

KLIMATOLOGIJA

ŠIAURĖS ATLANTO VANDENYNŲ PAVIRŠIAUS TEMPERATŪROS RYŠYS SU ATMOSFEROS CIRKULIACIJA VIRŠ EUROPOS

Paulius Jalinskas

Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101, Vilnius
Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, Rudnios g. 6, LT-09300, Vilnius
El. paštas: paulius.jalinskas@gf.vu.lt

Gintautas Stankūnavičius

Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101, Vilnius
El. paštas: gintas.stankunavicius@gf.vu.lt

Įvadas

Atmosferos ir vandenyno sąveika, jos poveikis atmosferos cirkuliacijai domina tiek hidrologus, tiek klimatologus. Šios krypties tyrimus dar 1962 m. pradėjo J. Bjerknes. 1964 metais pasirodžiusiame straipsnyje (Bjerknes, 1964) šis mokslininkas analizavo Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros (VPT) kelių dešimtmečių anomalijų kaitą ir teigė, jog temperatūros svyravimas gali turėti įtakos ir klimato pokyčiams. Ši išvada grindžiama aptiktu Golfo srovės vandens temperatūros teigiamų anomalijų ir vėjo sustiprėjimo vidutinėse Šiaurės Atlanto platumose ryšiu. Panašius tyrimus Ramiojo vandenyno atžvilgiu atliko J. Namias (1963). Tačiau absoliuti dauguma minėta tema publikacijų pasirodė praeitame dešimtmetyje, nes didžiulių duomenų bazių prieinamumas, technikos pažanga įgalino sukurti bendrųjų atmosferos cirkuliacijos ir klimato modelių, be to, reikėjo patenkinti padidėjusį ilgalaikių prognozių poreikį.

Atmosferos ir vandenyno sąveika yra esminis veiksnys, nuo kurio priklauso klimato sistemos bei oro sąlygų kaita. Vienas iš atmosferos ir vandenyno sąveikos veiksnių, įtakojantis Europos, kartu ir Lietuvos regiono, atmosferos cirkuliaciją, yra Šiaurės Atlantas, kuriam būdinga savita giliųjų ir paviršinių srovių sistema, intensyvios vertikaliosios vandens sąmaišos zonos, hidrologiniai frontai, atmosferos aktyvumo centrai, vadinamasis audrų takas ir kt.

Pripažinta, kad glaudžios vandenyno ir atmosferos fluktuacijų sąsajos, jų pažinimas yra reikšminga ne tik visapusiško klimato sistemos pažinimo dedamoji dalis – šios žinios yra svarbios praktinių požiūrių, nes reikalingos sudaryti ilgalaikėms oro ir klimato prognozėms.

1. Duomenys ir darbo metodika

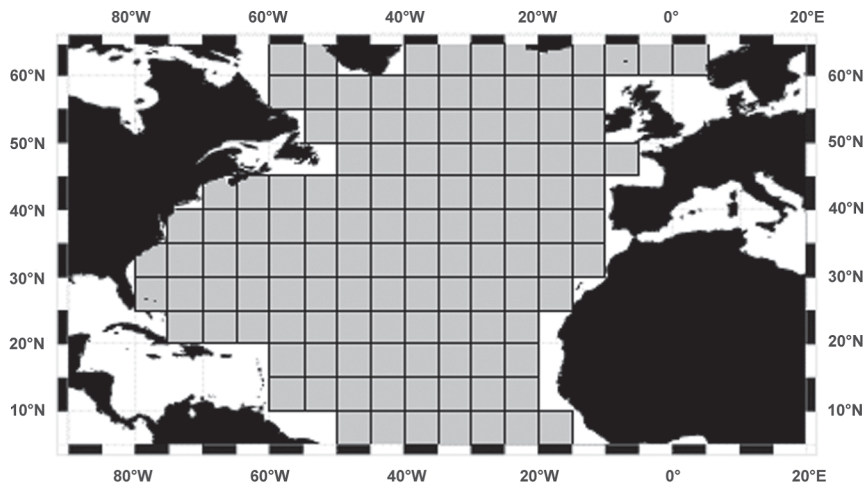
Duomenys. Darbe naudotasi *NOAA CPC* (Nacionalinės vandenyno ir atmosferos valdybos klimato prognozių centras, JAV) meteorologijos duomenų archyvo duomenimis (1 lent.). Šiaurės Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros anomalijų (VPTA) duomenys imti iš *NOAA* archyvo 127-ių 5x5° dydžio akvatorių (1 pav.) 10 metų laikotarpio – nuo 1990 m. sausio 3 d. iki 1999 m. gruodžio 31 d. 1° kontūro VPTA reikšmės (skaičiuotos 1968–1996 m. anomalijos) apdorotos optimalios interpoliacijos (*OI-SST*) metodu (Reynolds, Smith, 1994).

1 lentelė. Pradinių duomenų apžvalga.

Table 1. Data characteristics.

Parametras <i>Parameter</i>	Lygis <i>Level</i>	Tipas <i>Type</i>	Matavimo vienetai <i>Units</i>	Šaltinis <i>Source</i>
Vandens paviršiaus temperatūros anomalija <i>Sea surface temperature anomaly</i>	–	Vidutinės 7 parų reikšmės <i>Weekly</i>	°C	CPC
Zoninė ir meridianinė vėjo dedamosios <i>Zonal and meridional wind component</i>	700 hPa	Vidutinės paros reikšmės <i>Daily mean</i>	m/s	CPC
Geopotencialusis aukštis ir geopotencialiojo aukščio anomalija <i>Geopotential height and geopotential height anomaly</i>	700, 500 hPa	Vidutinės paros reikšmės <i>Daily mean</i>	m	CPC
Šiaurės Atlanto osciliacijos (NAO) rodiklis <i>North Atlantic Oscillation (NAO) index</i>	–	Paros reikšmės <i>Daily</i>	–	CPC

Imti to paties laikotarpio (1990-01-03–1999-12-31) atmosferos cirkuliacijos virš Europos žemyno ir Baltijos regiono rodikliai: 700 hPa lygio vidutinė paros zoninė (u) ir meridianinė (v) horizontaliojo vėjo greičio dedamosios, slėgis jūros lygyje, 500 ir 700 hPa geopotencialusis aukštis (teritorijos nuo 54° iki 56° š. pl. ir nuo 23° iki 25° r. ilg.). Minėti duomenys NOAA archyve pateikti paros vidutinių reikšmių pavidalu, jie buvo perskaičiuoti į 7 parų vidurkius. Žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos pavyzdžių rodikliams skaičiuoti naudotasi 700 ir 500 hPa geopotencialiojo aukščio duomenimis.



1 pav. Tirtoji Šiaurės Atlanto akvatorija (pilka spalva).

Fig. 1. The study area of the North Atlantic (gray).

Pagrindinių komponentų analizė (PKA). Pagrindinių komponentų analizė (PKA) – gerai žinomas vienas seniausių daugiavariacinių analizės metodų, plačiai naudojamų gamtos moksluose. Metodą išpopuliarino E. N. Lorenz publikacija (1956), kurioje jis vadinamas empirine ortogonalioja funkcija (EOF). Abu pavadinimai plačiai prigijo ir apima tapačias skaičiavimo procedūras. PKA yra vienas faktorinės analizės metodų, o pačios faktorinės analizės tikslas – minimaliai prarandant informacijos pakeisti stebimąjį reiškinį apibūdinančiųjų

požymių aibę kelių veiksnių rinkiniu (Čekanavičius, Murauskas, 2002).

