

TERMODINAMINIŲ PROCESŲ ĮTAKA RADIOCEZIO ELGSENAI TAPELIŲ EŽERE

Anastasija Moisejenkova¹, Aloyzas Girgždys², Nikolaj Tarasiuk³^{1,2}Vilniaus Gedimino technikos universitetas³Fizinių ir technologijos mokslų centrasEl. paštas: ¹driumas@gmail.com; ²alozas.girgzdys@vgtu.lt; ³kolia@ar.fi.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama radiocezio elgsena Tapelių ežere, naudojant ne tik radiocezio savitojo ir tūrinio aktyvumų duomenis, bet ir standartinius vertikaliuosius parametrus, tokius kaip temperatūra, elektros laidumai ir oksiduoto sluoksnio storis. Radiocezio aktyvumas ežero vandenyje priklauso nuo spalvoto pelkinio vandens, kuriame yra radiocezio, patekimo į ežerą. Radiocezio apkrova dugno nuosėdose yra didžiausia viršutinėje ežero dalyje, t. y. iki 5,4 m gylio. Sedimentacijos greitis svyruoja 3,5–5 mm·m⁻¹. Ežero priedugniniai vandens šaltiniai daugiausia išsidėstę pietinėje ežero terasoje, jų srovės sumažina sedimentaciją ir radiocezio apkrovą dugno nuosėdose.

Reikšminiai žodžiai: dugno nuosėdos, ežeras, radioceziis, radiocezio apkrova.

Įvadas

Ežerų užterštumas radioceziu iki šiol yra viena iš pagrindinių problemų daugelyje tyrimų (Eriksson *et al.* 2004; Ilus, Saxe'n 2005; Erlinger *et al.* 2008, 2009; Lusa *et al.* 2009; Putyrskaya *et al.* 2009; Monte *et al.* 2009; Pinder III *et al.* 2009, 2010). Tai susiję su tuo, kad ežerai yra labiausiai prieinamos gėlo vandens saugyklos šaltinis. Radiocezio aktyvumas apskaičiuojamas visam ežero tūriui ir toliau taikomas modeliuojant jo migraciją ežero dugno nuosėdose (Bulgakov *et al.* 2002; Monte *et al.* 2005; Putyrskaya, Klemm 2007). Manoma (Alberts *et al.* 1979; Davison *et al.* 1993a; Avery 1999), kad padidėjusią radiocezio aktyvumo koncentraciją vandens hipolimneone paprastai sukelia jo dalelių remobilizacija iš ežero dugno nuosėdų, esant anoksinėms sąlygoms. Atsižvelgiant į tai, daugelis tyrinėjimų buvo skirti radiocezio išsilaisvinimo iš paviršinių dugno nuosėdų galimiems mechanizms atskleisti (Evans *et al.* 1983; Comans *et al.* 1989; Davison *et al.* 1993b; Liu *et al.* 2003). Vis dėlto norint įvertinti radiocezio apkrovą dugno nuosėdoms reikia žinoti ežero termodinaminės struktūros pokyčius.

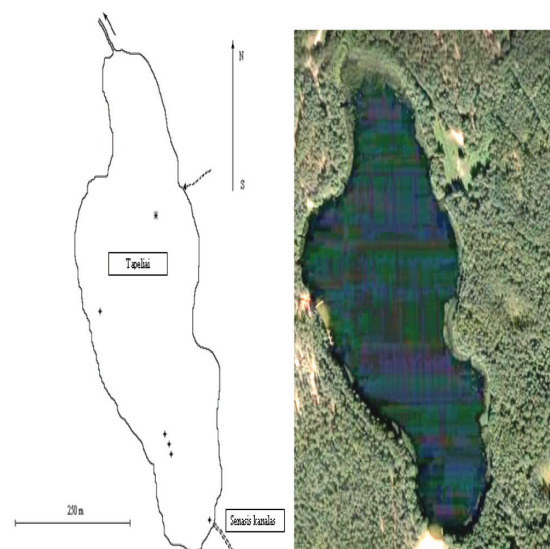
Šio straipsnio tikslas – nustatyti radiocezio pasiskirstymo priklausomybę nuo ežero standartinių parametrų.

Metodika

Tyrimo objektas – Tapelių ežeras. Tapelių ežeras (54°46'49"N, 25°26'29"E) yra išsidėstęs 17 km nuotoliu į šiaurės rytus nuo Vilniaus (1 pav.). Tai gana gilus eutrofinis ežeras, priklausantis trijų ežerų grupei (Tapeliai,

Juodis, Balžis). Šio ežero krantai yra beveik visiškai užaugę. Pritekėjimas priklauso nuo sezoniškumo ir taip pat kaip Juodžio ežere svyruoja 7–80 l/s. Kartais maža bebrų užtvanka kontroliuoja vandens lygį šiame ežere.

