

Tolimųjų klimatodaros ryšių poveikis Baltijos jūros vandens temperatūrai ir druskingumui

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. Tolimųjų klimatodaros ryšių poveikis Baltijos jūros vandens temperatūrai ir druskingumui. *Geografija*. T. 48(1). ISSN 1392-1096.

Naujausių tyrimų duomenimis, Baltijos jūra, nors ir yra pusiau uždara Šiaurės Atlanto baseino jūra, tačiau pasižymi įvairių hidrofizinių bei hidrocheminių parametrų kintamumu. Jau daugiau kaip 100 metų stebint vandens temperatūros ir druskingumo pokyčius, nustatyta, kad termohalinis režimas pradėjo keistis: nustatyti vandens temperatūros augimo ir vandens druskingumo mažėjimo trendai. Baltijos šalių mokslininkai atkreipia visuomenės dėmesį į galimus Baltijos jūros hidrologinės struktūros, vandens balanso pokyčius, susijusius su klimato kaita. Šiame straipsnyje analizuojama žemo dažnio atmosferos ir Atlanto bei Ramiojo vandenynų paviršiaus temperatūros svyravimų poveikis Centrinės Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo pokyčiams 1960–2009 metų laikotarpiu.

Ankstesni tyrimai parodė, kad tarp Baltijos jūros vandens temperatūros, druskingumo ir NAO bei AO indeksų egzistuoja silpni ryšiai, kurie veikia Baltijos regioną. Pastaruoju metu mokslininkai nustatė, kad Baltijos jūros hidrofiziniai ir cheminiai parametrai yra veikiami tolimųjų klimatodaros ryšių (*teleconnection*). Šiame darbe nustatyti silpni tarpusavio ryšiai tarp daugiametės Baltijos jūros vandens stulpo vidutinės temperatūros bei druskingumo ir sezoninių, metinių Atlanto vandenyno indeksų. Stipriausi tarpusavio ryšiai egzistuoja žiemos sezonu tarp vandens temperatūros ir NAO ($0,36 \geq r \leq 0,45$), AMM ($0,37 \geq r \leq 0,40$) bei tarp vandens druskingumo ir NAO ($-0,38 \geq r \leq -0,51$), PNA ($0,27 \geq r \leq 0,34$). Ryšiai su Ramiojo vandenyno indeksu ONI yra labai silpni ($r \leq -0,32$).

Raktažodžiai: Baltijos jūra, vandens druskingumas, vandens temperatūra, tolimieji klimatodaros ryšiai

ĮVADAS

Remiantis ankstesniais tyrimais nustatyta, kad per paskutinius 50 metų Baltijos jūros paviršiaus temperatūra (SST) didėja nuo 0,14 iki 1,16 °C, o druskingumas mažėja nuo –0,01 iki –0,32 ‰ (Bajerčiūtė ir kt., 2011; Bajerčiūtė, Pupienis, 2011). Vandens paviršiaus ir priedugnio temperatūros kilimas susijęs su globaliai kylančia oro temperatūra (Leppärranta, Myrberg, 2009), kurios kaita priklauso nuo šilumos prietakos iš atmosferos, Šiaurės jūros vandenų prietakos (Fonse-

lius, Valderrama, 2002) ir vertikalios sąmaišos (Mikhailov, Mikhailov, 1992). Tarpinių vandenų temperatūros kaita priklauso nuo vertikalios sąmaišos (difuzija, konvekcija) (Mikhailov, Mikhailov, 1992). Baltijos jūros vandens druskingumo kaita didžia dalimi yra sąlygojama Šiaurės jūros druskingo vandens prietakos, gėlo upių vandens nuotėkio ir vertikalios sąmaišos, o krituliai, garavimas, ledo susidarymas atviroje jūroje didesnio vaidmens ne vaidina (Kraatz, 2004).

Atsižvelgiant į tai, kad Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo parametrų kaitą

didžia dalimi lemia šilumos balansas (Omstedt ir kt., 2004), be to, žinant, kad egzistuoja silpni tarpusavio ryšiai tarp žemo dažnio atmosferos svyravimų (NAO – *North Atlantic oscillation* – Šiaurės Atlanto osciliacija, AO – *Arctic oscillation* – Arkties osciliacija) ir Baltijos jūros centrinės dalies paviršiaus ir priedugnio vandens temperatūros bei druskingumo kaitos (Bajerčiūtė, Pupienis, 2011), darbe buvo siekiama įvertinti tolimųjų klimatodaros ryšių poveikį Baltijos jūros sistemai.

Pastaruoju metu ypač didelis dėmesys yra skiriamas atmosferos ir vandenyno sąveikai (Hurrell, Van Loon, 1997; Watanabe, Nitta, 1999; Stankūnavičius, Jalinskas, 2004 ir kt.), kurią detaliau išanalizuoti galima remiantis įvairiais atmosferos ir vandenyno indeksais, kaip ONI (*Ocean Nino index* – Vandenyno Nino indeksas), AMM (*Atlantic Meridional Mode* – Atlanto meridianinio lauko indeksas), AMO (*Atlantic multidecadal oscillation* – Atlanto multidekadinės osciliacijos indeksas) ir kt. (1 lentelė). Pasak C. Deser ir M. S. Timblin (1997), tropikų Ramiojo vandenyno vandens paviršiaus temperatūros anomalijos keičia Šiaurės Ramiojo vandenyno atmosferos cirkuliaciją, kuri lemia ne tik Šiaurės Amerikos, bet ir tolimesnių regionų klimatą. Mokslininkai J. Lu, R. J. Greatbatch ir K. A. Peterson (2004) taip pat nustatė, kad vandens paviršiaus temperatūros anomalijos Ramiojo vandenyno tropikuose gali paveikti Šiaurės Atlanto sektorių, o esant stipriai meridianinei cirkuliacijai, susiformuoja stipresni ir dažnesni tropiniai ciklonai vakarinėje Atlanto vandenyno dalyje. Todėl suintensyvėja ir į šiaurę pasislenka audrų takas Atlante (Hurrell, Van Loon, 1997; Chiang, Vimont, 2004; Vimont, Kossin, 2007), o tai lemia drėgnesnes sąlygas Baltijos regione. Atsižvelgiant į įvairių mokslininkų tyrimų duomenis bei remiantis atliktos koreliacinės analizės rezultatais, darbe analizuojamas tolimųjų ryšių poveikis Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai.

