

DRŪKŠIŲ EŽERO EKOTOKSIKOLOGINĖS BŪKLĖS ĮVERTINIMAS NAUDOJANT AUGALUS – TESTUOJAMUOSIUS ORGANIZMUS

Danguolė Montvydienė

Botanikos institutas

Santrauka

Tyrimo tikslas – nustatyti Ignalinos atominės elektrinės (Ignalinos AE) nuotekų, Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų poveikį augalams – testuojamiesiems organizmams ir remiantis daugiamečių tyrimų duomenimis įvertinti galimą šių nuotekų poveikį Drūkšių ežero ekotoksikologinei būklei (1988–2000 ir 2007–2008 m.).

Medžiaga ir metodai. Aplinkos sandų toksiškumo tyrimai atlikti naudojant sėjamąją pipirinę ir daugiašaknę maurę, o toksinis poveikis vertintas pagal augalų augimo greičio slopinimą. Genotoksiškumo tyrimai atlikti naudojant tradeskantės kloną O2, o poveikis vertintas pagal somatinių mutacijų kiekį kuokelių plaukeliuose.

Rezultatai. Ilgamečiai tyrimai parodė, kad Drūkšių ežero vanduo ir dugno nuosėdos toksiškiausios buvo 1993–1998 m. Didžiausia radioaktyvi ir cheminė tarša Drūkšių ežere buvo nustatyta 1988–1993 m., o ryškiausi genetiniai pakitimai testuojamuose augaluose užfiksuoti 1993 m. Atlikus duomenų, gautų 1988–2000 ir 2007–2008 m., regresinę analizę išryškėjo pašildyto vandens kanalo ir 7-osios Drūkšių ežero monitoringo stoties, į kurią patenka pramoninės lietaus kanalizacijos nuotekos, vandens ir dugno nuosėdų toksiškumo augalams didėjimo tendencija. Kitų Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero monitoringo stočių vandens ir dugno nuosėdų poveikis augalams mažai kito.

Apibendrinimas. Gauti rezultatai parodė, kad su Ignalinos AE veikla susijusi terminė, cheminė ir radioaktyvi Drūkšių ežero tarša daro įtaką šio ežero ekotoksikologinei būklei, kuri nedaug pasikeitė ir nutraukus Ignalinos AE 1-ojo bloko eksploataciją.

Raktažodžiai: toksinis poveikis, testuojamieji organizmai, Ignalinos AE nuotekos.

IVADAS

Didžiausi teršalų kiekiai į Drūkšių ežerą patenka su Ignalinos AE gamybinių blokų, Visagino miesto ir Ignalinos AE ūkinės-buitinės kanalizacijos nuotekomis (po valymo) [1]. Be to, į ežerą suteka ir nevalytos Ignalinos AE ir Visagino miesto lietaus kanalizacijos nuotekos. Ignalinos AE nuotekos yra daugiakomponentiniai cheminių medžiagų mišiniai, kuriuos sudaro biogeniniai elementai N ir P, taip pat toksinės medžiagos: naftos produktai, praskiestos silpnos organinės rūgštys, radionuklidai, sunkieji metalai ir t. t. [2, 3]. Sunkiųjų metalų (vario, švino, chromo, kadmio, nikelio) koncentracijos visu Ignalinos AE veikimo laikotarpiu dažniausiai neviršydavo leidžiamų vandens kokybės normų ribų [1]. Didžiausios radionuklidų koncentracijos Drūkšių ežero vandens augaluose ir dugno nuosėdose buvo nustatytos iki 1996 m. [4].