Ežeras yra ledyninės kilmės, susideda ir keturių dalių: 1) sekli pietinė terasa (gylis 4–5 m); 2) centrinė gilesnė ežero dalis (gylis 7–9 m); 3) šiaurinė terasa su tolygiai kintančiu dugnu (gylis 1,5–6 m); 4) nedidelė dugninė terasa vakarinėje ežero pusėje (gylis 5–6 m). Ežero didžiausias gylis siekia 9,5 m.



1 pav. Tapelių ežeras

Fig. 1. Lake Tapeliai

Tapelių ežeras taip pat turi ir dugninių šaltinių. Jie išsidėstę trijose skirtingose zonose: a) šalia vakarinio pietinės terasos kranto maždaug 4–4,5 m gylyje; b) pietvakarinėje centrinės ežero dalies zonoje; c) prie pietinio ežero krašto šalia seno drenažinio kanalo, kuris anksčiau buvo sujungęs Tapelio ir Raudonąjį ežerus (54°46'11"N, 25°27'23"E) (Tarasiuk *et al.* 2009). Lietingų periodų metu (pavasarij arba ilgai lyjant) į ežerą papildomai gali patekti ir spalvoto vandens iš pelkių (1 pav. jo patekimas parodytas taškuota rodykle). Paviršinė ežero zona lygi ~0,126 km², drenažo baseino – ~0,7 km² (Grižienė *et al.* 1993). Saproelinio tipo dugno nuosėdų paviršiniame sluoksnyje sausų medžiagų kiekis svyruoja 0,020–0,036 kg·l⁻¹ ribose, organinių medžiagų kiekis dugno nuosėdose sudaro 50–70 %. Dugno nuosėdų sluoksnio storis buvo matuojamas šiaurinėje terasoje. Pastebėta, kad didėjant gyliui jis didėja: prie užaugusių krantų jis siekia tik 1,5 m, o 6 m ežero gylyje dugno nuosėdų sluoksnio storis jau yra 4 m.

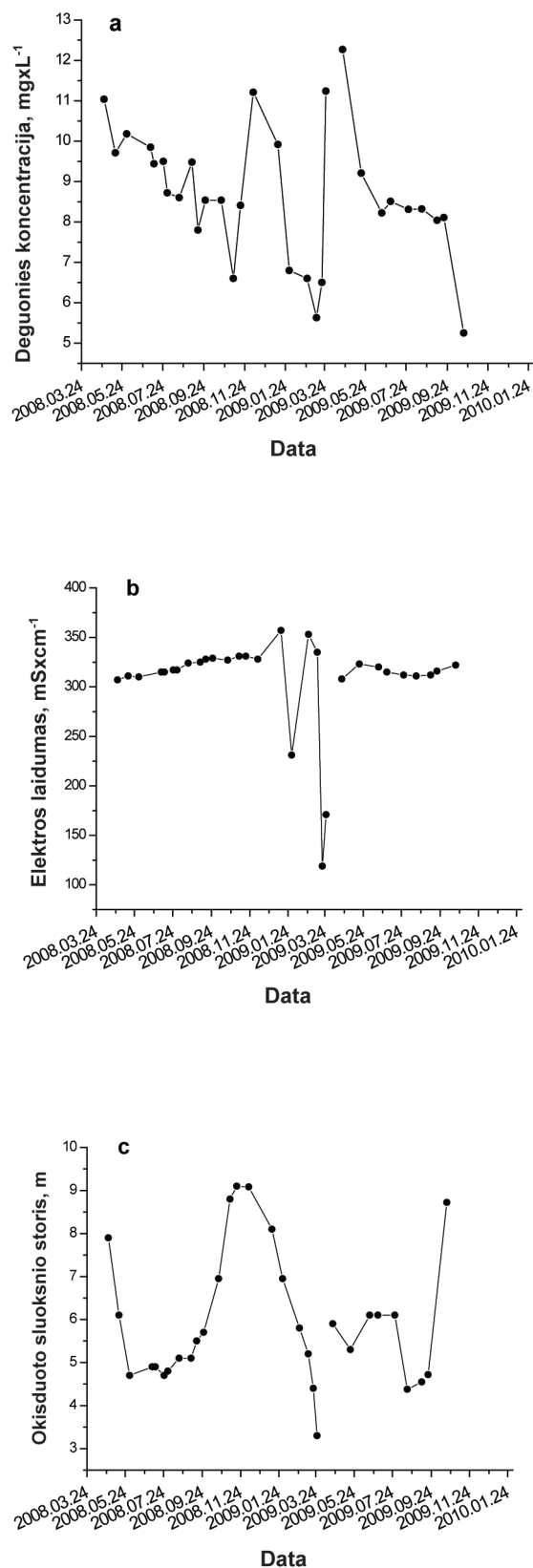
Vertikalieji vandens standartinių parametrų (pH, temperatūra, deguonies koncentracija, elektros laidumas) profiliai yra periodiškai nustatomi šio ežero vandenyje nuo 2000 m. Tam naudotas nešiojamasis „ProfiLine Multi 197i“ prietaisas su 10 m ilgio kabeliu, kuriuo galima daryti matavimus iki pat ežero dugno. Kabelis yra sugraduotas kas 5 cm, tai leidžia kuo tiksliau nustatyti ne tik ežero gylį, bet ir kurioje vietoje prasideda dugno nuosėdos. Šiltuoju metu laikotarpiu vandens standartiniai parametrai buvo matuojami iš pripučiamosios valties, šaltuoju metų laikotarpiu lede buvo gręžiamos eketės. Visi matavimai buvo atliekami atskaitos tašku laikant vandens paviršių ir nuo jo toliau matuojant ežero gylį.

