

Atmosferos drėgnio kintamumas virš pietinės Baltijos jūros dalies

Justina Valauskaitė,

Gintautas Stankūnavičius

Vilniaus universitetas,

M. K. Čiurlionio g. 21/27,

LT-03101 Vilnius

El. paštas: justina.valauskaite@gf.stud.vu.lt;

gintas.stankunavicius@gf.vu.lt

Valauskaitė J., Stankūnavičius G. Atmosferos drėgnio kintamumas virš pietinės Baltijos jūros dalies. *Geografija*. 2011. T. 47(2). ISSN 1392-1096.

Straipsnyje analizuojamas integruotų vandens garų (IVG) kiekio kitimas pietinėje Baltijos jūros dalyje, naudojantis specialaus mikrobangų daviklio (SSM/I) duomenimis. Analizei pasirinkti 1988–2005 metai. Vidutinių IVG kiekio reikšmių duomenys gauti iš programinės palydovinių duomenų bazės (CM SAF) archyvų.

Nustatyta, jog tiriamuoju laikotarpiu vidutinis IVG kiekis analizuojamoje teritorijoje yra 13,58 kg/m². IVG kiekis kinta sezoniškai. Sausiausia atmosfera ties pietine Baltijos jūros dalimi yra gruodį–kovą, o drėgniausia – birželį–rugsėjį. Vidutinių IVG kiekio reikšmių maksimumas pasiekiamas liepą (21,45 kg/m²), minimumas – kovą (8,59 kg/m²).

1988–2005 m. anomalūs metai (nuokrypių reikšmės nuo daugiamečio vidurkio skiriasi daugiau nei $\pm 0,5$ kg/m²), kai stebimos mažesnės nei daugiametės vidutinės IVG kiekio reikšmės, yra 1993-ieji (12,8 kg/m²) ir 1996-ieji (12,9 kg/m²). Nustatyta, kad 1999–2000 ir 2002 m. vidutinės IVG kiekio reikšmės buvo didesnės už daugiamečių vidutines reikšmes (atitinkamai 0,67; 0,58 ir 0,59 kg/m²). IVG kiekio anomalijas paveikė vandens paviršiaus temperatūros kaita analizuojamu laikotarpiu, išskyrus 1999 m. Teigiamus nuokrypius lėmė vandens paviršiaus temperatūros kaita spalį–gruodį, o neigiamus nuokrypius – kaita liepą–rugsėjį, išskyrus 1999 m.

Pietinėje Baltijos jūros dalyje liepą–rugsėjį didžiausios IVG kiekio reikšmės būna arčiau kranto esančioje srityje, o sausį–kovą – labiau į jūrą nutolusiose srityse.

Raktažodžiai: integruoti vandens garai, Baltijos jūra, nuotoliniai metodai, SSM/I

IVADAS

Daugiausiai drėgmės susidaro 3 km aukštyje. Tokiam aukštyje IVG (integruoti vandens garai) kiekio pokyčiams didžiausią įtaką turi vandens paviršiaus temperatūros režimas, kiek mažesnę – pernaša.

Integruotų vandens garų kaitą svarbu tirti dėl jų vaidmens klimato sistemoje. Vandens garų pasiskirstymas yra svarbus veiksnys, kadangi jų kiekis turi įtakos debesodaros procesams, kurie reguliuoja spinduliuotės balansą, taip pat sugeria ilgabangę Žemės spinduliuotę, taip mažinami temperatūros skirtumai naktį (Bukantis, 1994).

Vandens garai yra vieni pagrindinių šiltnamio dujų komponentų, o tai šiuo klimato kaitos metu yra labai aktualu. Kitaip nei kitos šiltnamio efektą sukeliančios dujos, vandens garai yra kur kas labiau kintantys laike ir erdvėje ir dar nėra gerai ištirtas parametras (Jacob, 2001). Be to, vandens garų kiekis bei pasiskirstymas veikia oro masių ir

kritulodaros procesus. Drėgname ore tvarkinga konvekcija išlaisvina slaptąjį šilumą, kuri dalyvauja tolesniuose procesuose.

Šiame darbe charakteristika, apibūdinanti atmosferos drėgnį, yra IVG kiekis. Integruoti vandens garai – tai kiekis vandens garų, esančių visame atmosferos stulpe vertikalia kryptimi (kg/m²).

Integruotų vandens garų kiekio kintamumą, naudojantis nuotoliniais metodais gauta informacija, pradėta tirti XX a. aštuntajame dešimtmetyje. Šio metodo taikymas vis populiarėja, sudaroma vis daugiau duomenų bazių. Iš gautų duomenų galima sudaryti ilgas laiko eilutes, analizuoti parametrų pokyčius sezonų metu bei pastebėti anomalijas.

C. H. Reitan (1960) vienas pirmųjų atliko IVG kiekio kitimo Didžiojoje Britanijoje tyrimą. XXI a. šis parametras vis labiau ir išsamiau tiriamas, juolab kad kuriasi vis daugiau duomenų bazių, kurios teikia duomenis apie integruotų vandens garų kiekį. Pastarąjį dešimtmetį vandens

garų kiekio matavimų metodų skaičius labai išaugo ir dabar apima globalios pozicionavimo sistemos (GPS), optiniu pagrindu, nuotoliniais metodais, mikrobangų veikimo principu pagrįstus matavimus.

Atlikta ir IVG kiekio kintamumo Baltijos jūros regione analizė derinant skirtingus matavimo metodus, t. y. GPS antžeminius matavimus, SSM/I ir vandens garų radiometrą. Palyginus šiuos metodus tarpusavyje, nustatyta, jog mažiausi IVG kiekio standartiniai nuokrypiai yra duomenų, gautų iš SSM/I (Köpken, 2000).

Darbų, artimų analizuojamai temai, parašė estų mokslininkas E. Jakobson. Atlikus tyrimą, naudojantis GPS matavimais 32 tyrimo taškuose, paaiškėjo, jog integruotų vandens garų kiekis priklauso nuo sinoptinės situacijos, oro masių bei Saulės spinduliuotės kiekio (Jakobson et al., 2009). Taip pat tirtas IVG kiekio kintamumas virš Baltijos jūros regiono, naudojantis radiozondo duomenimis (Jakobson et al., 2005).

Vokietijos mokslininkai analizėje apjungė meteorologijos stočių matavimus ir nuotoliniais metodais pagrįstų IVG kiekio matavimų duomenis. Jie teigia, jog intensyviausiai IVG kiekis kinta virš Baltijos jūros birželį (Karstens et al., 1996).