Uždarius 1-ąjį Ignalinos AE energetinį bloką, reikšmingai sumažėjo ^{60}Co , ^{54}Mn ir ^{137}Cs savitasis aktyvumas Drūkšių ežero ir Ignalinos AE nuotekų kanalų dugno nuosėdose. ^{60}Co ir ^{54}Mn aktyvumai nežymiai sumažėjo ežero ir Ignalinos AE nuotekų kanalų makrofituose, tačiau ^{137}Cs savitasis aktyvumas juose mažai pakito [5]. Tuo laikotarpiu, kai Ignalinos AE veikė maksimaliu pajėgumu (iki 1991 m.), kasmet į ežerą patekdavo iki 1 000 tonų organinės anglies, iki 700 tonų azoto ir iki 50 tonų fosforo [1]. Vėliau Visagino miesto ir Ignalinos AE ūkinės-buitinės kanalizacijos nuotekų valymo sistema buvo patobulinta, tačiau iki šiol su šiomis nuotekomis į Drūkšių ežerą patenka apie 55 proc. azoto ir 80 proc. fosforo [1]. Manoma, kad biogeninių medžiagų patekimas į ežerą ir terminė tarša Drūkšių ežerą iš mezotrofinio, buvusio iki Ignalinos AE darbo pradžios, pakeitė į eutrofinį [1].

Darbo tikslas – nustatyti Ignalinos AE nuotekų, Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų poveikį augalams – testuojamiesiems organizmams ir remiantis daugiamečių tyrimų duomenimis įvertinti

*Adresas susirašinėti: Danguolė Montvydienė,
Botanikos institutas,
Žaliųjų ežerų g. 49, 08406 Vilnius.
El. p. radeko@ar.fi.lt*

galimą šių nuotekų poveikį Drūkšių ežero ekotoksikologinei būklei.

TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Ignalinos AE kanalų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų mėginiai buvo imami 1993–2000 m. ir 2007–2008 m. vasarą svarbiausiuose Ignalinos AE kanaluose: pramoninės lietaus kanalizacijos (PLK-1,2) nuotekų kanale, šių vandenų patekimo į Drūkšių ežerą zonoje (7-oji monitoringo stotis), pašildyto vandens kanale (PVK), Visagino miesto ir Ignalinos AE ūkinės-buitinės kanalizacijos (ŪBK) nuotekų kanale, Skripkų ežere, į kurią įteka šios nuotekos (po valymo), Drūkšių ežero 6-oje monitoringo stotyje, į kurią Vosyliškių upeliu gali patekti dalis ŪBK nuotekose esančių teršalų, bei labiausiai nuo Ignalinos AE objektų nutolusioje Drūkšių ežero Tilžės įlankoje (1 monitoringo stotis).

Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų toksiškumo ir genotoksiškumo tyrimai atlikti naudojant daugiašaknę maurę (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.) (taikant modifikuotą I. Magonė [6] metodiką), sėjamąją pipirnę (*Lepidium sativum* L.) (naudojant I. Magonė [6] ir D. Montvydienės bei D. Marčiulionienės [7] metodiką), taip pat tradeskantės kloną 02 (*Tradescantia*) (naudojant modifikuotą R. Osipovos ir V. Ševčenko [8] metodiką). 1993–2000 m. tyrimai atlikti naudojant visus tris testuojamuosius organizmus, o 2007–2008 m. – tyrimuose naudota pipirinė.

Tyrimų rezultatai statistiškai apdoroti naudojant *Statgraphics plus for Windows Version 2.1.* (*Statistical Graphics Corp., JAV*) programą, kai $p < 0,05$. Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero vandens bei dugno nuosėdų toksinio poveikio daugiašaknei maurei ir pipirnei laipsnis buvo vertinamas pagal W. Wang [9], o genotoksiškumo laipsnis tradeskantei – pagal D. Marčiulionienės ir kt. [10] pasiūlytas metodikas.

