

Integruoto vandens garų kiekio virš Baltijos regiono klimatiniai rodikliai

Justina Valauskaitė,

Gintautas Stankūnavičius

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

Valauskaitė J., Stankūnavičius G. Integruoto vandens garų kiekio virš Baltijos regiono klimatiniai rodikliai. *Geografija*. T. 48(2). ISSN 1392-1096.

Darbe analizuojamas integruoto vandens garų kiekio (IVG) režimas, pasiskirstymas ir dinamika Baltijos regione. Tai yra tęstinis autorių darbas apie atmosferos drėgmės pasiskirstymą virš Baltijos regiono, remiantis klimatine nuotoliniais metodais nustatytų atmosferos parametrų duomenų baze. IVG kiekio vidutinės paros reikšmės gautos iš programinės palydovinių duomenų bazės (CM SAF) archyvų. Analizuojamasis laikotarpis – 2004–2011 m.

Nustatyta, jog daugiametis IVG kiekio vidurkis virš Baltijos regiono yra 15,38 kg/m². Vidutinis IVG gradientas orientuotas šiaurės pietų kryptimi, o vidutinis skirtumas tarp tiriamos teritorijos šiaurinės ir pietinės ribos sudaro 2,1 kg/m². IVG turi ryškią sezoninę kaitą: maksimalus IVG kiekis vidurvasarį bent tris kartus didesnis už žiemos pabaigos minimalų IVG.

Didžiausi horizontalūs IVG gradientai yra jūra-sausuma paribio rajonuose. Spalio–kovo mėn. integruotas vandens garų kiekis yra didesnis virš vandens paviršiaus nei virš sausumos vidutiniškai 3 %. O balandžio–rugsėjo mėn. atvirkščiai – virš vandens paviršiaus IVG kiekis yra mažesnis nei virš sausumos vidutiniškai 5 %.

Skirtingų duomenų bazių sekų homogeniškumo analizė parodė, kad ATOVS ir SSM/I IVG sekos virš centrinės Baltijos jūros dalies yra homogeniškos tik šaltuoju sezonu: lapkričio–balandžio mėn. Šio sezono sekų sujungimas į bendrą duomenų bazę leido nustatyti klimatinis IVG rodiklius virš Centrinės Baltijos 1989–2010 m. laikotarpiu.

Raktažodžiai: integruoti vandens garai, Baltijos jūra, ATOVS, SSM/I, homogeniškumas

ĮVADAS

Integruoto vandens garų kiekio (IVG) kintamumą, naudojantis nuotoliniais metodais gauta informacija, pradėta tirti XX a. aštuntajame dešimtmetyje. C. H. Reitan (1960) vienas pirmųjų atliko tyrimą apie IVG kiekio kitimą Didžiojoje Britanijoje.

Vandens garų pasiskirstymas yra svarbus veiksnys, kadangi jų kiekis turi įtakos debesų susidarymui, kurie reguliuoja spinduliuotės balansą, taip pat sugeria ilgųjų bangų Žemės spinduliuotę. Taip mažinami temperatūros skirtumai naktį (Bukan-

tis, 1994). Analizuojamas parametras yra vienas iš pagrindinių šiltnamio dujų komponentų (Held, Soden, 2000; Blankenship ir kt., 2000; Johnsen ir Kider, 2002; IPCC, 2007) bei dalyvauja išskiriamos slaptosios šilumos kiekio procese, kurios reikšmės susidaro fazinių vandens virsmų šilumos srautuose (Stephens, 1990). IVG kiekio parametras naudojamas debesų dangos ir kritulių prognozavimui (Hou ir kt., 2000; Zeng, 1999).

Integruotas vandens garų kiekis globaliu mastu, remiantis SSM/I (*The special sensor microwave / imager* – Specialus mikrobangų vaizdavimo instrumentas) daviklio duomenimis,

tirtas K. E. Trenberth ir bendraautorių (2005). Jų atlikta analizė parodė, kad IVG kiekis 1988–2004 m. laikotarpiu didėjo 1,2 % per dešimtmetį ($0,40 \pm 0,09$ mm) virš vandens paviršiaus ir nepadengtu ledu plotų.