Berlyno universiteto mokslininkai tyrė integruotų vandens garų kiekio kaitą nuo 2001 m. spalio iki 2003 m. Baltijos jūros regione. Jie naudojo vidutinės skiriamosios gebos spektoradiometro (MODIS) duomenis. Matavimų duomenys buvo analizuojami kartu su Baltijos jūros regionine jungtine modeliavimo sistema (BALTIMOS). Išanalizavus paaiškėjo, jog vidutinis IVG kiekis yra $17,5 \text{ kg/m}^2$, o

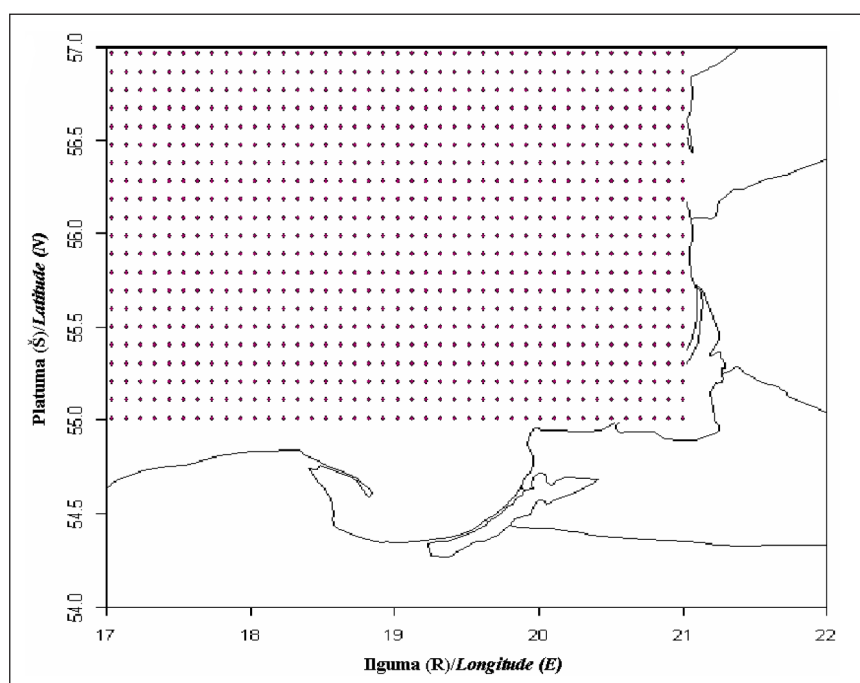
maksimalios reikšmės fiksuojamos 9–11 valandomis liepą (Leinweber, Fisher, 2009).

Lietuvos mokslinėje literatūroje IVG kiekio pasiskirstymo virš Baltijos jūros srities vertinimo taikant nuotolinius metodus nebuvo atlikta. Pagrindinis šio tyrimo tikslas – atlikus integruotų vandens garų kiekio duomenų, gautų iš duomenų bazės CM SAF, interpretaciją, išanalizuoti daugiamečių ir sezoninių IVG kiekio kintamumą virš pietinės Baltijos jūros dalies 1988–2005 m. laikotarpiu, kadangi IVG kiekis gali būti traktuojamas kaip klimato kaitos indikatorius.

DUOMENYS IR METODIKA

Duomenys, naudojami šiame darbe, gauti iš CM SAF duomenų archyvų. Tiriamasis laikotarpis yra 1988–2005 m. Šis laikotarpis pasirinktas dėl to, jog CMSAF duomenų bazėje 1988–2005 m. IVG kiekio duomenys yra patikrinti ir aprobuoti. Kitų duomenų režimas yra operatyvinis, todėl istorinei analizei netinka. Analizuojama teritorija: 55° – 57° š. pl. ir 17° – 21° r. ilg. (1 pav.). Darbe naudojamos vidutinės mėnesio integruotų vandens garų kiekio reikšmės (kg/m^2) virš analizuojamos teritorijos.

Integruotų vandens garų kiekio duomenys virš pietinės Baltijos jūros dalies gauti SSM/I davikliu, kurio skiriamoji geba $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (platuma ir ilguma). Skačiuojant integruotų vandens garų kiekį, naudojama tiesioginė ryškio temperatūra. Algoritmais ryškio temperatūra perskaiciuojama į vandens garų koncentraciją oro stulpe. Vertikalūs integruotų vandens garų kiekio duomenų gavimo procesai



1 pav. Analizuojama Baltijos jūros dalis (55° – 57° š. pl. ir 17° – 21° r. ilg.) bei matavimo taškų schema
Fig. 1. Analyzed area of the Baltic sea (55° – 57° N and 17° – 21° E) and monitoring the points scheme

vyksta 22,235 GHz dažniu. Duomenys, gauti nuotoliniu būdu, nuskaityti hierarchinės duomenų formatų sistemos (HDF) skaitytuvu. Duomenų formatas *.netCDF.

Duomenys buvo apdorojami naudojantis klimato duomenų operatoriumi (CDO) programavimo kalba parašytų scenarijų pagalba. CDO darbe naudota išskirti iš didelio duomenų kiekio reikalingus šiam darbui duomenis. Veiksmai, kurie buvo atliekami CDO pagalba, atsižvelgiant į analizuojamos teritorijos koordinatas bei analizuojamą laikotarpį: iš duomenų masyvo išskirti tik tie duomenys, kurie atitinka analizuojamos teritorijos koordinatas; atliekama duomenų interpoliacija tarp skirtingų matavimo taškų; sudaroma vientisa duomenų laiko eilutė; atliekami statistinių parametrų skaičiavimai (daugiamečio ar sezoninių vidurkių skaičiavimas; konkretaus matavimo taško integruotų vandens garų kiekio vidutinės reikšmės; nuokrypių nuo daugiamečio vidurkio (1988–2005 m.)). Matavimo taškų skaičius dirbtinai padidintas ($0,1^\circ \text{ pl.} \times 0,1^\circ \text{ ilg.}$) naudojant CDO iki 630 (1 pav.). Atlikta IVG kiekio sezoninės kaitos tendencijos analizė, kuri apibūdinta tiesiniu trendu, išreikštu regresijos lygtimi.

IVG kiekio erdvinis pasiskirstymas teritorijoje pavaizduotas naudojant „ArcGIS ArcMap 9.3“ programą.