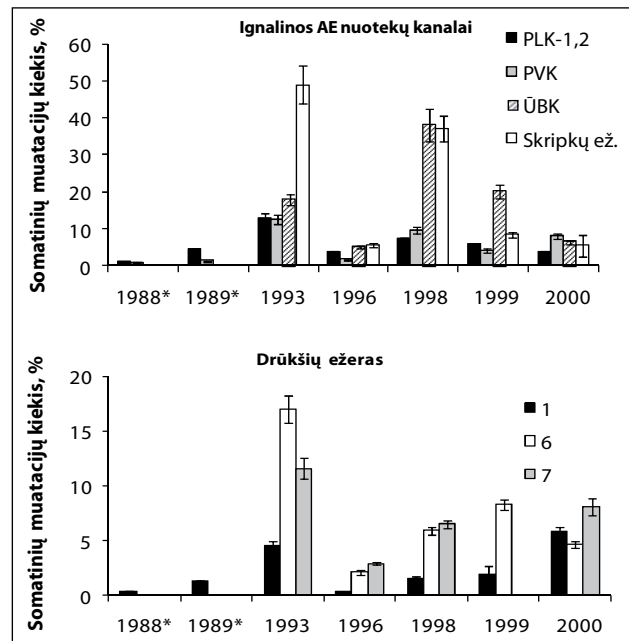
TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Ignalinos AE nuotekų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų poveikis augalams – testuojamiesiems organizmams veikiant abiem AE blokams (1988–2000 m.)

Nustatyta, kad 1988–2000 m. iš tiesiogiai į Drūkšių ežerą patenkančių Ignalinos AE nuotekų toksiškiausios tirtiems augalams buvo PLK-1,2 kanalo nuotekos (1, 2 pav.). Visagino m. ir Ignalinos AE ŪBK nuotekos ir Skripkų ežero, į kurią patenka šios nuotekos, vanduo tirtiems augalams

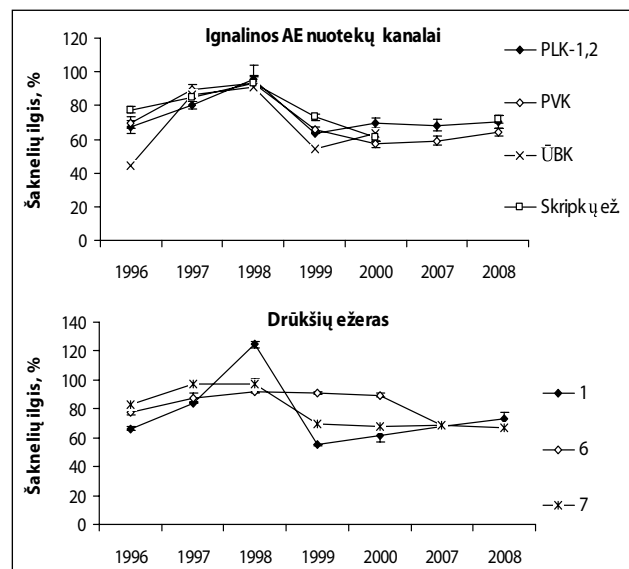
buvo toksiškesni negu PLK-1,2 ir PVK nuotekos (1, 2 pav.).

Labiausiai nuo Ignalinos AE objektų nutolusios 1-osios Drūkšių ežero stoties vandenyje daugiašaknės maurės augalų kiekis daugeliu atvejų nesiskyrė nuo kontrolės ($p < 0,05$) (paveiksluose neparodyta), pipirinės šaknelių augimas jame keitėsi labai plačiose ribose (2 pav.). Tačiau jis buvo geresnis negu 7-osios ežero stoties, esančios PLK-1,2 kanalo nuotekų poveikio zonoje, ir 6-osios stoties, į kurią patenka Visagino m.



* Duomenys iš D. Марчюленене u dr., 1992

1 pav. Ignalinos AE nuotekų ir Drūkšių ežero vandens poveikis tradeskantei 1988–2000 m.



2 pav. Ignalinos AE nuotekų ir Drūkšių ežero vandens poveikis pipirnei 1996–2000 ir 2007–2008 m.