Atsižvelgiant į PKA privalumus metodas buvo pradėtas taikyti geopotencialiojo aukščio, temperatūros, kritulių laukų analizei. Dažnai šių laukų stebėjimo duomenys sudaro ilgas – parų, savaitines, mėnesines, metines duomenų sekas, kitaip sakant – tai tarpusavyje koreliuojamos taškų ar stočių laiko reikšmių sekas. PKA uždavinys – nustatyti, išreikšti bendras duomenų sekų laiko (erdvės) variacijas bei dideles duomenų sekas pakeisti mažesnėmis naujų narių sekomis, reprezentuojančiomis pirminius duomenis.

Vieno tikslaus ir visuotinai priimto kriterijaus, nustatančio PK skaičių, nėra; tai priklauso nuo naudojamų duomenų ir siekiamų tikslų. Darbe naudotasi *dominuojančios variacijos taisyklės* metodika, kuria buvo išskiriami didžiausių tikrinių reikšmių (reprezentuojančių ir didžiausią pradinių duomenų sklaidą) komponentai. Dominuojančios variacijos taisyklės vaizdavimui pasirinktas nuogriuvos testas (*scree test*; Cattell, 1966), kuomet grafike vaizduojama tikrinių reikšmių ir PK skaičiaus priklausomybė. Nuogriuvos testu randamas taškas, kuris skiria greitai kintančias reikšmes kairėje nuo lėtai kintančiųjų – dešinėje. PK skaičiaus parinkimo metodika darbu pasirinktos 6 PK, kartu reprezentuojančios 67,8% bendros duomenų sklaidos (3 pav.).

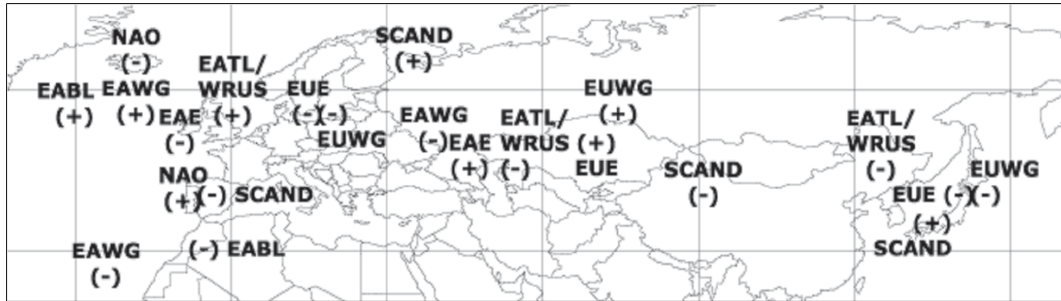
Koreliacinė analizė. Ryšiai tarp VPTA ir atmosferos cirkuliacijos virš Baltijos regiono, VPTA ir tolimųjų klimatodaros veiksnių nustatyti remtasi koreliacijos analize, plačiai taikoma daugelyje tyrimų. Atliekant VPTA koreliaciją su kitais parametrais, kad nereikėtų koreliuoti kiekvienos pasirinktos Šiaurės Atlanto akvatorijos VPTA (127), anomalijų reikšmės buvo perskaičiuotos naudojantis pagrindinių komponentų analize, o koreliacijos koeficientai įvertinti 99% patikimumo lygmeniu. Koreliacijos koeficientai laikyti patikimais, kai $p < 1$.

Žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos formos (*teleconnection patterns*) – tai atokiai viena nuo kitos esančių atmosferos anomalijų asociacija, dažna tarp įvairaus geopotencialiojo aukščio slėgio laukų (Glantz, Katz, Nicholls, 1990). Žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimai gali būti susiję tiek su bendrąja cirkuliacija, tiek su sausumos (vandenyno) būkle (Yin, 1994). Geriausiai ištirtos makrocirkuliacijos formos, įtakojančios dideles teritorijas, – Ramiojo vandenyno–Šiaurės Amerikos (*PNA – Pacific–North American*), Šiaurės Atlanto osciliacija (*NAO – North Atlantic Oscillation*), El Ninjo (Pietų osciliacija) (*ENSO – El Nino (South Oscillation)*) (Wallace and Gutzler, 1981; Yarnal 1985). Išsamioje J. M. Wallace ir D. S. Gutzler (1981) žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos formų studijoje, remiantis Šiaurės pusrutulio 500 hPa geopotencialiojo aukščio duomenimis, pateikti 5 makrocirkuliacijos atvejai ir pagrindinės rodiklių skaičiavimo lygtys, apibūdinančios du, tris ir keturis aktyvumo centrus. A. G. Barnston ir R. E. Livezey darbe (1987) naudojantis 700 hPa geopotencialiojo aukščio duomenimis išskirta 13 makrocirkuliacijos formų.

Darbe remtasi tais žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimų atvejais, kurie tiek geografinė padėtimi (2 pav.), tiek poveikio zona yra svarbūs Baltijos regionui. Pasirinktų žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos modų rodikliai apskaičiuoti naudojantis 500 bei 700 hPa geopotencialiojo aukščio savaitiniais duomenimis ir 2 lentelėje pateiktomis lygtimis.

SCAND makrocirkuliacijos tipas (Barnston and Livezey, 1987) – anksčiau vadintas *EUI (Eurasia-1)*. Ši forma įtakoja atmosferos cirkuliaciją visus metus, išskyrus birželį ir liepą. Teigiama fazė sietina su teigiamomis geopotencialiojo aukščio anomalijomis, kartais indukuojančiomis galingus blokuojančius anticiklonus (kaip ir *EATL (WRUS)*) virš Skandinavijos ir Vakarų Rusijos. Neigiamos fazės ši makrocirkuliacijos forma susijusi su neigiamomis geopotencialiojo aukščio anomalijomis virš minėtų regionų (Yin, 1994).

EATL/WRUS (East Atlantic (West Russia)) – ši žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos moda išlieka aktyvi didžiąją metų dalį, išskyrus birželį–rugpjūtį. Pirmieji modą išskyrė



2 pav. Žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos centrų padėtis ir ženklai Rytų Atlanto–Eurazijos–Vakarų Ramiojo vandenyno sektoriuje.

Fig. 2. Location and signs of teleconnection patterns.

2 lentelė. Žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos formos, jų šaltiniai ir rodiklių lygtys.

Table 2. Teleconnection indices and their calculation procedures.

