

Baltijos jūros hidrologinį režimą formuojančių hidrometeorologinių veiksnių analizė 1960–2009 m.

Asta Bajerčiūtė,

Donatas Pupienis

Vilniaus universitetas,

M. K. Čiurlionio g. 21,

LT-03101 Vilnius

El. paštas: asta.bajerciute@gf.stud.vu.lt;

donatas.pupienis@gf.vu.lt

Bajerčiūtė A., Pupienis D. Baltijos jūros hidrologinį režimą formuojančių hidrometeorologinių veiksnių analizė 1960–2009 m. *Geografija*. T. 48(1). ISSN 1392-1096.

Globalaus klimato modeliavimų rezultatai rodo, kad nuo XX a. vid. prasidėjo akivaizdūs atmosferos ir vandenyno sąveikos pokyčiai, dėl kurių prognozuojama, kad vidutinė metinė oro temperatūra visame Baltijos regione iki 2100 m. gali pakilti 3–5 °C. Tikėtina, kad atšilimas gali daryti didesnę įtaką tolimesnei Baltijos jūros hidrologinio režimo kaitai. Šiame straipsnyje analizuojama hidrometeorologinių veiksnių, tokių kaip upių nuotėkis, druskingos prietakos iš Šiaurės jūros, kritulių kiekis, jūros ledas ir garavimas, poveikis Baltijos jūros centrinės dalies hidrologiniam režimui, t. y. vandens temperatūros ir druskingumo kaitai 1960–2009 m.

Ankstesni tyrimai parodė, kad ilgalaikė klimato kaita susijusi su atmosferos cirkuliacijos procesais. Tarp Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitos bei atmosferos ir vandenyno indeksų (NAO (Šiaurės Atlanto osciliacija), AO (Arkties osciliacija) bei tolimųjų indeksų) žiemos sezonu egzistuoja silpni tarpusavio ryšiai. Ankstesniuose mokslininkų darbuose teigiama, kad krituliai, garavimas ir ledo susidarymas atviroje jūroje hidrofizinių parametrų kaitai didesnio vaidmens nevaizdina. Tačiau atlikta analizė parodė, kad egzistuoja silpni tarpusavio ryšiai tarp tiriamų Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo parametrų ir upių nuotėkio, kritulių kiekio, jūros ledo užimamo ploto ir garavimo duomenų. Stipriausi koreliaciniai ryšiai egzistuoja tarp vandens temperatūros ir jūros ledo dangos ploto ($-0,81 \geq r \leq -0,86$) bei vandens druskingumo ir upių nuotėkio ($0,34 \geq r \leq 0,49$). Nustatyta, kad tarp Baltijos jūros centrinės dalies temperatūros ir druskingumo bei hidrometeorologinių veiksnių egzistuoja vėlavimai nuo paviršiaus iki priedugnio. Pietinėse okeanografinėse stotyse stipresni koreliaciniai ryšiai tarp tiriamų hidrofizinių parametrų ir hidrometeorologinių veiksnių egzistuoja 10–20 m gilesniuose vandens horizontuose nei šiaurinėse. Taip pat nustatytas vandens temperatūros ir druskingumo 3–8 metų vėlavimas į minėtų veiksnių kaitą.

Raktažodžiai: Baltijos jūra, vandens druskingumas, vandens temperatūra, upių nuotėkis, prietaka iš Šiaurės jūros, jūros ledas, krituliai, garavimas

IVADAS

Baltijos jūra yra palyginti mažo tūrio, bet jos baseino plotas net keturis kartus didesnis nei pati jūra (1 721 tūkst. km²), į kurią įteka apie 250 skirtingo vandeningumo upių (Winsor ir kt., 2001). Nors bendras gėlas upių vanduo sudaro didelę Baltijos jūros vandens baseino dalį (440 km³),

tačiau centrinei jos daliai tenka tik apie 110 km³ gėlo vandens per metus (Kraatz, 2004). Nustatyta, kad teigiamo vandens balanso dalys Baltijos jūroje yra upių nuotėkis, krituliai ir vandens prietakos iš Šiaurės jūros (Eriksson, 2009), iš kurių didžiausią reikšmę turi pastarosios, o mažiausią – krituliai (Rutgersson ir kt., 2002). Neigiamą vandens balanso dalį sudaro garavimas ir sąsiauriais ištekantis

vanduo (Eriksson, 2009), kurių pokyčiai centrinei Baltijos daliai yra pakankamai menki (Hansson, 2009).

Atmosfera ir gėlo vandens pernaša užima svarbiausią vaidmenį klimato sistemoje bei veikia tiek vandens ciklą, tiek šilumos balansą (Rutgersson ir kt., 2002). Garavimas taip pat svarbus veiksnys Baltijoje, nes jis silpnina jūros stratifikaciją, kuomet susidariusios tankios vandens masės gali nugrimzti į gilesnius sluoksnius (Matthäus, Schinke, 1999). Nors kritulių kiekis yra mažiausias komponentas vandens balanse, tačiau jis sumažina paviršiaus druskingumą ir stabilizuoja viršutinį sluoksnį (Rutgersson ir kt., 2002). Paviršinis vanduo yra ne toks druskingas nei giliau esantys vandenys, todėl dėl skirtingo tankio vertikalios energijos ir masės pernaša yra gerokai sumažėjusi. Vienintelis būdas atsinaujinti giliavandeniams Baltijos jūros vandens yra druskingesnio ir tankesnio vandens prietaka iš Šiaurės jūros. Sezoninis jūros ledas taip pat svarbus šilumos balansui, prisidedantis prie druskos ir gėlo vandens balanso kaitos (Granskog ir kt., 2006). Baltijos priekrantėse susidarantis ledas pakeičia priekrantinių vandenų ir įtekančių upių maišymąsi (Granskog ir kt., 2006), todėl tikėtina, kad, esant tam tikram vėlavimui, minėti procesai gali veikti ir Centrinės Baltijos hidrologinį režimą.

Pastaruoju dešimtmečiu atliktų daugybės tyrimų ir modeliavimų duomenys rodo, kad upių nuotėkio trendai praktiškai nėra reikšmingi jau 500 metų, tačiau egzistuoja regioniniai skirtumai ir jų kitimas laike (Eriksson, 2009). Švedų mokslininkai (Rutgersson ir kt., 2002) pažymi, kad kritulių pasiskirstymą lemia regioniniai skirtumai, t. y. regioninė atmosferos cirkuliacija ir reljefo įtaka.