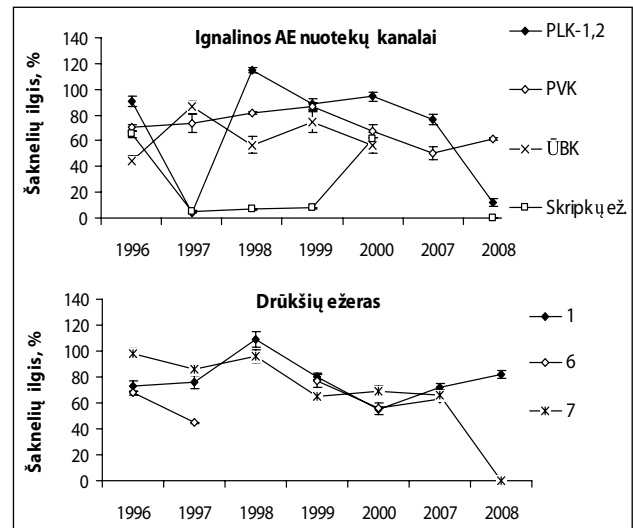
ir Ignalinos AE ŪBK nuotekos, vandenyje. Daugiašaknės maurės ir pipirinės augimas šių dviejų ežero stočių vandenyje daugeliu atvejų statistiškai patikimai nesiskyrė nuo jų augimo PLK-1,2 ir ŪBK nuotekose (2 pav.). Tai rodo, kad toksinių medžiagų, esančių minėtų kanalų vandenyje, patenka į Drūkšių ežerą.

Nustatyta, kad 1-osios Drūkšių ežero stoties vanduo tradeskantei buvo mažiau genotoksiškas nei 7-osios ir 6-osios ežero stočių, esančių PLK-1,2 ir ŪBK nuotekų poveikio zonoje, vanduo (1 pav.). Tačiau minėtų stočių vandens genotoksinis poveikis daugeliu atvejų buvo mažesnis nei PLK-1,2 ir ŪBK nuotekų poveikis.

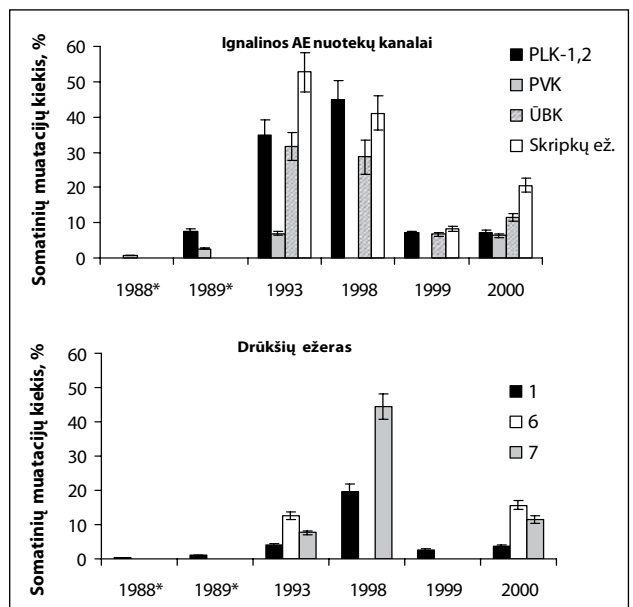
Pagal toksiškumo ir genotoksiškumo skales nustatyta, kad daugeliu atvejų tirtos Ignalinos AE nuotekos daugiašaknei maurei ir pipirinei sukėlė silpną toksinį poveikį arba buvo netoksiškos, tradeskantei jos buvo vidutiniškai arba stipriai genotoksiškos. Tirtų Drūkšių ežero monitoringo stočių vanduo daugiašaknei maurei dažniausiai buvo netoksiškas, pipirinei – silpnai toksiškas arba netoksiškas, o tradeskantei – vidutiniškai genotoksiškas.

Nustatyta, kad dugno nuosėdų, surinktų tiek Ignalinos AE PLK-1,2 ir PVK kanaluose, Visagino m. ir Ignalinos AE ŪBK kanale, Skripkų ežere, į kurį patenka ŪBK nuotekos, tiek ir Drūkšių ežero monitoringo stotyse, toksinis poveikis pipirinei 1996–2000 m. kito nuo silpnai toksiško iki labai stipriai toksiško (3 pav.). 1988–2000 m. laikotarpiu minėtų dugno nuosėdų genotoksinis poveikis tradeskantei taip pat kito nuo silpnai iki stipriai genotoksiško (4 pav.). Tokį toksinio ir genotoksinio poveikio svyravimą galėjo sąlygoti iš Ignalinos AE išmetamų teršalų kiekis, vandens srovės ir dugno nuosėdų sorbcinės savybės.