Sausos vandens bandinių liekanos buvo analizuojamos ORTEC γ – spektrometrine sistema su šulininiu HPGe jutikliu (tūris yra 170 cm³, santykinis efektyvumas – 38 %, skiriamoji geba – 2,05 keV/1,33 MeV). Radiocezio tūrinio aktyvumo matavimų paklaidos bandiniuose buvo įvertintos GAMMAVISION programa. Jos neviršijo 10 % didelio aktyvumo bandiniams ir 30 % mažo aktyvumo bandiniams.

Rezultatai ir jų analizė

Standartinių vandens parametrų vertikalųjų profilių matavimų duomenys rodo, kad Tapelių ežeras yra dimiktinis.

Ežero vanduo tampa visiškai prisotintas deguonies trumpu periodu pavasario metu (balandžio mėn.), kai vandens temperatūra artima 4 °C, ir ilgu periodu rudenį (spalio ar lapkričio mėn.) dėl vėsinimo procesų, sukeliančių intensyvių gravitacinį maišymąsi. Paviršinio vandens deguonies koncentracijos ir elektros laidumo, taip pat oksiduoto vandens sluoksnio storio 2008–2009 metų sezoninės eigos parodytos 2 pav., a–c.



2 pav. Deguonies koncentracijos vandenyje (a), elektros laidumo paviršiniame vandenyje (b) ir oksiduoto vandens sluoksnio storio (c) sezoninės eigos 2008–2009 m.
Fig. 2. Seasonal courses of oxygen concentrations in the water column (a); conductivity of surface water (b); thicknesses of the oxygenated water layer (c) in 2008–2009

2 pav. matmenų taškai sujungti linija tik dėl vaizdinio aiškumo ir nereiškia matavimų parametrų kokių nors kitimo tendencijų. Vis dėlto pavasario įtakos ežere, kai visas vanduo yra prisotintas deguonies, nėra parodyta (atitinkamų eigų tušti intervalai). Prieš ateinant pavasariui aukštesni deguonies koncentracijos rodikliai buvo dėl fitoplanktono fotosintezės aktyvumo didėjimo po skaidriu ledo sluoksniu. Įsitvirtinus pavasariui, ežero paviršiniame vandenyje atsiranda maistingų medžiagų, kurios taip pat sukelia fitoplanktono žydėjimą, skatinantį deguonies koncentracijas paviršiniame vandenyje viršyti prisotinio lygius (2 pav., a). Gravitacinio maišymosi pradžia rudens laikotarpiu skatina deguonies koncentracijos mažėjimą dėl anaerobinio vandens sluoksnio dalyvavimo maišymosi procese. Tačiau maistingų medžiagų atsiradimas paviršinio vandens sluoksnyje dėl gravitacinio maišymosi esant palankioms oro sąlygoms (aukšta aplinkos oro temperatūra) taip pat gali sukelti didesnę fitoplanktono fotosintezinį aktyvumą.