Didelio masto atmosferos pokyčiai yra tarpiai susiję su daugiamečiais vandenyno pokyčiais Šiaurės Atlanto (Sarafanov, 2009) bei Baltijos regione (Dailidienė ir kt., 2006; Bajerčiūtė, Pupienis, 2011), kurie ypatingai pasireiškia šaltuoju metų laikotarpiu (Jalinskas, Stankūnavičius, 2004; Stankūnavičius, 2009). Šiame darbe didesnis dėmesys skiriamas detalesnei tolimųjų klimatodaros ryšių

analizei ir jos ryšių su Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros bei druskingumo kaitos interpretavimui. Detalesnis šios akvatorijos ištyrimas gali būti naudingas vykdant įvairių Baltijos jūros sistemos modeliavimą.

Straipsnio tikslas yra nustatyti ir išanalizuoti tolimųjų ryšių poveikį Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai centrinėje dalyje.

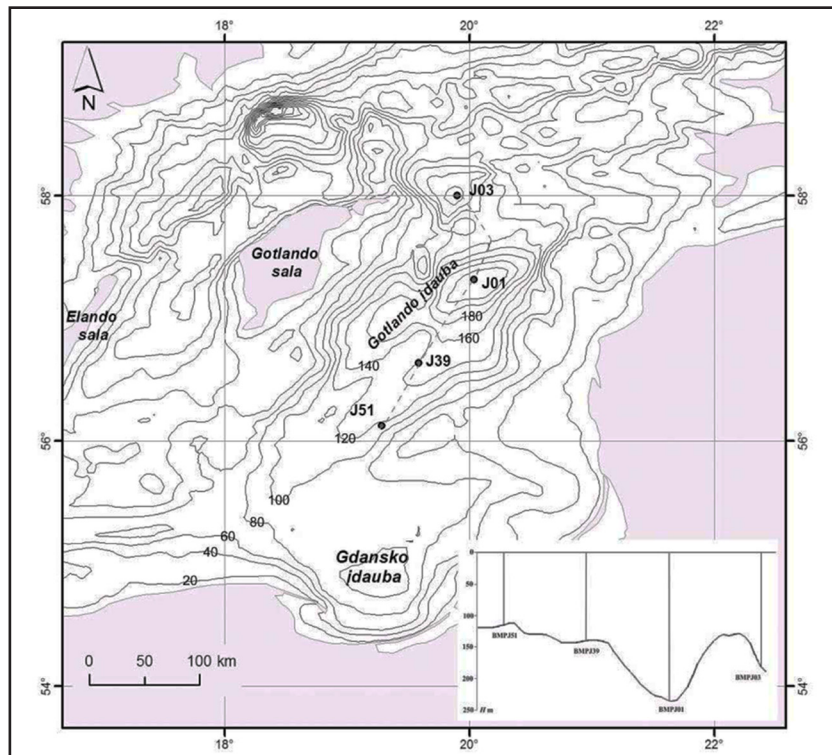
DUOMENYS IR METODIKA

Tyrimų rajonas – centrinė Baltijos jūros akvatorija, apimanti rytinę Gotlando baseino dalį (1 pav.), kuri yra apribota šiomis koordinatėmis: šiaurinėje dalyje 58°00' ir pietinėje – 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 (Seifert, Kayser, 1995).

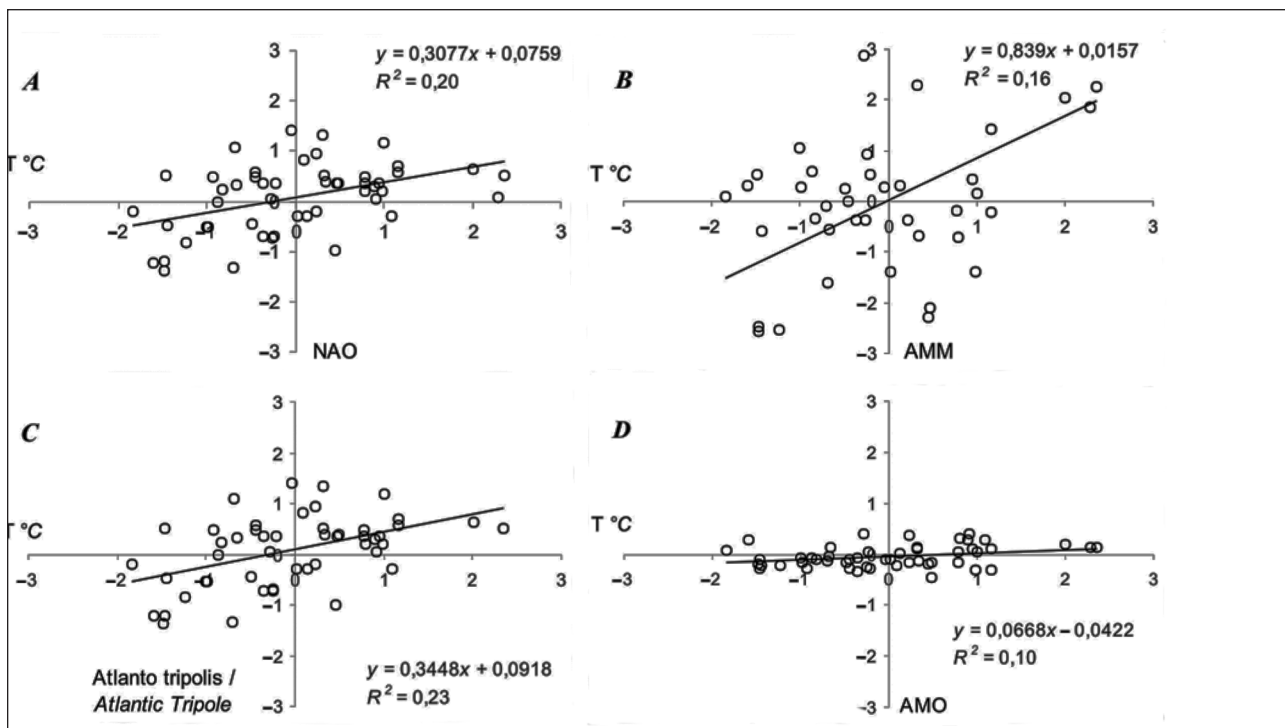
Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaitai 1960–2009 m. apibūdinti iš Tarptautinės jūrų tyrimų tarybos ICES internetinės duomenų bazės (<http://ocean.ices.dk/Helcom/>) buvo atrinkti duomenys iš 4 okeanografinių stočių (J01, J03, J39, J51), kuriose per tiriamąjį laikotarpį buvo atlikta daugiausiai vandens temperatūros ir druskingumo matavimų.