Baltijos jūroje, kuri yra ištįsusios pailgos formos (šiaurės–pietų kryptimi), ledo formavimasis pasižymi didele įvairove (Eriksson, 2009). Vidutinis ledo formavimosi ar susidarymo sezonas prasideda lapkritį šiaurinėje Botnijos įlankoje, o pietinėje dalyje retai kada susidaro, išskyrus anomaliai šaltas žiemas (Granskog ir kt., 2006). S. Jevrejeva ir kt. (2004) nustatė, kad per paskutinį šimtmetį fiksuojamas jūros ledo dangos ploto ir storio mažėjimas bei sezono trukmės trumpėjimas, visa tai gali būti susiję su dažnesniais teigiamais NAO įvykiais (Kauker, Meier, 2003).

Pastaruoju metu ypač didelis dėmesys yra skiriamas atmosferos ir vandenyno sąveikai (Hurrell, Van Loon, 1997; Watanabe, Nitta, 1999; Stankū-

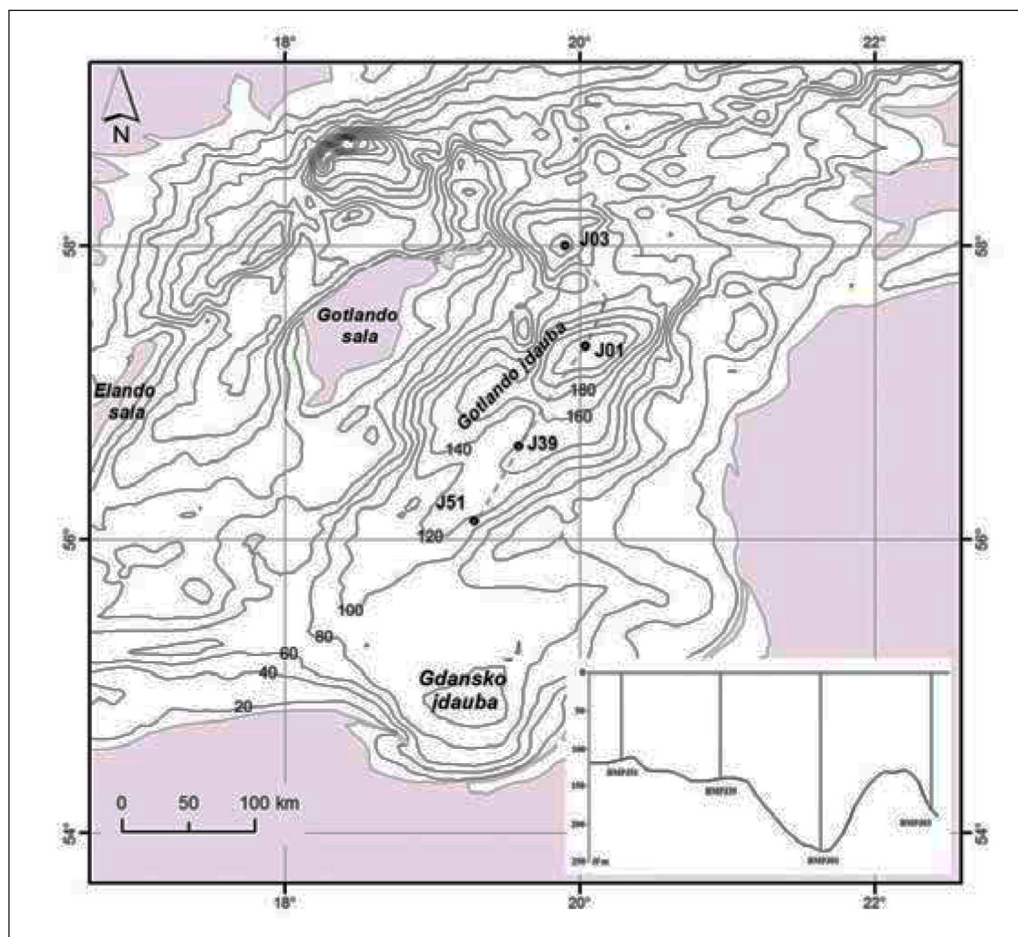
navičius, Jalinskas, 2004 ir kt.). Akivaizdu, kad atmosferos cirkuliacija ir jos kaita lemia hidrometeorologinio režimo pokyčius, tačiau neatskleidžia tiesioginių Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitos priežasčių. Atsižvelgiant į tai, kad tiriami parametrai žiemos metu reaguoja į daugelį atmosferos indeksų (NAO, AO, AMO, ENSO ir kt.) (Sarafanov, 2009; Hansson, 2009), šio straipsnio tikslas yra detaliau išanalizuoti hidrometeorologinių veiksnių poveikį Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai centrinėje dalyje. Priešingai nei kiti mokslininkai, kurie tik analizavo Baltijos jūros vandens balanso komponentų pokyčius arba tyrė konkretų hidrometeorologinį veiksnių (Koslowski, Loewe, 1993; Graham, 2000; Jevrejeva ir kt., 2004 ir kt.), tačiau nedetalizavo visų parametrų tarpusavio ryšių ir kaitos priežasčių, šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas kaip tik minėtų procesų analizei. Be to, reikia paminėti, kad didesniu Baltijos jūros ištirtumu pasižymi teritoriniai vandenys, todėl siekiant įvertinti ne tik lokaliu požiūriu, analizuojama centrinė Baltijos jūros akvatorija. Detalesnis šios akvatorijos ištirtumas gali būti naudingas vykdant Baltijos jūros sistemos modeliavimą, ypač vertinant dabar vis labiau afišuojamos galimos klimato kaitos klausimus.

DUOMENYS IR METODIKA

Tyrimų rajonas – centrinė Baltijos jūros akvatorija, apimanti rytinę Gotlando baseino dalį (1 pav.), kuri yra apribota šiomis koordinatėmis: šiaurinėje dalyje 58°00' ir pietinėje dalyje 55°55' platumos. Vakarinė tiriamos akvatorijos riba praeina 18°28', o rytinė – 20°16' ilgumos. Baltijos jūros centrinės dalies dugno reljefas pasižymi didele įvairove, o maksimalus tiriamos akvatorijos gylis Gotlando įdauboje siekia 249 m.

Šiaurės kryptimi tiriamoji akvatorija laipsniškai gilėja, pereidama iš Gdanskio įdubos į Gotlando įdubą, kurias iš rytų apriboja palyginti seklios moreninės povandeninės Kuršių–Sambijos ir Klaipėdos–Ventspilio plynaukštės, tarp kurių įsiterpia Nemuno senslėnis. Vakarinėje dalyje tyrimų rajoną riboja Gotlando sala (Bajerčiūtė ir kt., 2011; Bajerčiūtė, Pupienis, 2011).

Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai 1960–2009 m. apibūdinti iš Tarptautinės jūrų tyrimų tarybos (*International*



1 pav. Baltijos jūros centrinės dalies batimetrinis žemėlapis. Punktyrinė linija – išilginis dugno reljefo profilis. Taškais pažymėtos okeanografinės stotys. Izobatos išvestos kas 20 m (Seifert, Kayser, 1995)

Fig. 1. The Baltic Sea Proper bathymetric map. Dotted line – longitudinal bottom profile. Points – oceanographic stations. Isobaths drawn every 20 m (Seifert, Kayser, 1995)

Council for the Exploration of the Sea) internetinės duomenų bazės (<http://ocean.ices.dk/Helcom/>) buvo atrinkti duomenys iš 4 okeanografinių stočių (J01, J03, J39, J51), kuriose per tiriamąjį laikotarpį buvo atlikta daugiausiai vandens temperatūros ir druskingumo matavimų. Tiriami Baltijos jūros centrinės dalies vandens horizontai: 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250 m gylis.

Pirminei darbo analizei naudoti vandens temperatūros ir druskingumo duomenys buvo apdoroti automatine didelių duomenų bazių nuskaitymo ir apdorojimo programa *TS-BALTIC*, kuri buvo parašyta *Python* programavimo kalba. Ja kasdieniai duomenys buvo suvidurkinti ir sugrupuoti pagal tiriamus horizontus ir datas. Nu-

statyti trūkiai okeanografinių stočių duomenų sekose buvo rekonstruoti remiantis ilgiausią matavimų skaičių ir mažiausiai trūkių turinčios J01 okeanografinės stoties duomenimis. Atstatinant duomenų sekas buvo taikytas ryšio grafiko metodas. Pirmiausia buvo brėžiama ryšio taškus aproksimuojanti kreivė, o duomenų sekos buvo rekonstruojamos pagal formulę, kuri aprašo aproksimuojančią kreivę. Tokiu būdu buvo sudarytos metinės vandens temperatūros ir druskingumo 1960–2009 m. statistinės duomenų imtys.

Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo, upių nuotėkio, jūros ledo dangos ploto, kritulių ir garavimo kaita buvo analizuojama apskaičiuojus minėtų parametų standartizuotas reikšmes (Sakalauskas, 2003).

Vandens temperatūros ir druskingumo priklausomybė nuo hidrometeorologinių veiksnių įvertinta apskaičiavus koreliacijos koeficientus ir sudarius ryšio bei chronologinius grafikus. Koreliacijos statistinis 50 metų duomenų patikimumas buvo vertinimas pasirinkus 0,05 statistinio reikšmingumo lygmenį α , kai koreliacijos koeficientas $r = 0,23$.

Darbe naudoti L. Phil Graham (2000) sumodeliuoti Baltijos jūros baseino vandens balanso modeliu *HBV-BALTIC* metiniai upių nuotėkio duomenys. Taip pat naudoti tiesioginių matavimų Dauguvos, Nemuno, Vyslos, Oderio ir Vuoksi metiniai upių nuotėkio duomenys, kurie buvo paimti iš Upių nuotėkio (*River Discharge Database*) internetinės duomenų bazės (<http://www.sage.wisc.edu/riverdata/>).

Baltijos jūros metiniai ir sezoniniai kritulių duomenys buvo paimti iš Globalaus kritulių klimatologijos centro (*Global Precipitation Climatology Centre*) internetinės duomenų bazės (<http://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>) Baltijos regionui, kuris ribojamas šiomis koordinatėmis: 54° – 65° š. pl. ir 14° – 30° r. ilg. Metinė jūros ledo dangos ploto kaita buvo analizuojama remiantis Švedijos meteorologijos ir hidrologijos instituto (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute*) internetinės duomenų bazės (<http://www.smhi.se/>) duomenimis. Metiniai garavimo duomenys paimti iš Nacionalinės orų tarnybos Klimato prognozių centro (*National Weather Service Climate Prediction Center*) internetinės duomenų bazės (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>). Taip pat buvo naudoti W. Matthäus (2006) santykinės prietakos intensyvumo 1881–2005 m. duomenys.

Siekiant įvertinti Baltijos jūros temperatūros ir druskingumo kaitos priklausomybę nuo Baltijos regiono kritulių kiekio, tyrimui buvo pasirinkti sezoniniai: žiemos (gruodis–vasaris), pavasario (kovas–gegužė), vasaros (birželis–rugspjūtis) ir rudens (rugsėjis–lapkritis) duomenys.

REZULTATAI

Centrinės Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaita vyksta cikliška (Bajerčiūtė, Pupienis, 2011). Vidutinė metinė paviršiaus vandens temperatūra per tiriamąjį laikotarpį siekė $8,74^{\circ}\text{C}$ ir $5,44^{\circ}\text{C}$ priedugnyje, o vandens druskingumas paviršiuje – $7,29\text{‰}$ ir $11,63\text{‰}$ priedugnyje. Tačiau per analizuojamą 1960–2009 m. laikotarpį pa-

sitaikė metų, kuomet buvo fiksuotos ekstremalios temperatūros ir druskingumo reikšmės. Itin padėjusios ar sumažėjusios temperatūros ar druskingumo reikšmės gali būti sietinos su didelio masto atmosferos ir / arba vandenyno cirkuliacijos anomalijomis ypač šaltuoju metų laikotarpiu (Sarafanov, 2009). Šios anomalijos gali lemti konkretaus hidrometeorologinio parametro anomaliją kaitą, kuri lemia Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo pokyčius.