Forma Teleconnection	Šaltinis Source	Formulė Equation description
SCAND	BL	$SCAND=1/4*(z(65^{\circ}N,35^{\circ}E)+z(35^{\circ}N,135^{\circ}E)-z(40^{\circ}N,90^{\circ}E)-z(40^{\circ}N,5^{\circ}W))$
EATL (WRUS)	BL	$EATL (WRUS)=1/4*(z(55^{\circ}N,0^{\circ}E)+z(45^{\circ}N,125^{\circ}E)-1/2*z(45^{\circ}N,55^{\circ}E))$
EA	BL	$EABL=1/2*(z(55^{\circ}N, 30^{\circ}W)-z(30^{\circ}N, 5^{\circ}W))$
	WG	$EAWG=1/2*z'(55^{\circ}N,20^{\circ}W)+1/4*(z'(25^{\circ}N,25^{\circ}W)+ z'(50^{\circ}N,40^{\circ}E))$
	E	$EAE=1/2*(z(45^{\circ}N,45^{\circ}E)-z(50^{\circ}N,10^{\circ}W))$
EU	WG	$EUWG=1/2*z'(55^{\circ}N,75^{\circ}E)+1/4*(z'(55^{\circ}N,20^{\circ}E)+ z'(40^{\circ}N,145^{\circ}E))$
	E	$EUE=1/2*z(50^{\circ}N,70^{\circ}E)+1/4*(z(55^{\circ}N,15^{\circ}E)+ z(40^{\circ}N,140^{\circ}E))$
NAO	BL	Islandijos ir Azorų slėgio anomalijų jūros lygyje skirtumas <i>SLP anomaly difference between Island and Azores</i>

z – 700 hPa geopotencialiojo aukščio anomalija; z' – 500 hPa geopotencialiojo aukščio anomalija; BL – Barnston ir Livezey, 1987; WG – Wallace ir Gutzler, 1981; E – Esbensen, 1984 / z – 700 hPa geopotential height anomaly; z' – 500 hPa geopotential height anomaly; BL – Barnston and Livezey, 1987; WG – Wallace and Gutzler, 1981; E – Esbensen, 1984.

A. G. Barnston ir R. E. Livezey (1987) kaip *EU2* (Eurasia-2). Teigiamai fazei (dažnesnei vėlyvą žiemą ir ankstyvą pavasarį) būdingos neigiamos geopotencialiojo aukščio anomalijos virš vakarinės ir pietvakarinės Rusijos dalies, o teigiamos – virš Europos ir rytinės Atlanto dalies (Yin, 1994).

EA (East Atlantic) – Rytų Atlanto makrocirkuliacijos forma, aprašyta A. G. Barnston ir R. E. Livezey (1987), aktyvi didžiąją metų dalį, išskyrus gegužę–rugpjūtį. Savo struktūra forma artima *NAO*, tik šiaurės–pietu dipolis pasistūmėjęs į pietryčius. Pietinio centro intensyvumą ir padėtį stipriai veikia subtropikai, kas taip pat skiria nuo *NAO*. Šiai formai gruodį–sausį būdingas stacionarių anticiklonų formavimasis Šiaurės Atlanto vidutinėse ir subpoliarinėse platumose (Stankūnavičius, 2000).

EA (East Atlantic) – Rytų Atlanto makrocirkuliacijos forma, aprašyta J. M. Wallace ir D. S. Gutzler (1981). Tai trijų centrų sistema: esant teigiamai fazei slėniai yra į pietvakarius nuo Kanarų salų ir ties Juodąją jūrą, gūbrys – į vakarus nuo Britų salų.

EA (East Atlantic) – Rytų Atlanto makrocirkuliacijos forma, aprašyta S. K. Esbensen (1984). Tai dipolė sistema: esant teigiamai fazei gūbrys būna virš Kaspijos jūros, o slėnis – virš Britų salų.

EU (European) – europinis tipas, aprašytas J. M. Wallace ir D. S. Gutzler (1981). Tai tripolė sistema su gūbriu Vidurio Rusijoje ir slėniais virš pietinės Baltijos dalies ir į vakarus

nuo Japonijos (2 pav.). Tipas artimas *EU* (*European*) formai, aprašyti S. K. Esbensen (1984), tik pastarosios centrai yra kiek į vakarus; tai susiję su naudoto geopotencialiojo aukščio reikšmių skirtumais (S. K. Esbensen rėmėsi 700 hPa, o J. M. Wallace ir D. S. Gutzler – 500 hPa aukščiu).

NAO – viena pastoviausių žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos formų, kurią pirmą kartą aprašė G. T. Walker (1924), o klimatologiniams tyrimams adaptavo A. G. Barnston ir R. E. Livezey (1987). Ji jungia *East Atlantic* ir *West Atlantic* atmosferos žemo dažnio cirkuliacijos modų dalis, kurias žiemos sezonams identifikavo J. M. Wallace ir D. S. Gutzler (1981). *NAO* sudarytas iš dviejų slėgio jūros lygyje anomalijų polių. Vienas dipolio centras yra virš Grenlandijos, kitas – priešingo ženklo centras apima centrinę Atlanto dalį tarp 35° ir 40° šiaurės platumos. Esant teigiamai fazei virš centrinės Atlanto, rytinės JAV dalies ir Vakarų Europos, slėgio ir geopotencialiojo aukščio reikšmės būna didesnės už daugiametes, o esant neigiamai fazei – atvirkščiai. Neigiamos *NAO* rodiklio reikšmės žymi vyravusius blokuojančius procesus Šiaurės Atlante, artimos nuliui – didelės amplitudės bangų gūbrių ir slėnių kaitą, o nedidelės teigiamos reikšmės rodo zoninę cirkuliaciją Atlante ir meridianinę – Šiaurės Europoje bei stacionarius ir lėtai judančius gūbrius virš Šiaurės Europos (Barnston and Livezey, 1987).

2. Šiaurės Atlanto VPTA duomenų erdvinė sklaida

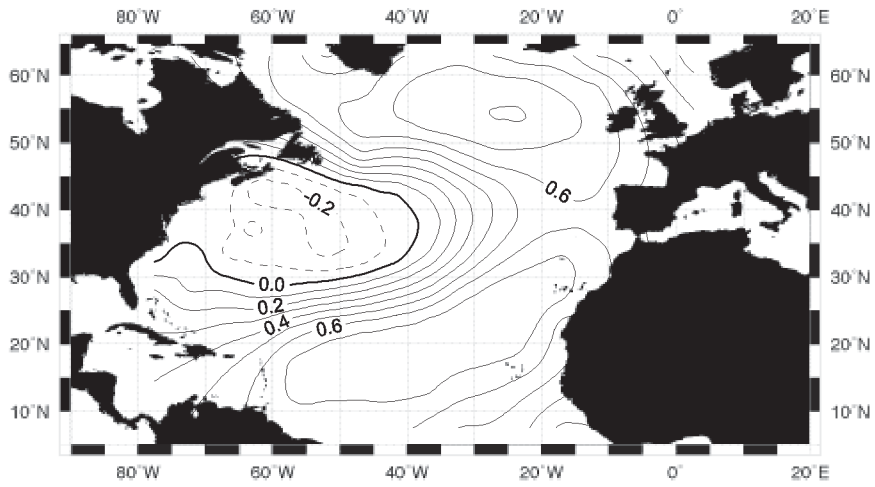
Šiaurės Atlanto VPTA duomenų erdvinės sklaidos analizei naudotas pagrindinių komponentių analizės metodas, taikytas 1990–1999 metų laikotarpiui, 127-ioms akvatorijoms. Remiantis nuogriuvos testu tolesniam darbui buvo pasirinktos šešios pagrindinės komponentės ir jų svorių įverčiai (3 pav.), kartu reprezentuojantys 67,8% Šiaurės Atlanto VPTA pradinių duomenų sklaidos. Pagal PKA buvo išskirtos Šiaurės Atlanto VPTA modos (būsena arba tipas), kuriose vaizduojamos akvatorijos su panašiu ar artimu VPTA pasiskirstymu, bei apibūdinti jų tarpusavio ryšiai.