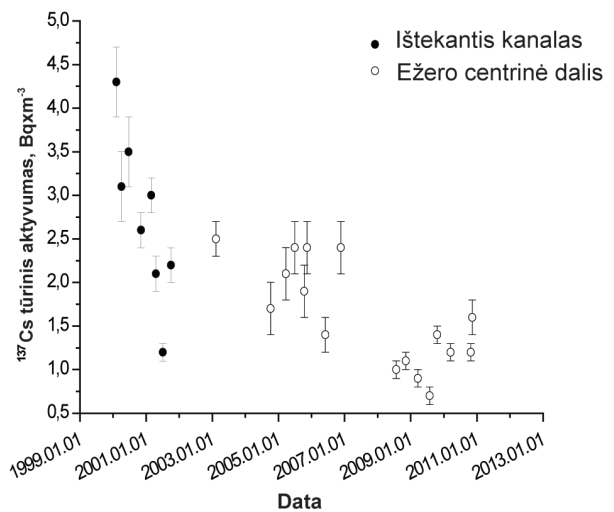
2008–2009 metų periodu paviršinio vandens elektros laidumas svyravo $310\text{--}352\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ intervale (2 pav., b). Elektros laidumo eigos tarpai atsirado dėl ištirpusio sniego, kai ežeras visiškai neteko ledo dangos. Tačiau 2010 metais į ežerą pateko dideli kiekiai spalvoto vandens iš pelkių, todėl labai sumažėjo paviršinio vandens elektros laidumas. Šiuo atveju jis siekė tik $150\text{--}220\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Vandens oksiduoto sluoksnio storio sezoninės eigos duomenys rodo gylį, žemiau kurio prasideda aukštos mineralizacijos zona (2 pav., c). Anaerobiniame vandens sluoksnyje radiocezijs gali atsirasti iš dugno nuosėdų dėl jo potencialiai mobilios fizinės-cheminės formos irimo. Taigi anaerobinio vandens sluoksnio dydis gali leisti numanyti ežero išsivalymo nuo radiocezio potencialias galimybes. Oksiduoto deguonies sluoksnio storis vasaros metu gali būti gerokai didesnis nei visiškai išmaišyto vandens sluoksnis. Toks atvejis atsiranda, kai metalimniono sluoksnis yra plonesnis negu didžiausi deguonies koncentracijos gradientai. Pavyzdžiui, vasarą, 2008 m. liepos 25 d. ir 2009 m. liepos 28 d., oksiduoto sluoksnio storis atitinkamai buvo 3,7 ir 6,1 m, kai visiškai išmaišyto vandens sluoksnio storis atitinkamai siekė 2,7 ir 3,5 m. Tačiau radioaktyvaus nusėdimo ežero paviršiuje atveju teršalai pirmiausia pasiskirstė visiškai išmaišytame vandens sluoksnyje (Santschi *et al.* 1988, 1990).

Tapelių ežero tūrinio radiocezio aktyvumo eigos paviršiniame vandenyje duomenys 2000–2010 metais pateikti 3 pav.

Radiocezio tūrinio aktyvumo duomenys 2009–2010 m. laikotarpiu yra tik viena trečioji tūrinių aktyvumų, išmatuotų ištekantiame iš ežero kanale 2000 m. Tačiau duomenys rodo tam tikrą radiocezio tūrinių aktyvumų didėjimą pavasario ir rudens laikotarpiais ir tai gali būti susiję su spalvoto pelkinio vandens patekimu į ežero vandenį. Spalvoto vandens pate-

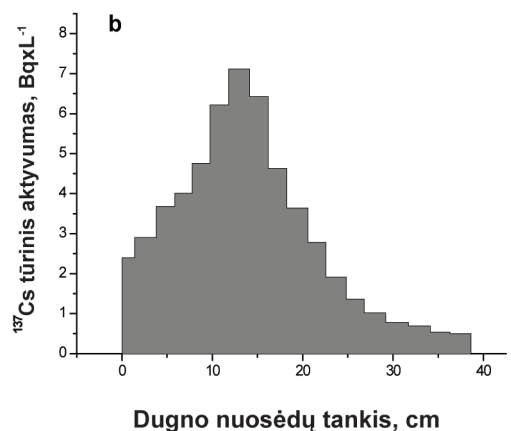
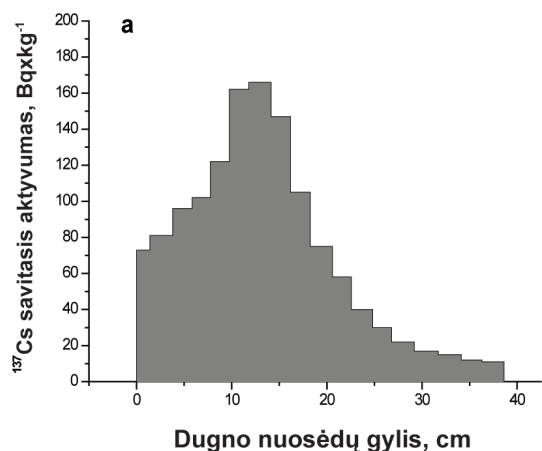
kimas priklauso nuo vėjo krypties, esant šiauriniams vėjams spalvotas vanduo gali uždengti visą šiaurinės terasos paviršių.

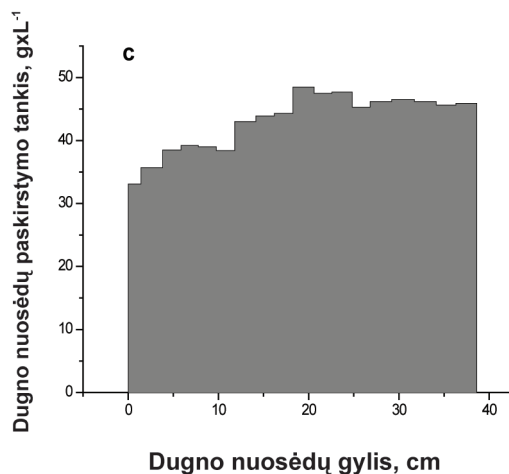


3 pav. Radiocezio tūrinio aktyvumo pasiskirstymas Tapelių ežere ir ištekančiame iš jo kanale 2000–2010 m.

