

Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo kaita 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 centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo kaita 1960–2009 m. *Geografija*. 2011. T. 47(2). ISSN 1392-1096.

Pastarųjų metų moksliniai tyrimai rodo, kad Baltijos jūroje kinta įvairūs parametrai, tokie kaip vandens temperatūra, druskingumas, jūros lygis, ledo tūris, į jūrą patenkančios upių nuotėkis ir pan. Svarbiausios šių parametru pokyčių priežastys yra dvi: natūrali Baltijos jūros kaita ir antropogeninio poveikio sukelti klimato pokyčiai, kurie turi įtakos Baltijos jūros klimatui – tai yra viena pagrindinių klimato kaitos mokslinių diskusijų temų. Šiame straipsnyje analizuojama Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaita 1960–2009 m. centrinėje dalyje. Nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu pastebimi vandens temperatūros augimo ir vandens druskingumo mažėjimo trendai.

Palyginus paviršinio ir priedugninio sluoksnių vandens temperatūros ir druskingumo kaitą nustatyta, kad priedugnėje temperatūros kaitos ciklai (trunka nuo 12 iki 30 metų) yra geriau išreikšti negu paviršiuje (trunka nuo 6 iki 9 metų). Druskingumo ciklai Baltijos jūros priedugnėje, kaip ir paviršiuje, trunka 40 metų ir daugiau. Tyrimas parodė, kad egzistuoja silpni arba labai silpni ryšiai tarp tradicinių sezoninių (žiemos, pavasario, vasaros, rudens) ir metinių NAO (*North Atlantic oscillation* – Šiaurės Atlanto osciliacija), AO (*Arctic oscillation* – Arkties osciliacija) indeksų bei vidutinių metinių Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo duomenų. Vidutiniai neigiami koreliaciniai ryšiai buvo nustatyti tarp prailginto žiemos sezono (gruodis–kovas) NAO, AO indeksų ir vandens druskingumo Baltijos jūros priedugniniame sluoksnyje.

Raktažodžiai: Baltijos jūra, vandens druskingumas, vandens temperatūra, ciklai, NAO ir AO indeksai

ĮVADAS

Baltijos jūros svarbiausi vandens fiziniai ir cheminiai parametrai pradėti tirti XIX a. viduryje (Fonselius, Valderrama, 2002). Pirmąsias Baltijos jūros tyrimų ekspedicijas surengė vokiečiai 1871 m. ir švedai 1877 m. (Smed, 1990). Pastaruoju metu atlikti tyrimai rodo, kad Baltijos jūros vandens paviršiaus temperatūra didėja, o druskingumas mažėja (Fonselius, Valderrama, 2002; Bajerčiūtė ir kt., 2011). M. Leppärranta ir K. Myrberg (2009) mano, kad Baltijos jūros vandens paviršiaus temperatūros kaita akivaizdžiai yra susijusi su oro temperatūros kilimu, o priedugninių sluoksnių vandens temperatūros kilimas gali būti sietinas su druskingo vandens prietakomis iš Šiaurės jūros (Fonselius, Valderrama, 2002).

A. E. Mikhailov ir N. N. Mikhailov (1992) pažymi, kad Baltijos jūros vandens temperatūros kaita labai priklauso nuo šilumos prietakos iš atmosferos (radiacinis veiksnys),

Šiaurės jūros vandenų prietakos (advekcinis veiksnys) ir vertikali šilumos sūkurys (konvekcija, turbulencinė apykaita ir t. t.). Druskingumo kaitą lemia: Šiaurės jūros druskingo vandens prietaka, gėlas upių vandens nuotėkis ir vertikali šiluma. Tuo tarpu krituliai, garavimas, ledo susidarymas atviroje jūroje didesnio vaidmens nevaizina (Kraatz, 2004).

Užsienio šalių mokslininkai taip pat mano, kad Baltijos jūros temperatūros ir druskingumo svyravimus lemia šilumos balansas (Omstedt ir kt., 2004), kuris priklauso nuo Baltijos jūros geografinės padėties ir regiono klimato. Baltijos jūra yra vakarų pernašos iš Atlanto vandenyno poveikio zonoje, todėl Baltijos regiono klimato svyravimai daugiausia sietini su Šiaurės Atlanto osciliacija (NAO) (Buch, 2002), t. y. Šiaurės Atlanto atmosferos slėgio jūros lygyje dideliais nereguliais svyravimais tarp Islandijos ir Azorų barinių darinių (Jalinskas, Stankūnavičius, 2004).

Anksčiau atlikti tyrimai parodė, kad teigiamas NAO indeksas lemia stipresnius vakarų krypties vėjus (Stan-

kūnavičius, Bartkevičienė, 2003), tuo tarpu neigiamas NAO indeksas – šiaurės kryptį vėjus (Niros ir kt., 2003). Taip pat nustatyta, kad NAO indeksas gerai koreliuoja su Baltijos jūros zooplanktono kiekiu (Vuorinen ir kt., 2003), ledo dangos plotu (Tinz, 1996), tuo tarpu su žiemos (gruodis–kovas) laikotarpio NAO indeksu – Baltijos ir Kuršių marių vandens lygio svyravimai bei priekrantės vandens paviršiaus temperatūra (Dailidienė ir kt., 2006; Dailidienė, 2007). Nors Baltijos jūros daugelis fizinių parametrų (jūros paviršiaus temperatūra, vandens lygis) gerai siejasi su NAO žiemos laikotarpio indeksu, tačiau vis dar lieka neaišku, ar Baltijos jūros atviros akvatorijos vandens paviršiaus ir giluminių sluoksnių temperatūros bei druskingumo kaita gali būti sietina su Šiaurės Atlanto osciliacija.

Šio straipsnio tikslas yra išanalizuoti Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo kaitą (trendus bei ciklus) ir jos priklausomybę nuo klimatinės atmosferos NAO ir Arkties osciliacijos (AO) indeksų.

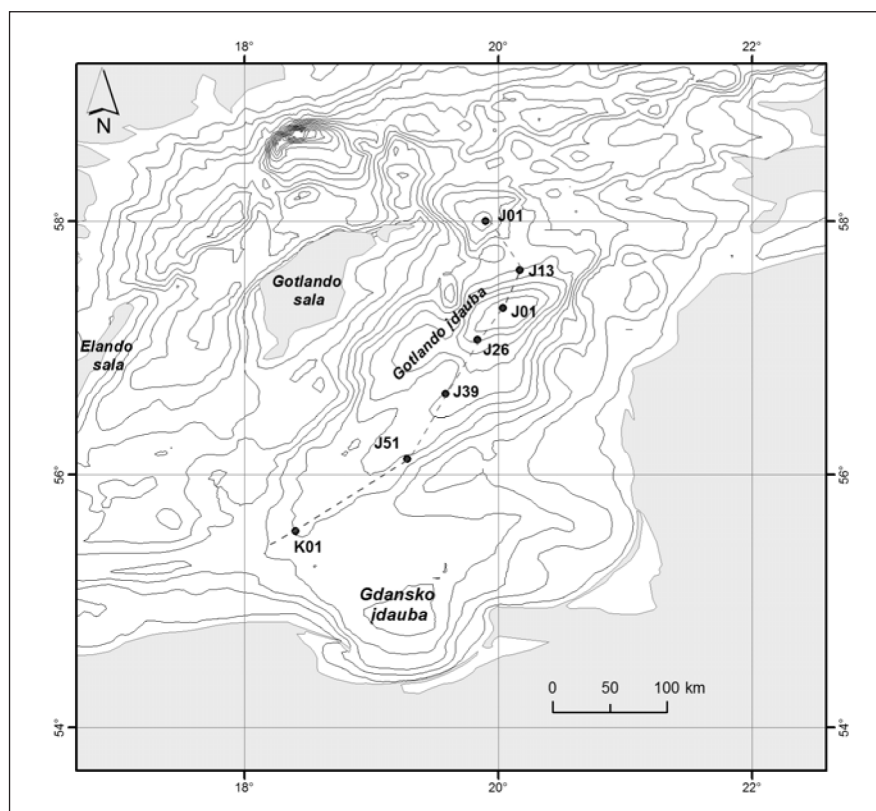
DUOMENYS IR METODIKA

Tyrimų rajonas išsidėstęs centrinėje Baltijos jūros akvatorijoje ir užima 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. Maksimalus tiriamos akvatorijos gylis Gotlando įdauboje siekia 249 m (1 pav.).