Pagrindinis – PK1 pateikia 28,6% pradinių duomenų sklaidos (3 pav., a). Tai Šiaurės Atlanto tripolė VPTA moda su dviem ryškiomis anomalijomis šiltųjų Pasatų ir Irmingerio srovių rajonuose bei mažesnio intensyvumo ir priešingo ženklo anomalija rytinėje vandenyno dalyje – Golfo srovės rajone.

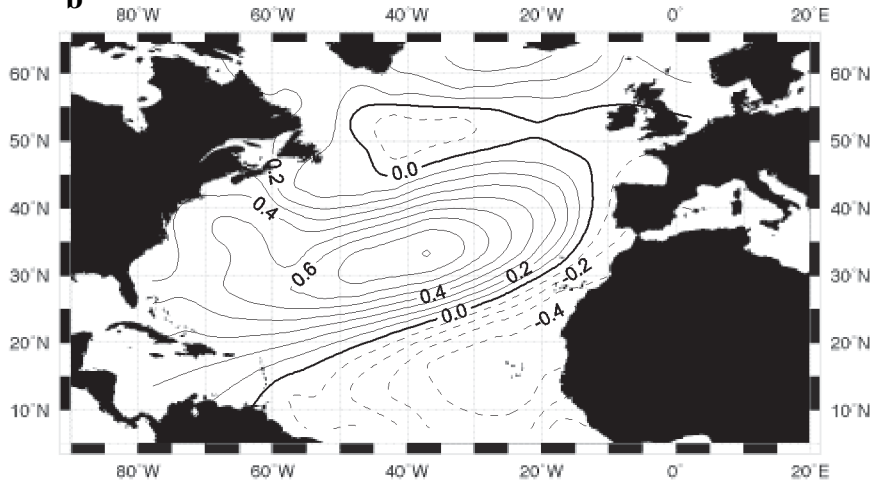
Moda savo centrų išsidėstymu (ženklai priešingi, t.y. atitiktų PK1 modos neigiamą fazę) artima W. K. Dewar (2001) išskirtam Šiaurės Atlanto VPT tripoliui, koreliuojančiam su *NAO* rodikliu (Rodwell, Rowell, Folland, 1999; Mehta et al., 2000). Apskaičiuotoje PK1 reikšmių įverčių sekoje galima išskirti 2 penkmečius. Pirmasis laikotarpis (1990–1995) išsiskyrė neigiamais veiksnio reikšmių įverčiais, antrasis – vyravusiais teigiamais įverčiais (4 pav.). Vienos fazės keitimosi kita trukmė (1994–1995) sutampa su *NAO* pokyčiu tarp 1994–1995 metų žiemos iki 1995–1996 metų žiemos, kuomet fiksuotas didžiausias daugiamečio *NAO* indekso pokytis per 173 metus. Praeito amžiaus 9-ojo ir 10-ojo dešimtmečių sandūroje *NAO* indeksas buvo aukščiausias per visą instrumentinių stebėjimų laikotarpį, o indekso keitimasis nuo žemo (1960–1970) iki aukšto (apie 1990-uosius) buvo didžiausios amplitudės žemo dažnio *NAO* indekso svyravimas (Jones, Jonsson and Wheel, 1997).

PK2 reprezentuoja 12,1% visų duomenų sklaidos (3 pav., b). Ši moda sudaryta iš dviejų centrų, kurių vienas užima centrinę Šiaurės Atlanto vandenyno dalį, antras, priešingo ženklo, – Pasatų srovės rajoną.

