

BALTIJOS REGIONO ŠALTOJO LAIKOTARPIO ORO TEMPERATŪROS SĄSAJOS SU LEDO DANGOS IŠPLITIMU ARKTIES VANDENYNE

*Justina Kapilovaitė, Egidijus Rimkus,
Vilniaus universitetas*

SANTRAUKA

Klimato parametrų svyravimus Baltijos jūros regione stipriai veikia atmosferos cirkuliacijos kintamumas, didele dalimi nusakomas NAO ir AO tolimųjų ryšių indeksais. Manoma, kad Arkties jūros ledo mažėjimas padidina Arkties osciliacijos (AO) ir Šiaurės Atlanto osciliacijos (NAO) neigiamų fazių galimybę žiemą, todėl ateityje šaltų žiemų tikimybė vidutinėse platumose išliks, nepaisant sparčiai šylančio klimato (Jakobson et al., 2017; Screen, 2017). Darbe atliktas tyrimas svarbus suvokiant galimas sąsajas tarp Arkties jūros leduotumo pokyčių ir galimų atmosferos cirkuliacijos (AO ir NAO) pokyčių. Taip pat šis darbas padeda geriau suvokti Arkties ledo išplitimo dinamikos bei AO ir NAO reiškinį sąsajas su Baltijos regiono oro temperatūra. Tyrimo rezultatai rodo, kad Arkties ledo išplitimas sausio–vasario mėnesiais (su vieno mėnesio vėlavimu) statistiškai reikšmingai siejasi su AO ir NAO reikšmėmis: mažėjant Arkties ledo dangai, AO ir NAO reikšmės taip pat mažėja. O tai gali lemti ir santykinai vėsesnes žiemas Baltijos jūros regione.

Reikšminiai žodžiai: tolimieji ryšiai, Arkties jūros ledas, AO, NAO, Baltijos jūros regionas, oro temperatūra.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5200/GE.2023.2>

ĮVADAS

Terminą *tolimieji ryšiai* pirmą kartą 1935 m. pavartojo A. Ångströmas, o 1981 m. J. M. Wallace ir D. S. Gutzleris apibrėžė tolimuosius ryšius kaip reikšmingas vienlaikes koreliacijas tarp meteorologinių parametrų laiko eilučių nutolusiuose Žemės taškuose (Jakobson et al., 2017). Tolimieji ryšiai ypač stipriai pasireiškia šiaurinėse platumose žiemos periodu, tada jie daro didelę įtaką paviršiaus temperatūrai ir kritulių svyravimams, taip pat jūros paviršiaus temperatūrai (Nigam, Baxter, 2015). Tokios sąsajos tarp Arkties ir vidutinių platumų regionų jau daugelį metų yra tyrimų ir apžvalgų apie Arkties jūros ledo poveikį pasauliniam ir Eurazijos klimatui dėmesio centre (Jakobson et al., 2017).

