų savitasis aktyvumas augaluose ir dirvožemyje ūkinės-buitinės kanalizacijos trasos avarinėje aikštelėje 1998 m.

Fig. 5. Radionuclide specific activity in plants and soil from accident area of economic-domestic sewage route in 1998



6 pav. ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas skirtingų Lietuvos regionų testinėse augalų rūšyse ir jų augaviečių dirvožemyje
Fig. 6. Specific activity of ¹³⁷Cs in test plants and their habitat soil of different regions of Lithuania

jone mažai skyrėsi, tačiau jie buvo žymiai mažesni nei šiuo radionuklidu labiau užterštuose po Černobylio AE avarijos Varėnos ir Plungės rajonuose (6 pav.).

Vandens ekosistema

Nustatyta, kad Drūkšių ežero augaluose ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas priklausomai nuo augalų rūšies svyravo nuo 3 iki 56 Bq/kg (3 lent.). Didžiausi šio radionuklido kiekiai išmatuoti limneiduose bei *Myriophyllum spicatum* ir *Potamogeton crispus*, priklausantiems potameidų ekologinei grupei. Augaluose, augančiuose Drūkšių ežere, ¹³⁷Cs kiekiai dažniausiai buvo mažesni nei augančiuose Ignalinos AE nuotėkų kanaluose (7, 8 pav.).

¹³⁷Cs savitasis aktyvumas Drūkšių ežero dugno nuosėdose priklausomai nuo jų struktūrinės sudėties svyravo labai plačiose ribose (nuo 5 iki 407 Bq/kg), ir daugeliu atvejų jis buvo didesnis nei vandens augaluose (3 lentelė). Didžiausi šio radionuklido kiekiai nustatyti dugno nuosėdose, kurios praturtintos organinėmis medžiagomis, mažiausi – smėlyje [1]. Drūkšių ežero tirtų biotopų dugno nuosėdose ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas daugeliu atvejų buvo didesnis nei Ignalinos AE nuotėkų kanalų dugno nuosėdose (7, 8 pav.).

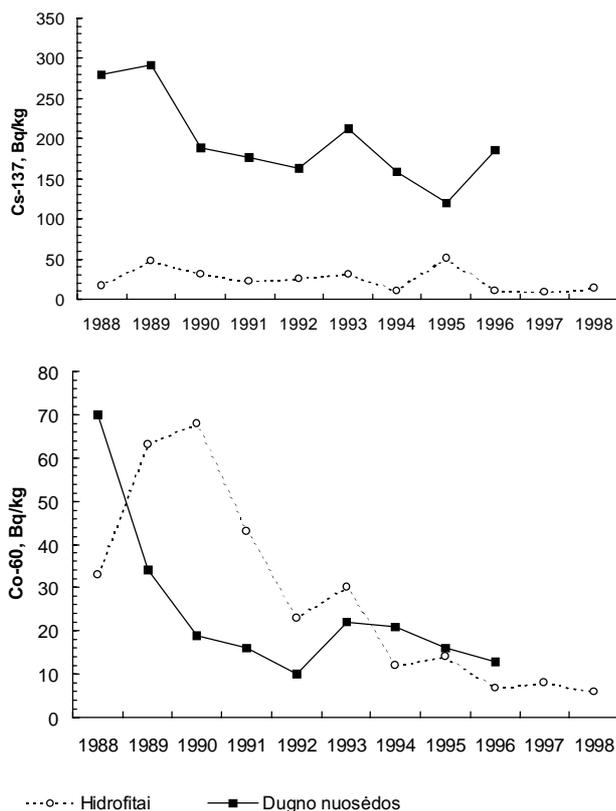
3 lentelė. ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co ir ⁵⁴Mn savitasis aktyvumas skirtingose Drūkšių ežero vandens augalų rūšyse ir dugno nuosėdose

Table 3. Specific activity of ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co and ⁵⁴Mn in different aquatic plant species and bottom sediments of Lake Drūkšiai