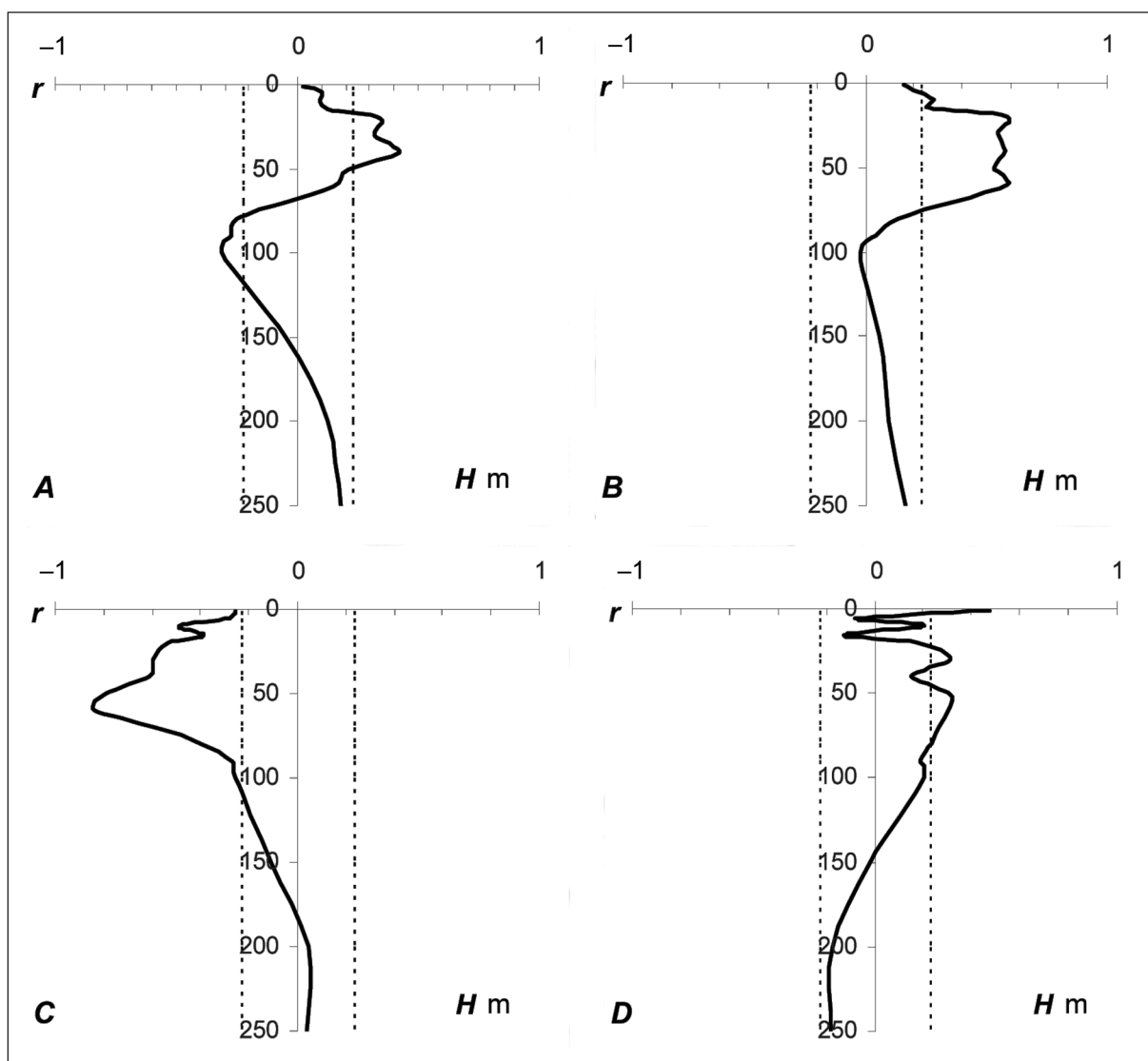
Analizė parodė, kad egzistuoja reikšmingi koreliaciniai ryšiai tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir upių nuotėkio, kritulių kiekio, jūros ledo dangos ploto ir garavimo (2 pav.).

Stipriausi koreliaciniai ryšiai egzistuoja tarp vandens temperatūros 60 m gylyje ir jūros ledo dangos ploto ($-0,81 \geq r \leq -0,86$), vandens temperatūros 20 m gylyje ir kritulių kiekio ($0,51 \geq r \leq 0,65$). Stipresni tarpusavio ryšiai fiksuojami tarp vandens temperatūros 30–40 m gylyje ir upių nuotėkio ($0,28 \geq r \leq 0,46$), vandens paviršiaus temperatūros ir garavimo ($-0,23 \geq r \leq -0,47$) (2 pav.). Atlikta analizė parodė, kad stipresni tarpusavio ryšiai egzistuoja tarp vandens temperatūros ir žiemos sezono kritulių kiekio bei jūros ledo dangos ploto. Silpnėsni tarpusavio ryšiai fiksuojami su upių nuotėkiu ir garavimu.

Analogiškai reikšmingi koreliaciniai ryšiai egzistuoja ir tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens druskingumo ir upių nuotėkio, kritulių, jūros ledo dangos ploto ir garavimo (3 pav.).

Stipriausi tarpusavio ryšiai egzistuoja tarp vandens druskingumo 90–100 m gylyje ir upių nuotėkio ($0,34 \geq r \leq 0,49$), vandens druskingumo 50 m gylyje ir garavimo ($-0,27 \geq r \leq -0,48$). Stipresni koreliaciniai ryšiai fiksuojami tarp vandens druskingumo 50 m gylyje ir jūros ledo dangos ploto ($0,32 \geq r \leq 0,44$), vandens druskingumo 60–70 m gylyje ir kritulių ($-0,23 \geq r \leq -0,33$) (3 pav.).

Nustatyti stipriausi tarpusavio ryšiai tarp vandens temperatūros 20 m gylyje ir gruodžio mėnesio kritulių kiekio ($0,51 \geq r \leq 0,65$) rodo, kad didėjant jų kiekiui, vandens temperatūra Baltijos jūros centrinėje dalyje didėja. Didesnis kritulių kiekis žiemą fiksuojamas tada, kai vyrauja teigiamas NAO indeksas (Stankūnavičius, Bartkevičienė, 2003; Sarafanov, 2009). Šio proceso metu atnešamos drėgnos ir šiltos oro masės į Baltijos regioną, kurių dėka pasikeičia hidrologinis režimas.



2 pav. Koreliacinių ryšių tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros (J01 stotis) ir upių nuotėkio (A), kritulių (B), jūros ledo dangos ploto (C) ir garavimo (D) stiprumas atskiruose horizontuose.