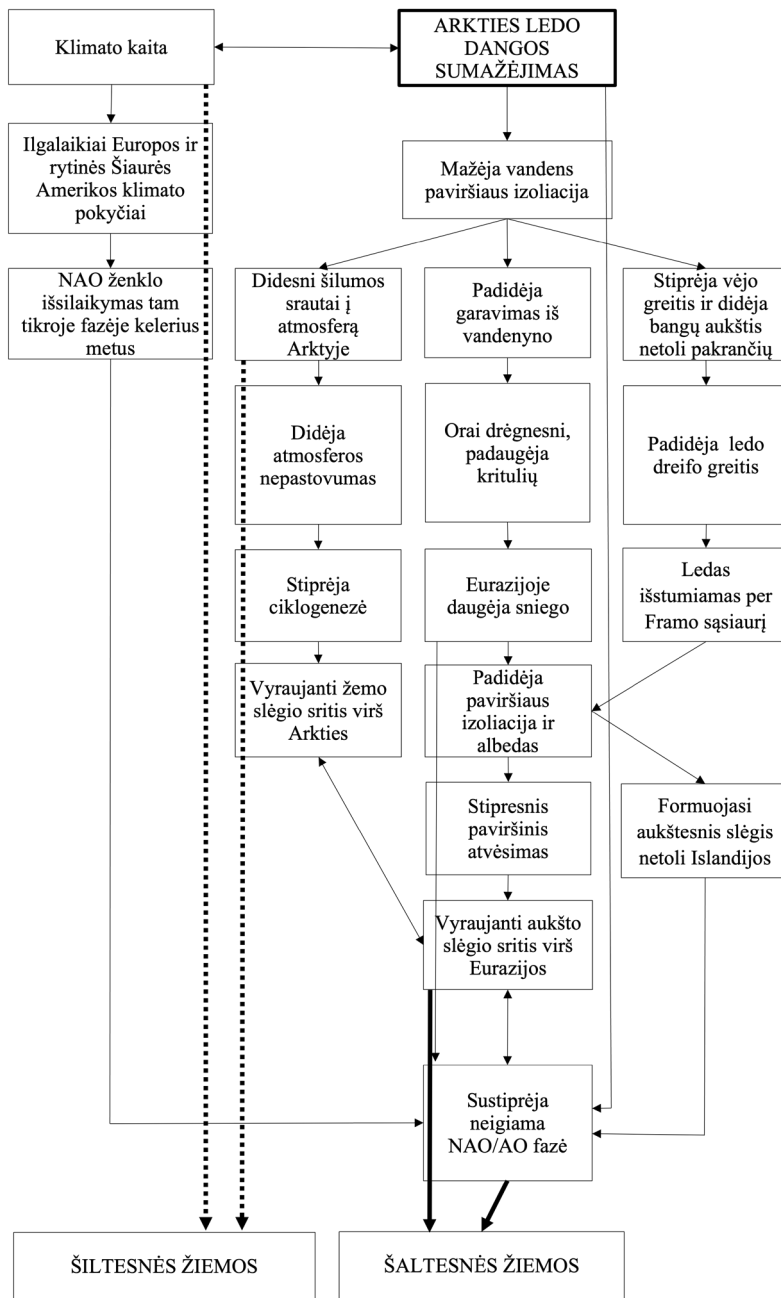
Arkties jūros ledo dangos mažėjimo poveikis atmosferos cirkuliacijai nagrinėtas palyginus visai nedaug. R. L. Newsonas pirmasis pastebėjo, kad laikotarpiams, kai Arkties jūros ledo danga sumažėja, vakarų vėjai vidutinėse platumose susilpnėja, o jų zona pasislenka piečiau. Jis padarė išvadą, kad temperatūros gradiento tarp pusiaujo ir ašigalio sumažėjimas susilpnina vakarinius vėjus vidutinėse platumose, o tai sustiprina atmosferos cirkuliacijos blokavimo procesus, todėl regione, kuriuose jaučiamas vakarų vėjų poveikis, gali tapti šalčiau (Newson, 1973).

Tirpstant Arkties ledui padidėja atviro vandenyno plotai, sustiprėja bangavimas ir vėjai, todėl jūros ledas ardomas sparčiau ir padidėja ledo dreifo greitis, tad daugiametis ledas išstumiamas iš Arkties per Framo sąsiaurį Grenlandijos pakrantės link (Scott, Hansen, 2016). Ledas prie Grenlandijos mažina šilumos mainus tarp vandenyno ir atmosferos bei sukelia stipresnį paviršinį atvėsimą, todėl netoli Grenlandijos / Islandijos formuojasi aukštesnio slėgio sritis nei įprastai, o tai gali paskatinti neigiamos NAO (Šiaurės Atlanto osciliacijos) fazės susidarymą (Alexander et al., 2004). Atliekant įvairius tyrimus nustatyta, kad dėl mažesnės nei įprastai jūros ledo koncentracijos vėlyvą rudenį Karos ir Barenco jūrose, t. y. virš Šiaurės Eurazijos, formuojasi anticiklonas, kuris žiemos metu gali išsivystyti į neigiamą NAO fazę atitinkančią cirkuliaciją (Santolaria-Otín et al., 2020).

Tirpstant jūros ledui dėl padidėjusių atviro vandenyno plotų sustiprėja garavimas iš vandenyno, todėl sustiprėja drėgmės srautai ir virš Eurazijos iškrinta daugiau sniego (Cohen et al., 2014; Tyrllis et al., 2019). Tyrimai parodė, kad sniego dangos padidėjimas Eurazijos žemyninėje dalyje vėlyvą rudenį gali paskatinti neigiamą NAO fazę žiemą dėl troposferos ir stratosferos sąveikos. Padidėjęs sniego dangos storis Eurazijoje lemia intensyvesnį spindulinį atvėsimą, taip paveikdamas atmosferos cirkuliaciją ir galbūt sukeldamas neigiamą NAO fazę (Santolaria-Otín et al., 2020).