Fig. 3. A course of water-soluble radiocesium activity concentrations in lake (○) and outflowing brook (●) water in 2000–2010

Radiocezio savitasis ir tūriniai aktyvumai ir dugno nuosėdų tankiai pietinėje terasoje pateikti 4 pav.



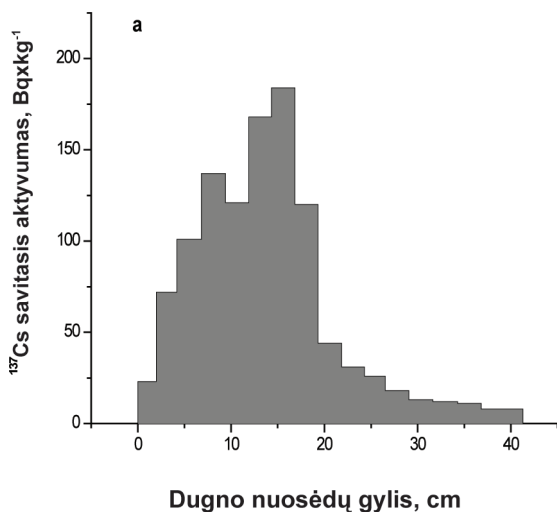


4 pav. Radiocezio savitasis (a) ir tūrinis (b) aktyvumai ir dugno nuosėdų tankis (c), nustatyti 2009 m. rugsėjo 9 d. (ežero gylis ~4,5 m)

Fig. 4. Vertical profiles of radiocesium activity concentrations ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) (a) and ($\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$) (b) and the density of sediment solids in the sediment core taken on the southern terrace on 9 September 2009; depth – 4.5 m

Radiocezio savitojo ir tūrinio aktyvumų didžiausios vertės, išmatuotos visame ežero plote, atitinkamai svyravo 110–190 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir 4,6–8,7 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$. Dugno nuosėdų sluoksnis, pasižymėjęs didžiausiomis radiocezio vertėmis, visada buvo išsidėstęs 6–19,5 cm gilyn į dugno nuosėdas. Radiocezio savitasis ir tūrinis aktyvumai paviršiniuose dugno nuosėdų sluoksniuose atitinkamai buvo 20–120 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir 1,5–5,4 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$. Šie dydžiai buvo užfiksuoti pietinėje ir pietvakarinėje ežero dalyje šalia priedugninių šaltinių (5 pav., a, b).

Šie duomenys rodo, kad radiocezio migracija dugno nuosėdose buvo mažiausia centrinėje ežero dalyje: šlaito plotis svyravo 1,3–2,8 cm.

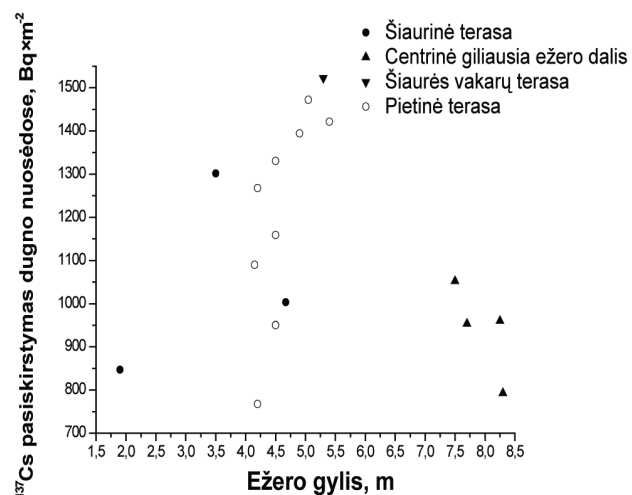


5 pav. Radiocezio savitasis (a) ir tūrinis (b) aktyvumai dugno nuosėdose, nustatyti 2008 m. rugsėjo 15 d. (ežero gylis 7,7 m)

Fig. 5. Vertical profiles of radiocesium activity concentrations ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) (a) and ($\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$) (b) in the sediment core taken in the deepest part of the lake on 15 September 2008; depth – 7.7 m

Radiocezio pasiskirstymo duomenys, atsižvelgiant į dugno nuosėdų bandinių paėmimo datą, pateikti 6 pav. Duomenys buvo suskirstyti į keturias grupes, atsižvelgiant į jų ėmimo vietas: šiaurinė terasa, šiaurės vakarų terasa, centrinė ežero dalis, pietinė terasa.