Punktyrinė linija – reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,05$

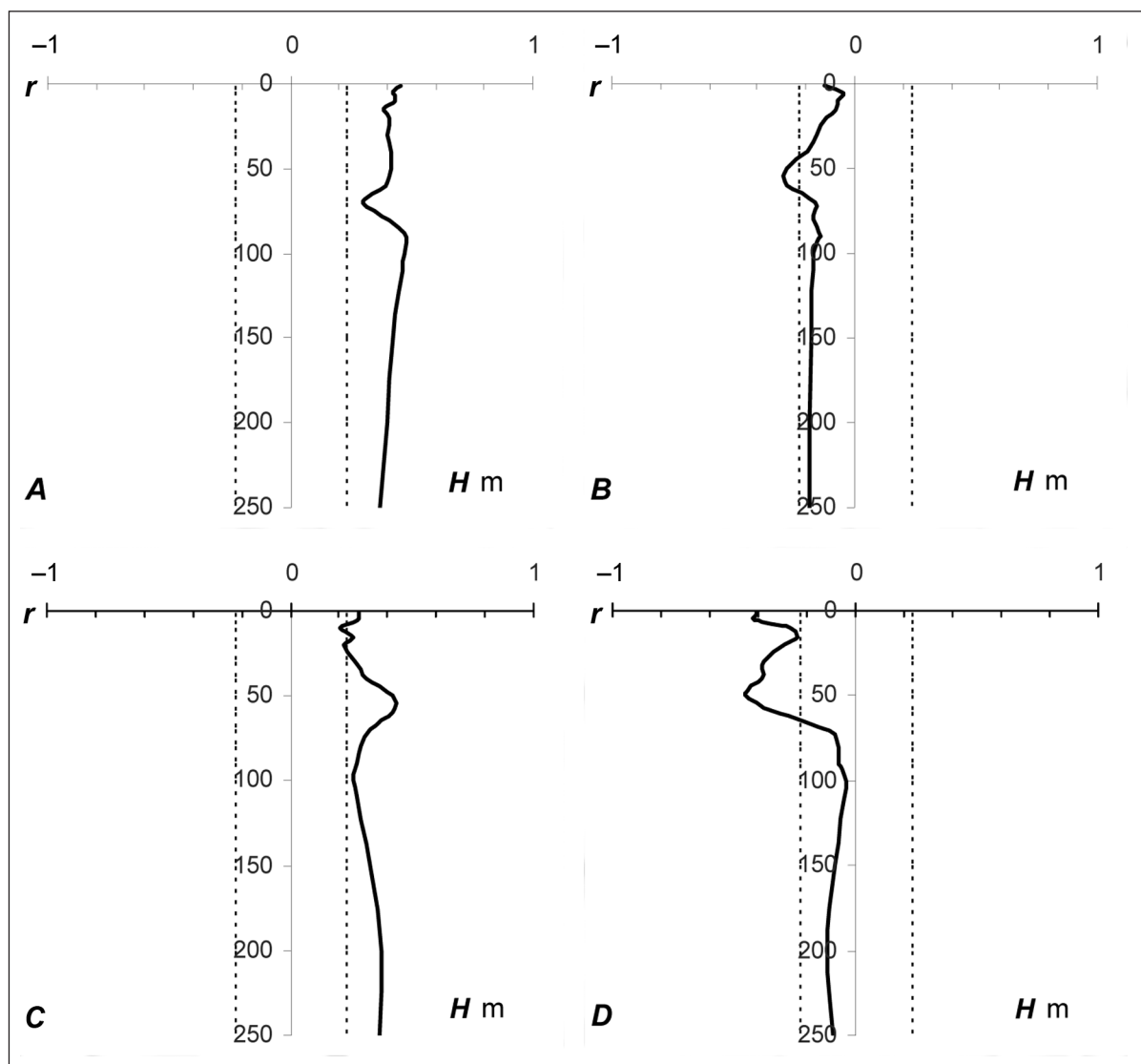
Fig. 2. Correlational relationships strength between sea bottom temperature in the Baltic Sea (J01 station) and river runoff (A), precipitation (B), sea ice cover area (C) and evaporation (D) in different horizons.

Dotted line – significance level $\alpha = 0.05$

Vyraujant zoninei pernašai, suintensyvėja Šiaurės jūros vandenų prietaka, o dėl sausumoje iškrentančio didesnio kritulių kiekio padidėja upių nuotėkis. Dėl to suintensyvėja konvekcinis maišymasis. Atsižvelgiant į tai, kad hidrometeorologinės stotys, fiksuojančios upių nuotėkį, yra žemyne, natūralu, kad upių vanduo Centrinę Baltiją pasiekia gerokai pasikeitęs ir po tam tikro laiko. Pasak W. Matthäus ir H. Schinke (1999), įtekėdamas gėlas upių vanduo į druskingą Baltijos jūrą transformuojasi. Tekėdamas link Centrinės

Baltijos papildomai maišosi su aplinkiniais vandenimis, taip pat jį papildomai veikia ir išoriniai veiksniai (saulės spinduliuotė, garavimas, vėjas), todėl tarp upių nuotėkio ir Centrinės Baltijos jūros vandens temperatūros ar druskingumo nėra stiprių ryšių (Matthäus, Schinke, 1999).

Atsižvelgiant į tai, kad paviršiniame kvazistacionariame sluoksnyje vyksta nuolatinis maišymasis, tai stipresni koreliaciniai ryšiai fiksuojami gilesniuose sluoksniuose. Kadangi konvekcinis maišymasis Baltijos jūros centrinėje dalyje vyksta



3 pav. Koreliacinių ryšių tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens druskingumo (J01 stotis) ir upių nuotėkio (A), kritulių (B), jūros ledo dangos ploto (C) ir garavimo (D) stiprumas atskiruose horizontuose. Punktyrinė linija – reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,05$

Fig. 3. Correlational relationships strength between sea bottom salinity in the Baltic Sea (J01 station) and river runoff (A), precipitation (B), sea ice cover area (C) and evaporation (D) in different horizons. Dotted line – significance level $\alpha = 0.05$

iki 60–80 m gylio (Samuelsson, 1996), tai stipriausi tarpusavio ryšiai tarp tiriamų parametrų yra nustatomi minėtame arba didesniame gylyje.

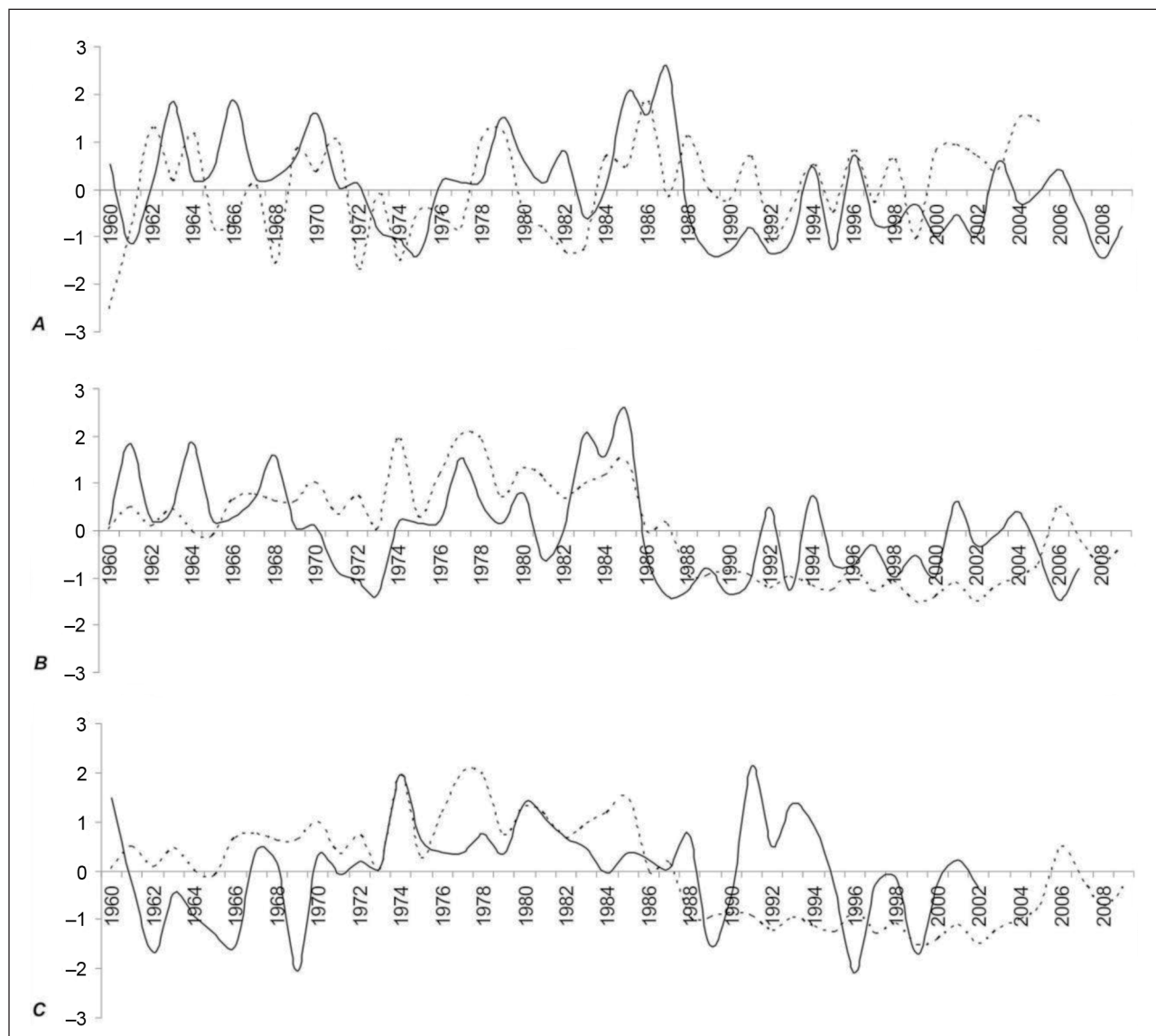
Išanalizavus temperatūros ir druskingumo pasiskirstymą nuo paviršiaus iki priedugnio, buvo nustatytas hidrometeorologinių veiksnių poveikio vėlavimas. Tarp vandens temperatūros ir upių nuotėkio šiauriausioje (J03) okeanografinėje stotyje stipriausi koreliaciniai ryšiai egzistuoja 30 m gylyje, o piečiau esančiose stotyse – 40 m gylyje. Pavyzdžiui, šiaurinėje stotyje 30 m gylyje $r = 0,43$,