Dėl anksčiau aptartų procesų, kurie įvyksta tirpstant Arkties jūros ledui, sustiprėja neigiamos NAO ar AO (Arkties osciliacijos) fazės, o tai lemia šaltesnes žiemas Šiaurės Europoje. Remiantis T. Vihmos apžvalginiame straipsnyje pateikiama schema (Vihma, 2014) ir anksčiau minėtų autorių įžvalgomis, pateikiama šio darbo autorių sudaryta supaprastinta Arkties ledo dangos mažėjimo poveikio atmosferos cirkuliacijai ir žiemoms Šiaurės Europoje mechanizmų schema (1 pav.). Daugiausia dėmesio šioje schemoje skiriama Arkties ledo tirpsmo poveikiui žiemoms Šiaurės Europoje.

Kadangi Baltijos jūros regionas yra pereinamojoje zonoje tarp Šiaurės Atlanto ir Eurazijos žemyno, jis pasižymi labai įvairiomis oro sąlygomis ir yra ypač jautrus didelio masto vėjo krypties pokyčiams žiemos metu (Jakobson et al.,



1 pav. Supaprastinta Arkties ledo dangos mažėjimo poveikio atmosferos cirkuliacijai ir žiemoms Šiaurės Europoje mechanizmų schema pagal T. Vihmą (2014), pritaikyta Baltijos jūros regionui ir pakoreguota remiantis kitais literatūros apžvalgoje aptartais autoriais. Paryškintos punktyrinės linijos nurodo poveikį, lemiantį šiltesnes žiemas, o paryškintos ištisinės linijos – poveikį, lemiantį šaltesnes žiemas

2017; Vihma et al., 2014). Neigiami NAO ir AO indeksai yra susiję su vakarų-rytų pernašos virš Atlanto susilpnėjimu ar net blokavimu. Žiemomis, kurių metu vyrauja neigiama NAO fazė, Šiaurės Europoje dėl arktinių oro masių poveikio oras vėsta ir iškrinta mažiau kritulių nei įprastai. Silpnas slėgio gradientas ties Islandija sulėtina vakarų pernašos stiprumą, todėl šaltas, sausas oras į Šiaurės Europą patenka iš šiaurinės Rusijos ir Arkties (Rafferty, 2019).

NAO ir AO reaguoja į įvairius skirtingus klimato veiksnius, todėl sudėtinga išskirti ir tirti tik vieno iš šių veiksnių daromą poveikį. Net ir nustačius tam tikrų veiksnių įtaką NAO ir AO anomalijoms, šių osciliacijų tikslus poveikis klimatui gali pasireikšti ne taip stipriai, kaip tikimasi. Pavyzdžiui, 2009–2010 m. žiemą buvo nustatyta pati mažiausia vidutinė NAO reikšmė per paskutinį šimtmetį (Fereday et al., 2012), tačiau, net ir veikiama itin stiprios neigiamos NAO fazės, žiema nebuvo pati šalčiausia. Manoma, kad taip galėjo nutikti dėl bendro temperatūros kilimo, kurį sukėlė globalus klimato atšilimas (Ouzeau et al., 2011).

Remiantis antrojo Baltijos jūros baseino klimato kaitos įvertinimo duomenimis, vyksta reikšmingi klimato parametrų pokyčiai, siejami su atmosferos cirkuliacija. Šaltuoju periodu (lapkritis–kovas), ypač vasario ir kovo mėnesiais, išaugo zoninės cirkuliacijos intensyvumas. Nuo devintojo dešimtmečio Baltijos jūros regione labai pakilo oro temperatūra, ypač pavasario mėnesiais (Haapala et al., 2015; Jakobson et al., 2017). Remiantis ankstesniais tyrimais (BACC, 2008) taip pat nustatytas reikšmingas oro temperatūros padidėjimas Baltijos jūros regione 1871–2004 m. Tačiau XX a. oro temperatūros kaita Baltijos jūros regione pasižymėjo dideliais kelių dešimtmečių svyravimais. Pastaruosius kelerius metus atšilimas tęsėsi pavasarį ir vasarą pietinėje Baltijos jūros dalyje, o rudenį ir pavasarį – šiaurinėje dalyje, tačiau, nepaisant to, 2009–2010 ir 2010–2011 m. žiemos buvo gana šaltos (Haapala et al., 2015).

Šio darbo tikslas – įvertinti ledo dangos išplitimo Arkties vandenyne sąsajas su šaltojo laikotarpio oro temperatūra Baltijos jūros regione.

DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Darbe tirtas 40 metų laikotarpis (1981–2020 m.). Tyrime naudoti mėnesiniai Arkties jūros ledo dangos duomenys (mln. km²) iš Nacionalinės vandenynų ir atmosferos tyrimų administracijos (NOAA) duomenų bazės. Taip pat naudoti AO ir NAO (pagal Jones) mėnesiniai indeksai iš Pasaulinės meteorologijos organizacijos (WMO) duomenų bazės ir Baltijos jūros regiono oro temperatūros duomenys (Harris, Jones, 2020).