Radiocezio apkrovos palyginimas skirtinguose ežero dugno nuosėdų sluoksniuose rodo, kad maždaug 5,4 m ežero gylyje ši apkrova visuose sluoksniuose yra beveik vienoda (6 pav.).



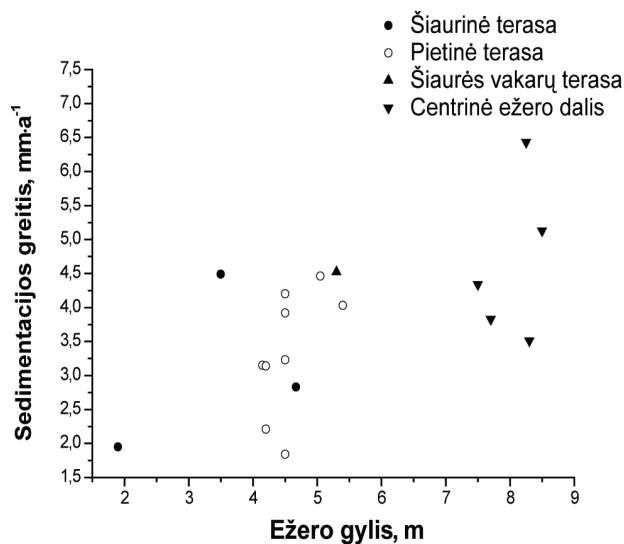
6 pav. Radiocezio pasiskirstymo dugno nuosėdose priklausomybė nuo ežero gylio

Fig. 6. The distribution of radiocesium inventories ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$) in sediment cores with bottom depth

Didžiausia radiocezio apkrova buvo užfiksuota šiaurės vakarų terasoje, kurioje ji siekė $\sim 1520 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$. Radiocezio pasiskirstymas pietinėje ežero terasoje svyravo $770\text{--}1470 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$, kai ežero gylis toje dalyje siekė $4,2\text{--}5,4 \text{ m}$. Toks radiocezio pasiskirstymas gali būti paaiškinamas dugniniais ežero šaltiniais toje dalyje ir šių šaltinių srovių įtaka teršalų sklaidai. Radiocezio apkrova sekloje šiaurinėje terasoje yra gerokai mažesnė ir siekia $850 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$. Ši terasa yra prie pat ištekančio iš ežero kanalo ir atvira vėjo gūsiams.

Radiocezio pasiskirstymas dugno nuosėdose žemiau $5,4 \text{ m}$ Tapelių ežero gylio yra maždaug $1,5\text{--}2$ kartus mažesnis nei viršutiniuose vandens sluoksniuose (6 pav.). Tačiau sedimentacijos greitis maždaug vienodas (7 pav.).

Tai reiškia, kad vienu iš pagrindinių dugno nuosėdose vykstančių procesų galima laikyti tiesioginę radiocezio sorbciją į dugno nuosėdų paviršius. Taip pat tai reiškia, kad šiltoju laikotarpiu 5 mėnesius termiškai stratifikuotame ežere teršalai labiausiai pasiskirstė ir susikaupė viršutinio išmaišyto vandens sluoksnio dugno nuosėdų riboje. Šie teršalai gali pasiekti gilesnių ežero dalių dugno nuosėdas tik pavasarį ar vėlyvą rudenį, kai visiškai susimaišo ežero vanduo.



7 pav. Sedimentacijos greičio priklausomybė nuo ežero gylio
Fig. 7. The distribution of the estimated values of sedimentation rates with bottom depth

Tapelių ežere, taip pat kaip ir kituose ežeruose, vyksta ir savivalos procesai. Priklausomai nuo gaunamos šilumos kiekio, Tapelių ežeras gali būti priskiriamas vidutiniškai šiltiems arba itin šiltiems ežerams (Kilkus, Čečys 2000). Tyrimai parodė, kad didžiausios temperatūrinės reikšmės pasiekiamos rudens laikotarpiu giliausioje ežero dalyje. Dugno nuosėdų įšilimo mechanizmą veikia vidiniai vandens svyravimai, skatinami vėjo gravitacinio ežero vandens maišymosi metu (Arseneva *et al.* 1963).

Dėl smarkaus vandens perkaitimo atitinkamai netenkama ir tam tikro kiekio šilumos dugno nuosėdose. Savo ruožtu toliau tęsiasi poringųjų skysčių dėl jame atsiradusio radiocezio plūdrumas, dėl ko radioceziui patenka į visiškai išmaišytą vandenį. Tai reiškia, kad radiocezius iš dalies pasišalina su ištekančiu vandeniu. Tačiau dugno nuosėdų savivalos procesai dar yra nevisiškai aiškūs.