Analizuojant parametro kaitą, sezonai išskirti pagal terminį Baltijos jūros režimą, kadangi vandens telkinys (ypač didelis) pasižymi didele šilumine inercija. Išskirti sezonai: spalį–gruodis (vandens paviršius šiltesnis nei aplinka), sausis–kovas (jūros vandens paviršius vėsta), balandis–birželis (nėra didelių kontrastų tarp aplinkos ir vandens paviršiaus temperatūrų) ir liepa–rugsėjis (aplinkos temperatūra yra aukštesnė nei vandens paviršiaus).

IVG kiekio anomalijų metų ar sezonų analizės interpretacijai pasirinkta vandens paviršiaus temperatūra, kadangi tai yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiančių analizuojamo

parametro režimą (Stephens, 1990). Tyrimo metu nustatytas statistiškai reikšmingas IVG ir SST ryšys ($\alpha = 0,01$). Vandens paviršiaus temperatūros vidutiniai mėnesio duomenys gauti iš nacionalinių aplinkos sąlygų prognozės centrų (NCEP) ir nacionalinio atmosferos tyrimų centro (NCAR) sukurtos duomenų bazės (NCEP / NCAR reanalizė I). Klimatinis daugiamečių vandens paviršiaus temperatūros vidurkis skaičiuotas 1981–2010 m. laikotarpiu.

Integruotų vandens garų kiekio daugiamečių ir sezoninė kaita pietinėje Baltijos jūros dalyje 1988–2005 m.

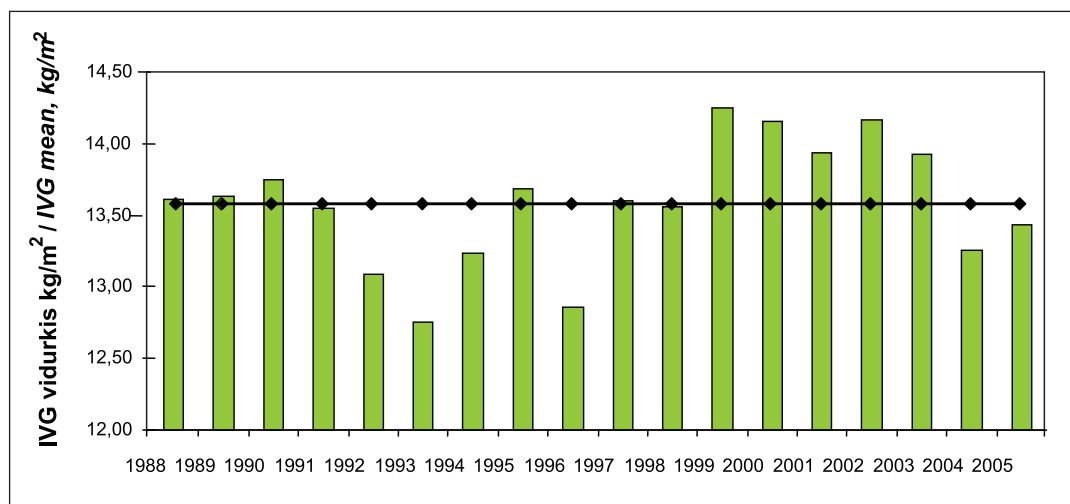
Integruotų vandens garų kiekio pasiskirstymui, kaitai įtaką turi vandens paviršiaus temperatūros režimas, sezoniskumas bei tai, jog analizuojama teritorija yra virš vandens telkinio.

1988–2005 m. virš pietinės Baltijos jūros dalies buvo keli ryškūs IVG kiekio pokyčiai (2 pav.). 1992–1994 m. bei 1996 m. IVG kiekio reikšmės mažos, palyginti su daugiamečiu vidurkiu ($13,58 \text{ kg/m}^2$). 1999–2003 m., priešingai minėtai tendencijai, matyti teigiami ryškūs nuokrypių nuo daugiamečio vidurkio.

1995–1999 m. (išskyrus 1998 m.) pasižymi ryškiai šuoliška kaita. Vidutinis IVG kiekis 1990–1993 m. mažėja palaipsniui, tačiau skirtumas tarp 1995 ir 1996 m. yra labai didelis. Amplitudė siekia $0,82 \text{ kg/m}^2$. Dar vienas ryškūs IVG kiekio pokytis tarpmetiniame cikle yra 1996–1997 m.: vidutinis IVG kiekis padidėja $0,74 \text{ kg/m}^2$. 1998–1999 m. pokytis yra vienas didžiausių, analizuojant daugiamečių ciklą, ir siekia $0,68 \text{ kg/m}^2$ per metus.

Išanalizavus vandens paviršiaus temperatūros kaitą, paaiškėjo ta pati IVG kiekio ir vandens paviršiaus temperatūros reikšmių kaitos tendencija (3 pav.).

Sausiausia atmosfera ties pietine Baltijos jūros dalimi yra gruodį–kovą: vidutinės reikšmės kinta nuo $8,59$ (kovą) iki $9,37 \text{ kg/m}^2$ (gruodį) (4 pav.).



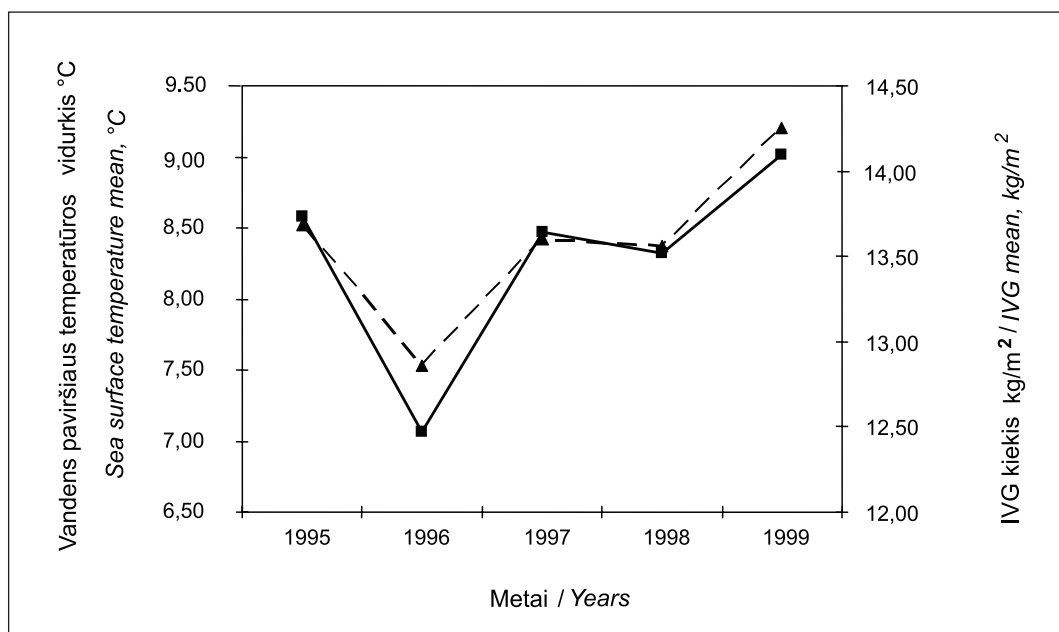
2 pav. Vidutinis IVG kiekis (stulpelinė diagrama) bei 1988–2005 m. vidurkis (ištisinė linija)