Ryškiausi genetiniai pakitimai tradeskantės KPL sistemoje, kuriuos sukėlė Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero vanduo bei dugno nuosėdos, buvo užfiksuoti 1993 m. Didžiausia radioaktyvi ir cheminė Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų tarša buvo nustatyta 1988–1993 m., todėl galima daryti prielaidą, kad augalų rūšių Drūkšių ežere kaitai įtakos galėjo turėti ne tik terminė, bet ir radioaktyvi bei cheminė tarša, nes manoma [11], kad 1 proc. somatinių mutacijų, atsiradusių tradeskantės KPL sistemoje, liudija apie genetinius pakitimus, kurie gali sąlygoti jautrių augalų rūšių išnykimą, o tuo pačiu ir rimtus pokyčius visoje ekosistemoje. Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero vanduo bei dugno nuosėdos tradeskantės KPL sistemoje dažniausiai sukeldavo bespalves ir morfologines, tik retais atvejais (ir tik iki 1993 m.) – rožines mutacijas, kurių, kaip manoma [10], dažniausiai atsiranda dėl jonizuojančios spinduliuotės poveikio. Tai rodo, kad Ignalinos



3 pav. Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero monitoringo stočių dugno nuosėdų poveikis pipirinei 1996–2000 ir 2007–2008 m.



* Duomenys iš D. Марчуленене и др., 1992

4 pav. Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero monitoringo stočių dugno nuosėdų poveikis tradeskantei 1988–2000 m.

AE kanalų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų genotoksiškumą daugiau sąlygojo ne radioaktyviųjų, o suminis įvairių toksinių medžiagų poveikis.

Ignalinos AE nuotekų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų poveikis augalams – tesuojamiesiems organizmams nutraukus Ignalinos AE 1-ojo bloko eksploataciją (2007–2008 m.)

Kadangi 2007–2008 m. atlikti Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero vandens ir dugno nuosėdų