Dugno nuosėdų poringųjų vandenių, į kuriuos patenka įvairių medžiagų, intruzijos kartu su organikos skaidymu paviršiniuose dugno nuosėdų sluoksniuose sukelia anaerobinės zonos formavimąsi priedugniniame vandens sluoksnyje. Šis procesas taip pat sukelia radiocezio atsiradimą priedugniniame vandens sluoksnyje.

Išvados

1. Radiocezio savitasis ir tūrinis aktyvumas ežero dugno nuosėdose atitinkamai svyravo $110\text{--}190 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ir $4,6\text{--}8,7 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$. Didžiausia radiocezio apkrova užfiksuota viršutinėje ežero dalyje iki $5,4 \text{ m}$ gylio.
2. Ežero priedugniniai vandens šaltiniai išsidėstę daugiausia pietinėje ežero terasoje, o jų srovės mažina sedimentaciją ir radiocezio apkrovą dugno nuosėdose.
3. Tapelių ežero priedugninio vandens terminis režimas priklauso nuo meteorologinių sąlygų rudens laikotarpiu ir gali būti klasifikuotas nuo itin šilto iki vidutiniškai šilto. Esant itin šiltam režimui, didesnis radiocezio aktyvumas gali atsirasti dėl termodinaminių procesų, jam išsiskiriant iš dugno nuosėdų.

Literatūra

- Arseneva, N. M.; Davydov, L. K.; Dubrovina, L. N.; Konkina, N. G. 1963. *Seiches in Lakes in the USSR*. Leningrad, Leningrad University press. 184 p. (in Russian).
- Alberts, J. J.; Tilly, L. J.; Vigerstad, T. J. 1979. Seasonal cycling of cesium-137 in a reservoir, *Science* 203: 649–651. doi:10.1126/science.203.4381.649
- Avery, S. V. 1999. Fate of cesium in the environment: distribution between the abiotic and biotic components of aquatic and terrestrial ecosystems, *J. Environ. Radioact.* 30(2): 139–171. doi:10.1016/0265-931X(96)89276-9
- Bulgakov, A. A.; Konoplev, A. V.; Smith, J. T.; Hilton, J.; Comans, R. N. J.; Laptev, G. V.; Christyuk, B. F. 2002. Modelling the long-term dynamics of radiocesium in closed lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 61(1): 41–53. doi:10.1016/S0265-931X(01)00113-8
- Comans, R. N. J.; Middelburg, J. J.; Zonderhuis, J.; Woittiez, R. W.; De Lange, G. J.; Das, H. A.; Van Der Weijden, C. H. 1989. Mobilization of radiocesium in pore water of lake sediments, *Nature* 339, 6223, 367–369. doi:10.1038/339367a0
- Davison, W.; Spezzano, P.; Hilton, J. 1993a. Remobilization of cesium from freshwater sediments, *J. Environ. Radioactivity* 19(2): 109–124. doi:10.1016/0265-931X(93)90072-F