	Verčių intervalas/vidutinė vertė		
	¹³⁷ Cs, Bq/kg	⁶⁰ Co, Bq/kg	⁵⁴ Mn, Bq/kg
Limneidai (visiškai pasinėję):			
<i>Cladophora</i> spp.	10–48	17–200	14–90
	24	86	41
<i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv.) J. Groves.	6–43	5–23	3–30
	21,4	11	2
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	9–47	12–73	11–46
	28,5	44	27
Potameidai (pasinėję, iškeliantys į vandens paviršių žiedynus):			
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	8–56	7–106	2–73
	21,3	63	24
<i>Potamogeton lucens</i> L.	4–15	0	0
	8,1		
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	3–14	0–25	0–19
	7,4	17	11
<i>Potamogeton crispus</i> L.	12–30	28–57	16–56
	20,3	37	27
<i>Batrachium aquatile</i> L.	2–9	0	0
	5,7		
Pleustofitai (laisvai plūduriuojantys):			
<i>Stratiotes aloides</i> L.	0–23	0	0
	11,5		
Nimfeidai (plūdurlapiai):			
<i>Polygonum amphibium</i> L.	0–4	0	0
	2,7		
<i>Nuphar lutea</i> L.	4–8	0	0
	6,0		
Dugno nuosėdos	5–407	0–180	0–204
	179	35	31

Drūkšių ežere ⁶⁰Co ir ⁵⁴Mn savitasis aktyvumas vandens augaluose siekė iki 200 ir 90 Bq/kg atitinkamai (3 lentelė). Ignalinos AE nuotėkų kanaluose ⁶⁰Co kiekis vandens augaluose ir dugno nuosėdose buvo didesnis nei Drūkšių ežere (7, 9 pav.).

Nevienodą ¹³⁷Cs ir ⁶⁰Co akumuliaciją tirtuose hidroekosistemos komponentuose ir pasiskirstymą ežere galėjo nulemti skirtingi šių radionuklidų patekimo į ežerą šaltiniai. Į ežerą ¹³⁷Cs patenka ne tik iš Ignalinos AE, bet ir su globalinėmis iškritomis, o ⁶⁰Co į ežerą patenka tik iš Ignalinos AE. Be to, šie radionuklidai pasižymi skirtingomis fizikinėmis-cheminėmis savybėmis, nuo kurių priklauso jų migracija ir sklaida tiek vandens, tiek sausumos ekosistemose.



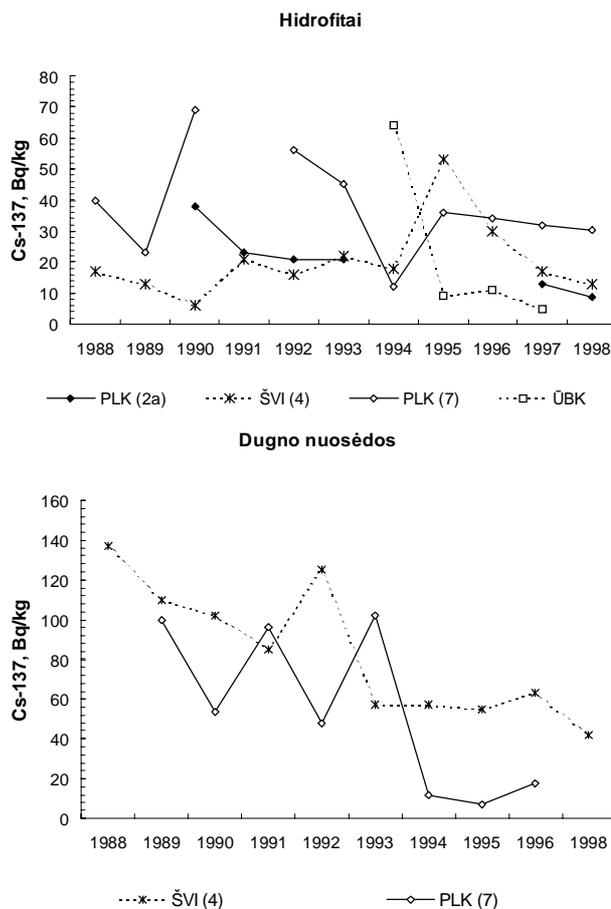
7 pav. ^{137}Cs ir ^{60}Co savitasis aktyvumas Drūkšių ežero hidrofituose ir dugno nuosėdose 1988–1998 m.

Fig. 7. Specific activity of ^{137}Cs and ^{60}Co in hydrophytes and bottom sediments of Lake Drūkšiai during 1988–1998

Gauti duomenys rodo, kad vandens augalų augaviečių dugno nuosėdose ^{137}Cs kiekiai buvo žymiai didesni nei sausumos augalų augaviečių dirvožemyje, tačiau tirtuose sausumos augaluose šio radionuklido akumuluojasi daugiau negu vandens augaluose (1, 3 lent). Priekrantės augaluose ^{137}Cs akumuluojasi mažiau nei vandens augaluose (2, 3 lent.).