Fig. 2. The mean of IVG (columns) and long-term mean (1988–2005) (solid line)

Šylant vandens telkiniui, didėja ir analizuojamo parametro kiekis, atmosfera virš pietinės Baltijos jūros dalies darosi drėgesnė. O tai reiškia, jog yra palankesnės sąlygos debesodaros procesams bei drėgesnio oro formavimuisi. Jau nuo balandžio vidutinės IVG kiekio reikšmės didėja ir liepą pasiekiamas maksimumas ($21,45 \text{ kg/m}^2$). Kovą–liepą vidutinės reikšmės

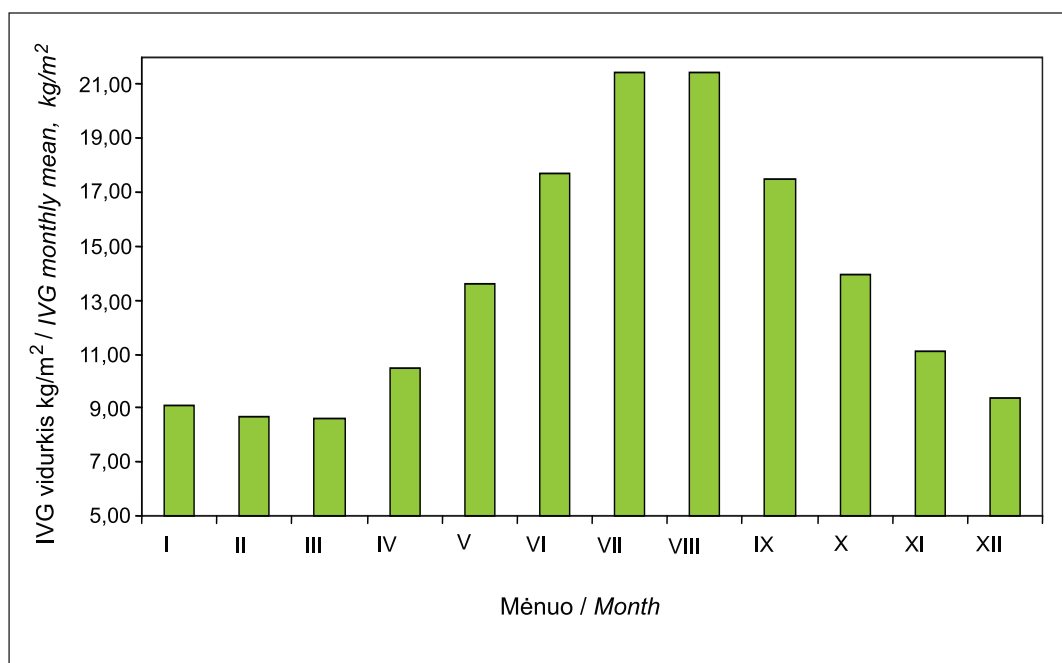
padidėja beveik 3 kartus, t. y. nuo 8 iki 21 kg/m^2 . Rugsėjį vidutinis IVG kiekis gerokai sumažėja (beveik 4 kg/m^2). Vėstant orui kovą pasiekiamas minimumas – $8,59 \text{ kg/m}^2$.

Atsižvelgiant į vidutinį IVG kiekio pasiskirstymą skirtingais mėnesiais, šio parametro kintamumą galima suskirstyti sezonais, kurie jau įvardyti: sausis–kovas (I), balandis–birželis



3 pav. Vidutinės IVG kiekio (punkttyrinė linija) ir vandens paviršiaus temperatūros (ištisinė linija) reikšmės 1995–1999 m.

Fig. 3. The mean of IVG (dashed line) and sea surface temperature (solid line) in 1995–1999



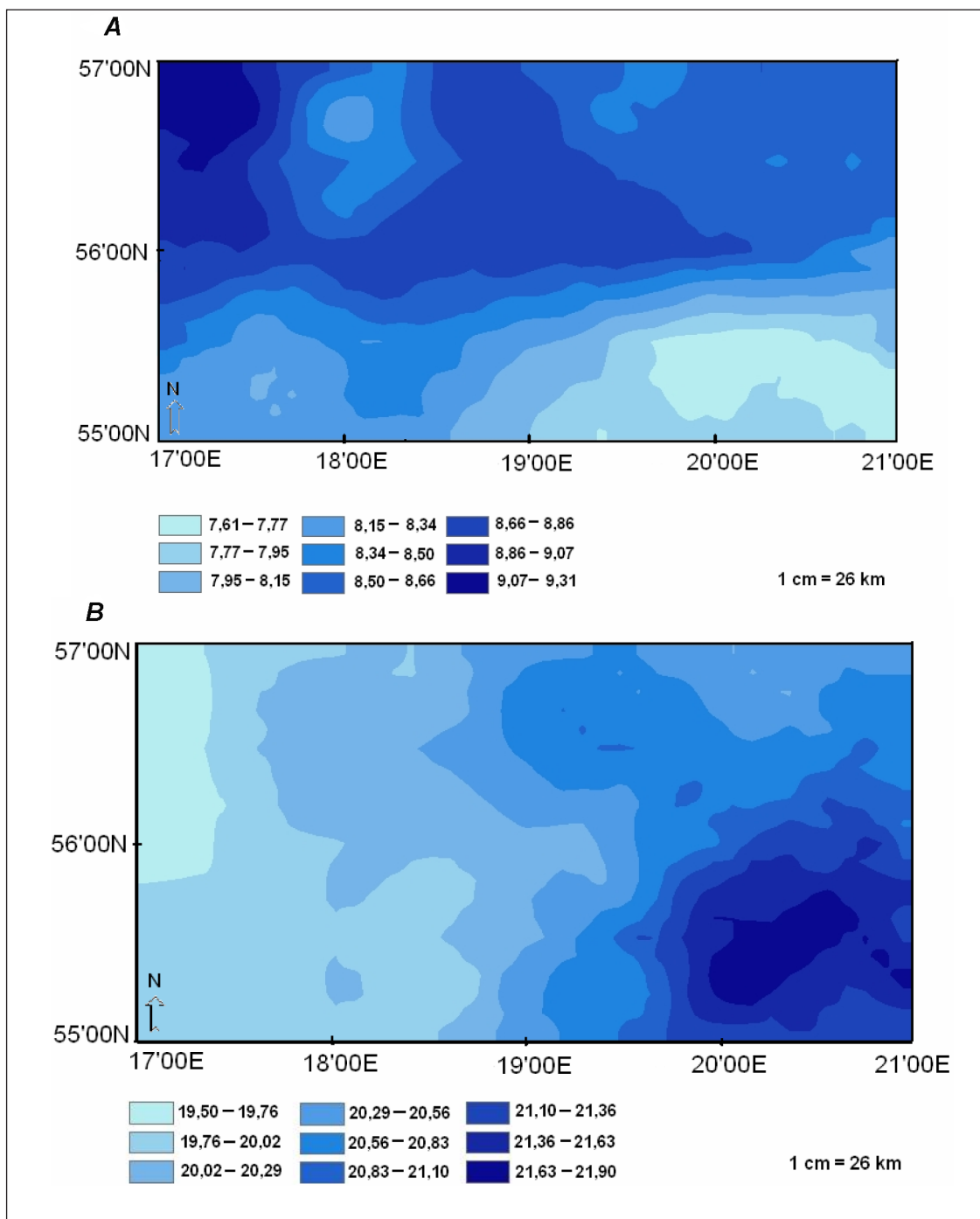
4 pav. Vidutinė IVG kiekio sezoninė kaita (1988–2005)