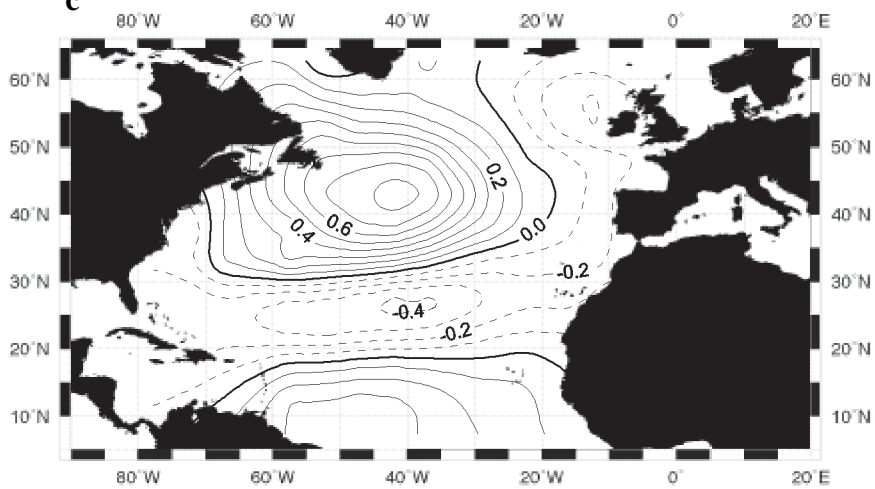
a

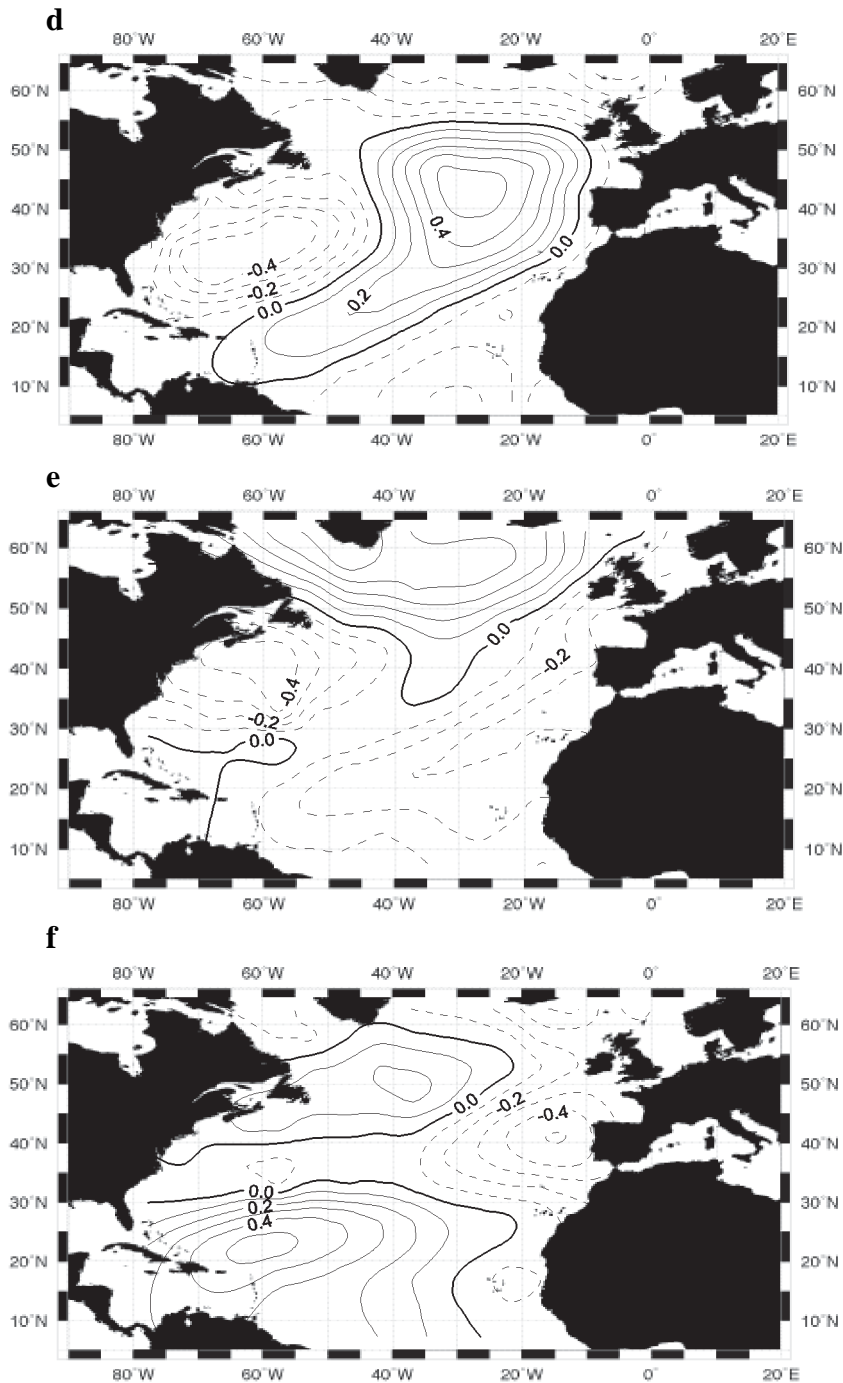


b



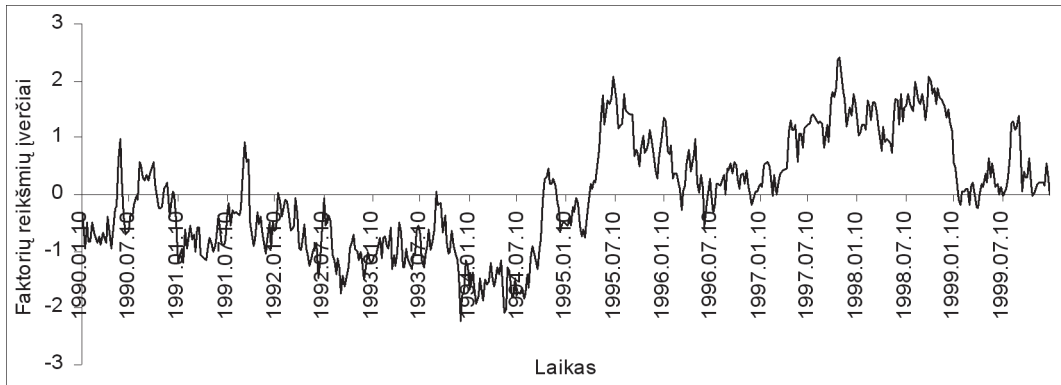
c





3 pav. Šiaurės Atlanto VPTA PK svorių įverčių (išreikštų koreliacijos koeficientais tarp PK ir skirtingų akvatorijų pradinių VPTA sekų) erdvinis pasiskirstymas: a) 28,6%, b) 12,1%, c) 8,9%, d) 7,0%, e) 6,4% ir f) 4,8% bendros pradinių duomenų sklaidos. Izolinių intervalas lygus 0,1; punktyru pažymėtos neigiamos, linija – teigiamos r reikšmės. Koreliacijos koeficientai yra statistiškai patikimi, kuomet $|r| \geq 0,113$ (tenkinamas 99% patikimumo lygmuo).

Fig. 3. North Atlantic PC loadings and subregions. Explained variance: a) 28.6%, b) 12.1%, c) 8.9%, d) 7.0%, e) 6.4% and f) 4.8%. Interval 0.1. Dashed lines – negative, solid – positive values. Significant values ≥ 0.113 (99% significance level).



4 pav. Šiaurės Atlanto VPTA pirmos PK faktorių reikšmių įverčiai (1990–1999).

Fig. 4. North Atlantic SSTA factor scores of the first PC (1990–1999).

PK3 reprezentuoja 8,9% duomenų sklaidos (3 pav., c). Tai „sumuštinio“ (Blade, 1999) tipo moda, susidedanti iš trijų centrų. Didžiausio intensyvumo anomalija išsidėsčiusi šiauriau 30° š. pl., apima rytinę Kanados pakrantę ir siekia Grenlandiją, to paties ženklo, tik mažesnio intensyvumo, anomalija užima subtropines Šiaurės Atlanto platumas. Priešingo ženklo anomalija išiterpusi tarp minėtų lygiagrečiai vakarinės Europos pakrantės.

PK4 pateikia 7% visos duomenų sklaidos (3 pav., d). Tai dipolė moda su ryškia meridianine dedamąja, kurios vienas centras tęsiasi nuo Britų salų iki Karibų jūros (Šiaurės Atlanto srovės akvatorija), kitas užima Sargasų jūros akvatoriją.

PK5 reprezentuoja 6,4% visų duomenų sklaidos (3 pav., e). Tai dviejų, priešingo ženklo, centrų moda. Vienas centras apima skirtingų srovių rajoną (šiltosios Irmingerio, šaltosios Labradoro ir Rytų Grenlandijos), esantį šiauriau 45° lygiagretės, kitas, artimas PK4, driekiasi Sargasų jūros akvatorijoje.

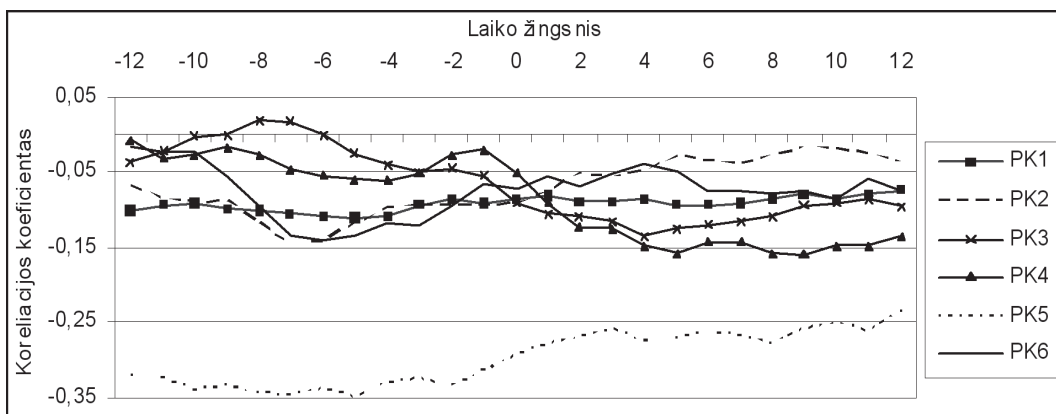
PK6 reprezentuoja 4,8% duomenų sklaidos (3 pav., f). Zoniniu išsidėstymu artimas PK3, du teigiamos koreliacijos koeficientų centrai apima subtropines ir vidutines Šiaurės Atlanto platumas ir vakarus nuo 20° dienovidinio. Priešingo ženklo centras yra akvatorijoje Azorų salų rajone.