U. Karstens ir bendraautoriai (1996) analizėje apjungė *in situ* matavimus ir nuotoliniais metodais pagrįstų IVG kiekio matavimų duomenis. Jie teigia, kad didžiausia IVG kiekio variacija stebima birželio mėn. virš Baltijos jūros.

IVG parametras naudojamas kitų atmosferos ir aplinkos rodiklių nustatymo algoritmuose. Pvz., M. Schroedter (2001) nustatė, kad integruotas vandens garų kiekis, kaip papildomas parametras, gerina vegetacijos indekso, nustatyto nuotoliniu būdu, kokybę. Taip pat IVG ir apatinės troposferos temperatūrą sieja glaudus ryšys, kurį nustatė D. L. Randel ir kt. (1996), tyrinėdami abiejų parametrų neigiamų ir teigiamų anomalijų laikotarpių sinchroniškumą Šiaurės pusrutulyje.

Nuo 2004 m. nuotoliniu būdu IVG kiekis nustatomas ne vien tik virš vandens paviršiaus, bet ir virš sausumos. Šiame darbe IVG kiekio pokyčiai virš sausumos tirti naudojant ATOVS (*Advanced TIROS (Television and Infrared Observational Satellite) Operational Vertical Sounder* – Patobulintas TIROS programos vertikalus daviklis) davikliu gautus duomenis. Darbe analizuotas IVG jautrumas paklotiniam paviršiui. Išskirti skaičiavimo taškai, esantys sausumoje ir virš vandens paviršiaus. Sausumoje skaičiavimo taškų – 112, o virš vandens paviršiaus (Baltijos jūros) – 135.

Analizuojamas parametras yra potencialus hidroterminis oro masės rodiklis. Šio darbo rezultatai gali būti panaudoti tiek tiriant bendrus klimato pokyčius Baltijos regione, tiek ir kitų meteorologinių elementų (debesų dangos, oro masių, kritulių) režimą bei jų anomalijų priežastis.

Darbo tikslas – atliktis homogeniškumo analizę sujungti dviejų skirtingų daviklių duomenų sekas bei nustatyti ilgalaikius regioninius IVG kiekio svyravimus virš Baltijos regiono.

DUOMENYS IR METODIKA

Darbe analizuojami duomenys paimti iš programinės palydovinių duomenų bazės CM SAF (*The Satellite Application Facility on Climate Monitoring* – Programinė palydovinių duomenų bazė) archyvų (<http://www.cmsaf.eu>). Duomenys yra

aproksimuojami Krigingo metodu, kuris plačiai yra aprašomas R. Lindau ir J. Schulz (2004) darbe. Šios duomenų bazės pagrindinis tikslas yra dirbtinių Žemės palydovų davikliais gautų duomenų pritaikymas klimato tyrimams.

Tai yra tęstinis autorių darbas apie drėgmės pasiskirstymą virš Baltijos regiono. Šioje analizėje naudojami SSM/I ir ATOVS davikliais gauti duomenys.