Fig. 4. IVG monthly mean (1988–2005)

(II), liepa–rugsėjis (III) ir spalį–gruodis (IV). Didžiausios IVG kiekio reikšmės yra liepą–rugsėį arčiau sausumos esančiose srityse (55° – 57° š. pl. ir 19° – 21° r. ilg.) (5 pav., B). Šiose srityse nustatytas sausumos poveikis, kai aplinkos temperatūra yra aukštesnė nei vandens paviršiaus. Kai fiksuojamos mažiausios reikšmės (sausis–kovas), IVG kiekio pasiskirstymas yra platuminis (5 pav., A). Didžiausios reikšmės yra 56° – 57° š. pl. ir 17° – 21° r. ilg. srityje.

1988–2005 m. virš pietinės Baltijos jūros dalies sausį–kovą IVG kiekis mažėjo ($\approx -0,06$ kg/m² per metus), liepą–rugsėį – didėjo ($\approx +0,09$ kg/m² per metus) (1 lentelė).

Pietinėje Baltijos jūros dalyje analizuojamu laikotarpiu IVG kiekio absoliutus maksimumas užfiksuotas 1997 m. rugpjūtį (28,18 kg/m²), absoliutus minimumas – 2003 m. vasarį (5,97 kg/m²) (2 lentelė). Vandens paviršiaus temperatūros minimumas ($-2,75^{\circ}\text{C}$)



5 pav. IVG kiekio (kg/m²) pasiskirstymas sausį–kovą (A) ir liepą–rugsėį (B) virš pietinės Baltijos jūros dalies (1988–2005)

Fig. 5. IVG (kg/m²) distribution for January–March (A) and July–September (B) over the southern Baltic Sea (1988–2005)

1 lentelė. IVG kiekio (kg/m²) sezoninės kaitos tendrų lygtys (1988–2005 m.)Table 1. Trends equations of IVG (kg/m²) seasonal changes (1988–2005)

Sezonas Season	Lygtis Equation	Reikšmingumo lygmuo Significance level (α)	Interpretacija Interpretation
Sausis–kovas / January–March	$y = -0,05885x + 9,3552$	0,05	IVG kiekis mažėja ($\approx -0,06$)
Balandis–birželis / April–June	$y = 0,0269x + 13,675$	Nepatikimas	IVG kiekis didėja ($\approx 0,03$)
Liepa – rugsėjis / July–September	$y = 0,0895x + 19,281$	0,1	IVG kiekis didėja ($\approx 0,09$)
Spalis–gruodis / October–December	$y = 0,0396x + 11,086$	Nepatikimas	IVG kiekis didėja ($\approx 0,04$)

užfiksuotas tuo pačiu laikotarpiu kaip ir IVG kiekio absoliutus minimumas, maksimumas (21,2 °C) – taip pat rugpjūtį, tik 2002 m.

IVG kiekio anomalijų laikotarpių analizė virš pietinės Baltijos jūros dalies

Analizuojant šio parametro tarpmetinę kaitą, galima išskirti dideliais nuokrypiais nuo normos pasižyminčius laikotarpius. Tai metai ar laikotarpiai, kurių nuokrypių nuo daugiamečio vidurkio reikšmės skiriasi daugiau nei $\pm 0,5$ kg/m². Tokia kritinė riba pasirinkta dėl to, jog netgi vidutinė metinė reikšmė kinta mažiau, tad ši paklaida atspindi anomalius laikotarpius.

Anomalūs metai analizėje suskirstyti į neigiamų anomalijų (1993 ir 1996 m.) ir teigiamų anomalijų (1999–2000 ir 2002 m.) laikotarpius.

Neigiamų anomalijų metais vidutinis IVG kiekis yra mažiausias. Čia nuokrypiai nuo daugiamečio vidurkio siekia: 1993 m. $-0,83$ kg/m², o 1996 m. $-0,72$ kg/m².

Atlikta kiekvienų jau įvardytų metų išsamesnė analizė, stengiantis suprasti, kuris metų sezonas ar mėnesiai labiausiai paveikė šitokius anomalius pokyčius atskirais metais.