3. Šiaurės Atlanto VPTA ir vidurinės troposferos geopotencialiojo 700 ir 500 hPa aukščio ryšys

Vandenyno ir atmosferos sąveiką iliustruoja VPTA ir geopotencialiojo 500 ir 700 hPa aukščio tyrimo rezultatai. Tiek 700, tiek 500 hPa geopotencialiojo aukščio koreliacijos su VPTA modomis rezultatai panašūs (didžiausių koreliacijos koeficientų pasiskirstymas), tik 500 hPa atžvilgiu gauta daugiau statistiškai patikimų ir didesnių r reikšmių. VPTA atsakas į geopotencialiojo 700 ir 500 hPa aukščio kaitą PK1 ir PK2 atvejais aptiktas po 5 savaičių (r teigiami). VPTA atsakas į geopotencialiojo 500 ir 700 hPa aukščio kaitą apibūdinamas neigiamais r , nustatytas PK4 atveju po savaitės, PK5 atveju – po 2 savaičių. PK3 pavyzdyje 700 hPa aukščio kaitos atsakas VPTA juntamas po savaitės. VPTA PK3 ir 500 hPa aukščio ryšys išryškėja esant sinchroninei koreliacijai. PK3 atveju vandenyno ir atmosferos sąveikai būdingas abipusis grįžtamasis ryšys, tačiau spręsti, kas šioje sąveikoje turi pirmenybę, – sunku. PK3 modos teigiama fazė susijusi su Euroatlantiniame sektoriuje susidaranciais blokuojančiais anticiklonais. Remiantis kitų Šiaurės Atlanto VPTA modų ir izobarinių 700 ir 500 hPa paviršių koreliacija galima spėti, kad pirmiausia į atmosferos procesus reaguoja vandenynas, o vėliau „signalas“ perduodamas atmosferai.

4. Šiaurės Atlanto VPTA ir vidurinės troposferos vėjo dedamųjų ryšys

Koreliacijai tarp šešių Šiaurės Atlanto VPTA modų ir zoninės vėjo dedamosios virš Baltijos regiono sekų bendra yra tai, kad visi statistiškai patikimi koreliacijos koeficientai yra neigiami, t.y. identifikuoja atvirkštinių ryši. VPTA modų atsakas į zoninės vėjo dedamosios kaitą aptiktas PK2 atveju po 7 savaičių, PK5 atveju – po 5, PK6 – po 6 savaičių. Zoninės vėjo dedamosios atsakas į VPTA rastas PK3 atveju po 4, PK4 – po 9 savaičių (5 pav.). PK5 atveju patikimas atvirkštinis ryšys egzistuoja visų pasirinktų koreliacijos žingsnių atžvilgiu, t.y. iliustruoja grįžtamąjį vandenyno ir atmosferos sąveikos ryšį, tik pirmumas lieka nenustatytas. Apibendrinant gautus rezultatus, paaiškėjo, kad didėjant teigiamų VPTA modų fazių intensyvumui (PK3, PK4, PK5) zoninė dedamoji turėtų silpnėti. Šios sąveikos mechanizmas gali būti aiškinamas minėtų Šiaurės Atlanto VPTA modų poveikiu: mažėjant atmosferos barokliniškumui, mažėja horizontalieji bariniai gradientai, kartu ir zoninė vėjo dedamoji.



5 pav. Šiaurės Atlanto VPTA PK ir zoninės vėjo dedamosios koreliacijos rezultatai.

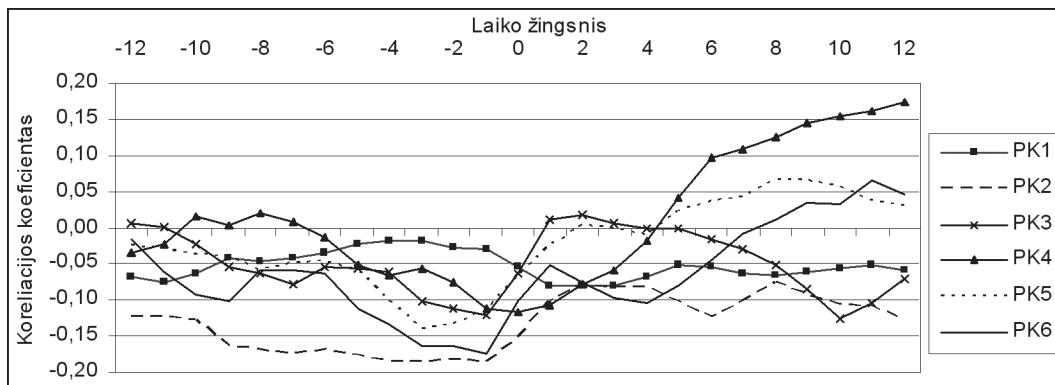
Fig. 5. North Atlantic SSTA PC and zonal wind correlation results.

Šiaurės Atlanto VPTA atsakas į meridianinės vėjo dedamosios kaitą apibūdinamas teigiamais r PK2 atveju po 7 savaičių, PK3 atveju – po 1, PK6 atveju – po 2 savaičių. Meridianinės vėjo dedamosios atsakas apibūdinamas neigiamu r ir aptiktas PK4 atveju po 11 savaičių, taigi PK4 VPTA forma gali silpninti pietinę pernašą ir suaktyvinti šiaurinę pernašą virš Baltijos regiono, kartu šalčio veržimąsi į pietus. Tokią situaciją dažnai lemia blokuojantys dariniai Euroatlantiniame sektoriuje.

5. Šiaurės Atlanto VPTA ir žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos rodiklių ryšys

Analizuojant SCAND makrocirkuliacijos formos rodiklio ir VPTA PK koreliacijos koeficientus nustatyta, kad PK4 atveju VPTA stipriausias atsakas į SCAND rodiklio kaitą išryškėja po savaitės (r neigiamas), o PK6 atveju – po 3 savaičių (r neigiamas). Aptikus tik dviejų VPTA modų ryši su SCAND rodikliu, tai būtų galima aiškinti PK ir rodiklio centro artumu. Abiem atvejais VPTA anomalijų centrai yra šalia vakarinės pietų Europos pakrantės ir išsiskiria dideliu intensyvumu bei skirtingais ženklais. Taigi esant teigiamai SCAND fazei (centras virš Pirėnų pusiasalio apibūdinamas neigiamu anomalijos ženklu) PK6 (3 pav., c) modos atveju esanti neigiama anomalija turėtų intensyvėti, o PK4 atveju būtų atvirkščiai – silpnėtų.