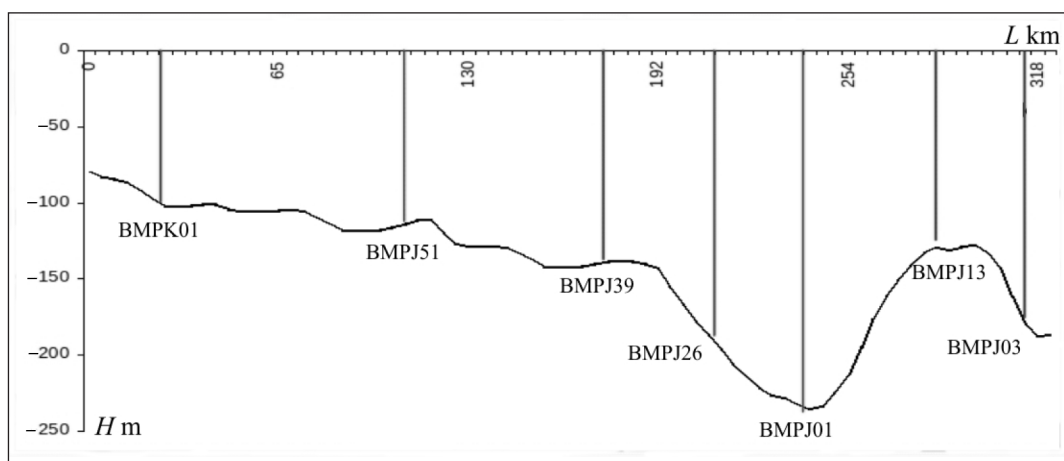
Baltijos jūros centrinės dalies dugno reljefas pasižymi didele įvairove (2 pav.), todėl galima išskirti tris aiškias sritis: pietinę su vyraujančiu išlygintu reljefu; centrinę, kurioje dugnas yra pakopinės formos; šiaurinę su kalvotu gūbrėtu dugno paviršiumi (Leppäranta, Myrberg, 2009). Šiaurės kryptimi tiriamoji akvatorija laipsniškai gilėja, pereidama iš Gdansko įdaubos į Gotlando įdaubą, 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).

Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai 1960–2009 m. apibūdinti iš Tarptautinės jūrų tyrimų tarybos ICES internetinės duomenų bazės (<http://ocean.ices.dk/Helcom/>) buvo atrinkti duomenys 7 okeanografinių stočių, kuriose per tiriamąjį laikotarpį buvo atlikta daugiausiai vandens temperatūros ir druskingumo matavimų (1 lentelė).



1 pav. Baltijos jūros centrinės dalies batimetrinis žemėlapis. Punktyrinė linija – išilginis dugno reljefo profilis (2 pav.). Taškais pažymėtos okeanografinės stotys. Izobatos išvestos kas 20 m (Seifert, Kayser, 1995)

Fig. 1. The Baltic Sea Proper bathymetric map. Dashed line – longitudinal bottom profile (Fig. 2). Points – oceanographic stations. Isobath drawn every 20 m (Seifert, Kayser, 1995)



2 pav. Išilginis dugno reljefo profilis

Fig. 2. Longitudinal bottom profile

1 lentelė. Okeanografinių stočių koordinatės, maksimalus gylis ir matavimų skaičius

Table 1. Coordinates of the oceanographic stations, maximum depth and the number of measurements

| Stotis Station | Ilguma° Longitude, ° | Platuma° Latitude, ° | Maksimalus gylis m Maximum depth, m | Matavimų skaičius Number of measurements |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|--|---|
| BMPJ01 | 20,03 | 57,32 | 249 | 13 190 |
| BMPJ03 | 19,88 | 58,00 | 205 | 10 353 |
| BMPJ13 | 20,16 | 57,61 | 191 | 3 552 |
| BMPJ26 | 19,83 | 57,07 | 236 | 5 162 |
| BMPJ39 | 19,58 | 56,63 | 178 | 8 513 |
| BMPJ51 | 18,28 | 56,09 | 136 | 4 144 |
| BMPK01 | 18,40 | 55,55 | 103 | 7 812 |

Darbe naudoti vandens temperatūros ir druskingumo matavimų duomenys atrinkti iš paviršinio (0–5 m) ir priedugninio vandens sluoksnių. Atsižvelgiant į Baltijos jūros gylį (1 lentelė) matavimo vietoje, priedugninio vandens sluoksnio temperatūros ir druskingumo duomenys buvo atrinkti iš paskutinio matavimo horizonto, kuris yra 10 m virš dugno.

Pirminei darbo analizei naudoti mėnesiniai ir metiniai vandens temperatūros ir druskingumo duomenys, kurie buvo atrinkti pagal tą patį kriterijų, t. y. išrinkti matavimai, kurie buvo vykdomi „vienu laiku“ ir esant vienodoms oro sąlygoms. Sąvoka „vienu laiku“ vartojama, kai duomenys, surinkti okeanografinių stočių tinkle, apima dienas ir savaites, bet atliekant jų analizę tiriama, kad jie yra sinoptiniai (gauti tuo pačiu metu) (Mažeika, 2001; Bajerčiūtė ir kt., 2011). Atrinkti temperatūros ir druskingumo duomenys buvo apdoroti automatinė didelių duomenų bazių nuskaitymo ir apdorojimo programa TS-BALTIC, kuri buvo parašyta *Python* programavimo kalba. Atrinkus duomenis buvo sudarytos vandens temperatūros ir druskingumo 1960–2009 m. statistinės duomenų imtys. Nustatyti trūkiai okeanografinių stočių duomenų sekose buvo rekonstruoti remiantis ilgiausią matavimų skaičių ir mažiausiai trūkių turinčios BMPJ01 okeanografinės stoties duomenimis, prieš tai atlikus visų stočių duomenų sekų koreliacinę analizę. Atstatinėjant duomenų sekas buvo taikytas ryšio grafiko me-

todas. Pirmiausia buvo brėžiama ryšio taškus aproksimuojanti kreivė, o duomenų sekos buvo rekonstruojamos pagal formulę, kuri aprašo aproksimuojančią kreivę. Sudarius vandens stovymės temperatūros ir druskingumo 1960–2009 m. duomenų statistines imtis, buvo apskaičiuoti vandens temperatūros ir druskingumo 1960–2009 m. daugiamečiai vidurkiai.