Šie duomenys leidžia daryti prielaidą, kad ^{137}Cs akumuliacijai vandens augaluose pagrindinis šio radionuklido šaltinis yra vanduo ne tik sistemoje vanduo–augalas, bet ir sistemoje vanduo–dugno nuosėdos–augalas, o sausumos augaluose pagrindinis šio radionuklido šaltinis sistemoje dirvožemis–augalas – tai atmosferos aerolinės iškritos. Matyt, patekęs į vandens ekosistemą ^{137}Cs greitai prasiskiedžia vandenyje, o sausumos ekosistemoje jis nusėda tiesiai ant augalų, kurie yra pirmasis barjeras, sulaikantis iš atmosferos su aerolinėmis iškritomis patenkančią šį radionuklidą.

Ištyrus ^{137}Cs koncentracijų pasiskirstymą įvairiuose Drūkšių ežero dugno nuosėdų sluoksniuose nustatyta, kad skirtinguose ežero biotopuose šis radionuklidas juose pasiskirsto nevienodai (10 pav.). Tai priklauso nuo tiriamo biotopo gylio ir jo nuotolio nuo Ignalinos AE objektų. Giluminių biotopų (iki 30 m gylio) dugno nuosėdose išryškėjo ^{137}Cs kon-

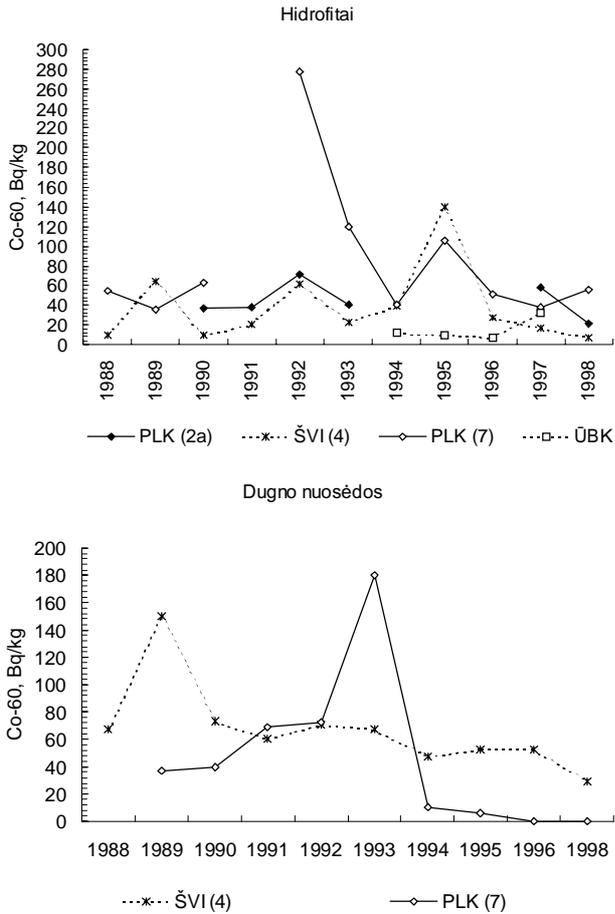


8 pav. ^{137}Cs savitasis aktyvumas Ignalinos AE nuotėkų kanalų hidrofituose ir dugno nuosėdose 1988–1998 m.

Fig. 8. Specific activity of ^{137}Cs in hydrophytes and bottom sediments of waste water channels of Ignalina NPP during 1988–1998

centracijų didėjimo tendencija 10–20 ir 6–12 cm sluoksniuose. Tai rodo apie ^{137}Cs padidėjusių kiekių patekimą į šiuos biotopus, pradėjus veikti Ignalinos AE, taip pat po Černobylio AE avarijos. Apie radionuklidų patekimą į šiuos biotopus iš Ignalinos AE rodo ^{60}Co kiekiai, rasti dugno nuosėdose 1 stotyje 0–21 cm ir 2 stotyje 16–1 cm sluoksniuose. Šioks toks ^{137}Cs kiekio kitimas šilto vandens išmetimo zonos, t. y. 4 stoties, dugno nuosėdų 0–12 cm sluoksnyje, kuriame rasta ir ^{60}Co , aiškiai rodo, kad šie radionuklidai nuolat patenka į ežerą su šiltu vandeniu.