Darbe naudoti visos vandens stovymės vandens temperatūros ir druskingumo matavimų duomenys, išskyrus paviršinį sluoksnį (0–15 m gylis). Paviršinis sluoksnis nebuvo analizuojamas, kadangi čia vyksta intensyvi vertikali ir horizontali dinamika (Žaromskis, Pupienis, 2003; Pupienis ir kt., 2007). Šiame darbe analizuojami Baltijos jūros vandens stulpo vidutinė temperatūra (T_{20-H}^-) ir druskingumas (S_{20-H}^-), kurie buvo apskaičiuoti kiekvienoje okeanografinėje stotyje atsižvelgiant į Baltijos jūros gylį (2 pav.). Vandens stulpo vidutinė temperatūra ir druskingumas buvo apskaičiuoti išvedus vidurkį iš 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250 m gylio vandens horizontų.

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.



1 pav. Baltijos jūros centrinės dalies batimetrinis žemėlapis. Punktyrinė linija – išilginis dugno reljefo profilis. Taškai pažymėtos okeanografinės stotys. Izobatos išvestos kas 20 m (Seifert, Kayser, 1995)
Fig. 1. The Baltic Proper bathymetric map. Dashed line – longitudinal bottom profile. Points – oceanographic stations. Isobaths drawn every 20 m (Seifert, Kayser, 1995)



2 pav. Ryšio grafikai tarp standartizuotų Baltijos jūros vandens stulpo temperatūros reikšmių ir NAO (A), AMM (B), Atlanto Tripolio (C) ir AMO (D) indeksų
Fig. 2. Relation between standardized Baltic Sea water's column temperature values and NAO (A), AMM (B), Atlantic Tripole (C) and AMO (D) indices

Sąvoka „vienu laiku“ vartojama, kai duomenys, surinkti okeanografinių stočių tinkle, apima dienas ir savaites, bet atliekant jų analizę tariama, kad jie yra sinoptiniai (gauti tuo pačiu metu) (Mažeika, 2001; Bajerčiūtė ir kt., 2011). Atrinkti vandens temperatūros ir druskingumo duomenys buvo apdoroti automatinė 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. Tokiu būdu buvo sudarytos metinės 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 J01 okeanografinės stoties duomenimis, prieš tai atlikus visų stočių duomenų sekų koreliacinę analizę. Atstatinėjant duomenų sekas buvo taikytas ryšio grafiko metodas. Pirmiausia buvo brėžiama ryšio taškus aproksimuojanči 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.

Baltijos jūros vandens stulpo vidutiniai temperatūros ir druskingumo svyravimai buvo analizuojami apskaičiuojant minėtų parametrų standartizuotas reikšmes pagal lygtį:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma};$$

čia z_i – standartizuota reikšmė, \bar{x} – vidurkis ir σ – standartinis nuokrypis (Sakalauskas, 2003).

Vandens temperatūros ir druskingumo priklausomybė nuo klimatinės atmosferos ir vandenyno indeksų įvertinta apskaičiuojant koreliacijos koeficientus ir sudarius ryšio grafikus. Koreliacijos statistinis duomenų patikimumas buvo vertinimas 95 % ir 99 % lygmeniu. Koreliaciniai ryšiai laikyti patikimais, kai koreliacijos koeficientas $r = 0,23$ (95 % patikimumas) ir $r = 0,33$ (99 % patikimumas) (<http://www.gifted.uconn.edu/siegle/research/Correlation/corrchrt.htm>). Klimatiniai indeksai (NAO, Atlantic Tripole (AT), AMO, AMM, PNA, ONI) (1 lentelė) buvo atrinkti iš Nacionalinės orų tarnybos Klimato prognozių centro NOAA CPC (*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 ir vandenyno indeksų,