Darbe analizuojamų temperatūros ir druskingumo kaita laike įvertinta naudojant regresijos lygtis. Tiesinių trendų patikimumas nustatytas, pasitelkus neparimetrinį Manno–Kendallo testą, kuris gali būti naudojamas net ir esant trūkiams duomenų sekose (Libiseller, 2002). Nustatant daugiamečių trendų patikimumą buvo pasirinktas 0,05 statistinio reikšmingumo lygmuo (α), taigi statistiškai reikšmingais, pagal Manno–Kendallo testą, buvo laikyti tie kintamųjų pokyčiai, kai Manno–Kendallo testo reikšmė didesnė nei 1,959 arba mažesnė už $-1,959$. Skaičiavimai atlikti MULTMK / PARTMK programa (Libiseller, 2002).

Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo ciklai išskirti apskaičiavus minėtų parametrų standartizuotas reikšmes pagal lygtį:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}; \text{ čia } z_i - \text{ standartizuota reikšmė, } \bar{x} - \text{ vidurkis ir } \sigma - \text{ standartinis nuokrypis (Sakalauskas, 2003).}$$

Atskirų stočių vandens temperatūros ir druskingumo parametrų ryšiai įvertinti, atsižvelgiant į koreliacijos koeficiento reikšmę. Koreliacijos statistinis patikimumas įvertintas, nustatant statistinį kintamųjų regresinės priklausomybės ir koreliacijos patikimumo lygmenį (kai $\alpha < 0,05$). Vandens temperatūros ir druskingumo priklausomybė nuo klimatinės atmosferos NAO ir AO indeksų įvertinta sudarius ryšio grafikus. NAO (standartizuotos geopotencialio aukščio anomalijos 500 hPa aukštyje, tarp 20° š. pl. – 90° š. pl.) ir AO (standartizuotos geopotencialio aukščio anomalijos 1 000 hPa aukštyje, nuo 20° š. pl. link poliaus) klimatiniai indeksai buvo atrinkti iš Nacionalinės orų tarnybos Klimato prognozių centro (*National Weather Service Climate Prediction Center*) internetinės duomenų bazės (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>). Siekiant įvertinti Baltijos jūros temperatūros ir druskingumo kaitos priklausomybę nuo klimatinės atmosferos indeksų, tyrimui buvo pasirinkti sezoniniai NAO ir AO duomenys: žiemos (gruodis–vasaris), pavasario (kovas–gegužė), vasaros (birželis–rugsjūtis) ir rudens (rugsjūtis–lapkritis). Atsižvelgiant į kitų autorių rekomendacijas (Dailidienė ir kt., 2006; Dailidienė, 2007), atskirai analizuoti klimatiniai indeksai, kai žiemos sezonui (gruodis–vasaris) papildomai buvo priskirtas kovas.

REZULTATAI

Atlikus Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo statistinės analizės neparametrinį Manno–Kendallo testą, daugelyje okeanografinių stočių buvo nustatyti nereikšmingi vandens paviršiaus temperatūros ir reikšmingi druskingumo trendai (2 lentelė).

Atlikta analizė parodė, kad Baltijos jūros vandens paviršiaus temperatūra centrinėje dalyje per 50 metų pakilo 0,14 ir 1,20 °C, atitinkamai BMPJ51 ir BMPJ26 okeanografinėse stotyse (3 pav.).

Visose analizuojamose okeanografinėse stotyse vandens paviršiaus temperatūra daugiau ar mažiau padidėjo, tuo tarpu vandens paviršiaus druskingumas atskirose stotyse pakito nevienodai. Penkiose matavimo stotyse nustatytos druskingumo mažėjimo tendencijos, didžiausias pokytis (–0,32 ‰) buvo BMPJ13 stotyje (3 pav.). Tuo tarpu dviejose, BMPJ03 ir BMPJ26, stotyse nustatytos priešingos tendencijos, druskingumo – nežymus padidėjimas, atitinkamai 0,10 ir 0,04 ‰ (3 pav.).

Išanalizavus Baltijos jūros priedugnės vandens temperatūros kaitą, nustatyta, kad temperatūra pakilo visose matavimo stotyse nuo 0,45 iki 1,63 °C (2 lentelė). Tačiau atlikus priedugnės vandens temperatūros statistinės analizės neparametrinį Manno–Kendallo testą nustatyta, jog pastarojo parametro kaita yra statistiškai reikšminga tik BMPJ39 ir BMPJ51 (4 pav.) okeanografinėse stotyse.

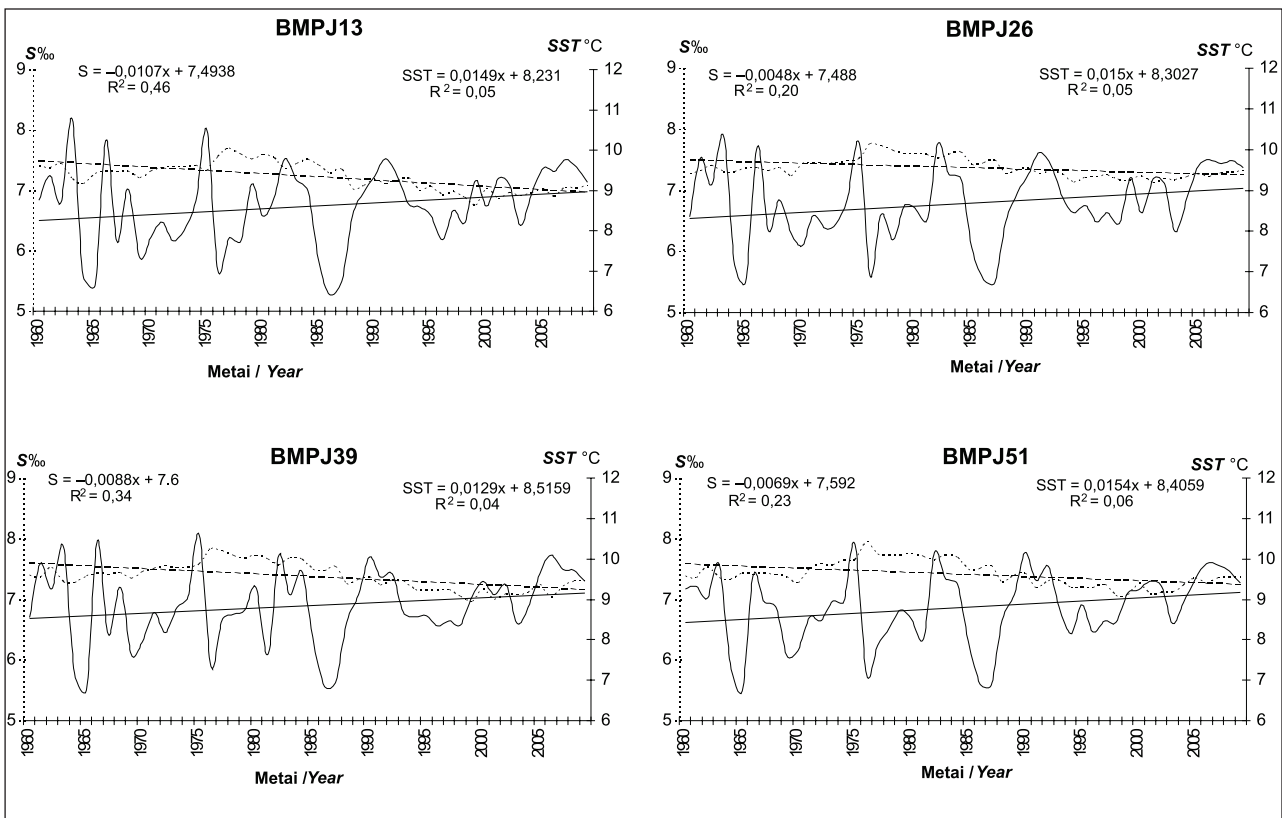
Verta pažymėti, kad jau anksčiau minėtose stotyse nustatytos teigiamos druskingumo kaitos tendencijos, kai druskingumas padidėjo 0,46 ir 0,50 ‰, atitinkamai BMPJ51 ir BMPJ39 stotyse (4 pav.). Tačiau atliktas Manno–Kendallo testas parodė, kad nustatyti priedugnės druskingumo kaitos trendai anksčiau minėtose okeanografinėse stotyse yra nereikšmingi (2 lentelė). Likusiose okeanografinėse stotyse nustatyti reikšmingi druskingumo mažėjimo trendai. Priedugnėje vandens druskingumas atskirose stotyse sumažėjo nuo –0,27 iki –0,47 ‰ (4 pav.).