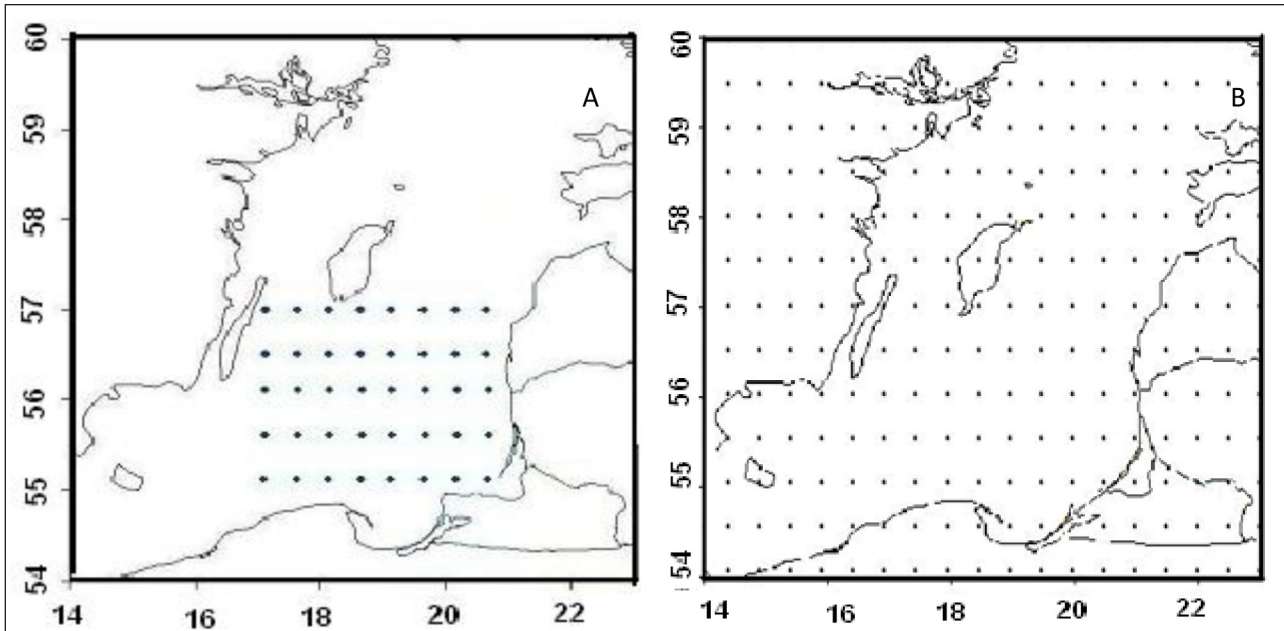
Integruoto vandens garų kiekio duomenys virš dalies Baltijos regiono gauti iš ATOVS daviklio duomenų bazės, o virš centrinės Baltijos jūros dalies – SSM/I daviklio (1 pav.). IVG kiekio erdvinis pasiskirstymas vizualizuotas naudojant Geografinių informacinių sistemų (GIS) programą ArcGIS ArcMap 10.0. Duomenys interpoluoti erdvėje polinominiu *spline* metodu.

Duomenų apdorojimas buvo vykdomas naudojantis klimato duomenų operatoriumi CDO (*Climate Data Operators* – Klimato duomenų operatorius) bei CM SAF paruoštais pirminiam apdorojimui tinkamais programavimo kalba parašytais scenarijais.

SSM/I integruoto vandens garų režimo tyrimo arealas yra keliskart (55° – 57° š. pl. ir 17° – 21° r. ilg.) mažesnis už ATOVS IVG tyrimo arealą (1A pav.). Ši teritorija įvardijama kaip centrinė Baltijos jūros dalis (Falkerman, Mikulski, 1975). Interpoliavimo būdu matavimo taškų skaičius padidintas iki 40 (originalių taškų skaičius – 20).

Sausio–gruodžio mėn. klasterinei analizei naudoti IVG paros vidurkiai nuo 2004 iki 2011 m. Erdviniai klasteriai nustatyti K – vidurkių metodo pagalba (Čekanavičius, Murauskas, 2001), prieš tai taikant hierarchinį klasterinės analizės metodą bei pasirenkant atstumų ribines reikšmes. Jos gruodžio–balandžio mėn. yra 0,9; gegužės–rugpjūčio – 1,2; rugsėjo–lapkričio – 1,1.

Dėl skirtingų IVG nustatymo algoritmų atlikta sekų vienalytiškumo (homogeniškumo) analizė. 2004 m. SSM/I ir ATOVS duomenų sekų vienalytiškumą tyrė ir aprašė M. Jonas ir bendraautoriai (2009). Jie teigia, jog šių daviklių duomenys yra patikimi ir tarpusavyje derantys. Tikrindami persidengiančių metų vienalytiškumą jie pažymėjo, jog būtina atkreipti dėmesį į šių dviejų instrumentų skirtingą jautrumą IVG bei skirtingus IVG kiekio nustatymo algoritmus. Taip pat autoriai teigia, kad rezultatams įtakos turi ir matuojamo parametro arealas.