1 lentelė. Tiriamų indeksų charakteristikos

Table 1. Characteristics of the investigated indices

Indeksas / Index	Parametras / Parameter	Regionas / Region	Šaltinis / Source	
NAO	Šiaurės Atlanto osciliacija / North Atlantic oscillation	Standartizuotos geopotencialio aukščio anomalijos 500 hPa aukštyje / Standardized geopotential height anomalies 500 hPa height	20° š. pl. – 90° š. pl.	NOAA CPC, 2012
Atlanto Tripolis (AT)	Atlanto Tripolis / Atlantic Tripole	Standartizuotos SST anomalijos / Standardized SST anomalies	10°–70° š. pl. ir 0°–180° v. ilg.	Deser, Timlin, 1997
AMO	Atlanto multidekadinė osciliacija / Atlantic multidecadal oscillation	Standartizuotos SST anomalijos / Standardized SST anomalies	0°–70° š. pl.	Enfield, Mestas-Nunez, Trimble, 2001
AMM	Atlanto meridianinis laukas / Atlantic Meridional Mode	Normalizuotos SST anomalijos / Normalized SST anomalies	21° p. pl. – 32° š. pl. ir 74° v. ilg. – 15° r. ilg.	Chiang, Vimont, 2004
PNA	Ramiojo vandenyno – Šiaurės Amerikos forma / Pacific – North American pattern	Standartizuotos geopotencialio aukščio anomalijos 500 hPa aukštyje / Standardized geopotential height anomalies 500 hPa height	20° š. pl. – 90° š. pl.	NOAA CPC, 2012
ONI	Vandenyno Nino indeksas / Ocean Nino index	Standartizuotos SST anomalijos / Standardized SST anomalies	5° p. pl. – 5° š. pl., 120° – 170° v. ilg.	NOAA CPC, 2012

tyrimui buvo pasirinkti sezoniniai: žiemos (gruodis–vasaris), pavasario (kovas–gegužė), vasaros (birželis–rugpjūtis) ir rudens (rugsėjis–lapkritis) duomenys. Atsižvelgiant į kitų autorių rekomendacijas (Dailidienė ir kt., 2006; Dailidienė, 2007), atskirai analizuoti klimatiniai indeksai, kai žiemos sezonui (gruodis–vasaris) dar buvo priskirtas ir kovas.

REZULTATAI

Centrinės Baltijos jūros vandens temperatūros ir druskingumo kaita vyksta cikliška. Vandens paviršiaus druskingumo kaita turi ryškų 40 metų ciklą, o temperatūra 6–9 metų ciklus, o priedugnyje šie ciklai labiau išreikšti ir trunka ilgiau (Bajerčiūtė, Pupienis, 2011). Tačiau per analizuojamą 1960–2009 m. laikotarpį pasitaikė metų, kuomet buvo fiksuotos ekstremalios vandens paviršiaus (10,43–12,09 °C) ir priedugnio (6,51–7,26 °C) temperatūros, kai vidutinė daugiametė temperatūra paviršiuje siekė 8,61 °C, o priedugnyje – 5,44 °C. Taip pat nustatytos ekstremaliai sumažėjusios paviršiaus (6,04–6,94 ‰) ir priedugnio (12,3–12,46 ‰) druskingumo reikšmės, kuomet vidutinis daugiametis druskingumas paviršiuje 7,31 ‰, o priedugnyje 11,63 ‰. Anomaliai pakitusios temperatūros ar druskingumo reikšmės gali būti sietinos su sustiprėjusia ar susilpnėjusia tolimųjų klimatodaros ryšių įtaka (Deser, Timlin, 1997; Vimont, Kossin, 2007).

Pavyzdžiui, 1965, 1976, 1986, 1987 m. buvo itin šaltos žiemos (Koslowski, Loewe, 1994; Helcom, 2012), kurios turėjo įtakos sezoniniams ir kartu metiniams Baltijos jūros šilumos ir vandens balanso pokyčiams. Minėtus pokyčius lėmė didelio masto atmosferos ir / arba vandenyno cirkuliacijos anomalijos, paprastai trunkančios ilgiau nei vieno konkretaus sinoptinio darinio vystymosi ciklas (nuo vienos savaitės iki sezono ar ilgiau) (Stankūnavičius, 2009).