Išanalizavus Baltijos jūros vandens temperatūras ir druskingumą nustatyta, kad druskingumo kaitos amplitudės

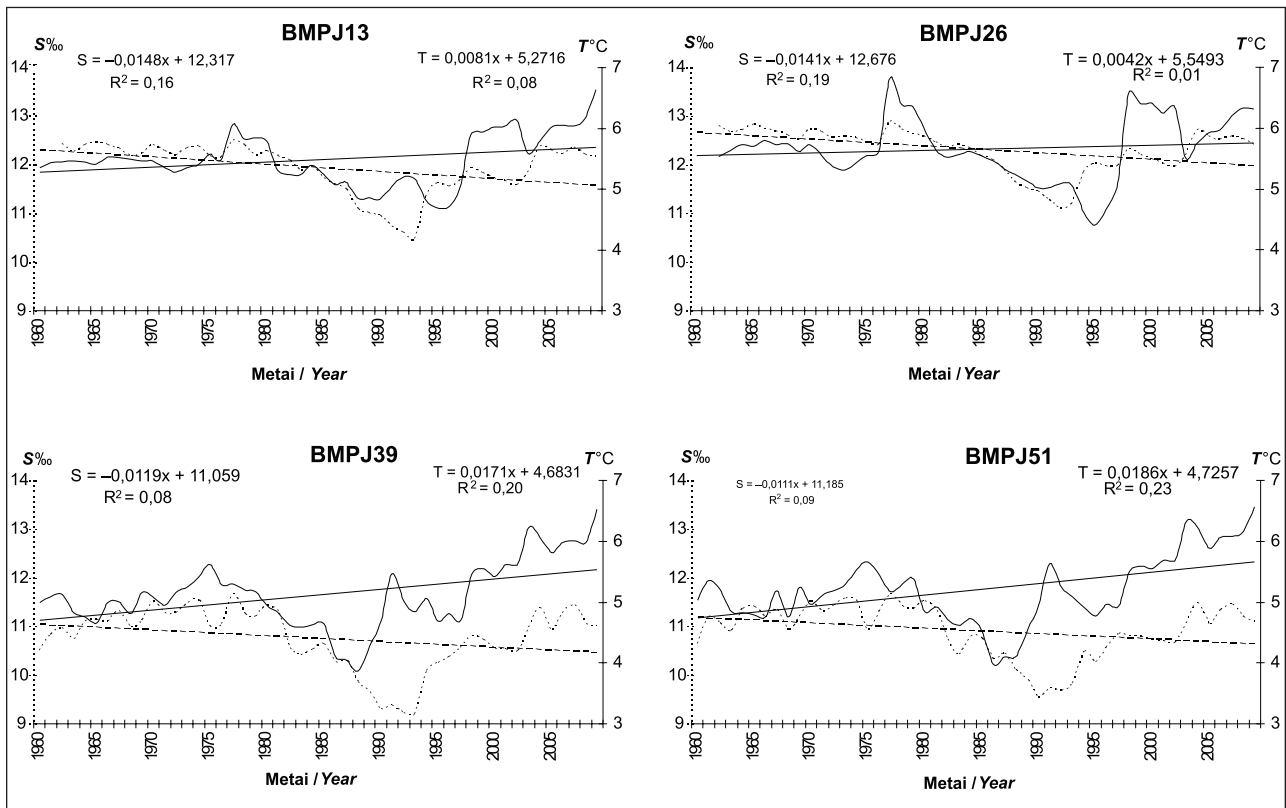
2 lentelė. Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo trendų patikimumo reikšmės (p), standartizuoto testo reikšmės (MK-Stat) bei pokytis paviršiuje ir priedugnėje nuo 1960 iki 2009 m.

Table 2. Values of reliability trends of the Baltic Proper water temperature and salinity (p), standardized test values (MK-Stat) and change on the surface and near the bottom from 1960 till 2009

| Stotis Station | Parametras Parameter | Paviršius/Surface | | Pokytis Variation | Priedugnė/Bottom | | Pokytis Variation |
|-------------------|-------------------------|-------------------|------|----------------------|------------------|------|----------------------|
| | | MK-Stat | p | | MK-Stat | p | |
| BMPJ03 | T | 1,76 | 0,08 | 1,16 | –0,284 | 0,78 | 0,45 |
| | S | –3,39 | 0,00 | 0,10 | –4,124 | 0,00 | –0,47 |
| BMPJ13 | T | 1,95 | 0,05 | 0,46 | 0,862 | 0,39 | 1,29 |
| | S | –4,49 | 0,00 | –0,32 | –3,555 | 0,00 | –0,27 |
| BMPJ01 | T | 1,66 | 0,10 | 0,45 | 0,178 | 0,86 | 0,68 |
| | S | –4,22 | 0,00 | –0,18 | –3,564 | 0,00 | –0,37 |
| BMPJ26 | T | 1,97 | 0,05 | 1,20 | –0,178 | 0,86 | 0,78 |
| | S | –3,09 | 0,00 | 0,04 | –4,088 | 0,00 | –0,38 |
| BMPJ39 | T | 1,61 | 0,11 | 0,91 | 2,903 | 0,00 | 1,52 |
| | S | –3,91 | 0,00 | –0,10 | –1,514 | 0,13 | 0,50 |
| BMPJ51 | T | 1,73 | 0,08 | 0,14 | 3,120 | 0,00 | 1,54 |
| | S | –3,10 | 0,00 | –0,01 | –1,665 | 0,10 | 0,46 |
| BMPK01 | T | 2,12 | 0,03 | 1,11 | 3,053 | 0,00 | 1,63 |
| | S | –3,15 | 0,00 | –0,06 | – | – | – |



3 pav. Baltijos jūros vidutinė metinė vandens temperatūros ir druskingumo kaita bei trendai paviršiuje
 Fig. 3. Annual mean sea surface temperature and salinity change in the Baltic Sea and linear trends



4 pav. Baltijos jūros priedugnės vandens temperatūros ir druskingumo vidutinė metinė kaita bei trendai
 Fig. 4. Annual mean sea bottom temperature and salinity change in the Baltic Sea and linear trends

paviršiuje didesnės, palyginti su priedugne, skirtumas siekia 0,38 ‰. Tuo tarpu didesnės temperatūros svyravimo amplitudės (0,08 °C) nustatytos priedugnėje nei paviršiuje. Giluminuose sluoksniuose vandens masės savybės kinta labai mažai. Pažymėtina, kad, palyginus Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo parametrus paviršiuje ir priedugnėje, einant gilyn pastebimas 3–5 metų vėlavimas, kuris siejamas su vandens masių apykaita tarp paviršinio kvazistacionaraus ir priedugninio sąlyginai stabilus sluoksnio (Kraatz, 2004; Stigebrandt, Gustafsson, 2003). Kadangi dėl atmosferos sąveikos turbulencinis maišymasis vyksta tik iki 50–60 m gylio (UNESCO, 1983), o gilesniuose sluoksniuose dėl homogeninės vandens masės konvekcinių maišymasis vyksta dar lėčiau (Stigebrandt, Gustafsson, 2003; Omstedt ir kt., 2004), tai giliau esančius sluoksnius paviršinės vandens masės pasiekia tik po kurio laiko. A. E. Mikhailov ir N. N. Mikhailov (1992) pažymi, kad fizinių parametrų kaitos vėlavimas tarp paviršiaus ir priedugnės iš dalies yra susijęs su tarpinių sluoksnių vandenimis, kuriais teka Šiaurės jūros vandenys.