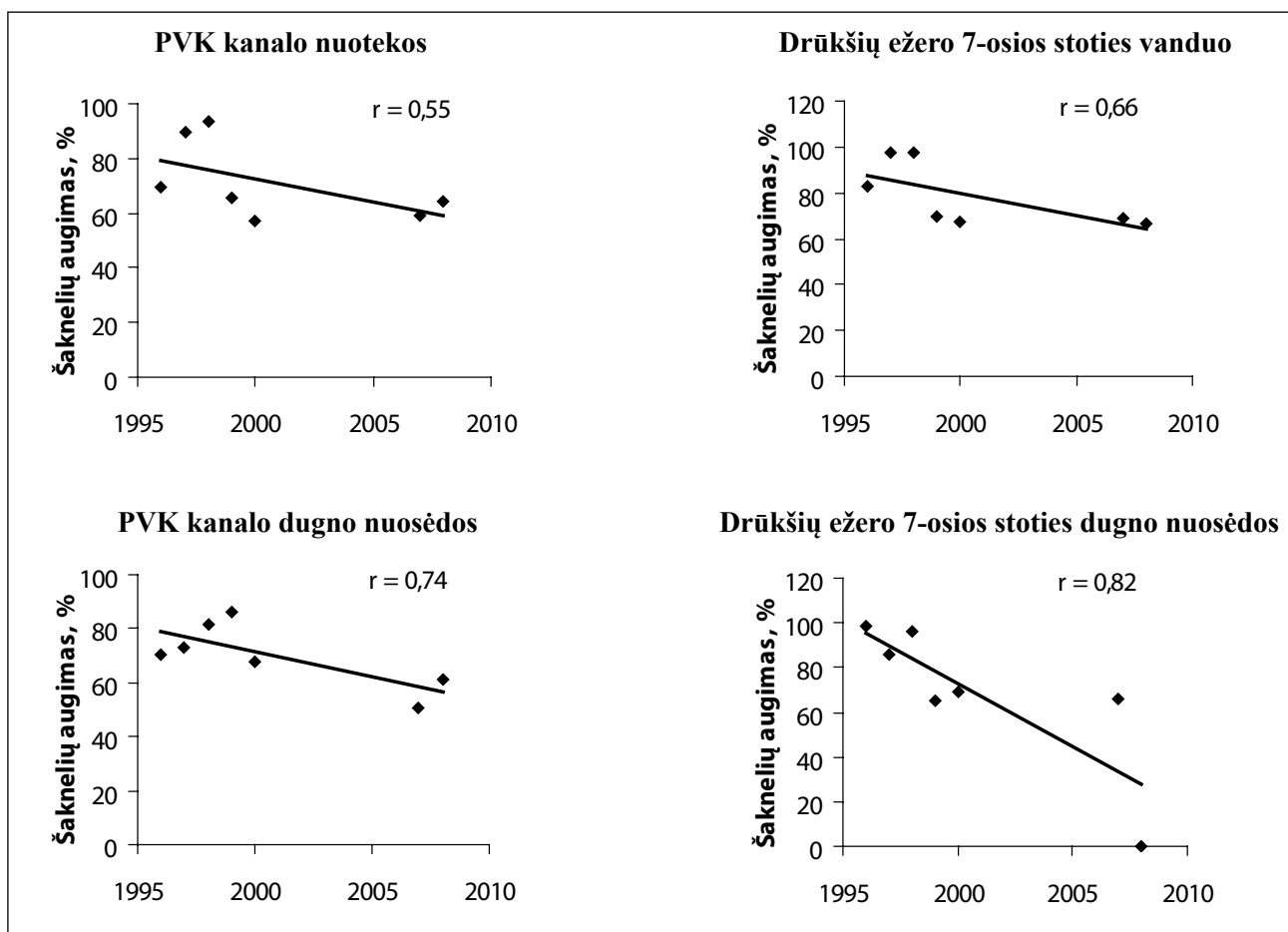
poveikio biologiniams testams tyrimai buvo tik atrankinio pobūdžio, naudotas tik vienas augalas – pipirnė. Nustatyta, kad daugeliu atvejų pipirnės sėklų sudygimas 2007–2008 m. Ignalinos AE kanalų nuotekose bei Drūkšių ežero vandenyje ir dugno nuosėdose statistiškai patikimai nuo kontrolės nesiskyrė ($p < 0,05$). Tačiau sėklų sudygimas dugno nuosėdose, surinktose 2008 m. PLK-1,2 kanale, šio kanalo nuotekų įtekėjimo į Drūkšių ežerą vietoje (7-oji monitoringo stotis) bei Skripkų ežere, į kurį patenka Visagino m. ir Ignalinos AE ŪBK nuotekos, buvo statistiškai patikimai mažesnis negu kontrolės ($p < 0,05$). 2007–2008 m. Ignalinos AE kanalų nuotekos ir visų tirtų Drūkšių ežero monitoringo stočių vanduo pipirnei buvo vidutiniškai toksiškas, o dugno nuosėdų poveikis šiam augalui svyravo nuo silpnai iki labai stipriai toksiško (2, 3 pav.).

Gauti duomenys rodo, kad 2007 m. ir 2008 m. Ignalinos AE nuotekų ir Drūkšių ežero vandens poveikis pipirnei statistiškai patikimai ($p < 0,05$) tarpusavyje nesiskyrė. Tačiau 2008 m. PVK kanalo ir 1-osios Drūkšių ežero monitoringo stoties dugno nuosėdose pipirnės šaknelių augimas buvo statistiškai patikimai

($p < 0,05$) didesnis, o PLK-1,2 kanalo ir šio kanalo nuotekų įtekėjimo į Drūkšių ežerą zonoje (7 monitoringo stotis) dugno nuosėdose – statistiškai patikimai ($p < 0,05$) mažesnis negu 2007 m.