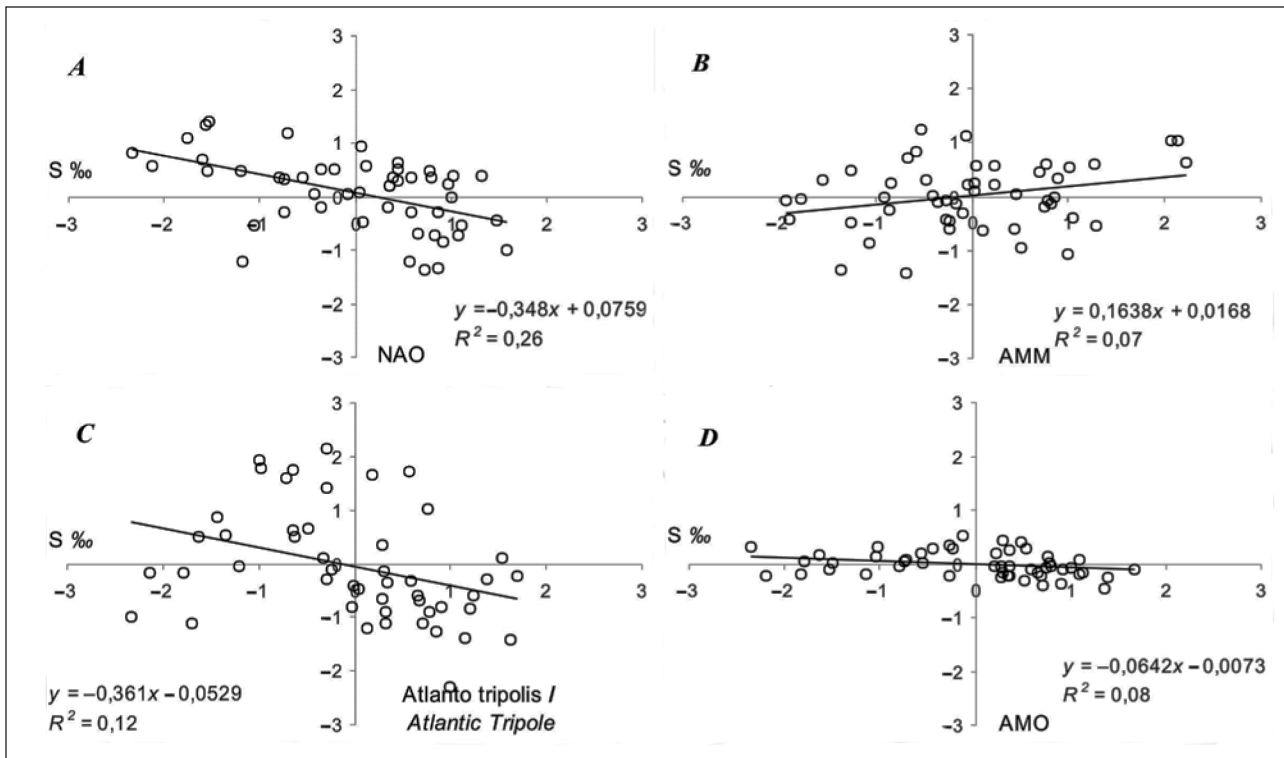
Atlikta koreliacinė analizė (2 lentelė) ir sudaryti ryšio grafikai (3 pav.) parodė, kad stipriausi teigiami tarpusavio ryšiai egzistuoja tarp Baltijos jūros centrinės dalies standartizuotų vandens stulpo temperatūros metinių reikšmių ir NAO ($0,36 \geq r \leq 0,45$). Silpniesni teigiami koreliaciniai ryšiai fiksuojami tarp standartizuotų vandens stulpo temperatūros reikšmių ir Atlanto vandenyno indeksų: Atlanto Tripolio ($0,30 \geq r \leq 0,37$), AMM ($0,37 \geq r \leq 0,40$), AMO ($0,26 \geq r \leq 0,32$) bei PNA ($r \leq 0,27$). Tarpusavio ryšiai yra tarp standartizuotų vandens stulpo temperatūros reikšmių ir Ramiojo vandenyno indekso ONI ($r \leq -0,22$) neegzistuoja.

Stipriausi neigiami koreliaciniai ryšiai tarp Baltijos jūros standartizuotų vandens stulpo druskingumo reikšmių egzistuoja su NAO ($-0,38 \geq r \leq -0,51$), silpniesni su ONI ($-0,25 \geq r \leq -0,32$), AMO ($-0,26 \geq r \leq -0,29$) ir Atlanto Tripolio ($r \leq -0,27$). Teigiami tarpusavio ryšiai fiksuojami tarp standartizuotų vandens stulpo druskingumo reikšmių ir

2 lentelė. Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo koreliacijos su atmosferos ir vandenyno indeksais koeficientai 1960–2009 m. Skaičiai rodo koreliacijos koeficiento r stiprumą (95 % ir 99 % patikimumo lygmuo)

Table 2. Coefficients of correlation between water temperature and salinity in the Baltic Proper and atmospheric and oceanic indices 1960–2009. The figures show the strength of correlation coefficient (r), italic figures – 95% significant level and bold figures – 99% significant level

Stotis Station	Gylis Depth	Parametras Parameter	Indeksas / Index					
			NAO	Atlanto Tripolis	AMO	AMM	PNA	ONI
BMPJ01	20–250 m	T	0,36	<i>0,30</i>	<i>0,31</i>	0,38	<i>0,27</i>	<i>-0,16</i>
		S	-0,38	<i>-0,22</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,12</i>	<i>0,29</i>	<i>-0,25</i>
BMPJ03	20–200 m	T	0,45	0,37	<i>0,32</i>	0,40	<i>0,22</i>	<i>-0,19</i>
		S	-0,51	<i>-0,22</i>	<i>-0,26</i>	<i>-0,14</i>	0,34	<i>-0,30</i>
BMPJ39	20–100 m	T	0,43	0,35	<i>0,31</i>	0,38	<i>0,12</i>	<i>-0,22</i>
		S	-0,49	<i>-0,27</i>	<i>-0,27</i>	<i>-0,17</i>	<i>0,29</i>	<i>-0,32</i>
BMPJ51	20–100 m	T	0,45	0,37	<i>0,26</i>	0,37	<i>0,14</i>	<i>-0,15</i>
		S	-0,48	<i>-0,27</i>	<i>-0,29</i>	<i>-0,19</i>	<i>0,27</i>	<i>-0,31</i>



3 pav. Ryšio grafikai tarp standartizuotų Baltijos jūros vandens stulpo druskingumo reikšmių ir NAO (A), PNA (B), Atlanto Tripolio (C) ir AMO (D) indeksų

Fig. 3. Relation between standardized Baltic Sea water's column salinity values and NAO (A), PNA (B), Atlantic Tripole (C) and AMO (D) indices