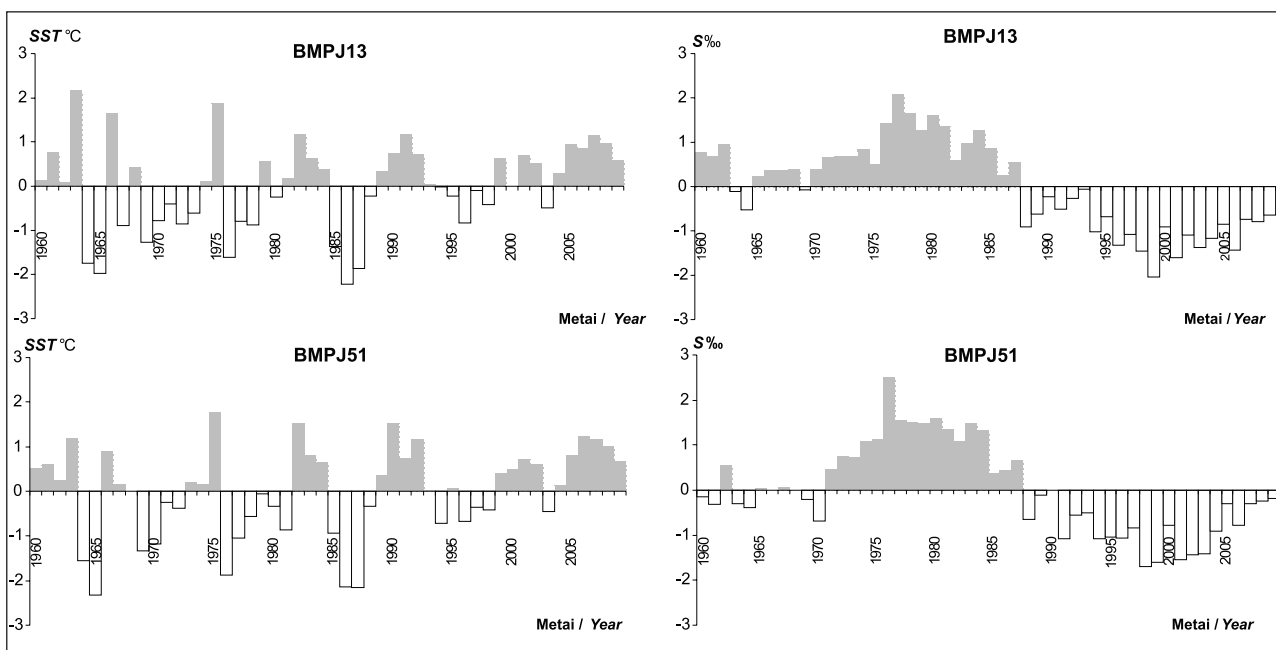
Baltijos jūros vandens paviršiaus temperatūros ir druskingumo analizė parodė, kad egzistuoja tam tikri kaitos dėsningumai (5 pav.). Standartizavus vandens paviršiaus temperatūros ir druskingumo 1960–2009 m. duomenis, nustatyta, kad vandens paviršiuje vyrauja teigiamos temperatūros ir druskingumo standartizuotos reikšmės. Vandens paviršiaus druskingumo kaita turi ryškų (40 metų) ciklą, kai teigiamos standartizuotos reikšmės vyrauja 1970–1988 m. laikotarpiu, o neigiamos – 1989–2009 m. laikotarpiu (5 pav.).

Tuo tarpu apskaičiuotos vandens paviršiaus temperatūros standartizuotos reikšmės parodė, kad vandens paviršiaus temperatūros ciklai yra dažnesni (6–9 metų), tačiau – nereguliarūs t. y. jie gali būti trumpesni arba ilgesni (5 pav.).

Gauti vandens paviršiaus hidrofizinių parametrų analizės rezultatai dar neįrodo, kad Baltijos jūroje tik vandens paviršiaus druskingumo kaitos ciklai yra ryškūs. Apskaičiuotos priedugnės temperatūros ir druskingumo standartizuotos reikšmės parodė, kad Baltijos jūros priedugniniame sluoksnyje tiek vandens temperatūra, tiek druskingumas kinta taip pat cikliškai. Palyginus paviršinio ir priedugninio sluoksnio vandens temperatūros ir druskingumo kaitos ciklus nustatyta, kad priedugnėje temperatūros kaitos ciklai yra geriau išreikšti negu paviršiuje (5 pav.) ir trunka nuo 12 iki 30 metų (6 pav.). Vandens druskingumo kaitos ciklas priedugnėje, kaip ir paviršiuje, trunka 40 ir daugiau metų (6 pav.).

Detaliau analizuojant vandens paviršiaus bei priedugnės druskingumo ciklus, nesunku pastebėti, kad tarp paviršiaus ir priedugnės druskingumo kaitos ciklų egzistuoja tam tikras vėlavimas. Priedugnėje vandens druskingumo teigiamos standartizuotos reikšmės BMPJ51 stotyje fiksuojamos nuo 1961 m., tuo tarpu paviršiuje jos fiksuojamos po 10 metų. Pavyzdžiui, Baltijos jūros centrinės dalies priedugnėje neigiamos druskingumo standartizuotos reikšmės išryškėja nuo 1982 m. (6 pav.), o paviršiuje – tik nuo 1989 m., t. y. po 7 metų (5 pav.).

Verta pažymėti, kad ryškiai išsiskiriančios neigiamos paviršiaus temperatūros standartizuotos reikšmės 1965, 1976, 1986, 1987 m. sietinos su itin šaltomis žiemomis (Kosłowski ir Loewe, 1994; Omstedt ir kt., 2000), kai didžioji Baltijos