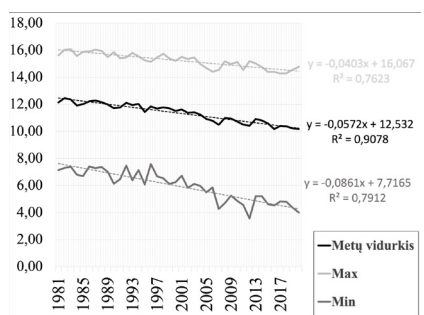
Tyrimo pradžioje buvo įvertintos Arkties jūros ledo dangos ir Baltijos jūros regiono oro temperatūros kitimo tendencijos tiriamuoju laikotarpiu. Arkties ledo dangos mažėjimo poveikis atmosferos cirkuliacijai (AO ir NAO) ir ryšiai su oro temperatūra visame Baltijos jūros regione įvertinti naudojantis neparametriniu Spirmeno koreliacijos koeficientu. Pašalintų tendencijų statistinis reikšmingumas nustatytas remiantis neparametriniu Mano-Kendalo testu. Visais atvejais ryšiai ar pokyčiai laikyti statistiškai reikšmingais, kai $p < 0,05$.

Buvo atlikta visų tyrime naudotų laiko eilučių autokoreliacinė analizė. Kadangi Arkties ledo išplitimo duomenys pasižymėjo stipria autokoreliacija, siekiant ją eliminuoti, buvo pritaikytas ARIMA modelis. Gautos ARIMA modelio liekanos (angl. *residuals*) buvo naudojamos koreliacinės analizės tarp Arkties ledo dangos ir AO bei NAO indeksų metu. Baltijos jūros regiono ($13^{\circ} - 30^{\circ}$ rytų ilgumos, $53^{\circ} - 67^{\circ}$ šiaurės platumos) oro temperatūros duomenų sekai buvo pašalintos tendencijos ir apskaičiuotas sekos regioninis vidurkis kiekvienam mėnesiui. Taip pat apskaičiuoti sausio–vasario ir gruodžio–kovo mėnesių oro temperatūros vidurkiai (analogiškai duomenų sekų transformacija atlikta NAO bei AO indeksams). Koreliacinė analizė tarp Baltijos regiono oro temperatūros duomenų ir AO bei NAO indeksų buvo atliekama naudojant transformuotas laiko eilutes.

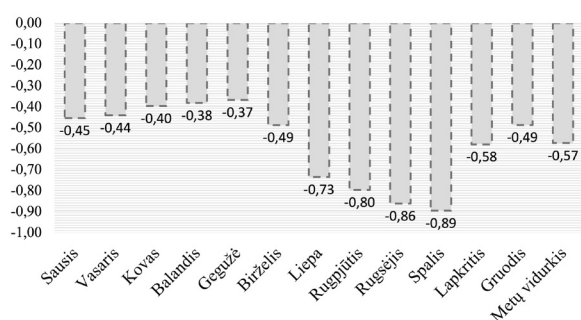
ARKTIES VANDENYNO LEDUOTUMO IR BALTIJOS JŪROS REGIONO ORO TEMPERATŪROS DINAMIKA 1981–2020 METAIS

Maksimalus ledo dangos Arktuje išplitimas tiriamuoju laikotarpiu buvo didžiausias 1983 m. kovo mėnesį ir siekė 16,09 mln. km². Mažiausia ledo danga Arkties vandenyną dengė 2012 m., tad rugsėjo mėnesį jos išplitimas siekė vos 3,57 mln. km². Antra mažiausia pagal išplitimą ledo danga Arktuje užfiksuota 2020 m. rugsėjį, tada ji siekė 4 mln. km². Minimali ledo danga Arktuje per pastutinius 10 metų (2011–2020 m.) sumažėjo ~1,5 karto, lyginant su 1981–1990 m.

Per tiriamąjį laikotarpį Arkties ledo dangos išplitimo metinės maksimalios, minimalios ir vidutinės reikšmės mažėjo (2a pav.). Taikant Mano-Kendalo testą, neigiami pokyčiai visais metų mėnesiais yra statistiškai reikšmingi. Ryškiausias ledo dangos mažėjimas stebimas vasaros pabaigos bei rudens pradžios mėnesiais (liepą, rugpjūtį, rugsėjį ir spalį), kai ledo dangos išplitimas būna mažiausias (2b pav.). Šie pasikeitimai Arktuje yra vienas svarbiausių ir ryškiausių globalių klimato pokyčių požymių.