pietinėje – $r = 0,28$, o 40 m gylyje šiaurinėje stotyje $r = 0,32$, pietinėje – $r = 0,36$. Toks pat vėlavimas fiksuojamas tarp vandens temperatūros ir garavimo, kur šiauriausioje okeanografinėje stotyje stipriausi ryšiai fiksuojami 40 m gylyje, o piečiau esančiose stotyse – 50–60 m gylyje. Pavyzdžiui, 40 m gylyje šiaurinėje stotyje $r = 0,37$, pietinėje $r = 0,24$, o 50–60 m gylyje šiaurinėje stotyje $r = 0,31$, pietinėje $r = 0,35$. Analogiškas vėlavimas nuo paviršiaus iki priedugnio pastebimas tarp vandens druskingumo ir kritulių, kai stipriausi koreliaciniai ryšiai

piečiausioje okeanografinėje stotyje (J51) fiksuojami 70 m gylyje, o šiaurinėse – 60 m gylyje. Nustatyti temperatūros ir druskingumo vėlavimai į hidrometeorologinių veiksnių kaitą rodo egzistuojančius skirtumus, kuriuos lemia geografinė okeanografinių stočių padėtis, o tai sudaro prielaidas formuoti skirtingų savybių vandens masėms. Ne mažiau svarbus yra hidrodinaminis veiksnys, t. y. vertikalus

maišymasis, kuris suintensyvėja ne tik dėl hidrofizinių vandens savybių kaitos, bet ir dėl besikeičiančio dugno reljefo (Serovaitė, Pupienis, 2011).

Atsižvelgiant į egzistuojančius temperatūros ir druskingumo kaitos vėlavimus, į hidrologinį režimą formuojančius veiksnus, natūralu, kad vykstantys pokyčiai atmosferoje ir sausumoje Baltijos jūroje fiksuojami po tam tikro laiko (4 pav.).



4 pav. Baltijos jūros centrinės dalies (J01 stotis) vandens temperatūros 20–30 m gylyje (punktyrinė linija) kaita esant 4 metų vėlavimui į jūros ledo dangos ploto (ištisinė linija) pokyčius (A), vandens druskingumo 60 m gylyje (punktyrinė linija) kaita esant 2 metų vėlavimui į jūros ledo dangos ploto (ištisinė linija) pokyčius (B) ir vandens druskingumo 50 m gylyje kaita (punktyrinė linija) į upių nuotėkio (ištisinė linija) kaitą esant 7 metų vėlavimui (C)

Fig. 4. Baltic Proper (J01 station) water temperature (dotted line) change at a depth of 20–30 m, with a four-year time lag to sea ice cover area (solid line) changes (A), water salinity (dotted line) change at a depth of 60 m, with a two-year time lag to sea ice cover area (solid line) changes (B), and water salinity (dotted line) change at a depth of 50 m to river flow (solid line) change with a seven-year time lag (C)

Nustatyta, kad stipresni koreliaciniai ryšiai fiksuojami tarp Baltijos jūros vandens temperatūros 20–30 m gylyje ir jūros ledo dangos ploto esant 3–5 metų vėlavimui (4A pav.). Vandens druskingumas 60 m gylyje į jūros ledo dangos ploto pokyčius reaguoja esant 2–3 metų vėlavimui (4B pav.), o giliau esantys vandens sluoksniai į vykstančius pokyčius sureaguoja po 5–6 metų. Galima pažymėti, kad panašius rezultatus pateikia ir kiti mokslininkai (Jevrejeva ir kt., 2004).

Stipresni koreliaciniai ryšiai nustatyti tarp Baltijos jūros vandens temperatūros 60 m gylyje ir garavimo esant 3–6 metų vėlavimui. Vandens druskingumas į garavimą 50 m gylyje sureaguoja po 6–7 metų. Stipresni koreliaciniai ryšiai tarp vandens druskingumo 50 m gylyje ir upių nuotėkio fiksuojami esant 6–7 metų vėlavimui (4C pav.).

Baltijos jūros vandens druskingumas 60 m gylyje į Baltijos regione iškrentančius kritulius sureaguoja tik po 7–8 metų. Vandens temperatūra į kritulių kaitą paviršiuje reaguoja tiesiogiai, o gilesniuose, pvz., 60 m gylyje vandens temperatūros pokyčiai fiksuojami po 5–7 metų. Nustatyti vėlavimai leidžia daryti išvadą, kad konvekciniškas maišymasis Baltijos jūroje vyksta gana lėtai, nes vandens išsimaišymas nuo paviršiaus iki 60 m gylio užtrunka nuo 3 iki 8 metų.