1 pav. Analizuojamoji teritorija bei matavimo tinklelio taškai, remiantis SSM/I (A) ir ATOVS (B) daviklių duomenimis
Fig. 1. Studied area and the grid points for: SSM/I (A) and ATOVS (B) instruments

SSM/I ir ATOVS IVG kiekio duomenų vienalytiškumui testuoti pasirinkta teritorija apima 55° iki 57° š. pl. ir nuo 17° iki 21° r. ilg. (centrinė Baltijos jūros dalis). Interpoliavus SSM/I daviklio duomenis (CDO pagalba) atrinkti SSM/I ir ATOVS vienodas koordinatas atitinkantys taškai. Statistinis sekų homogeniškumas buvo tikrinamas naudojant: Fišerio kriterijų (dispersijų homogeniškumui tikrinti), Z kriterijų (vidutinių reikšmių homogeniškumui tikrinti) ir Stjudento kriterijų (vidutinių reikšmių homogeniškumui tikrinti). Sekų vienalytiškumo testas buvo atliktas persidengiančių sekų laikotarpiu (2004–2005 m.) bei likusių tyrimų laikotarpiu (be 2004–2005 m.). Homogeniškumo analizei pasirinktos duomenų sekos reprezentuoja vidutines paros reikšmes: ATOVS ir SSM/I IVG sekų ilgis sudaro atitinkamai 5 ir 15 metų laikotarpius. Homogeniškumo analizė atlikta kiekvieną mėnesį atskirai. Vidurkių homogeniškumui tikrinti naudojamas tiek Stjudento, tiek ir Z kriterijus. Analizei pasirinkti du standartiniai reikšmingumo lygmenys: $\alpha = 0,05$ (95 %) ir $\alpha = 0,01$ (99 %). **Atlikta SSM/I ir ATOVS duomenų koreliacinė analizė.** Mėnesiais, kai duomenys buvo homogeniški, koreliacijos koeficientai yra statistiškai patikimi. Sujungus skirtingų daviklių

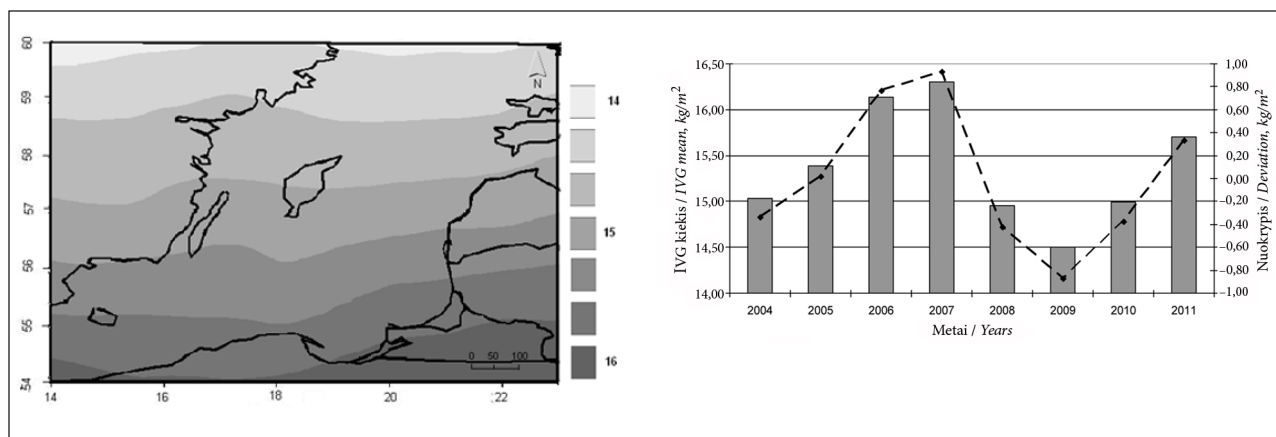
duomenų sekas, analizuojamasis laikotarpis pailgėja – apima 1989–2010 m. šaltąjį sezoną (lapkritis–balandis).

IVG KIEKIO REŽIMAS 2004–2011 METAIS

Integruoto vandens garų kiekio tarpmetinė ir sezoninė kaita virš Baltijos regiono analizuota remiantis ATOVS 2004–2011 m. paros vidutinėmis reikšmėmis. Daugiametis visos analizuojamosios teritorijos vidurkis yra 15,38 kg/m².