Daugiamečių tyrimų duomenys rodo, kad didžiausi ^{137}Cs kiekiai Drūkšių ežero dugno nuosėdose buvo nustatyti 1988–1989 m. Vandens augaluose šio radionuklido kiekiai per visą tyrimų laikotarpį svyravo panašiai (7 pav.). Tiek ežero dugno nuosėdose, tiek vandens augaluose ^{60}Co didžiausi kiekiai nustatyti 1988–1990 m. (7 pav.). Nuo 1991 m. Drūkšių ežere aiškiai matoma ^{60}Co kiekio mažėjimo tendencija. Nuo 1990 m., palyginti su 1988–1989 m., ežero

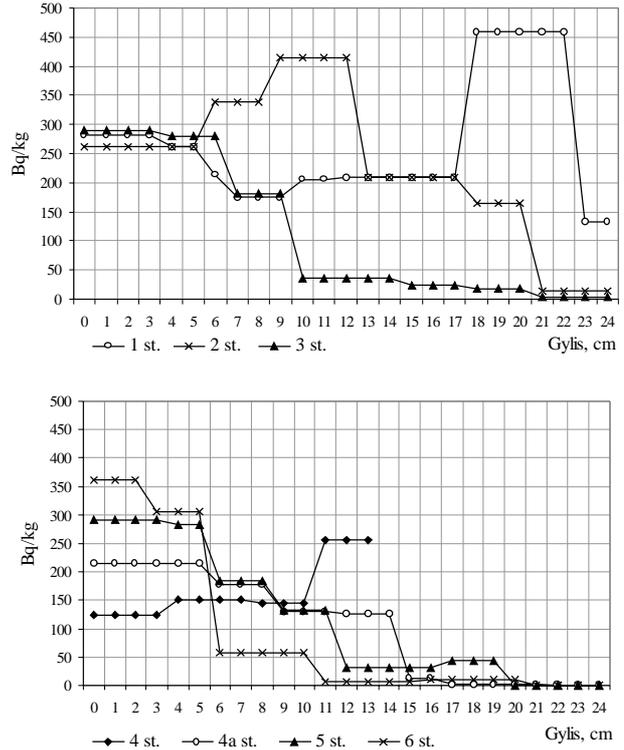


9 pav. ⁶⁰Co savitasis aktyvumas Ignalinos AE nuotėkų kanalų hidrofituose ir dugno nuosėdose 1988–1998 m.
Fig. 9. Specific activity of ⁶⁰Co in hydrophytes and bottom sediments of waste water channels of Ignalina NPP during 1988–1998

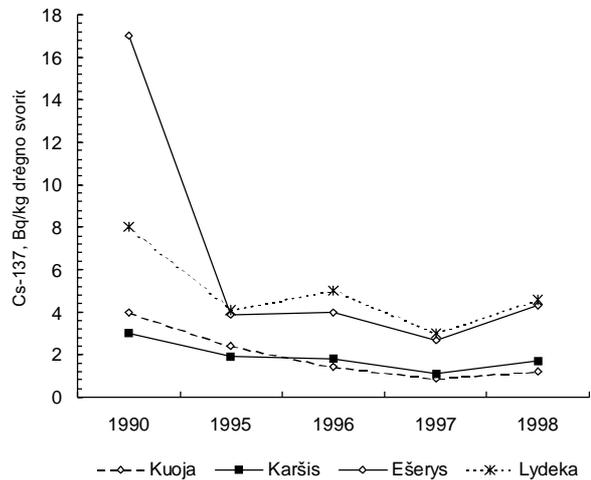
dugno nuosėdose stebima ir ¹³⁷Cs kiekio mažėjimo tendencija (7 pav.).

Ignalinos AE nutekamųjų vandenių kanalų dugno nuosėdose ir vandens augaluose priklausomai nuo tyrimų metų stebimi gana ryškūs ⁶⁰Co kiekio svyravimai, kuriuos galėjo sukelti su nuotėkomis iš Ignalinos AE patenkantys šio radionuklido kiekiai (9 pav.). Nutekamųjų vandenių kanalų vandens augaluose bei dugno nuosėdose yra analogiški ir ¹³⁷Cs kiekio svyravimai, rodantys, kad šis radionuklidas į Drūkšių ežerą taip pat patenka ir su Ignalinos AE nuotėkomis.