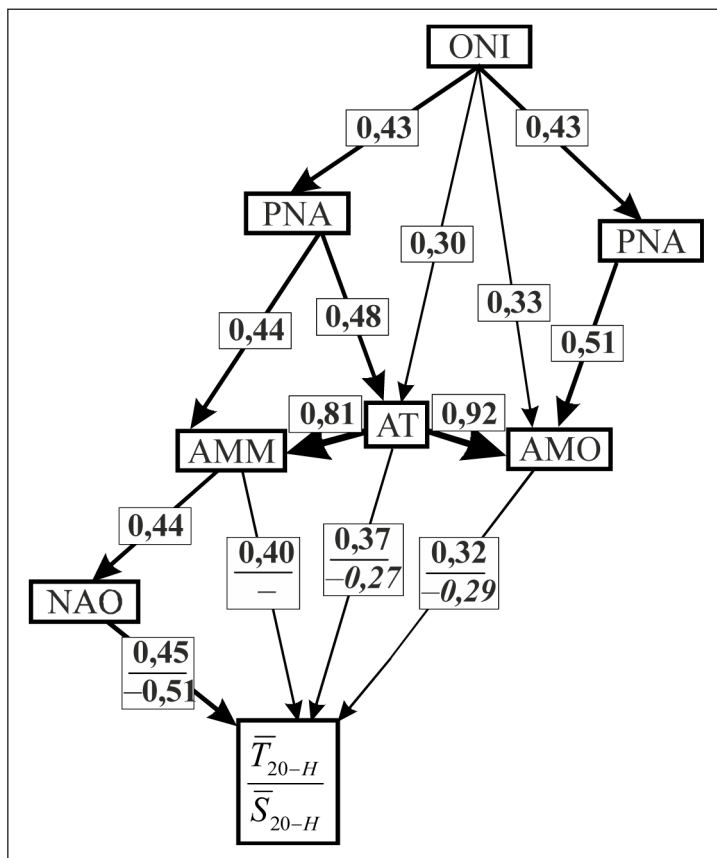
PNA ($0,29 \geq r \leq 0,34$), o koreliaciniai ryšiai tarp standartizuotų vandens stulpo druskingumo reikšmių ir AMM neegzistuoja ($r \leq -0,19$).

Anksčiau atlikti tyrimai parodė, kad neigiamas NAO indeksas lemia šiaurės krypties vėjus (Niros ir kt., 2003), o esant teigiamam NAO indeksui sustiprėja vakarų vėjai (Stankūnavičius, Bartkevičienė, 2003), kurie atneša drėgnas oro mases į Baltijos regioną (padidėja kritulių kiekis ir upių nuotėkis). Taigi Baltijos jūroje pakyla vandens lygis ir išsilaiško ilgesnį nei įprasta laiko tarpą (Visbeck ir kt., 2001), tuomet padidėja vandens druskingumo gradientai tarp viršutinio ir giluminių Baltijos jūros sluoksnių (viršutinis vandens sluoksnis gėlėja) – stabdoma vertikali sąmaiša.

Per paskutinį dešimtmetį atlikti tyrimai įrodė, kad tarp atmosferos ir vandenyno egzistuoja stiprūs ryšiai, kurie gali lemti klimato ir oro sąlygas ne tik jų veikimo regione, bet daryti poveikį ir nutolusiose srityse (Deser, Timblin, 1997; Hurrell, Van Loon, 1997; Lu ir kt., 2004). Šiuo metu didelis dėmesys skiriamas Ramiojo vandenyno tropikų

vandens paviršiaus temperatūros kaitai, kuri veikia atmosferos cirkuliaciją (Chang, Vimont, 2004; Lu ir kt., 2004), todėl galima manyti, kad tolimųjų klimatodaros ryšių signalą galima atsekti ir Baltijos jūros hidrofizinių bei hidrocheminių parametru svyravimuose. Tarp Baltijos jūros vandens stulpo standartizuotų druskingumo reikšmių ir Ramiojo vandenyno indekso (ONI) egzistuoja silpni ir labai silpni, tačiau reikšmingi koreliaciniai ryšiai (2 lentelė). Remiantis koreliacinės analizės rezultatais, buvo sudarytos galimos tolimųjų ryšių sklaidimo schemos ir įvertinta, kaip tolimųjų ryšių signalas galėtų pasiekti Baltijos jūros regioną (4 pav.).

Gauti rezultatai rodo, kad egzistuoja teigiami koreliaciniai ryšiai tarp įvairių atmosferos oscilacijų ir įvairių vandenyno indeksų svyravimų, kai stipriausi tarpusavio ryšiai fiksuojami tarp panašiam veikimo regione esančių indeksų ir esant žiemos laikotarpiui (gruodis–vasaris), pavyzdžiui, tarp AMO ir AMM ($r = 0,81$), AMO ir Atlanto Tripolis ($r = 0,93$), AMM ir Atlanto Tripolis ($r = 0,82$) (4 pav.). Taip pat nustatyta, kad tarp



4 pav. Tolimųjų klimatodaros ryšių įtaka Baltijos jūros vandens temperatūrai ir druskingumui (signalo sklaidimo schema). Rodyklės žymi indeksų tarpusavio priklausomybę. Skaičiai rodo koreliacijos koeficiento r stiprumą (95 % ir 99 % patikimumo lygmuo)

Fig. 4. Influence of long-distance climate teleconnection on the Baltic Sea water temperature and salinity (scheme for signal propagation). Arrows indicate the indices' interdependence. The figures show the strength of correlation coefficient (r), italic figures – 95% significant level and bold figures – 99% significant level

atskirų indeksų egzistuoja tam tikras vėlavimas, tai rodo, kad pokyčiai viename regione kitą pasiekia po tam tikro laiko. Pavyzdžiui, signalas iš Ramiojo vandenyno Atlantą pasiekia po 3–4 mėnesių, o Baltijos jūros akvatoriją pasiekia tik po 5–7 mėnesių.