Atlikus 1996–2000 ir 2007–2008 m. gautų duomenų regresinę analizę išryškėjo šilto vandens kanalo (PVK) ir 7-osios Drūkšių ežero monitoringo stoties, į kurią patenka PLK-1,2 kanalo nuotekos, vandens ir dugno nuosėdų toksiškumo pipirnei didėjimo tendencija (5 pav.). Tai rodo, kad su PVK ir PLK-1,2 kanalų nuotekomis į Drūkšių ežerą nuolat patenka pipirnės šaknelių augimą slopinančių cheminių medžiagų, kurios kaupiasi PV nuotekų kanalo ir 7-osios Drūkšių ežero monitoringo stoties dugno nuosėdose. Kitų Ignalinos AE nuotekų kanalų ir Drūkšių ežero monitoringo stočių vandens ir dugno nuosėdų poveikis pipirnei tyrimų laikotarpiu mažai pakito.

2008 m. atlikti Skripkų ežero, į kurį patenka Ignalinos AE ir Visagino m. ŪBK nuotekos, vandens ir dugno nuosėdų tyrimai parodė, kad nors Skripkų ežero vandenyje pipirnės sėklų sudygimas statistiškai patikimai ($p < 0,05$) nuo kontrolės nesiskyrė, o tirtu



5 pav. Ignalinos AE pašildyto vandens išmetimo kanalo (PVK) ir 7-osios Drūkšių ežero monitoringo stoties vandens ir dugno nuosėdų toksinio poveikio pipirnės šaknelių augimui kitimas 1996–2008 m.

augalo šaknelių augimas ežero vandenyje, palyginti su kontrole, buvo vidutiniškas, tačiau šio ežero dugno nuosėdose sudėjo tik 16,5 proc. pipirinės sėklų, o sudėgusiųjų šaknelės neaugo. Tai rodo, kad Skripkų ežero dugno nuosėdos gali tapti Ignalinos AE ir Visagino m. ŪBK nuotekose esančių cheminių medžiagų deponavimo terpe. Todėl norint pagerinti Drūkšių ežero ekotoksikologinę būklę iš Skripkų ežero Vosyliškių upeliu į Drūkšių ežerą neturėtų patekti toksinių ir biogeninių medžiagų.

APIBENDRINIMAS

Apibendrinus tyrimų rezultatus galima teigti, kad Ignalinos AE nuotekos, kurios pagal poveikį biologiniams testams gali būti priskirtos prie žemo toksiškumo nuotekų, daro įtaką Drūkšių ežero ekotoksikologinei būklei, nes nuotekose esančios toksinės medžiagos gali kauptis Drūkšių ežero dugno

nuosėdose ir suformuoti dugno nuosėdų zonas, kurių toksiškumo augalams laipsnis yra padidėjęs. Antriniu Drūkšių ežero taršos šaltiniu gali tapti ir Skripkų ežero dugno nuosėdos, kuriose susikaupusios cheminės medžiagos, pasikeitus fizikinėms ir cheminėms sąlygoms, galėtų tapti tirpiomis ir Vosyliškių upeliu patektų į Drūkšių ežerą. Be to, galima prognozuoti, kad dėl Ignalinos AE energetinių blokų demontavimo darbų gali padidėti radioaktyviųjų ir cheminių medžiagų patekimo į ežerą tikimybė, todėl Drūkšių ežero ekotoksikologinė būklė gali pablogėti.

PADĖKA

2007–2008 m. atliktus Drūkšių ežero ekotoksikologinės būklės įvertinimo tyrimus finansavo Radiacinės saugos centras.