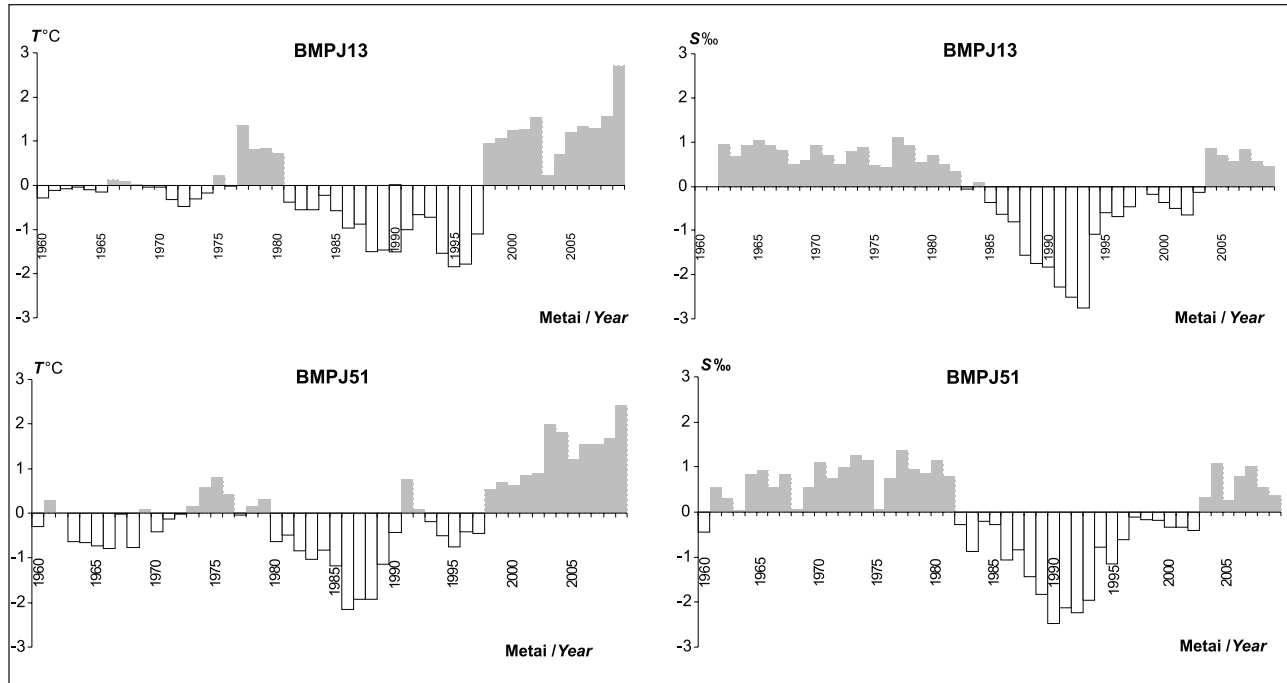


5 pav. Baltijos jūros paviršiaus vandens temperatūros ir druskingumo standartizuotos reikšmės 1960–2009 m.

Fig. 5. Surface temperature and salinity standardized values in the Baltic Sea, 1960–2009

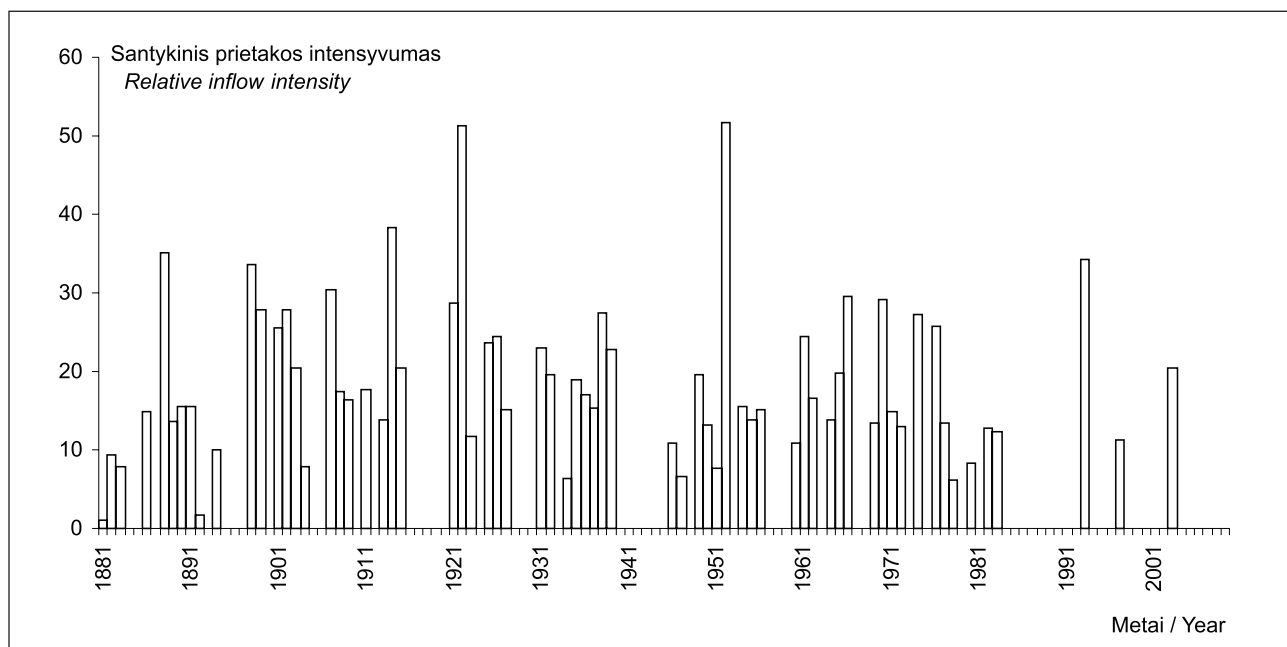
jūros paviršiaus dalis buvo padengta ledu. Neigiamos temperatūros standartizuotos reikšmės priedugnėje gali būti nulėmus Šiaurės jūros vandens prietakos, kuri savo ruožtu nulėmė ir teigiamas druskingumo standartizuotas reikšmes.

Remiantis vokiečių mokslininko W. Matthäus (2006) duomenimis, intensyvi druskingo vandens prietaka per analizuojamą laikotarpį iš Šiaurės jūros santykinai be didesnių pertraukų tęsėsi nuo 1960 iki 1983 m. (7 pav.).



6 pav. Baltijos jūros priedugnės vandens temperatūros ir druskingumo standartizuotos reikšmės 1960–2009 m.

Fig. 6. Sea bottom temperature and salinity standardized values in the Baltic Sea, 1960–2009



7 pav. Šiaurės jūros druskingo vandens santykinis prietakos intensyvumas 1881–2005 m. (Matthäus, 2006)

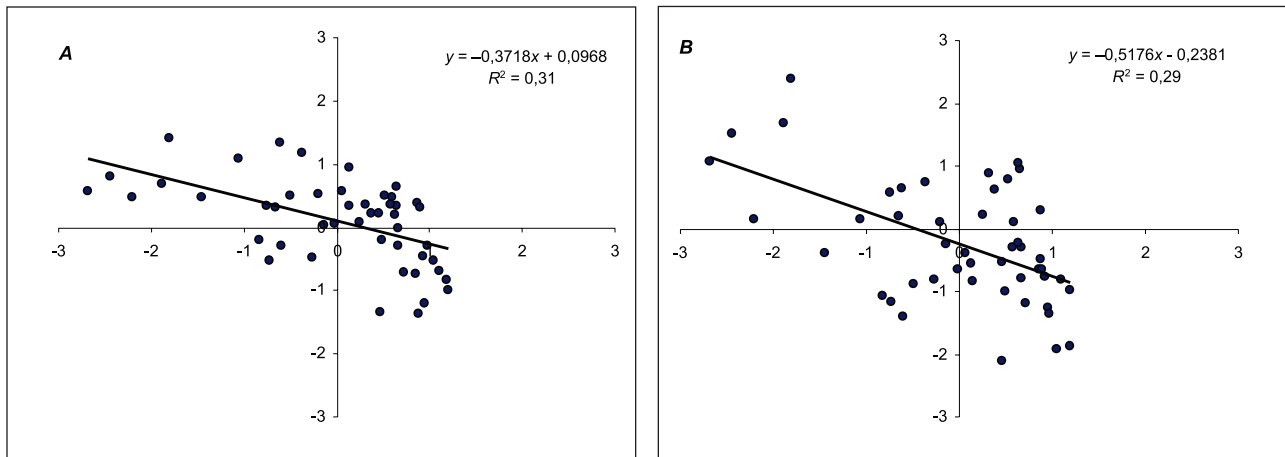
Fig. 7. Relative intensity of salt water inflow from the North Sea, 1881–2005 (Matthäus, 2006)