Analizė parodė, kad atskirų hidrometeorologinių parametrų daugiametė kaita Baltijos jūros centrinėje dalyje tarpusavyje glaudžiai susijusi, todėl, pasikeitus bent vienam parametru, kinta ir kiti. Remiantis gautais rezultatais, galima išskirti 1964, 1996, 2003, 2006 m., kuomet sumažėjus upių nuotėkiui (nuo $-1,47$ iki $-2,08$) bei žiemos sezono kritulių kiekiui (nuo $-1,28$ iki $-2,20$), buvo nustatyti vandens temperatūros (nuo $-0,61$ iki $-1,32$) ir druskingumo (nuo $0,49$ iki $-1,17$) pokyčiai. Šiuos anomalius metus galima sieti su druskingomis prietakomis iš Šiaurės jūros (1964, 1993, 2003 m.), kurių santykinis intensyvumas siekė nuo $0,66$ iki $1,32$ (Nausch ir kt., 2003).

Visų tiriamų hidrometeorologinių veiksnių kaita gali būti nulemta ir išorinio poveikio: NAO, AO ir kt. Pavyzdžiui, 1996, 2006 m. vyravo neigiamos NAO indekso reikšmės (nuo $-0,33$ iki $-2,35$), todėl Šiaurės Atlante susidarė blokuojantys procesai, kurie lėmė šaltesnes ir sausesnes sąlygas Baltijos regione (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/tele-doc/nao.shtml>).

Daugiametė jūros ledo dangos ploto ir garavimo kaita yra labiau savarankiška ir anomali, menkai susijusi su tiriamų vandens parametrų kaita. C. Eriksson (2009) nustatė, kad dideli ledo plotai Baltijos jūroje susiję su aukšto slėgio cirkuliacija ir rytiniais vėjais.

Atlikta analizė parodė, kad stipriausi teigiami koreliaciniai ryšiai egzistuoja tarp Baltijos regiono metinių kritulių kiekio ir upių nuotėkio ($r = 0,71$). Tai patvirtina W. Matthäus ir H. Schinke (1999) tyrimų rezultatai, kurie rodo, kad upių nuotėkio svyravimus gali sukelti atmosferos procesų pokyčiai (krituliai ir garavimas). Silpnėsni tarpusavio ryšiai fiksuojami tarp žiemos sezono kritulių kiekio ir jūros ledo dangos ploto ($r = -0,50$), tarp jūros ledo dangos ploto ir garavimo ($r = -0,39$) (neparodyta) bei tarp metinių kritulių kiekio ir garavimo ($r = -0,38$). Silpniausi koreliaciniai ryšiai egzistuoja tarp upių nuotėkio ir garavimo ($r = -0,26$).

Atmosferos cirkuliacija didžia dalimi lemia Baltijos jūros vandens temperatūrą ir druskingumą (Omstedt ir kt., 2000), tačiau didelę įtaką turi ir hidrometeorologinių veiksnių kaitai, kurie savo ruožtu taip pat veikia tiriamus parametrus. Norint prognozuoti Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ar druskingumo kaitą, ateityje tampa svarbu, kurių veiksnių įtaka turi lemiamą poveikį. Atliktas tyrimas patvirtino ankstesniuose darbuose nustatytą hidrologinį režimą formuojančių veiksnių svarbą, t. y. reikšmingiausios Baltijos jūros centrinės dalies vandens balanso dalys yra vandens prietaka iš Šiaurės jūros, upių nuotėkis, jūros ledo dangos plotas, krituliai ir garavimas. Reikia pažymėti, kad iš minėtų veiksnių didesnis vaidmuo tenka prietaikai iš Šiaurės jūros ir jūros ledo dangos plotui, kiek mažesnis vaidmuo – upių nuotėkiui, krituliams ir garavimui.

IŠVADOS

1. 50 metų vandens temperatūros ir druskingumo vidutiniai metiniai svyravimai Baltijos jūros centrinėje dalyje susiję su daugiamečiu upių nuotėkiu ($0,28 \geq r \leq 0,49$), kritulių kiekiu ($-0,23 \geq r \leq 0,65$), jūros ledo dangos plotu ($-0,86 \geq r \leq 0,32$) ir garavimu ($-0,48 \geq r \leq 0,47$). Stipriausi koreliaciniai ryšiai egzistuoja tarp jūros ledo dangos ploto ir vandens temperatūros 60 m gylyje ($r = -0,86$) bei upių nuotėkio ir vandens druskingumo 90 m gylyje ($r = 0,49$).

2. Egzistuoja temperatūros ir druskingumo vėlavimai į hidrometeorologinių veiksnių kaitą nuo jūros paviršiaus iki priedugnio. Tarpusavio ryšiai tarp vandens temperatūros ar druskingumo ir hidrometeorologinių parametrų yra stipresni pietinėse okeanografinėse stotyse 10–20 m gilesniame vandens horizonte nei šiaurinėse. Stipresnė koreliacija šiaurinėje okeanografinėje stotyje egzistuoja tarp vandens temperatūros ir upių nuotėkio 30 m gylyje $r = 0,43$, pietinėje – $r = 0,32$, o 40 m gylyje šiaurinėje stotyje $r = 0,32$, pietinėje – $r = 0,36$. Analogiškai koreliacinių ryšių skirtumai egzistuoja tarp vandens temperatūros ir garavimo bei vandens druskingumo ir kritulių. Vandens temperatūros ir druskingumo skirtumai tarp šiaurinės ir pietinės okeanografinių stočių rodo, kad dėl nevienodos geografinės padėties susiformuoja skirtingos vandens masės, kurios kartus su besikeičiančiu dugno reljefu suintensyvina vertikalų maišymąsi.

3. Stipresni tarpusavio ryšiai tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo bei hidrometeorologinių veiksnių egzistuoja esant vėlavimui. Vandens temperatūros kaita iki termoklinos, į jūros ledo dangos ploto, garavimo ir kritulių pokyčius sureaguoja vidutiniškai po 3–7 metų. Vandens druskingumo kaita priklauso nuo šiaurės jūros vandens prietakos, upių nuotėkio, garavimo ir kritulių, tačiau minėtų veiksnių poveikis iki haloklinos ir gilesniuose sluoksniuose pasireiškia tik po 6–8 metų.