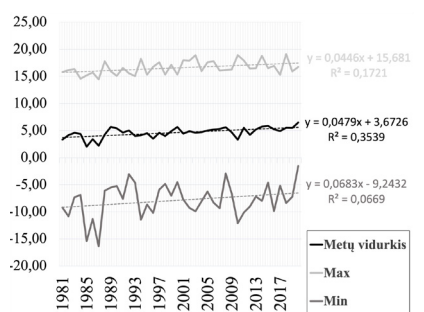
a)



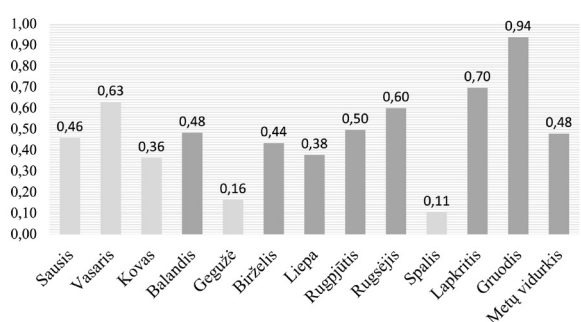
b)

2 pav. Arkties vandenyno leduotumo dinamika (mln. km²) 1981–2020 m. (a) ir Arkties vandenyno ledo dangos regresijos koeficientai per 10 metų (statistiškai reikšmingos tendencijos pažymėtos punktyrinio rėmeliu) atskirais metų mėnesiais (b)

Aukščiausia vidutinė viso Baltijos jūros regiono mėnesio oro temperatūra (1981–2020 m.) užfiksuota 2018 m. liepą ir siekė 19,1 °C (3a pav.). Žemiausia vidutinė mėnesio oro temperatūra buvo užfiksuota 1987 m. sausio mėnesį ir siekė -16,4 °C. Mano-Kendalo testo rezultatai rodo, kad vidutinė metinė Baltijos jūros regiono oro temperatūra statistiškai reikšmingai didėja. Analizuojamuoju laikotarpiu oro temperatūra kilo visais metų mėnesiais, tačiau statistiškai reikšmingas pokytis nustatytas balandžio, birželio–rugsėjo ir lapkričio–gruodžio mėnesiais (3b pav.). Mažiausi pokyčiai užfiksuoti gegužės ir spalio mėnesiais.



a)



b)

3 pav. Vidutinės Baltijos jūros regiono oro temperatūros dinamika (°C) 1981–2020 m. (a) ir Baltijos jūros regiono oro temperatūros regresijos koeficientai per 10 metų (statistiškai reikšmingos tendencijos pažymėtos tamsiai pilka spalva) atskirais metų mėnesiais (b)

RYŠYS TARP ARKTIES LEDUOTUMO BEI AO IR NAO REIKŠMIŲ

Siekiant įvertinti galimus tolimuosius ryšius tarp Arkties ledo dangos ir Arkties osciliacijos bei Šiaurės Atlanto osciliacijos reikšmių buvo naudota Spirmeno koreliacinė matrica (4 pav.) tarp tiriamųjų (1981–2020 m.) Arkties ledo dangos ARIMA modelio liekanų bei AO ir NAO indeksų.

Arkties maksimalus ledo išplitimas fiksuojamas kovo mėnesį. Gauti rezultatai rodo, kad Arkties ledo išplitimo ir NAO bei AO indeksų koreliacijos koeficientų reikšmių ženklai pasikeičia nuo kovo mėnesio, kada pasiekiamas Arkties ledo maksimumas (4 pav.). Egzistuoja statistiškai reikšmingos silpnos teigiamos koreliacijos tarp Arkties ledo dangos sausio–vasario mėnesiais ir kovo mėnesio AO bei vasario–kovo mėnesių NAO.

	AO.11	AO.12	AO.01	AO.02	AO.03	AO.04	AO.05	NAO.11	NAO.12	NAO.01	NAO.02	NAO.03	NAO.04	NAO.05
Arktis.11														
Arktis.12														
Arktis.01					0,46						0,37	0,55		
Arktis.02					0,37						0,32	0,41		
Arktis.03													-0,3	
Arktis.04														-0,3
Arktis.05														

4 pav. Koreliaciniai ryšiai tarp 1981–2020 m. šaltojo periodo Arkties ledo dangos išplitimo duomenų ARIMA modelio liekanų ir AO bei NAO indeksų. Skaičiai prie pavadinimų nurodo mėnesius (pvz., Arktis.12 – Arkties ledo danga gruodžio mėnesį)