Atsižvelgiant į faktą, kad didelio masto atmosferos pokyčiai susiję su daugiamečiais vandenyno pokyčiais ypač Šiaurės Atlanto regione (Sarafanov, 2009) ir ryškiausiai pasireiškia šaltuoju metų laikotarpiu (Jalinskas, Stankūnavičius, 2004; Stankūnavičius, 2009), buvo ieškoma ryšių tarp Baltijos jūros hidrofizinių parametrų ir žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimų atvejų (NAO ir AO), kurie tiek geografinė padėtimi, tiek poveikio zona yra svarbūs Baltijos regionui. Žinant tai, kad nedidelės teigiamos NAO rodiklio reikšmės rodo zoniinę cirkuliaciją Atlante bei stacionarius ir lėtai judančius gūbrius virš Šiaurės Europos (Stankūnavičius, Bartkevičienė, 2002; Jalinskas, Stankūnavičius, 2004), galima daryti dvi prielaidas: pirma – tuo laikotarpiu, kai NAO ir AO reikšmės yra teigiamos, suintensyvėja druskingo vandens prietaka iš Šiaurės jūros (Sandø, Furevik, 2008; Stigebrandt, Gustafsson, 2007; Sarafa-

nov, 2009) ir druskingumas didėja; antra – sustiprėja zoniiniai vėjai, padidėja kritulių kiekis virš sausumos ir upių nuotėkis (Gustafsson, Omstedt, 2009) – druskingumas mažėja.

Tyrimai parodė, kad analizuojant tradicinius sezoninius (žiema, pavasaris, vasara, rudenį) ir metinius NAO, AO indeksų ryšius su Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo vidutiniais metiniais duomenimis egzistuoja silpna arba labai silpna koreliacija. Atsižvelgiant į ankstesnių tyrimų rezultatus (Dailidienė ir kt., 2006; Dailidienė, 2007), papildomai buvo analizuoti žiemos laikotarpio (gruodis–kovas) NAO bei AO indeksų ir Baltijos jūros vandens temperatūros bei druskingumo koreliaciniai ryšiai.

Atlikus NAO, AO indeksų ir žiemos laikotarpio (gruodis–kovas) Baltijos jūros paviršiaus vandens temperatūros bei druskingumo ko-



8 pav. Baltijos jūros vandens druskingumo (BMPJ03 stotis) priedugnėje ir NAO (A) bei AO (B) indeksų koreliaciniai ryšiai
Fig. 8. Correlational relationships between sea bottom salinity in the Baltic Sea (BMPJ03 station) and NAO (A) and AO (B) indices

3 lentelė. Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo koreliacijos su Šiaurės Atlanto ir Arkties osciliacijos (gruodis–kovas) indeksais koeficientai
Table 3. Coefficients of correlation between water temperature and salinity in the Baltic Sea and the North Atlantic and Arctic oscillation (December–March) indices

| Stotis Station | Parametras Parameter | Paviršius / Surface | | Priedugnė / Bottom | |
|-------------------|-------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|
| | | Indeksas / Index | | Indeksas / Index | |
| | | NAO | AO | NAO | AO |
| BMPJ01 | T | 0,23 | 0,21 | -0,28 | -0,29 |
| | S | -0,21 | -0,22 | -0,54 | -0,53 |
| BMPJ03 | T | 0,31 | 0,29 | -0,32 | -0,28 |
| | S | -0,17 | -0,18 | -0,55 | -0,53 |
| BMPJ13 | T | 0,23 | 0,21 | -0,21 | -0,14 |
| | S | -0,26 | -0,25 | -0,53 | -0,50 |
| BMPJ26 | T | 0,24 | 0,21 | -0,32 | -0,28 |
| | S | -0,14 | -0,14 | -0,55 | -0,53 |
| BMPJ39 | T | 0,25 | 0,26 | -0,01 | 0,08 |
| | S | -0,17 | -0,16 | -0,45 | -0,43 |
| BMPJ51 | T | 0,32 | 0,33 | 0,04 | 0,18 |
| | S | -0,12 | -0,09 | -0,46 | -0,41 |
| BMPK01 | T | 0,26 | 0,30 | 0,03 | 0,17 |
| | S | -0,11 | -0,11 | - | - |

reliacinę analizę nustatyta, kad egzistuoja silpni ir labai silpni išvardytų parametrų ryšiai (3 lentelė). Tuo tarpu NAO ir AO indeksų bei priedugnės vandens druskingumo ryšiai yra neigiami ir vidutinio stiprumo ($r \geq -0,41$).

Šiuos stipresnius tarpusavio ryšius galima aiškinti tuo, kad paviršinis vandens sluoksnis nuolat kinta. Tuo tarpu giluminių vandens sluoksnių savybes šiuo atveju galėjo lemti sustiprėję zoniiniai vėjai, padidėję kritulių kiekis virš sausumos ir upių nuotėkis. Padidėjęs upių nuotėkis sumažino paviršinių sluoksnių druskingumą, o stipresni ir dažnesni vakarų vėjai sustiprino konvekcinių maišymąsi. NAO ir AO indeksų bei Baltijos jūros centrinės dalies priedugnės vandens druskingumą (8 pav.) nulėmusio mechanizmo neigiamus tarpusavio ryšius patvirtina ir užsienio autorių darbai (Meier, Kauker, 2003).

Atskirai verta paminėti, kad stipresnė koreliacija ($r \geq -0,50$) tarp žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimų ir nagrinėtų vandens fizinių parametrų buvo nustatyta BMPJ01, BMPJ03, BMPJ13, BMPJ26 okeanografinėse stotyse, kuriose Baltijos jūros gylis yra beveik 200 m arba didesnis.

Nustatyti žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos ir Baltijos jūros vandens druskingumo svyravimų silpni arba vidutinio stiprumo ryšiai iš dalies leidžia paaiškinti druskingumo kaitą, tačiau neatskleidžia vandens temperatūros kaitos priežasčių. Autorių nuomone, tęsiant šiuos tyrimus ateityje vertėtų atlikti ne tik klimatinių atmosferos, bet ir Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros indeksų analizę, kuri, galbūt, leistų paaiškinti vandens temperatūros kaitos dėsnumus.

IŠVADOS

1. Atlikus Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo statistinę analizę nustatyta, kad daugelyje okeanografinių stočių buvo gauti nereikšmingi ($\alpha > 0,05$) vandens paviršiaus (išskyrus BMPJ13, BMPJ26 ir BMPK01 stočių) ir priedugnės (BMPJ39, BMPJ51 ir BMPK01 stočių) temperatūros teigiami trendai. Tačiau buvo nustatyti reikšmingi ($\alpha < 0,05$) vandens paviršiaus (išskyrus BMPJ03, BMPJ26) ir priedugnės (išskyrus BMPJ39, BMPJ51 stočių) druskingumo neigiami trendai.

2. Baltijos jūros centrinėje dalyje 1960–2009 m. hidrofiziniai parametrai kito cikliškai: nustatyti nereguliarūs temperatūros ciklai (6–9 metų) vandens paviršiuje ir geriau išreikšti (12–30 metų) priedugnėje, tuo tarpu druskingumo kaita tiek paviršiuje, tiek priedugnėje turi pastovų 40 metų ir ilgesnį ciklą.