Atlikti užsienio šalių mokslininkų tyrimai rodo, kad Ramiojo vandenyno tropikų / subtropikų vandens paviršiaus temperatūrų anomalijos turi didelį poveikį Šiaurės Ramiojo vandenyno atmosferos cirkuliacijai (Deser, Timblin, 1997; Hurrell, Van Loon, 1997; Watanabe, Nitta, 1999). Nustatyta, kad esant El Nino fazei, gilėja Aleutų žemo slėgio sritis (susidaro šiltos ir sausos sąlygos vakarinėje JAV dalyje), taip pat susilpnėjęs ir pasislinkęs į pie-

tus audrų takas Atlanto vandenyne lemia sausesnes sąlygas Šiaurės Europoje (Lu ir kt., 2004), kartu ir Baltijos regione. Esant stipriai La Nina fazei prie Pietų Amerikos, padažnėja tropinių audrų ir uraganų susidarymas, intensyvesnis ir pasislinkęs į šiaurę audrų takas Atlante bei stipresnė meridianainė cirkuliacija lemia drėgnesnes sąlygas Šiaurės Europoje (Lu ir kt., 2004; Chang, Vimont, 2004). Tada iškrenta daugiau kritulių, padidėja upių nuotėkis, mažėja paviršiaus druskingumas Baltijos jūroje. Tokios sąlygos lemia ir didesnę druskingų prietakų iš Šiaurės jūros tikimybę, dėl ko gali didėti priedugnio druskingumas.

Taip pat nustatyta, kad Ramiojo vandenyno tropikų vandens paviršiaus temperatūros pokyčiai

(esant teigiamiems Atlanto vandenyno indeksams) turi įtakos Golfo srovės pagreitėjimui, kuris savo ruožtu sustiprina meridianinę cirkuliaciją, taip tiesiogiai veikiamas Pietų ir Šiaurės Atlanto sektorius ir fiksuojami stipresni bei dažnesni tropiniai ciklonai vakarinėje Atlanto vandenyno dalyje ir drėgnesnės sąlygos Europoje (Lu ir kt., 2004; Chang, Vimont, 2004).

Nustatyti silpni tarpusavio ryšiai tarp žemo dažnio atmosferos osciliacijos bei vandenynų indeksų ir Baltijos jūros vandens stulpo temperatūros bei druskingumo svyravimų iš dalies leidžia paaiškinti tiriamų parametru kaitą, tačiau ne visiškai atskleidžia kaitos priežastis. Atmosfera ir hidrosfera yra judriosios klimato sistemos terpės, turinčios savitą cirkuliaciją, kurią gali lemti kintantys vidiniai ir išoriniai veiksniai. Taip pat kuo tolimesnio regiono pokyčius norime susieti su Baltijos jūros tiriamų parametru pokyčiais, tuo daugiau klimato triukšmo atsiranda duomenų sekose, todėl tolimųjų ryšių signalas tampa silpnas (Von Storch ir kt., 2004). Be to, Baltijos jūros centrinės dalies parametru kaitą lemia ne tik atmosferos ir vandenynų cirkuliacijos svyravimai, tačiau ir hidrometeorologinių parametru kaita, pvz., kritulių kiekis, upių nuotėkis ir garavimas. Autorių nuomone, ateityje reikia tęsti šiuos tyrimus ir atlikti detalesnę analizę, kuri, galbūt, leistų tiksliai paaiškinti vandens temperatūros ir druskingumo kaitos dėsningumus.

IŠVADOS

50 metų vandens temperatūros ir druskingumo vidutiniai metiniai svyravimai Baltijos jūros centrinėje dalyje silpnai susiję su sezoniniais ir metiniais žemo dažnio atmosferos svyravimais, kurie pagal poveikio zoną artimi Baltijos jūros regionui (NAO, AO). Egzistuoja žiemos prailginto sezono (gruodis–kovas) NAO, AO indeksų vidutinės metinės vandens temperatūros ($0,36 \geq r \leq 0,45$) bei vandens druskingumo ($-0,38 \geq r \leq -0,51$) stipresni tarpusavio ryšiai. Nustatyti žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos ir Baltijos jūros vandens druskingumo svyravimų vidutinio stiprumo neigiami ryšiai ($r \leq -0,51$) gali būti sietini su padidėjusiu upių nuotėkiu ir intensyvesne konvekcine sąmaiša.

Atlikus koreliacinę analizę tarp Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo bei tolimųjų indeksų kaitos, nustatyta, kad stipriausi tarpusavio ryšiai egzistuoja su Atlanto

vandenyno indeksais: AMO ($-0,26 \geq r \leq -0,29$), Atlanto Tripoliu ($r \leq -0,27$) ir Ramiojo vandenyno indeksu ONI ($-0,25 \geq r \leq 0,32$); o tarp vandens temperatūros stipriausi tarpusavio ryšiai fiksuojami su Atlanto Tripoliu ($-0,30 \geq r \leq 0,37$), AMM ($0,37 \geq r \leq 0,40$), AMO ($0,26 \geq r \leq 0,32$). Tarpusavio ryšiai su Ramiojo vandenyno indeksais ir Baltijos jūros vandens druskingumu ar temperatūra yra labai silpni arba visai neegzistuoja ($-0,29 \geq r \leq 0,31$).

Gauta 2012 02 02
Priimta 2012 05 08

LITERATŪRA

1. Bajerčiūtė A., Pupienis D. 2011. Baltijos jūros centrinės dalies vandens temperatūros ir druskingumo kaita 1960–2009 m. *Geografija*. 47(2): 107–116.
2. 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.
3. Chiang J. C. H., Vimont D. J. 2004. Analogous Pacific and Atlantic Meridional Modes of Tropical Atmosphere–Ocean Variability. *American Meteorological Society*. 17: 4143–4158.
4. Dailidienė I. 2007. Kuršių marių hidrologinio režimo pokyčiai. *Geografija*. 1(43): 36–46.
5. 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.
6. Deser C., Timlin M. S. 1997. Atmosphere–Ocean Interaction on Weekly Timescales in the North Atlantic and Pacific. *American Meteorological Society*. 10: 393–408.
7. Enfield D. B., Mestas-Nunez A. M., Trimble P. J. 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U. S. *Geophysical Research Letters*. 28: 2077–2080.
8. Fonselius S., Valderrama J. 2002. One hundred years of hydrographic measurements in the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*. 49: 229–241.
9. *Helsinki Commission*. 2012 (žiūrėta 2012 03 20). <http://www.helcom.fi/>
10. Hurrell J. W., Van Loon H. 1997. Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*. 36: 301–326.
11. *International Council for the Exploration of the Sea*. 2012 (žiūrėta 2010 11 16). <http://ocean.ices.dk/Helcom/>
12. Jalinskas P., Stankūnavičius G. 2004. Šiaurės Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros ryšys su