Teigiamos koreliacijos rodo, kad, mažėjant Arkties ledo dangai, AO ir NAO fazės labiau linkusios tapti neigiamos ir atvirkščiai. Gauti rezultatai rodo, jog jei Arkties ledas iš tiesų daro įtaką AO ir NAO neigiamų fazių stiprumui, tai didžiausią įtaką šioms struktūroms Arkties ledo dangos pokyčiai daro sausio ir vasario mėnesiais (kai ledo išplitimas artėja maksimalaus link). Visgi, kadangi gautos koreliacijos nėra itin stiprios, rezultatus reiktų interpretuoti labai atsargiai. Galima teigti, jog šio tyrimo rezultatai nepakankami įrodyti, kad Arkties ledo dangos pokyčiai veikia NAO ir AO indeksų reikšmes, tačiau gauti rezultatai neleidžia atmesti hipotezės apie ryšio egzistavimą.

AO IR NAO POVEIKIS ORO TEMPERATŪRAI BALTIJOS JŪROS REGIONE

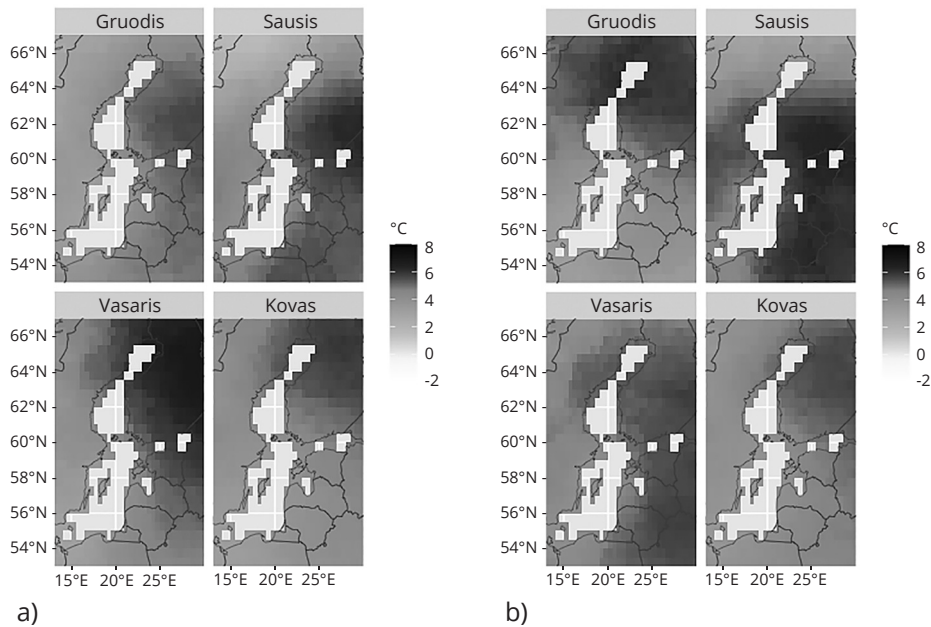
AO ir NAO ypač svarbi Baltijos regiono orų kaitai. Šioje tyrimo dalyje analizuoti ryšiai tarp AO ir NAO bei Baltijos regiono oro temperatūros.

	AO.11	AO.12	AO.01	AO.02	AO.03	AO.1-2	AO.12-3	NAO.11	NAO.12	NAO.01	NAO.02	NAO.03	NAO.1-2	NAO.12-3
REGtemp.11	0,4							0,4						
REGtemp.12	0,32	0,73				0,32		0,39	0,6					
REGtemp.01			0,7	0,45		0,67	0,58			0,65	0,34		0,63	0,54
REGtemp.02			0,5	0,64		0,67	0,59			0,5	0,64		0,75	0,67
REGtemp.03			0,39	0,44	0,79	0,49	0,72			0,36	0,48	0,7	0,56	0,69
REGtemp.1-2			0,7	0,65		0,79	0,69			0,67	0,58		0,81	0,71
REGtemp.12-3			0,7	0,54	0,4	0,73	0,8			0,71	0,52	0,42	0,8	0,8

5 pav. Koreliaciniai ryšiai tarp 1981–2020 m. AO bei NAO indeksų reikšmių bei pašalintos vidutinės Baltijos jūros regiono oro temperatūros tendencijos. Skaičiai prie pavadinimų nurodo mėnesius (pvz., REGtemp.01 – Baltijos jūros regiono vidutinė oro temperatūra sausio mėnesį)