1993 m. neigiamą anomaliją paveikė šiltojo sezono (liepos–rugsėjo) kaita (6 pav.): vyravo IVG kiekio mažėjimas. Nuokrypio reikšmės rugpjūtį siekia net $-2,99$ kg/m². Tokio sezono, kai vyravo neigiami nuokrypiai nuo normos visais

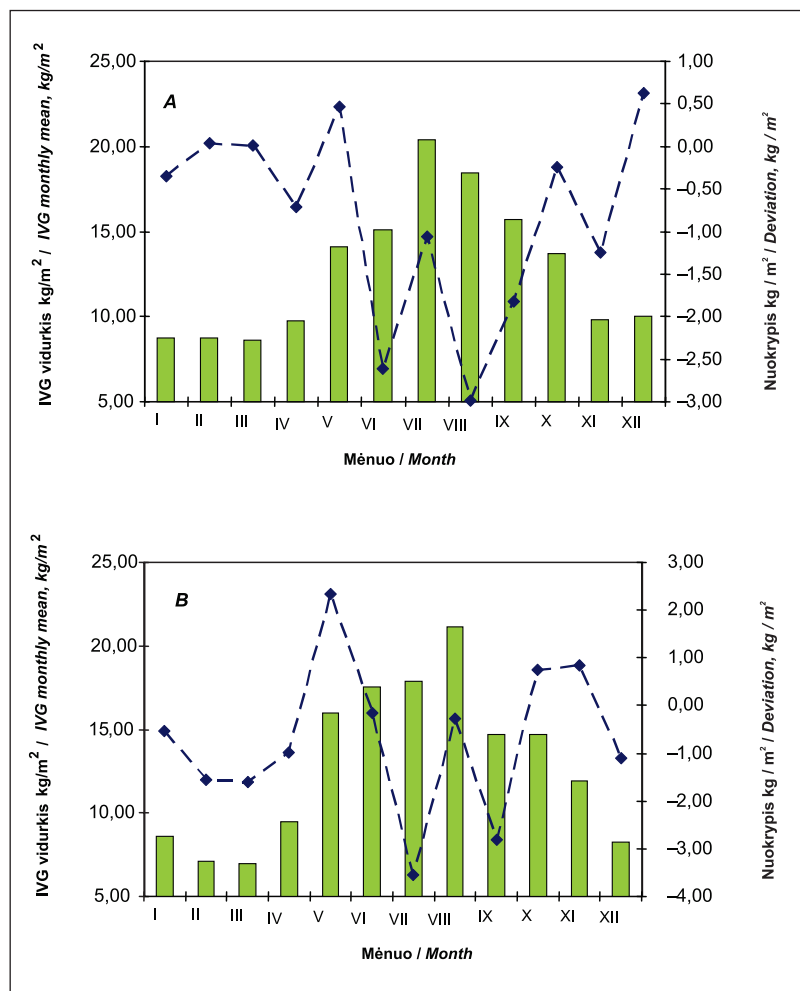
trim sezono mėnesiais, daugiau nėra ir vidutinė nuokrypių reikšmė nuo daugiamečio tų mėnesių vidurkio (%) siekia $-17,19$ % (arba $-2,21$ kg/m²). Atsižvelgiant į tai, jog būtent šiltuoju sezonu virš pietinės Baltijos jūros dalies yra daugiausiai integruotų vandens garų, tokie dideli ir ryškūs liepos–rugsėjo nuokrypiai nuo normos paveikė analizuojamo parametro kaitą 1993 m.

1996 m. matyti panaši situacija (6 pav., B). Didžiausi neigiami nuokrypiai nuo daugiamečio mėnesių vidurkio susidaro liepą–rugsėį. Vidutinė liepos IVG kiekio reikšmė yra $17,89$ kg/m², nuokrypis siekia $-3,56$ kg/m². Tai yra didžiausias neigiamas nuokrypis analizuojamu laikotarpiu bei mažiausias vidutinis IVG kiekis liepą. Šio sezono (liepos–rugsėjo) vidutinė nuokrypių nuo daugiamečio mėnesių vidurkio reikšmė 1996 m. siekė $-2,21$ kg/m².

1993 ir 1996 m. liepos–rugsėjo ryškias anomalijas nulėmė vandens paviršiaus temperatūros režimas pietinėje Baltijos jūros dalyje. 1993 m. liepą–rugsėjį vyravo dideli neigiami nuokrypiai nuo daugiamečio vidurkio (atitinkamai $-0,98$, $-1,68$ ir $-1,97$ °C). Pavasaris buvo pakankamai vėsus ir vandens paviršius nesukaupe šilumos, o tai ir paveikė šitokią ryškią IVG kiekio anomaliją. 1996 m. vandens paviršiaus temperatūros kaita išsiskiria dideliais neigiamais nuokrypiais nuo normos (klimatinio daugiamečio vidurkio). 1996 m. ypač šalti buvo žiema ir pavasaris. Visą laikotarpį vandens paviršiaus temperatūros nuokrypių reikšmės

2 lentelė. IVG kiekio absoliutus maksimumai ir minimumai bei kaitos amplitudės (kg/m²) ties pietine Baltijos jūros dalimi (1988–2005 m.)Table 2. IVG absolute minimum, absolute maximum and amplitude (kg/m²) in the southern part the Baltic Sea (1988–2005)

Mėnuo Month	Absoliutus minimumas Absolute minimum	Metai Years	Absoliutus maksimumas Absolute maximum	Metai Years	Amplitudė Amplitude
Sausis / January	7,2	2004	10,64	2001	3,45
Vasaris / February	5,97	2003	11,45	1998	5,47
Kovas / March	5,99	2003	11,85	1999	5,86
Balandis / April	8,84	2005	15,54	2000	6,7
Gegužė / May	11,38	1994	17,41	2002	6,04
Birželis / June	13,06	2005	21,9	1999	8,84
Liepa / July	17,69	1996	27,98	2001	10,29
Rugpjūtis / August	17,97	2005	28,18	1997	10,21
Rugsėjis / September	11,98	1997	23,5	1994	11,52
Spalis / October	8,44	1997	21,89	1995	13,45
Lapkritis / November	8,23	1998	14,31	2000	6,08
Gruodis / December	6,36	1995	11,98	2000	5,62



6 pav. Vidutinė IVG kiekio sezoninė kaita (stulpelinė diagrama) bei nuokrypiai nuo daugiamečio mėnesių vidurkio (punktyrinė linija) pietinėje Baltijos jūros dalyje 1993 (A) ir 1996 m. (B)

Fig. 6. IVG monthly mean (column diagram) and the deviations from long-term monthly mean (dotted line) in the southern Baltic Sea in 1993 (A) and 1996 (B)

neigiamos, vyravo nuo $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (balandį) iki $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (liepą). Vandens paviršiaus temperatūros nuokrypis nuo daugiamečio vidurkio yra vidutiniškai $-1,41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Be jokios abejonės, tai 1996 m. paveikė ir IVG kiekio kaitą.

Išskirtinai didelė vidutinė IVG kiekio reikšmė yra 1999–2000 ir 2002 m.: itin didelis metinis vidutinis IVG kiekis (atitinkamai $14,25$, $14,16$ ir $14,17\text{ kg/m}^2$), tuo tarpu daugiamečio mėnesių vidurkis – $13,58\text{ kg/m}^2$. 1999 m. iš visų kitų išsiskiria dar ir tuo, jog neigiamų nuokrypių nuo daugiamečio mėnesių vidurkio reikšmės yra mažiausios ir vyrauja teigiamų nuokrypių reikšmės (7 pav.).