- atmosferos cirkuliacija virš Europos. *Geografijos metraštis*. 37(1–2): 5–17.
13. Koslowski G., Loewe P. 1994. The western Baltic sea ice season in terms of a mass-related severity index: 1879–1992. *Tellus A*. 46(1): 66–77.
 14. Kraatz S. 2004. *Hydrographie und Wasseraustausch der Ostsee*. Geographisches Institut der Universität Kiel.
 15. Lehmann A., Getzlaff K., Harlab J. 2011. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009. *Clim Res*. 46: 185–196.
 16. Leppärranta M., Myrberg K. 2009. *Physical Oceanography of the Baltic Sea*. Springer. 408.
 17. Libiseller C. 2002. A Program for the Computation of Multivariate and Partial Mann–Kendall Test. *Linköping University, Department of Mathematics*.
 18. Lu J., Greatbatch R. J., Peterson K. A. 2004. Trend in Northern Hemisphere Winter Atmospheric Circulation during the Last Half of the Twentieth Century. *American Meteorological Society*. 17: 3745–3760.
 19. Mažeika P. A. 2001. *Baltijos jūros hidrodinamika*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
 20. Mikhailov A. E., Mikhailov N. N. 1992. Meso scale fluctuations of the hydrological regime. In: F. S. Terziev, V. A. Rozhkov, A. I. Smirnova (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: Gidrometeoizdat. 450.
 21. *National Weather Service Climate Prediction Center*. 2011 (žiūrėta 2012 03 06). <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
 22. 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.
 23. 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.
 24. Overland J. E., Wang M. 2005. The Arctic climate paradox: The recent decrease of the Arctic Oscillation. *Geophysical Research Letters*. Doi:10.1029/2004GL021752.
 25. Pupienis D., Jalinskas P., Vyšniauskas I. 2007. The influence of currents on possible dispersion of oil products in the South-East Baltic. *Acta zoologica Lituanica*. 17(2): 160–171.
 26. 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.
 27. Seifert T., Kayser B. 1995. A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea. *Meerwissensch. Ber. Inst. für Ostseeforschung. Warnemunde*. 9: 72–88.
 28. Stankūnavičius G. 2009. Ilgalaikių oro temperatūros ir kritulių anomalijų numatymo galimybės Lietuvoje. *Geografija*. 1(45): 33–43.
 29. Stankūnavičius G., Bartkevičienė G. 2003. Ekstremalios atmosferos cirkuliacijos sąlygos Šiaurės Atlante: oro temperatūros ir kritulių anomalijos Lietuvoje. *Geografijos metraštis*. 36(1): 18–33.
 30. Thomson D. W., Wallace J. M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*. 25(9): 1297–1300.
 31. Van Storch H., Zorita H., Jones J. M., Gonzalez-Rouco F., Tett S. F. B. 2004. Reconstructing Past Climate from Noisy Data. *Science* 22. 306: 679–682.
 32. Vimont D. J., Kossin J. P. 2007. The Atlantic Meridional Mode and hurricane activity. *Geophysical Research Letters*. Doi: 10.1029/2007GL029683.
 33. Visbeck M. H., Hurrell J. W., Polvani L., Cullen H. M. 2001. *PNAS*. 98(23): 12876–12877.
 34. 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.
 35. Žaromskis R., Pupienis D. 2003. Srovių greičio ypatumai skirtingose Pietryčių Baltijos hidrodinaminėse zonose. *Geografija*. 39(1): 16–23.

Asta Bajerčiūtė, Donatas Pupienis

INFLUENCE OF LONG-DISTANCE CLIMATE TELECONNECTION ON THE BALTIC SEA WATER TEMPERATURE AND SALINITY

Summary

Despite the fact that the Baltic Sea is a semi-enclosed sea of the North Atlantic Ocean, it is characterized by variability of different hydrophysical and hydrochemical parameters according to the recent studies. Over one hundred years of observations of water temperature and salinity variations have shown that thermohaline regime (circulation, system) has begun to change: trends of increasing water temperature and decreasing water salinity were determined. Scientists from the Baltic countries seek to attract societies' attention to the possible structures of the Baltic Sea hydrology and changes in water balance associated with climate change. This paper searches for the impact of low-frequency atmospheric fluctuations in Atlantic and Pacific surface temperature on water temperature and salinity changes in the Baltic Proper in 1960–2009. The previous studies have shown that there are weak links between the Baltic Sea water temperature, salinity and NAO (North Atlantic oscillation) and AO (Arctic oscillation) that affect the

Baltic region. Recently, it was also found that the Baltic Sea hydrophysical and chemical parameters depend on large distance relationships between climate anomalies teleconnection. The determined relationships between the multi-annual average temperature and salinity of the Baltic Sea water column and seasonal, annual indices of the Atlantic Ocean (AMO, AMM, Atlantic Tripole) are weak, whereas links between the Baltic Sea investigated parameters and Pacific index: ONI (Oceanic Nino Index) are very weak ($r \leq -0.32$). The strongest correlation exists between water temperature and the NAO ($0.36 \geq r \leq 0.45$), AMM ($0.37 \geq r \leq 0.40$) and between water salinity and NAO ($-0.38 \geq r \leq -0.51$), PNA (Pacific-North American index) ($0.27 \geq r \leq 0.34$).

Key words: The Baltic Sea, water salinity, water temperature, NAO and AO indices, long-distance climate teleconnection