EATL (WRUS) rodikliu apibūdinamas žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos maksimalus poveikis VPTA juntamas PK2 atveju po 3 savaitių, PK5 – po 3, PK3 ir PK6 – po savaitės (visais atvejais ryšys yra atvirkštinis). Šią atvirkštinę priklausomybę gali lemti *EATL (WRUS)* tripolio vienas centras, esantis arčiausiai Šiaurės Atlanto akvatorijos – Šiaurės jūros rajone ir turintis teigiamą ženklą. Visais keturiais minėtais PK modų atvejais neigiamos VPTA anomalijos apima vakarinę Europos pakrantės dalį. Atsakas į VPTA modų reikšmių kaitą *EATL (WRUS)* rodiklio duomenų sekoje atsiranda PK3 atveju po 10 savaitių, PK2 – po 12 (r neigiamas), o PK4 – po 12 savaitių (r teigiamas); šioms VPTA ir žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos modams būdingas ir grįžtamasis ryšys (6 pav.).



6 pav. Šiaurės Atlanto VPTA PK ir *EATL (WRUS)* žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos rodiklio koreliacijos rezultatai.

Fig. 6. North Atlantic SSTA PC and *EATL/WRUS* teleconnection index correlation results.

VPTA atsakas į EABL rodiklio kaitą išryškėja po savaitės PK1 ir PK3 atveju, po 3 savaitių – PK5 atveju, po 2 – PK6 atveju (r teigiami), visų VPTA modų teigiamų anomalijų rajonai sutampa su EABL dipolio centru (55° š. pl., 30° r. ilg., 3 pav.). Neigiamas koreliacijos koeficientas tarp nagrinėjamo žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos pavyzdžio ir PK2 modos fiksuotas po 3 savaitių ir sietinas su minėtos VPTA modos nedideliu neigiamos anomalijos centru, artimu EABL dipolio teigiamo centro lokalizacijai. EABL rodiklio atsakas į VPTA duomenų erdvinę sklaidą ir iliustruojantis grįžtamąjį ryšį nustatytas nagrinėjant du PK pavyzdžius: PK1 – po 12 savaitių (r teigiamas) ir PK5 – po 4 savaitių (r neigiamas).

EAWG – VPTA atsakas PK1 duomenų sekoje išryškėja po savaitės (r teigiamas), PK2 – taip pat po savaitės (r neigiamas), PK3 atveju – po 9 savaitių (r neigiamas), PK4 – po 2 savaitių. Rodikliu apibūdinamų atmosferos aktyvumo centrų intensyvumo atsakas į VPTA kaitą aptiktas po 4 savaitių (r neigiamas). Koreliacinės analizės rezultatai artimi *EABL* koreliacijos su VPTA modomis rezultatams; tai akivaizdu žinant abiejų žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos formų padėtį erdvėje. Skirtumas tas, kad *EAWG* ir VPTA PK modų nesieja grįžtamasis ryšys bei tai, kad atsiranda ryšys su PK4 moda. Pastarasis ryšys aiškintinas skirtingų modų aktyvumo centrų padėtimi bei galimu Rossby bangų poveikiu VPTA.

EAE atveju nustatyta, kad atmosfera PK2 atveju reaguoja į VPTA pokyčius po savaitės (r teigiamas), po 2 savaitių – PK4 atveju (r neigiamas) ir po 3 savaitių PK6 atveju (r teigiamas). Rodiklio reikšmių sekoje atsakas į VPTA lauko erdvinį pasiskirstymą aptiktas PK4 eilėje po 11–12 savaitių (r neigiamas). *EAE* dipolio neigiamos izobarinio 700 hPa paviršiaus anomalijos centras yra kiek šiauriau nei *EABL* ir *EAWG* modų neigiamų anomalijų centrai (2 pav.), todėl ir apžvelgiamos modos koreliacija esant PK6 (3 pav.) išsiskiria gana dideliais teigiamais koreliacijos koeficientais, kartu ir stipriu grįžtamoju ryšiu, kaip ir PK4 atveju.

EUWG rodiklio ir Šiaurės Atlanto VPTA PK atvejų ryšys apibūdinamas tik VPTA atsaku į rodiklio kaitą. Taip PK4 pavyzdyje atsakas rastas po savaitės, PK5 – po 3 savaitių (*r* teigiami). Artimos *EUWG* žemo dažnio atmosferos judesių modos *EUE* poveikis Šiaurės Atlanto PK fiksuotas po savaitės PK4 ir PK6 atveju bei po 3 savaitių (*r* teigiami) PK5 atveju. Po vieną abiejų žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimų tripolių modų centrų yra artimos mūsų respublikos teritorijai (2 pav.).

NAO rodiklio ir VPTA PK1 koreliacija išsiskyrė ypač dideliais neigiamais koeficientais, statistiškai patikimais visais pasirinktais koreliacijos žingsniais. Maksimali reikšmė aptikta po 2 savaitių (VPTA atsakas į žemo dažnio atmosferos judesių tolimojo ryšio rodiklio kaitą). Glaudus PK1 ir *NAO* ryšys sutampa su išskirto (Dewar, 2001) Šiaurės Atlanto VPT tripolio ryšiais su *NAO*. PK5 ir PK6 atvejais maksimalus VPTA atsakas juntamas po 3 savaitių (*r* neigiami). Tai gali būti aiškinama *NAO* teigiamos anomalijos centro vietoje PK5 ir PK6 atvejais esančia neigiama VPTA anomalija, kuri esant neigiamai *NAO* fazei gali būti nulenta ir palaikoma neigiamos atmosferos slėgio anomalijos.

Remiantis tyrimais galima teigti, kad dauguma tirtojo dešimtmečio Šiaurės Atlanto VPTA svyravimo modų yra susijusios su atmosferos cirkuliacija, nors galima prielaida, jog VPTA anomalijos gali veikti atmosferos cirkuliaciją. Šie rezultatai sutampa su skelbtų darbų (Lau and Nath, 1994; Graham et al., 1994; Delworth, 1996) išvadomis, kuriose teigiama, kad atmosferos cirkuliacijos atsakas į Šiaurės Atlanto vidutinių platumų VPTA svyravimą yra silpnas, savo ruožtu mokslininkai išskiria tropinių Atlanto vandenyno platumų vaidmenį, turintį, anot jų, didesnę poveikį atmosferos cirkuliacijai. J. Bjerknes (1964) pateikė paradigmą, pagal kurią, Šiaurės Atlanto daugiametis VPT svyravimas daugiausia yra susijęs su atmosferos fluktuacijomis, o dešimtmečių VPT svyravimą lemia vidiniai vandenyno procesai. Atmosferos poveikis vandenynui gali persiduoti dviem būdais: 1) atmosferos cirkuliacijos anomalijų judesio momento perdavimu vandenynui, taip veikiant vandenyno cirkuliaciją bei vertikaliają ir horizontaliąją šilumos advekciją ir 2) apatinės atmosferos šilumos anomalijas veikiančia VPTA (Delworth, 1996).

Išvados

1. Šiaurės Atlanto VPTA stipriausias atsakas į atmosferos cirkuliacijos rodiklių kaitą virš Europos žemyno trunka nuo 1 iki 3 savaitių.