Straipsnis gautas 2009-09-24, priimtas 2009-11-16

Literatūra

1. Konsorciumas Pöyry – LEI. Vilnius: Visagino atominė elektrinė [cituojama 2009-09-15]. Naujos atominės elektrinės poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. Prieiga internete www.vae.lt/lt/pages/poveikio_aplinkai_vertinimas.
2. Марчуленене Д, Душаускене-Дуж Р, Мотеюнене Э, Швобене Р. Радиохемозкологическая ситуация в оз. Друкшяй (водоохладителе Игналинской АЭС). Вильнюс: Academia, 1992.
3. Jokšas K. Nuosėdinės medžiagos ir cheminių komponentų patekimo transformacijos bei kaupimosi ypatumai Drūkšių ežere. Lietuvos valstybinė Mokslo programa „Atominė energetika ir aplinka“, mokslinių ataskaitų rinkinys, I sąsiuvinis. Vilnius: Lietuvos valstybinės Mokslo programos „Atominė energetika ir aplinka“ Taryba; 1997.
4. Marčiulionienė D, Gudeliene I. Changes of the pollution of bottom sediments and biota of the cooling pond of the Ignalina NPP with radionuclides metals in 1988–2007. Proceedings of Blacksea international Environmental Symposium; 2008 Aug 25-29; Giresun, Turkey, 2008.
5. Montvydienė D, Marčiulionienė D. Changes in the radioecological and ecotoxicological state of Lake Druksiai – cooler of the Ignalina NPP in 1988–2007 [CD-ROM]. Proceedings of the 6th European Conference on Ecological Restoration; 2008 Sep 8-12; Ghent, Belgium, 2008.
6. Магоне И. Биоиндикация фитотоксичности выбросов автотранспорта. В кн: Качалова ОЛ, Лапиня ИМ, Мелецис ВП, редакторы. Воздействие выбросов автотранспорта на природную среду. Рига: Зинатне, 1989.
7. Montvydienė D, Marčiulionienė D. Assessment of toxic interactions of heavy metals in a multicomponents mixture using *Lepidium sativum* and *Spirodela polyrrhiza*. Environ Toxicol. 2004;19(4):351-358.
8. Осипова РГ, Шевченко ВА. Использование традиционных (клоны 02 и 4430) в исследованиях по радиационному и химическому мутагенезу. Журнал общей биологии. 1984;45:226-2.
9. Wang W. Use of plants for the assessment of environmental contaminants. Rev Environ Contam Toxicol. 1992;126:88-127.
10. Marčiulionienė D, Kazlauskienė N, Švobienė R, Budrienė S. Ecotoxicological investigation in cooling water reservoir of Ignalina NPP and Dnepr cascade water reservoirs by using biotests. Ekologija. 1996;1:74-0.
11. Шевченко ВА, Померанцева МД. Генетические исследования действия ионизирующих излучений. Москва: Наука, 1985.

Assessment of the ecotoxicological state of lake Drūkšiai using plants – test-organisms

Danguolė Montvydienė

Institute of Botany

Summary

The aim of the investigation was to determine the impact of water and bottom sediments from Ignalina Nuclear Power Plant (INPP) discharge channels and from monitoring stations of Lake Drūkšiai on higher plants – test-organisms during 1988-2000 and 2007-2008 and to evaluate the influence of INPP discharges on the ecotoxicological state of Lake Drūkšiai – cooler of INPP.

Methods. The toxicity of water and bottom sediments from discharge channels of INPP and biotopes of Lake Druksiai on *Lepidium sativum*, *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., and *Tradescantia* clone 02 was assessed.

Results. Long-lasting investigations showed that water and bottom sediments of Lake Drūkšiai were the most toxic in 1993-1998. The highest radioactive and chemical pollution was determined during the period of 1988-1993, as well as the biggest genetic changes in test-organisms were observed in 1993. After regression analysis of data obtained in 1996-2000 and 2007-2008, a tendency of increased toxicity to *L. sativum* of water and bottom sediments of cooling water channel and the 7-th monitoring

station of the Lake Drūkšiai has been detected. Impact of water and bottom sediments of other discharge channels and monitoring stations of the Lake to *L. sativum* has changed little.

Summary. Investigations show that even in case of shutdown of the First Unit of the INPP, the radioactive, chemical and thermal pollution related with exploitation of this plant still make the impact on ecotoxicological state of Lake Drūkšiai.

Keywords: toxic impact, test-organisms, discharge of Ignalina NPP.

Correspondence to Danguolė Montvydienė,
Institute of Botany,
Žaliųjų ežerų 49, LT-08406 Vilnius, Lithuania.
E-mail: radeko@arfi.lt

Received 24 September 2009,
accepted 16 November 2009