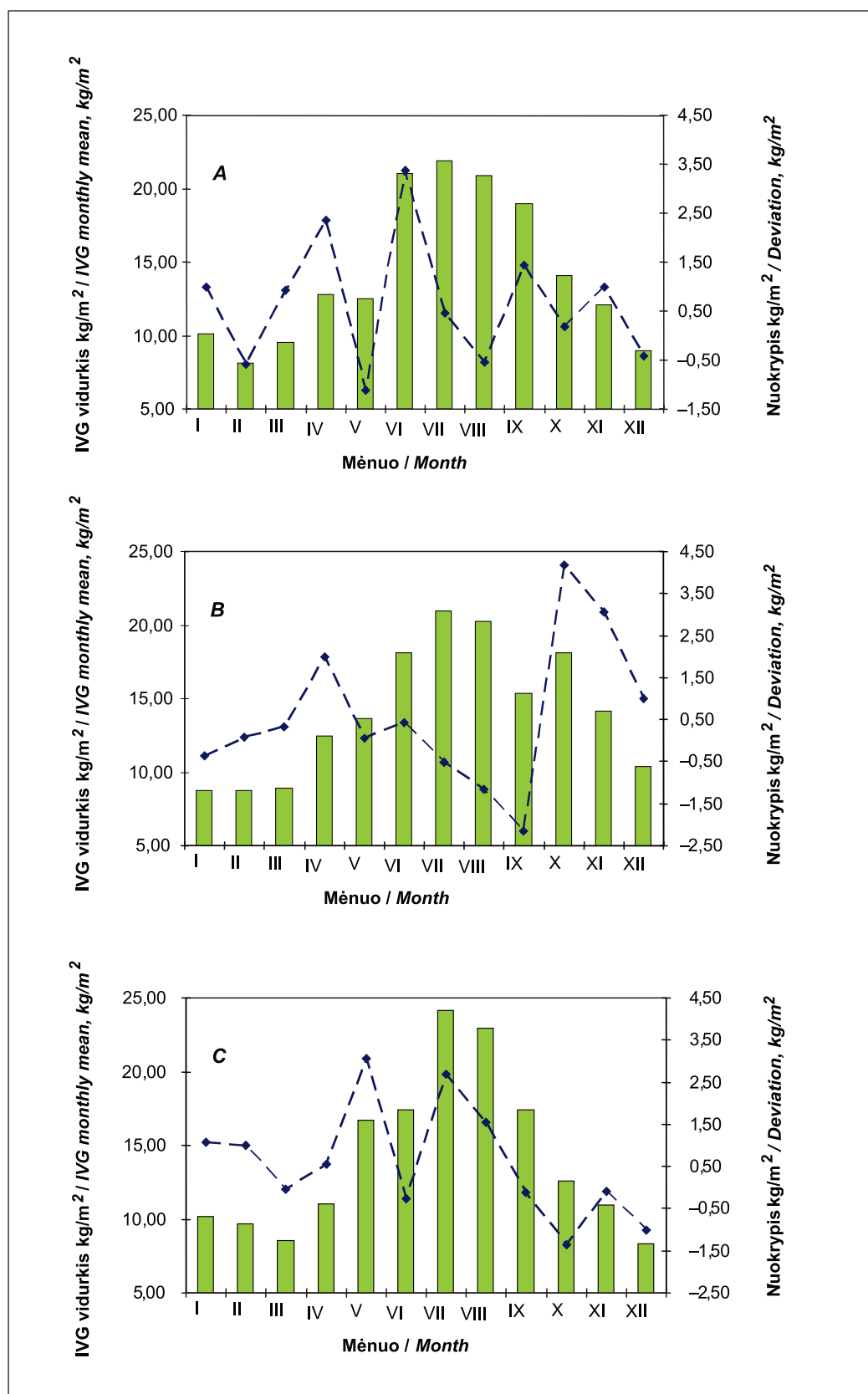
Balandžio–birželio IVG kiekio kaita lėmė 1999 m. anomaliją (7 pav., A). Būtent šiais mėnesiais vyravo didžiausios teigiamos nuokrypio reikšmės (vidutinė nuokrypio reikšmė $+1,53\text{ kg/m}^2$). Didžiausias IVG kiekio nuokrypis nuo 1988–2005 m. vidurkio yra birželį ($+3,37\text{ kg/m}^2$).

1999 m. teigiamos anomalijos pagrindinė priežastis nėra vandens paviršiaus temperatūrų anomalijos, kadangi kiek didesnės anomalijos pastebimos liepą–rugsįjį, o ne balan-

dį–birželį. 1999 metai buvo anomaliai šilti. Balandį Baltijos regione temperatūra buvo $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukštesnė už normą, o birželis – vienas šilčiausių per šimtmetį (Annual Bulletin..., 2000).

2000 m. IVG kiekio nuokrypiai nuo normos siekia $0,58\text{ kg/m}^2$ (7 pav., B). Tokių nuokrypių lėmė ypač šilti spalio–gruodis ir šalti liepą–rugsįjį. Spalio–gruodžio vidutinė IVG kiekio nuokrypių nuo normos reikšmė yra $2,75\text{ kg/m}^2$. 2000 m. spalio–gruodis pasižymi ryškiomis vandens paviršiaus temperatūros anomalijomis pietinėje Baltijos jūros dalyje. Vidutinė nuokrypių reikšmė siekia $+2,30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Analizuojant vandens paviršiaus temperatūros ir IVG kiekio kaitą, pažymėtina, jog liepą–rugsįjį vandens paviršiaus temperatūros buvo mažesnės už normą vidutiniškai $-1,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2002 m. vyravo teigiamos vandens paviršiaus temperatūros anomalijos, išskyrus spalį–gruodį (7 pav., C). Po šilto sausio–birželio laikotarpio vandens paviršiaus temperatūrų teigiamų anomalijų maksimumas pasiekiamas liepą–rugsįjį (vidutinė nuokrypio reikšmė $+2,05\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tai yra pagrindinė priežastis,



7 pav. Vidutinė IVG kiekio sezoninė kaita (stulpelinė diagrama) bei nuokrypiai nuo daugiamečio mėnesių vidurkio (punktų linija) pietinėje Baltijos jūros dalyje 1999 (A) – 2000 (B) ir 2002 m. (C)

Fig. 7. IVG monthly mean (column diagram) and the deviations from long-term monthly mean (dotted line) in the southern Baltic Sea in 1999 (A) – 2000 (B) and 2002 (C)

dėl kurios susidaro tokia didelė (vidutiniškai $1,37 \text{ kg/m}^2$) teigiama IVG kiekio anomalija virš pietinės Baltijos jūros dalies analizuojamu laikotarpiu.