- Davison, W.; Spezzano, P.; Hilton, J. 1993b. Remobilization of cesium from freshwater sediments, *J. Environ. Radioact.* 19(2): 109–124. doi:10.1016/0265-931X(93)90072-F
- Eriksson, M.; Holm, E.; Roos, P.; Dahlgaard, H. 2004. Distribution and flux of ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu, ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb to high arctic lakes in the Thule district (Greenland), *Journal of Environmental Radioactivity* 75(3): 285–299. doi:10.1016/j.jenvrad.2003.12.007
- Erlinger, Ch.; Lettner, H.; Hubmer, A.; Hofmann, W.; Steinhäusler, F. 2008. Determining the Chernobyl impact on sediments of pre-Alpine lake with a very comprehensive set of data, *Journal of Environmental Radioactivity* 99(8): 1294–1301. doi:10.1016/j.jenvrad.2003.12.007
- Erlinger, Ch.; Lettner, H.; Hubmer, A.; Hofmann, W.; Steinhäusler, F. 2009. Determination of ¹³⁷Cs in the water system of a pre-Alpine lake, *Journal of Environmental Radioactivity* 100(4): 354–360. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.01.002
- Evans, D. W.; Alberts, J. J.; Clark, R. A. 1983. Reversible ion-exchange fixation of cesium-137 leading to mobilization from reservoir sediments, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47: 1041–1049. doi:10.1016/0016-7037(83)90234-X
- Grižienė, G.; Jablonskis, J.; Januševičius, S.; Jurgelevičienė, I.; Jurgelėnaitė, A.; Juškienė, A.; Kriaučiūnas, R. 1993. Hydrography of the Neris River, *Energetika* 1: 20–41 (in Lithuanian).
- Ilus, E.; Saxe'n, R. 2005. Accumulation of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs in bottom sediments of some Finnish lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 82(2): 199–221. doi:10.1016/j.jenvrad.2005.01.008
- Kilkus, K.; Čečys, G. 2000. Ežerų terminė struktūra žiema: ekspedicinių tyrimų rezultatai, *Geografijos metraštis* 33: 108–114.
- Liu, C.; Zachara, J. M.; Smith, S. C.; McKinley, J. P.; Ainsworth, C. C. 2003. Desorption kinetics of radiocesium from subsurface sediments at Hanford Site, USA, *Geochim. Cosmochim. Acta* 67: 2893–2912. doi:10.1016/S0016-7037(03)00267-9
- Lusa, M.; Lehto, J.; Leskinen, A.; Jaakkola, T. 2009 ¹³⁷Cs, ^{239,240}Pu and ²⁴¹Am in bottom sediments and surface water of Lake Päijänne, Finland, *Journal of Environmental Radioactivity* 100(4): 468–476. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.03.006
- Monte, L.; Grimani, C.; Desideri, D.; Angeli, G. 2005. Modelling the long-term behavior of radiocesium and radiostrontium in two Italian lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 80(1): 105–123. doi:10.1016/j.jenvrad.2004.08.015
- Monte, L.; Periañez, R.; Boyer, P.; Smith, J. T.; Brittain, J. E. 2009. The role of physical processes controlling the behavior of radionuclide contaminants in the aquatic environment: a review of state-of-the-art modeling approaches, *Journal of Environmental Radioactivity* 100(9): 779–784. doi:10.1016/j.jenvrad.2008.05.006
- Pinder III, J. E.; Hinton, T. G.; Whicker, F. W.; Smith, J. T. 2009. Cesium accumulation by fish following acute input to lakes: a comparison of experimental and Chernobyl-impacted systems, *Journal of Environmental Radioactivity* 100(6): 456–467. doi:10.1016/j.jenvrad.2009.03.004
- Pinder III, J. E.; Hinton, T. G.; Whicker, F.W. 2010. Contrasting cesium dynamics in neighboring deep and shallow warm-water reservoirs, *Journal of Environmental Radioactivity* 101(9): 659–669. doi:10.1016/j.jenvrad.2010.02.010
- Putyrskaya, V. E.; Klemt, E. 2007. Modeling ¹³⁷Cs migration processes in lake sediments, *Journal of Environmental Radioactivity* 96(1/3): 54–62. doi:10.1016/j.jenvrad.2007.01.017
- Putyrskaya, V. E.; Klemt, E.; Röllin, S. 2009. Migration of ¹³⁷Cs in tributaries, lake water and sediment of Lago Maggiore (Italy, Switzerland) – analysis and comparison with Lago di Lugano and other lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 100(1): 35–48. doi:10.1016/j.jenvrad.2008.10.005
- Santschi, P. H.; Bollhalder, S.; Farrenkothen, K.; Lueck, A.; Zingg, S.; Sturm, M. 1988. Chernobyl radionuclides in the environment: tracers for the tight coupling of atmospheric, terrestrial, and aquatic geochemical processes, *Environ. Sci. Technol.* 22: 510–516. doi:10.1021/es00170a004
- Santschi, P. H.; Bollhalder, S.; Zingg, S.; Lück, A.; Farrenkothen, K. 1990. The self-cleaning capacity of surface waters after radioactive fallout. Evidence from European waters after Chernobyl, 1986–1988, *Environ. Sci. Technol.* 24: 519–527. doi:10.1021/es00074a009
- Tarasiuk, N.; Moisejenkova, A.; Koviagina, E.; Karpicz, R.; Astrauskienė, N. 2009. On the radiocesium behavior in a small humic lake (Lithuania), *Nukleonika* 54(3): 211–220.

EFFECTS OF THERMODYNAMICAL PROCESSES ON RADIOCESIUM BEHAVIOR IN LAKE TAPELIAI

A. Moisejenkova, A. Girgždys, N. Tarasiuk

Abstract

The article presents the results of the integrated study of radiocesium behavior in Lake Tapeliai using not only conventional data on radiocesium activity concentrations in lake water and sediments but also a complex data set on seasonal variations and vertical profiles of standard water variables. Radiocesium activity concentrations in lake water as well as the vertical structure of the water column considerably depend on the inflows of the colored waters from the swampy watershed of the lake enriched in radiocesium. The global fallouts are mainly responsible for radiocesium inventory in lake sediments, which reaches maximum in the upper part of the water column above the ~5.4-m depth. The maximum values of radiocesium inventories in lake sediments are consistent with the respective densities of its deposits in the nearest forest soils. The main process of sediment activation is the direct sorption of radiocesium onto the sediment surface. Sedimentation rates in the lake vary mainly in the range of 3.5–5 mm·a⁻¹. Lake bottom feeding sources located mainly on the southern terrace as well as their related near-bottom flows reduce respective sedimentation and radiocesium inventories in the sediments.

Keywords: sediments, lake, radiocesium, radiocesium inventory.