Korelacių matricoje (5 pav.) pateikiami apskaičiuoti statistiškai reikšmingi korelacių koeficientai tarp Baltijos jūros regiono oro temperatūros ir AO bei NAO indeksų yra teigiami ir gana stiprūs. Aukščiausia teigiama koreliacija gauta siejant sausio–vasario mėnesių NAO su Baltijos jūros regiono sausio–vasario mėnesių vidutine oro temperatūra (0,81). Vidutinė Baltijos jūros regiono gruodžio–kovo mėnesių oro temperatūra koreliuoja vienodai stipriai tiek su gruodžio–kovo mėnesio NAO, tiek su gruodžio–kovo AO (0,8). Tyrimo rezultatai rodo, kad, esant anomaliai aukštoms NAO ir AO fazėms, oro temperatūra žiemos mėnesiais ir kovą yra gerokai didesnė nei tada, kai NAO ir AO reikšmės yra anomaliai mažos (6a pav. ir 6b pav.). Šis skirtumas siekia 2–7 °C.

NAO ir AO indeksų su vidutine Baltijos jūros regiono oro temperatūra koreliacija yra glaudi ir statistiškai patikima. Tačiau pasitaiko atvejų, kad esant stipriai neigiamoms AO arba NAO indekso reikšmėms oro temperatūros anomalijos Baltijos jūros regione yra teigiamos. Svarbu atkreipti dėmesį, jog Baltijos regiono oro temperatūrai įtakos taip pat gali turėti ir kitos atmosferos cirkuliacijos struktūros (Rytų Atlanto atmosferos cirkuliacijos struktūra (EA), poliarinė atmosferos cirkuliacijos struktūra (POL), Skandinavijos cirkuliacijos struktūra



6 pav. Vidutinės oro temperatūros skirtumai (°C) tarp metų su anomaliai aukštomis ir žemomis NAO (a) ir AO (b) indekso reikšmėmis (NAO⁺ – NAO⁻ arba AO⁺ – AO⁻ metai)

(SCA) ir pan.) bei kiti veiksniai (pvz., besniegis paviršius). Todėl pasitaiko atvejų, kada net ir esant itin stiprioms neigiamoms AO ir NAO fazėms oro temperatūros anomalijos Baltijos jūros regione būna teigiamos.

IŠVADOS

Nustatytas statistiškai reikšmingas ledo dangos Arktyje mažėjimas ir statistiškai reikšmingas oro temperatūros Baltijos jūros regione didėjimas. Gauti rezultatai rodo, kad Arkties ledo išplitimas sausio–vasario mėnesiais (su vieno mėnesio vėlavimu) lemia AO ir NAO reikšmes (koreliacijos koeficientai kinta nuo 0,32 iki 0,55). Žiemos mėnesiais mažėjant Arkties ledo dangai, AO ir NAO reikšmės taip pat mažėja. Tačiau nuo kovo mėnesio ryšiai tampa silpnai neigiami. Kadangi gautos koreliacijos nėra itin stiprios, rezultatai yra nepakankami tiriamajai hipotezei patvirtinti ir reikalauja tolimesnių tyrimų. Nustatytas stiprus ryšys tarp Baltijos regiono oro temperatūros ir AO bei NAO indeksų reikšmių. Gauti rezultatai patvirtina, jog gruodžio–kovo mėnesiais oro temperatūros kintamumui Baltijos jūros regione didelę įtaką daro AO ir NAO fazės.