Žuvyse nustatyti labai maži ¹³⁷Cs kiekiai. Šiuo metu jie ne didesni kaip 5 Bq/kg (gyvojo svorio) (11 pav.). Plėšriose žuvyse ešeryje ir lydekoje šio radionuklido kiekiai šiek tiek didesni nei taikaus mitybos būdo žuvyse karšyje ir kuojoje. Nuo 1990 iki 1995 m. aiškiai matyti, kad ¹³⁷Cs kiekis žuvyse sumažėjo, o 1996–1998 m. svyravo panašiose ribose. ⁶⁰Co kiekiai žuvyse buvo žymiai mažesni nei ¹³⁷Cs – ne didesni kaip 0,1 Bq/kg gyvojo svorio.



10 pav. ¹³⁷Cs savitojo aktyvumo (Bq/kg orasausės masės) vertikalus pasiskirstymas Drūkšių ežero dugno nuosėdose. Giluminės stotys (1, 2 st. – 30 m, 3 st. – 11 m); vidutinio gylio stotys (4, 4a, 5, 6 st. – 5–9 m)
Fig. 10. Vertical distribution of ¹³⁷Cs specific activity (Bq/kg of dry weight) in bottom sediments of Lake Drūkšiai Deep stations (st. 1, 2 – 30 m, st. 3 – 11 m); Medium deep stations (st. 4, 4a, 5, 6 – 5–9 m)



11 pav. ¹³⁷Cs savitasis aktyvumas Drūkšių ežero žuvyse 1990–1998 m.
Fig. 11. ¹³⁷Cs specific activity in fish of Lake Drūkšiai during 1990–1998

APIBENDRINIMAS

Apibendrinus gautus duomenis galima teigti, kad Ignalinos AE kilmės radionuklidų ⁶⁰Co ir ⁵⁴Mn Drūkšių eže-

ro ir jo priekrantės (atitinkamai iki 200 ir 90 Bq/kg) augaluose bei dugno nuosėdose (atitinkamai iki 180 ir 204 Bq/kg) akumuliuojasi daugiau nei sausumos augaluose (atitinkamai iki 14,5 ir 0 Bq/kg) ir dirvožemyje (atitinkamai iki 7,3 ir 0 Bq/kg). Tai galima paaiškinti tuo, kad iš Ignalinos AE į ežerą patenka daugiau šių radionuklidų nei į sausumos ekosistemą. Daugiausia šių radionuklidų į Drūkšių ežerą iš Ignalinos AE patenka su šiltu vandeniu ir pramoninės lietaus kanalizacijos nuotėkomis. Su šiomis nuotėkomis į Drūkšių ežerą patekę radionuklidai dėl stiprios vandens srovės šilto vandens išmetimo ir vandens įsiurbimo kanaluose bei dėl vandens masių maišymosi pernešami ir į pagrindinės ežero dalies litoralę ir priekrantę.

Daugiamečių tyrimų (1988–1998) duomenys rodo, kad Drūkšių ežere yra Ignalinos AE kilmės radionuklidų kiekio mažėjimo tendencija.

Globalinės ir Ignalinos AE kilmės radionuklido ^{137}Cs Ignalinos AE regiono sausumos augaluose akumuliuojasi daugiau (iki 224 Bq/kg) nei Drūkšių ežero ir jo priekrantės augaluose (atitinkamai iki 56 ir 61 Bq/kg). Tačiau dirvožemyje šio radionuklido dažniausiai akumuliuojasi mažiau (iki 73 Bq/kg) nei dugno nuosėdose (iki 407 Bq/kg). Tai galima paaiškinti tuo, kad patekęs į vandens ekosistemą ^{137}Cs greitai prasiskiedžia vandenyje ir, intensyviai akumuliuodamasis dugno nuosėdose, šis radionuklidas deponuojasi. Sausumos ekosistemoje ^{137}Cs nusėda tiesiogiai ant augalų, kurie yra pirmas barjeras, sulaukantis iš atmosferos su aerozolinėmis iškritomis patenkantį šį radionuklidą.

Žuvyse ^{137}Cs ne daugiau kaip 5 Bq/kg, ^{60}Co – 0,1 Bq/kg.