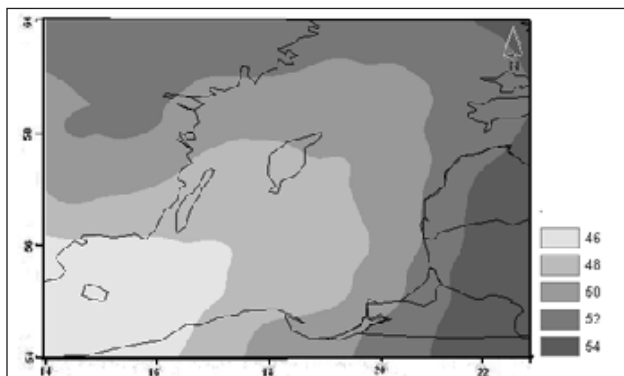
Didžiausi IVG kiekio nuokrypiai nuo daugiamečio vidurkio nustatyti 2007 (+0,93 kg/m²) ir 2009 (–0,87 kg/m²) metais (2B pav.). Viena iš galimų tokių nuokrypių nuo normos priežasčių – vandens paviršiaus temperatūros anomalijos. Šiuos parametrus tyrė ir statistiškai reikšmingus ryšius nustatė G. L. Stephens (1990), J. Valauskaitė, G. Stankūnavičius (2011) ir kt. 2011 m. IVG kiekio svyravimai buvo didžiausi: tais metais užfiksuotas absoliutus IVG kiekio maksimumas virš analizuojamosios teritorijos liepos 21 d. (49,16 kg/m²) bei absoliutus minimumas – vasario 23 d. (2,80 kg/m²).

Viso tiriamojo laikotarpio vidutinis integruoto vandens garų kiekio pasiskirstymas yra platuminis:



2 pav. Vidutinis daugiametis IVG kiekio pasiskirstymas erdvėje (kg/m^2) (A) ir regiono vidutinis metinis IVG kiekis (stulpelinė diagrama) bei nuokrypiai (kg/m^2) nuo 2004–2011 m. vidurkio (punktirinė linija) (B) virš Baltijos regiono
Fig. 2. The spatial distribution of climatology of the integrated water vapour (IWV), in kg/m^2 (a) and the areal mean of the annual IWV (columns) and deviation from the 2004–2011 mean (dashed line), both in kg/m^2 (b) over the Baltic region

didžiausi kiekiai teritorijos pietinėje, o mažiausi – šiaurinėje dalyse, vidutinis IVG kiekio skirtumas tarp šiaurinės ir pietinės dalies sudaro $2,70 \text{ kg}/\text{m}^2$. (2A pav.), tačiau šio parametro kintamumo tyrimai parodė, kad labiausiai kintanti yra pietrytinė analizuojamosios teritorijos dalis (3 pav.). Šioje zonoje variacijos koeficiento reikšmės siekia 54 %, o didžiausias sezoninis erdvinis variacijos koeficientas nustatytas liepos mėn. (25 %).



3 pav. IVG variacijos koeficiento (%) erdvinė sklaida (paros vidutinės reikšmės) virš Baltijos regiono (2004–2011 m.)

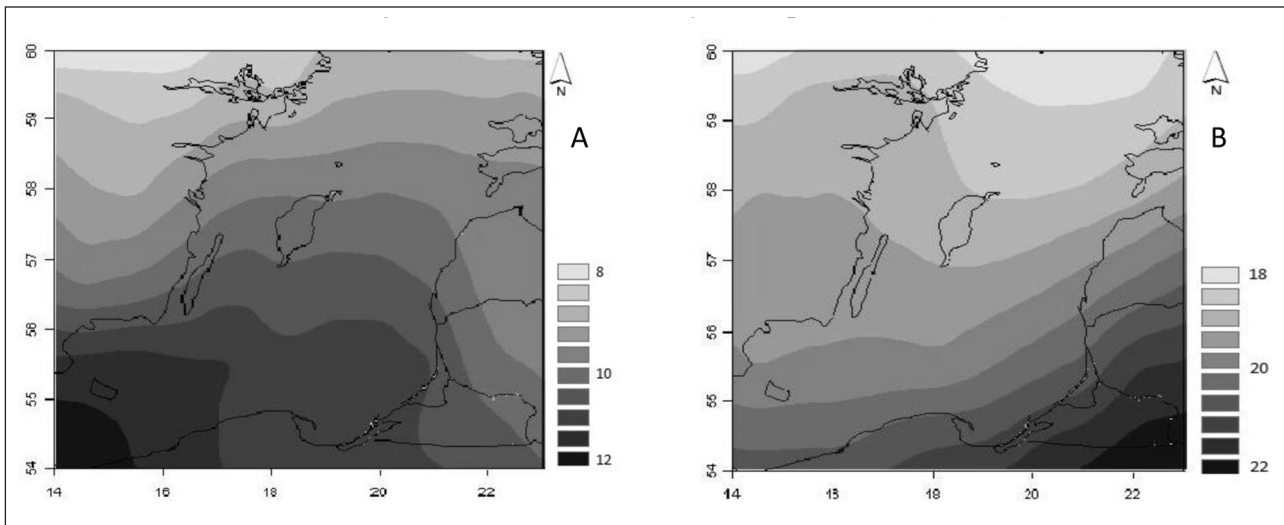
Fig. 3. The spatial distribution of IWV variation coefficient (according to daily values) over the Baltic region (2004–2011)