APIBENDRINIMAS

Pietinėje Baltijos jūros dalyje integruotų vandens garų kiekis kinta sezoniškai. Virš pietinės Baltijos jūros dalies sausiausia atmosfera yra gruodį–kovą: vidutinės IVG kiekio reikšmės kinta nuo $8,59 \text{ kg/m}^2$ kovą (minimumas) iki $9,37 \text{ kg/m}^2$ gruodį. Nuo balandžio vidutinės IVG kiekio reikšmės didėja, ir liepą pasiekiamas maksimumas ($21,45 \text{ kg/m}^2$). Palyginus kovo ir liepos vidutinės IVG kiekio reikšmes, matyti, jog pastarosios padidėja beveik tris kartus.

Nustatyta, kad 1999–2000 ir 2002 m. IVG kiekio reikšmės buvo anomaliai didelės (atitinkamai $0,67$; $0,58$ ir $0,59 \text{ kg/m}^2$), palyginti su daugiamečiu vidurkiu, o 1993 ir 1996 m. – anomaliai mažos. Nuokrypis nuo daugiamečio vidurkio 1993 m. buvo $-0,83 \text{ kg/m}^2$, o 1996 m. – $-0,72 \text{ kg/m}^2$. Didžiausią poveikį IVG kiekio teigiamoms anomalijoms padarė spalio–gruodžio vandens paviršiaus temperatūros pokyčiai, o neigiamoms – liepos–rugsėjo. 1999 m. vandens paviršiaus temperatūros kaita nebuvo pagrindinė IVG kiekio teigiamos anomalijos priežastis. Šie metai literatūros šaltiniuose įvardijami kaip vieni šilčiausių, o Baltijos regione balandį temperatūra buvo $+4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ aukštesnė už normą.

1988–2005 m. liepą–rugsėį virš pietinės Baltijos jūros dalies stebėta IVG kiekio didėjimo tendencija ($0,009 \text{ kg/m}^2$ per vienerius metus, $\alpha = 0,05$), sausį–kovą – mažėjimo tendencija ($-0,06 \text{ kg/m}^2$, $\alpha = -0,06$).

Pietinėje Baltijos jūros dalyje liepą–rugsėį didžiausios IVG kiekio reikšmės būna arčiau kranto esančioje srityje (55° – 57° š. pl. ir 19° – 21° r. ilg.), o sausį–kovą – labiau į jūrą nutolusiose srityse (56° – 57° š. pl. ir 17° – 21° r. ilg.).

Gauta 2011 09 28

Priimta 2011 10 28

Literatūra

1. *Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI – Europe and Middle East – 1999*. 2000. Ataskaita. Vokietija: Deutscher Wetterdienst.
2. Bukantis A. 1994. *Lietuvos klimatas*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
3. Jacob D. 2001. The role of water vapour in the atmosphere. A short overview from a climate modeller's view. *Physics and Chemistry of the Earth. Part A*. 26: 523–527.
4. Jakobson E., Ohvril H., Okulov O., Laulainen N. 2005. Variability of radiosonde-observed precipitable water in the Baltic region. *Nordic Hydrology*. 36(4–5): 423–433.
5. Jakobson E., Ohvril H., Elgered G. 2009. Diurnal variability of precipitable water in the Baltic region, impact on transmittance of the direct solar radiation. *Boreal Environment Research*. 14: 45–55.
6. Karstens U., Nolte-Holube R., Rockel B. 1996. Calculation of the water budget over the Baltic Sea catchment area using the regional forecast model REMO for June 1993. *Dynamic Meteorology and Oceanography*. 48(5): 684–692.
7. Köpken C. 2000. Validation of integrated water vapour from numerical models using ground-based GPS, SSM/I, and water vapour radiometer measurements. *Journal of Applied Meteorology*. 6(40): 1105–1117.
8. Leinweber R., Fisher J. 2009. Water vapour in BALTIMOS: a comparison with MODIS measurement. *Theoretical and Applied Climatology*. 10.
9. Reitan C. H. 1960. Mean monthly values of precipitable water over the United States, 1946–56. *Monthly Weather Review*. 88: 25–35.
10. Stephens G. L. 1990. On the relationship between water vapour over the oceans and sea surface temperature. *Journal of Climate*. 3: 634–645.

Justina Valauskaitė, Gintautas Stankūnavičius

VARIABILITY OF ATMOSPHERIC HUMIDITY OVER THE SOUTHERN BALTIC SEA

Summary

The paper analyzes the integrated water vapor content (IVG) variability in the southern Baltic Sea during the period 1988–2005 using Special Sensor Microwave (SSM/I) data. IVG means were obtained from satellite-based database applications (CM SAF) archives.

It was found that the mean of IVG was 13.58 kg/m^2 in analyzed area. IVG fluctuations are seasonal. The driest climate in the southern Baltic Sea is in period of December–March (cold period) and the wettest – June–September (warm period). IVG reached mean maximum in July (21.45 kg/m^2) and minimum – in March (8.59 kg/m^2).

1993 and 1996 were anomaly years. In those years IVG means were lower than the observed long-term mean. In 1993 IVG mean was 12.8 kg/m^2 and in 1996 – 12.9 kg/m^2 . The analysis showed that IVG means values were higher than the long-term mean in 1999 (0.72 kg/m^2). IVG means were higher than the multiannual average values (respectively 0.67 , 0.58 and 0.59 kg/m^2) in 1999–2000 and 2002. The main reasons leading to IVG anomalies are SST variations over the period, excluding the year 1999. The eastern Baltic Sea surface temperature positive deviations of October–December months affected positive anomalies of IVG. Sea surface temperature fluctuations of July–September months affected IVG negative variations, excluding the year 1999. In April 1999 the positive temperatures anomalies were higher more than $+4.0 \text{ }^\circ\text{C}$ in the Baltic states (*Annual Bulletin...*, 2000).

It was found that the highest IVG values in warm period (July–September) were in regions closer to the coast (55° – 57° N and 19° – 21° E), and in the period of January–March the lowest IVG means were in 56° – 57° N and 17° – 21° E area.

Key words: precipitable water, the Baltic Sea, SSM/I, distance methods, CM SAF