3. 50 metų vandens temperatūros ir druskingumo vidutiniai metiniai svyravimai Baltijos jūros centrinėje dalyje silpnai susiję su sezoniniais ir metiniais žemo dažnio atmosferos svyravimais (NAO, AO). Egzistuoja žiemos prailginto sezono (gruodis–kovas) NAO, AO indeksų ir vidutinio metinio priedugnės vandens druskingumo stipresni tarpusavio ryšiai. Nustatyti žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos

ir Baltijos jūros vandens druskingumo svyravimų vidutinio stiprumo neigiami ryšiai ($r \geq -0,50$) gali būti sietini su padidėjusiu upių nuotėkiu ir intensyvesne konvekcine sąmaiša.

Gauta 2011 10 02

Priimta 2011 10 21

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. Buch E. 2002. Forecasting the Baltic. *Elsevier Oceanography Series, Operational Oceanography*. 66: 179–188.
3. Dailidienė I. 2007. Kuršių marių hidrologinio režimo pokyčiai. *Geografija*. 1(43): 36–46.
4. Dailidienė I., Davulienė L., Tilickis B., Stankevičius A., Myrberg K. 2006. Sea level variability at the Lithuanian coast of the Baltic Sea. *Boreal Environment Research*. 11: 109–121.
5. Fonselius S., Valderrama J. 2002. One hundred years of hydrographic measurements in the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*. 49: 229–241.
6. Gustafsson E. O., Omstedt O. E. 2009. Sensitivity of Baltic Sea deep water salinity and oxygen concentration to variations in physical forcing. *Boreal Environment Research*. 14: 18–30.
7. *International Council for the Exploration of the Sea*. 2011. <http://ocean.ices.dk/Helcom/>
8. Jalinskas P., Stankūnavičius G. 2004. Šiaurės Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros ryšys su atmosferos cirkuliacija virš Europos. *Geografijos metraštis*. 37(1–2): 5–17.
9. Koslowski G., Loewe P. 1994. The western Baltic sea ice season in terms of a mass-related severity index: 1987–1992. *Tellus*. 46A: 66–74.
10. Kraatz S. 2004. *Hydrographie und Wasseraustausch der Ostsee*. Geographisches Institut der Universität Kiel.
11. Leppärranta M., Myrberg K. 2009. Physical Oceanography of the Baltic Sea. *Springer*. 408.
12. Libiseller C. 2002. A Program for the Computation of Multivariate and Partial Mann–Kendall Test. *Linköping University, Department of Mathematics*.
13. 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.
14. Mažeika P. A. 2001. *Baltijos jūros hidrodinamika*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
15. Meier M., Kauker F. 2003. Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 2. Role of freshwater inflow and large scale atmospheric circulation of salinity. *Journal Geophysical Research*. 108(11): 3368, doi:10.1029/2003JC001799.
16. Mikhailov A. E., Mikhailov N. N. 1992. Meso scale fluctuations of the hydrological regime. In: Terziev F. S., Rozhkov V. A., Smirnova A. I. (eds.). 1992. *The Seas of the USSR. Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas of the USSR*. Vol. III. The Baltic Sea. Issue 1.

- Hydrometeorological Conditions. St. Petersburg: Gidro-meteoizdat. 450.
17. National Weather Service Climate Prediction Center. 2011. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
 18. Niros A., Vihma T., Launiainen J. 2003. Marine meteorological conditions and air-sea exchange processes over the northern Baltic Sea in 1990s. *Geophysica*. 38(1/2): 59–87.
 19. Omstedt A., Gustafsson B., Rodhe J., Walin G. 2000. Use of Baltic Sea modelling to investigate the water cycle and the heat balance in GCM and regional climate models. *Climate Research*. 15: 95–108.
 20. Omstedt A., Pettersen Ch., Rodhe J., Winsor P. 2004. Baltic Sea climate: 200 yr of data on air temperature, sea level variation, ice cover, and atmospheric circulation. *Climate Research*. 25: 205–216.
 21. Sakalauskas V. 2003. *Statistika su statistika*. Vilnius: Margi raštai.
 22. Sandø A. B., Furevik T. 2008. The relation between the wind stress curl in the North Atlantic and the Atlantic inflow to the Nordic Seas. *Journal Geophysical Research*. 113.
 23. 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.
 24. Seifert T., Kayser B. 1995. A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea. *Meerwissensch. Ber. Inst. fur Ostseeforschung. Warnemunde*. 9: 72–88.
 25. Smed J. 1990. Hydrographic investigations in the North Sea, Kategat and the Baltic before ICES. *Deutsche hydrographische Zeitschrift. Ergänzungscheft Reihe B* 22: 357–366.
 26. Stankūnavičius G. 2009. Ilgalaikių oro temperatūros ir kritulių anomalijų numatymo galimybės Lietuvoje. *Geografija*. 1(45): 33–43.
 27. Stankūnavičius G., Bartkevičienė G. 2002. Ekstremalios atmosferos cirkuliacijos sąlygos Atlante: slėgio ir geopotencialaus aukščio anomalijos. *Geografija*. 2(38): 5–13.
 28. Stankūnavičius G., Bartkevičienė G. 2003. Ekstremalios atmosferos cirkuliacijos sąlygos Šiaurės Atlante: oro temperatūros ir kritulių anomalijos Lietuvoje. *Geografijos metraštis*. 36(1): 18–33.
 29. Stigebrandt A., Gustafson B. G. 2003. Response of the Baltic Sea to climate change – theory and observations. *Journal of Sea Research*. 49: 243–256.
 30. Stigebrandt A., Gustafson B. 2007. Improvement of Baltic Sea water quality using large-scale ecological engineering. *Ambio*. 36: 280–286.
 31. Tinz B. 1996. On the relation between annual maximum ice extent of the ice cover in the Baltic sea and sea level pressure as well as temperature field. *Geophysica*. 32(3): 319–341.
 32. UNESCO, 1983. Unesco technical papers in marine science 44. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *Endorsed by UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards and SCOR Working Group 51*.
 33. Vuorinen I., Hänninen J., Kornilovs G. 2003. Transfer-time function modelling between environmental variation and mesozooplankton in the Baltic Sea. *Progress in Oceanography*. 59: 339–356.

Asta Bajerčiūtė, Donatas Pupienis

SEA TEMPERATURE AND SALINITY CHANGE IN THE BALTIC PROPER DURING 1960–2009

Summary

Over the recent years, scientific research has shown that various parameters such as water temperature, salinity, river runoff, sea level, etc, have been changing. The main two reasons for the changes are the Baltic Sea natural variability and human impact on climate change which affect the climate of the Baltic Sea; also, this is one of the fundamental subjects of climate change debate. This paper investigates the sea temperature and salinity change in 1960–2009 in the Baltic Proper.

For the observation period, an increase in water temperature and a decreasing trend for water salinity were established. A comparison of the surface and bottom water temperature and salinity change cycles has shown that the cycles of temperature and salinity changes are better expressed at the bottom than on the surface and last 12 to 30 years. The cycle of sea bottom salinity change, like on the surface, lasts 40 years or more.

The study has revealed weak or very weak links between the traditional seasonal (winter, spring, summer, autumn) and annual NAO, AO indices and the mean annual sea water temperature and salinity data in the Baltic Sea. Moderate negative correlational relationships have been established between the extended winter season (December–March), the NAO, AO indices and the bottom water salinity in the Baltic Sea.

Key words: the Baltic Sea, water salinity, water temperature, cycles, NAO and AO indices