Balandžio–rugsėjo mėn. vidutinis integruotas vandens garų kiekis didžiausias yra pietrytinėje (PR) teritorijos dalyje virš sausumos (4B pav.). Tolstant į šiaurę drėgmės atsargos mažėja, o virš jūros izolinijos išsigaubia į pietus dėl vėsnio paklotinio paviršiaus. Vidutinis sezoninis skirtumas yra $3,90 \text{ kg}/\text{m}^2$. Spalio–kovo mėn. priešingai – bendras atmosferos drėgnumas didžiausias pietvakariuose, izolinijos išsigaubia į šiaurę, šiaurės rytus, taip atkartodamos Centrinės Baltijos orientaciją tiriamosios teritorijos atžvilgiu (4A pav.).

IVG SKIRTUMAI RIBOJE JŪRA–SAUSUMA

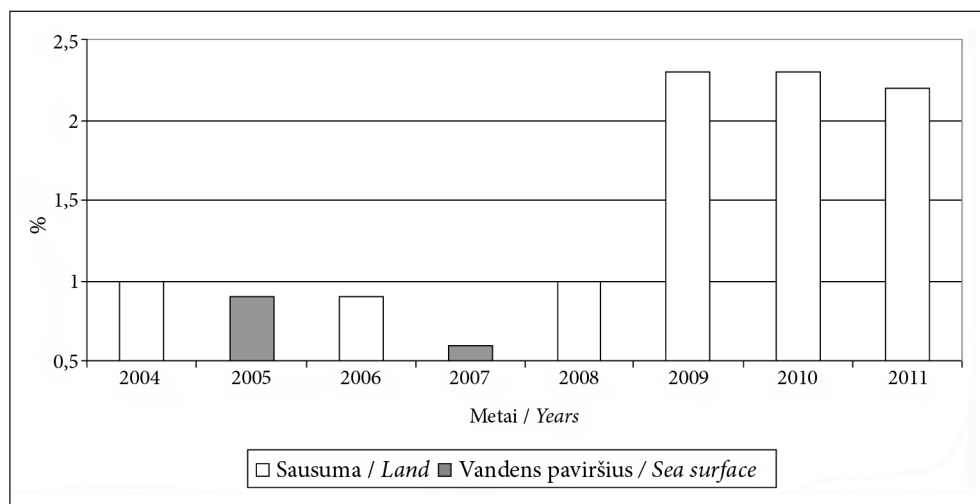
Integruoto vandens garų kiekio skaičiavimo tinklelio taškai apima ir sausumą, ir vandens paviršių, kurių riboje, manoma, egzistuoja dideli šio parametro gradientai. IVG kiekio jautrumo paklotiniam paviršiui analizė parodė, kad vidutinis IVG kiekio vidurkis virš sausumos yra $15,43 \text{ kg}/\text{m}^2$, o virš vandens paviršiaus – $15,38 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Didžiausi IVG kiekio skirtumai virš sausumos ir vandens paviršiaus susidarė 2009–2010 m. (5 pav.). Analizuojamuoju laikotarpiu tik 2005 ir 2007 m. vidutinis metinis IVG kiekis didesnis virš vandens paviršiaus. Tokiems skirtumams didžiausią įtaką daro šiltojo sezono terminis režimas, todėl santykinai vėsūs šiltieji sezonai lemia nors ir



4 pav. Integruoto vandens garų kiekio (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas: A – šaltuoju ir B – šiltuoju laikotarpiu virš Baltijos regiono 2004–2011 m.