Ignalinos AE regiono sausumos ekosistema, palyginti su kitais tirtais Lietuvos regionais, yra mažiau užteršta ^{137}Cs . Tai liudija šio radionuklido žymiai didesni nei Ignalinos AE regione kiekiai, nustatyti Plungės ir Varėnos rajonuose, labiau užterštuose po Černobylio AE avarijos.

Vegetacijos laikotarpiu į Ignalinos AE regiono sausumos ir vandens ekosistemą patenkančių technogeninių radionuklidų kiekį iš tirtų komponentų geriausiai atspindi augalai. Ilgalaikę vandens ekosistemos taršą šiais radionuklidais geriausiai atspindi dugno nuosėdos, o ilgalaikę ežero pakrantės ir sausumos ekosistemos taršą – daugiamečių augalų šaknys.

Gauta
2001 02 02

Literatūra

1. Marčiulionienė D., Petkevičiūtė D. ^{137}Cs biologinės migracijos hidroekosistemose ypatumai. *Botanikos institutas. Mokslinė veikla 1995*. Vilnius, 1996. P. 125–135.

2. Masiliūnas L., Eitminavičienė N. Ignalinos AE regiono landšafto ir jo komponentų tyrimai. *Ignalinos atominės elektrinės poveikis gamtai ir visuomenei*. Vilnius, 1995. P. 196–202.
3. Mažeika J., Petrošius R. Geofizinis ir geocheminis technogeninių radionuklidų sklaidos Ignalinos AE rajono vandens ir sausumos geosistemose įvertinimas. *Atominė energetika ir aplinka*. Vilnius, 1997, 2 šas. P. 166–289.
4. Pakalnis R. Ignalinos AE ir gamtinė aplinka. *XI pasaulio lietuvių mokslo ir kūrybos simpoziumas*. Vilnius, 2000. P. 24.
5. Егоров Ю., Казаков С., Леонов С., Стаурин Н. Радиационное состояние охладителя ИАЭС в начальный период эксплуатации. *Теплоэнергетика и окружающая среда*. Вильнюс: Academia, 1992. Т. 10, Ч. 1. С. 132–168.
6. Куликов Н. В., Молчанова И. В., Караева Е. Н. *Радиоэкология почвенно-растительного покрова*. Свердловск, 1990. 169 с.
7. Марчулёнене Д., Душаускаене-Дуж Р., Мотеюене Э., Швобене Р. *Радиоэкологическая ситуация в оз. Друкияй – водоеме-охладителе Игналинской АЭС*. Вильнюс: Academia, 1992. 215 с.
8. *Радиационное исследование системы „АЭС-окружающая среда“ и оценка последствий эксплуатации АЭС для окружающей среды: итоговый отчет НИКИЭТ. Инв. № 240-255-2869*. Москва, 1988. 320 с.

D. Marčiulionienė, D. Kiponas, D. Hansen

ACCUMULATION OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT OF THE IGNALINA NPP

S u m m a r y

The accumulation of ^{137}Cs , ^{60}Co and ^{54}Mn in abiotic (soil, bottom sediments) and biotic (plants and fish) components of the terrestrial and aquatic ecosystems was investigated.

The results showed that in aquatic plants and bottom sediments of Lake Drūkšiai and shoreline of this lake the accumulation levels of ^{60}Co and ^{54}Mn were significantly higher (up to 90 and 200 Bq/kg, respectively) than in the terrestrial plants and soil (up to 15 and 8 Bq/kg, respectively). That could be explained by the fact that the bulk of these radionuclides are discharged by the Ignalina NPP with waste waters. The largest amount of ^{60}Co and ^{54}Mn enters Lake Drūkšiai with the heated water and waste waters of industrial-rain sewage.

The accumulation levels of ^{137}Cs in terrestrial plants were significantly higher (up to 224 Bq/kg) than in aquatic plants of Lake Drūkšiai and lake shoreline (56 and 61 Bq/kg, respectively). However, in bottom sediments the accumulation levels of this radionuclide were significantly higher (up to 407 Bq/kg) than in soil (up to 73 Bq/kg).

The specific activity of ^{137}Cs in fish of Lake Drūkšiai didn't exceed the 5 Bq/kg of wet weight, and the concentration of ^{60}Co was still lower.

The trend of a decrease of ^{60}Co and ^{54}Mn concentration in plants and bottom sediments was observed during 1988–1998.