2. Atmosferos cirkuliacijos rodiklių virš Europos žemyno atsakas į Šiaurės Atlanto VPTA kaitą, aptiktas tarp Šiaurės Atlanto VPTA modų su būdinga teigiama VPT anomalija šiaurinėje ir centrinėje vandenyno dalyje: 1) horizontaliojo vėjo zoninės ir meridianinės dedamųjų 700 hPa lygyje virš Baltijos regiono, 2) *EATL (WRUS)* ir *EAWG* žemo dažnio atmosferos cirkuliacijos svyravimų formų. VPTA modų ir vėjo dedamųjų ryšys, apibūdinamas neigiamais koreliacijos koeficientais, gali būti VPTA poveikio vidutinių platumų atmosferos barokliniškumui rezultatas. Mažėjant barokliniškumui silpnėja horizontalieji bariniai gradientai, kartu ir pernaša.

3. Grįžtamasis ryšys tarp Šiaurės Atlanto VPTA ir atmosferos cirkuliacijos virš Europos žemyno rodiklių ypač stiprus tarp *NAO* rodiklio ir pirmosios VPTA pagrindinių komponenčių modos tripolio su dviem teigiamos VPT anomalijos centrais pietinėje bei šiaurinėje vandenyno dalyse ir mažesnio intensyvumo neigiamu centru Golfo srovės rajone (koreliacijos koeficientai neigiami).

Literatūra

- Barnston A. G. and Livezey R. E.** (1987). Classification, Seasonality and Persistence of low frequency atmospheric circulation patterns, *Monthly weather review* **115**, p. 1083–1126.
- Bjerknes J.** (1964). Atlantic air–sea interaction, *Advances in Geophysics* **10**, p. 1–82.
- Blade I.** (1999). The influence of Midlatitude Ocean–Atmosphere coupling in the Low-frequency Variability of a GCM. Part II: Interaction variability induced by Tropical SST forcing, *J. of Climate* **12**, p. 21–45.
- Cattell R. B.** (1966). The scree test for the number of factors, *Multivariate Behavioral Research* **1**, p. 245–276.
- Čekanavičius V., Murauskas G.** (2002). Statistika ir jos taikymas, Vilnius. D. II.
- Delworth T. L.** (1996). North Atlantic Interannual Variability in a Coupled Ocean–Atmosphere Model, *J. of Climate* **9**, p. 2356–2375.
- Dewar W. K.** (2001). On ocean dynamics in Midlatitude Climate, *J. of Climate* **14**, p. 4380–4397.
- Esbensen S. K.** (1984). A comparison of Intermonthly and Interannual Teleconnections in the 700 mb Geopotential High Field during the Northern Hemisphere winter, *Monthly weather review* **112**, p. 2016–2032.
- Glantz M. H., Katz R. W. and Nicholls N.** (1990). Teleconnections linking world–wide climate anomalies: scientific basis and societal impact, Cambridge.
- Graham N. E., Barnett T. P., Wilde R., Ponater M. and Schubert S.** (1994). On the roles of Tropical and Midlatitude SST's in forcing Interannual to Interdecadal Variability in the winter Northern Hemisphere circulation, *J. of Climate* **7**, p. 1416–1441.
- Jones P. D., Jonsson T. and Wheel D.** (1997). Extension using early instrumental pressure observation from Gibraltar and SW Iceland to the North Atlantic Oscillation, *Int. J. Climatol.* **17**, p. 1433–1450.
- Lau N. C. and Nath M. J.** (1994). A Model Study of the relative roles of Tropical and Extratropical SST Anomalies in the Variability of the Global Atmosphere–ocean System, *J. of Climate* **7**, p. 1184–1207.
- Lorenz E. N.** (1956). Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction, *Technical Report 1: Statistical Forecasting Project*. Cambridge: Department of Meteorology, MIT.
- Mehta V., Suarez M., Manganello J. and Delworth T. L.** (2000). Oceanic influence on the North Atlantic Oscillation and Associated Northern Hemisphere Climate Variations, *Geophysical Research Letters* **27**, p. 121–124.
- Namias J.** (1963). Large-scale air–sea interactions over the North Pacific from summer 1962 through the subsequent winter, *J. Geophys. Res.* **68**, p. 6171–6186.
- Reynolds R. W., Smith T. M.** (1994). Improved Global Sea Surface temperature analyses using optimum interpolation, *J. of Climate* **7**, p. 929–948.
- Rodwell M., Rowell D. and Folland C.** (1999). Oceanic Forcing of the Wintertime North Atlantic Oscillation and European Climate, *Nature* **398**, p. 320–323.
- Stankūnavičius G.** (2000). Ilgalaikių oro temperatūros anomalijų Lietuvoje sinoptinės sąlygos. *Dr. disertacija*, Vilnius.
- Walker G. T.** (1924). Correlation in Seasonal Variations of Weather, *IX Memo. Ind. Meteor. Dept.* **24**, p. 275–332.
- Wallace J. M. and Gutzler D. S.** (1981). Telleconnections in the 500 mb Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere winter, *Monthly weather review* **109**, p. 784–812.
- Yarnal B.** (1985). Extratropical Teleconnection with El Nino/Southern Oscillation (ENSO) events, *Prog. Phys. Geogr.* **9**, p. 315–352.
- Yin Z. Y.** (1994). Reconstruction of the winter Pacific–North American Teleconnection Pattern during 1895–1947 and its Application in Climatological Studies, *Climate research* **4**, p. 79–94.

Paulius Jalinskas

Vilnius University; Lithuanian Hydrometeorological Service

Gintautas Stankūnavičius

Vilnius University

The North Atlantic SST connection with atmospheric circulation over Europe

Summary

The study extends the investigation of midlatitude ocean–atmosphere interactions between the North Atlantic sea surface temperature (SST) anomalies and Europe on atmospheric circulation for the period 1990–1999. The SST anomalies at 127 North Atlantic water surface areas ($5^{\circ}\times 5^{\circ}$ grid) with totally complete weekly records were analyzed by principal component analysis (PCA) to investigate the spatial pattern of SST anomalies variation. Scree plot indicated that six PC's should be retained from the PCA of SST anomalies. All six PC's represent 67.8% of the total variance. Oceanic SST anomalies variability in the North Atlantic is dominated by the so-called North Atlantic tripole (first PC, representing 28.6% of variance).

Correlation analysis was carried out between the scores of the six SST anomaly principal components and 700 and 500 mb geopotential height, zonal and meridional wind components over the Baltic region and also geopotential height anomalies in the Eastern Atlantic–Eurasian–Western Pacific realm corresponding to different teleconnection patterns. The results of this study are also in good agreement with the work of Lau and Nath (1994), Graham et al. (1994) and Delworth (1996). Investigation results suggested that the dominant modes of interannual SST anomalies variability in the North Atlantic are principally forced by atmospheric variability with the notion that atmosphere is driving the ocean. The leading mode of co variability in the North Atlantic SST anomalies and most teleconnection indices over the East Atlantic and Eurasia is characterized by statistically significant correlation coefficients, which indicated that the atmosphere circulation leads ocean from 1 to 3 weeks. As well as 700 and 500–hPa heights lead ocean for a period up to 5 weeks.