Gauta 2012 03 21
Priimta 2012 05 08

LITERATŪRA

1. Bajerčiūtė A., Pupienis D., Stankūnavičius G. 2011. Baltijos jūros centrinės dalies vandens paviršiaus temperatūros ir druskingumo kaita 1971–2009 m. *Jūros ir krantų tyrimai – 2011. Konferencijos medžiaga*. Klaipėda. 35–40.
2. Bajerčiūtė A., Pupienis D. 2011. Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo kaita 1960–2009 m. *Geografija*. 47(2): 107–116.
3. Eriksson Ch. 2009. Characterizing and Reconstructing 500 years of Climate in the Baltic Sea Basin. *Doctoral thesis A125*. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Göteborg.
4. *Global Precipitation Climatology Centre*. 2012 (žiūrėta 2012 03 05). <http://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>
5. Graham L. P. 2000. Large-scale hydrologic modeling in the Baltic basin. *Doctoral Thesis*. Stockholm: Printed at KTH Tryck och Kopiering.
6. Granskog M., Kaartokallio H., Kuosa H., Thomas D. N., Vainio J. 2006. Sea ice in the Baltic Sea – A review. *Elsevier. Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 70: 145–160.
7. *Helsinki Commission*. 2012 (žiūrėta 2012 03 06). <http://www.helcom.fi/>
8. Hansson D. 2009. Ocean Climate Variability over Recent Centuries Explored by Modelling the Baltic Sea. *Doctoral thesis A126*. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Göteborg.
9. Hurrell J. W., Van Loon H. 1997. Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*. 36: 301–326.
10. *International Council for the Exploration of the Sea*. 2012 (žiūrėta 2010 11 16). <http://ocean.ices.dk/Helcom/>
11. Jevrejeva S., Drabkin V. V., Kostjukov J., Lebedev A. A., Leppäranta M., Mironov Y. E., Schmelzer N., Sztobryn M. 2004. Baltic Sea ice seasons in the twentieth century. *Climate Research*. 25: 217–227.
12. Kauker F., Meier H. E. M. 2003. Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 1. Reconstructing atmospheric surface data for the period 1902–1998. *Journal of Geophysical Research*. 108(C8), 3267, doi:10.1029/2003JC001797.
13. Kraatz S. 2004. Hydrographie und Wasseraustausch der Ostsee. Geographisches Institut der Universität Kiel.
14. Matthäus W., Schinke H. 1999. The influence of river runoff on deep water conditions of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*. 393: 1–10.
15. Matthäus W. 2006. The history of investigation of salt water inflows in the Baltic Sea – from the early beginning to recent results. *Meereswissenschaftliche Berichte*. 65: 1–73.
16. *National Weather Service Climate Prediction Center*. 2012 (žiūrėta 2012 03 06). http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/DataAccess.pl?DB_dataset=CDC+Derived+NCEP+Reanalysis+Products+Surface+Flux&DB_variable=Potential+Evaporation+Rate&DB_statistic=Mean&DB_tid=32809&DB_did=40&DB_vid=1094
17. Nausch G., Matthäus W., Feistel R. 2003. Hydrographic and hydrochemical conditions in the Gotland Deep area between 1992 and 2003. *Oceanologia*. 45(4): 557–569.
18. *River Discharge Database*. 2012 (žiūrėta 2012 03 05). <http://www.sage.wisc.edu/riverdata/>

19. Rutgersson A., Omstedt A., Räisänen J. 2002. Net precipitation over the Baltic Sea during present and future climate conditions. *Climate Research*. 22: 27–39.
20. Samuelsson M., 1996. Interannual salinity variations in the Baltic Sea during the period 1954–1990. *Continental Shelf Research*. 16: 1463–1477.
21. Sarafanov A. 2009. On the effect of the North Atlantic Oscillation on temperature and salinity of the subpolar North Atlantic intermediate and deep waters. *ICES Journal of Marine Science*. 66: 1448–1454.
22. Seifert T., Kayser B. 1995. A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea. *Meerwissensch. Ber. Inst. für Ostseeforschung. Warnemünde*. 9: 72–88.
23. Serovaitė M., Pupienis D. 2011. Baltijos jūros vakarinės dalies sūkurių dinamika ir jų klasifikacija. *Geografija*. 47(1): 19–29.
24. Stankūnavičius G., Jalinskas P. 2004. Šiaurės Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros ryšys su atmosferos cirkuliacija virš Europos. *Geografijos metraštis*. 37(1–2): 5–17.
25. Stankūnavičius G., Bartkevičienė G. 2003. Ekstremalios atmosferos cirkuliacijos sąlygos Šiaurės Atlante: oro temperatūros ir kritulių anomalijos Lietuvoje. *Geografijos metraštis*. 36(1): 18–33.
26. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. 2012 (žiūrėta 2012 03 07). <http://www.smhi.se/klimatdata/oceanografi/havsis>
27. Watanabe M., Nitta T. 1999. Decadal Changes in the Atmospheric Circulation and Associated Surface Climate Variations in the Northern Hemisphere Winter. *Journal of Climate*. 12: 494–510.
28. Winsor P., Rodhe J., Omsted A. 2001. Baltic Sea ocean climate: an analysis of 100 yr of hydrographic data with focus on the freshwater budget. *Climate Research* 18: 5–15.

Asta Bajerčiūtė, Donatas Pupienis

HYDRO-METEOROLOGICAL FACTORS' INFLUENCE ON THE BALTIC SEA HYDROLOGICAL REGIME ANALYSIS IN 1960–2009

Summary

Global Climate Modeling results show that since the mid-20th century notable ocean–atmosphere interaction changes have begun due to which mean annual air temperature in all Baltic region may increase by 3–5 °C by 2100. It is likely that climate warming may have a greater impact on further Baltic Sea hydrological conditions change. This article analyzes the influence of hydro-meteorological parameters such as river runoff, salt inflow from the North Sea, precipitation, sea ice and evaporation on water temperature and salinity change in 1960–2009 in the Baltic Proper.

The previous research studies have shown that long-term climate change is related to atmospheric circulation processes. There are weak relationships during the winter season between the Baltic Sea water temperature and salinity change and atmospheric and oceanic indices like the NAO (North Atlantic Oscillation), AO (Arctic Oscillation) and long-indices.

The previous research studies have shown that precipitation, evaporation and ice formation on the open sea do not play a major role in hydro-physical parameters change. However, the analysis has shown that there are weak relationships among the studied water temperature and salinity parameters in the Baltic Sea and river runoff, precipitation, sea ice and evaporation data. It was found that time and vertical delays exist between temperature and salinity of the Baltic Proper and hydro-meteorological factors.

The strongest correlation exists between water temperature and sea ice cover area ($-0.81 \geq r \leq -0.86$), as well as water salinity and river flow ($0.34 \geq r \leq 0.49$). It was found that there are vertical lags between Baltic Proper temperature, salinity and hydro-meteorological factors from the surface to bottom and time lags. In the southern oceanographic stations, stronger correlation links exist between the studied hydro-physical parameters and hydro-meteorological factors at a 10–20 m deeper water horizon than in the northern stations. Also, 3–8 year time lag of water temperature and salinity to the mentioned factors change was identified.

Key words: The Baltic Sea, water salinity, water temperature, river runoff, salt inflow from the North Sea, sea ice, precipitation, evaporation