LITERATŪRA

1. Alexander, M. A., Bhatt, U. S., Walsh, J. E., Timlin, M. S., Miller, J. S., Scott, J. D. (2004). The Atmospheric Response to Realistic Arctic Sea Ice Anomalies in an AGCM during Winter. *Journal of Climate*, 17 (5), 890–905. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0890:TARTRA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0890:TARTRA>2.0.CO;2).
2. Cohen, J., Furtado, J. C., Jones, J., Barlow, M., Whittleston, D., Entekhabi, D. (2014). Linking Siberian Snow Cover to Precursors of Stratospheric Variability. *Journal of Climate*, 27 (14), 5422–5432. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00779.1>
3. Fereday, D. R., Maidens, A., Arribas, A., Scaife, A. A., Knight, J. R. (2012). Seasonal forecasts of northern hemisphere winter 2009/10. *Environmental Research Letters*, 7 (3). DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034031>.
4. Haapala, J. J., Ronkainen, I., Schmelzer, N., Sztobryn, M. (2015). Recent Change–Sea Ice. *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin* (pp. 145–153). Regional Climate Studies. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_8.
5. Harris, I. C., Jones, P. D. (2020). *CRU TS4.03: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.03 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901- Dec. 2018)*. University of East Anglia Climatic Research Unit; Centre for Environmental Data Analysis.
6. Jakobson, L., Jakobson, E., Post, P., Jaagus, J. (2017). Atmospheric teleconnections between the Arctic and the eastern Baltic Sea regions. *Earth System Dynamics*, 8 (4), 1019–1030. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-8-1019-2017>.
7. Newson, R. L. (1973). Response of a General Circulation Model of the Atmosphere to Removal of the Arctic Ice-cap. *Nature*, 241 (5384), 39–40. DOI: <https://doi.org/10.1038/241039b0>.
8. Nigam, S., Baxter, S. (2015). General Circulation of the Atmosphere: Teleconnections. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition* (pp. 90–109). Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00400-X>.
9. Ouzeau, G., Cattiaux, J., Douville, H., Ribes, A., Saint-Martin, D. (2011). European cold winter 2009–2010: How unusual in the instrumental record and how reproducible in the ARPEGE–Climat model? *Geophysical Research Letters*, 38 (11). DOI: <https://doi.org/10.1029/2011GL047667>.
10. Rafferty, J. P. (2019). North Atlantic Oscillation. *Encyclopedia Britannica*. [Žiūrėta 2023 m. sausio 1 d.]. Prieiga internete: <https://www.britannica.com/science/North-Atlantic-Oscillation>.
11. Santolaria-Otín, M., García-Serrano, J., Ménégos, M., Bech, J. (2020). On the observed connection between Arctic sea ice and Eurasian snow in relation to the winter North Atlantic Oscillation. *Environmental Research Letters*, 15 (12). [Žiūrėta 2023 m. sausio 1 d.]. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abad57>.
12. Scott, M., Hansen, K. (2016). Sea Ice. *Earth Observatory NASA*. [Žiūrėta 2023 m. sausio 1 d.]. Prieiga internete: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/SeaIce>.
13. Screen, J. A. (2017). The missing Northern European winter cooling response to Arctic sea ice loss. *Nature Communications*, 8 (1), 14603. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms14603>.
14. The BACC Author Team. (2008). *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Springer Berlin Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72786-6>.

15. Tyrllis, E., Manzini, E., Bader, J., Ukita, J., Nakamura, H., Matei, D. (2019). Ural Blocking Driving Extreme Arctic Sea Ice Loss, Cold Eurasia, and Stratospheric Vortex Weakening in Autumn and Early Winter 2016–2017. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124 (21), 11313–11329. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD031085>.
16. Vihma, T. (2014). Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: A Review. *Surveys in Geophysics*, 35 (5), 1175–1214. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-014-9284-0>.
17. Vihma, T., Cheng, B., Uotila, P., Lixin, W., Ting, Q. (2014). Linkages between Arctic sea ice cover, large-scale atmospheric circulation, and weather and ice conditions in the Gulf of Bothnia, Baltic Sea. *Advances in Polar Science*, 25 (4), 289–299. DOI: <https://doi.org/10.13679/j.advps.2014.4.00289>.

RELATIONSHIP BETWEEN COLD SEASON AIR TEMPERATURE IN THE BALTIC SEA REGION AND THE ARCTIC SEA ICE EXTENT

Justina Kapilovaitė, Egidijus Rimkus

Summary

The variability of the atmospheric circulation described by the AO and NAO indices has a significant impact on the fluctuations of climate parameters in the Baltic Sea region. Many research show, that a decline in Arctic Sea ice extent increases the likelihood of negative phases of the Arctic Oscillation (AO) and North Atlantic Oscillation (NAO) in winter, and in the future could lead to more frequent relatively cold weather events during winter months in Baltic Sea region. This research is important for understanding possible teleconnections between Arctic Sea ice and atmospheric circulation (AO and NAO). In addition, this research helps to better understand the dynamics of Arctic Sea ice extent and Baltic Sea region air temperature, as well as AO and NAO circulation impact on the air temperature in the Baltic Sea region. A statistically significant decrease in the Arctic Sea ice extent and a statistically significant increase in the air temperature in the Baltic Sea region have been determined. The obtained results show that the expansion of the Arctic Sea ice in January-February with a delay of one month determines the AO and NAO values (correlation coefficients vary from 0.32 to 0.55). This means that if Arctic Sea ice decreases during winter months, AO and NAO indices are more likely to become negative as well. However, as the obtained correlations are not very strong, the results are insufficient to confirm the hypothesis that the Arctic Sea ice extent impacts negative AO and NAO phases likelihood and requires further research. A strong correlation between the Baltic Sea region air temperature and the values of AO/NAO indices has been established. The obtained results show that the Baltic Sea region air temperature variability in December-March is greatly influenced by the AO and NAO phases.

Keywords: teleconnections, Arctic Sea ice, AO, NAO, Baltic Sea region, air temperature.