Fig. 4. The spatial distribution of the integrated water vapour, in kg/m^2 : in the warm half – A and the cold half – B of the year in 2004–2011



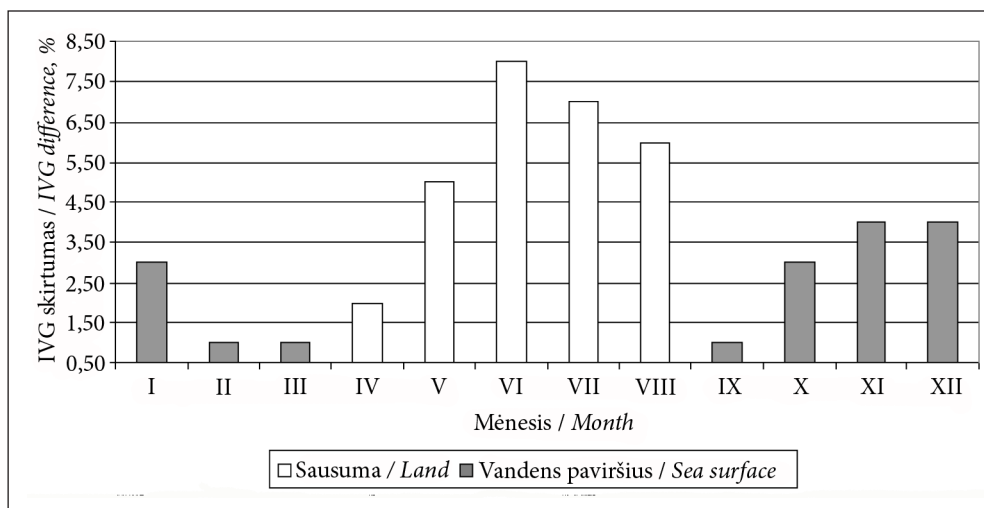
5 pav. Vidutinio metinio integruotų vandens garų kiekio skirtumai (%) virš skirtingo paklotinio paviršiaus Baltijos regione 2004–2011 m.

Fig. 5. Mean IWV differences, in % over different surface (sea-land) in 2004–2011

nedidelį vidutinio metinio IVG kiekio padidėjimą virš vandens paviršiaus, palyginti su sausuma. Be to, 2009–2011 m. vasaros Baltijos regione buvo anomaliai šiltos.

Spalio–kovo mėn. virš vandens paviršiaus IVG kiekis yra didesnis nei virš sausumos vidutiniškai 3 % ir maksimalus skirtumas tarp jų tenka vėlyvam

rudenii, žiemos pradžiai ir viduriui, kada stebimi didžiausi vandens ir sausumos temperatūros skirtumai (6 pav.). Žiemos pabaigoje, atvėsus vandens masėms, IVG kiekio skirtumai minimalūs. Šiuo laikotarpiu garavimas Baltijos regione yra pats mažiausias (Palmen ir Söderman, 1966). Balandžio–rugpjūčio mėn. virš sausumos IVG kiekis yra didesnis



6 pav. Vidutinis sezoninis IVG kiekio skirtumas (%) virš skirtingo paklotinio paviršiaus Baltijos regione 2004–2011 m.

Fig. 6. Mean seasonal IWV differences, in % over different surface (sea-land) in 2004–2011

nei virš vandens paviršiaus vidutiniškai 5 % (6 pav.). Birželio mėn. skirtumas išauga iki 8 %. Autorių nuomone, tai susiję su greitu sausumos įšilimu vasaros pradžioje ir vandens telkinio šilumine inercija. Rugsėjo mėn. yra pereinamasis: sausuma staigiai vėsta, tačiau vidutinė Baltijos jūros temperatūra nuo rugpjūčio iki rugsėjo pakinta ne daugiau 5 °C.

TERITORIJOS KLASIFIKACIJA PAGAL IVG KIEKIO REŽIMĄ

Vasaros laikotarpiu (birželio–rugspjūčio mėn.) padidėja erdviniai IVG kiekio skirtumai teritorijoje. Birželio–rugspjūčio mėn. nustatyta daugiausiai IVG režimo klasterių (10) (7a pav.). Nuo rugsėjo iki gruodžio klasterių grupių skaičius sparčiai mažėja, nes mažėja teritoriniai IVG režimo skirtumai. Minimalus klasterių skaičius tenka gruodžio mėn. (4) (7b pav.).

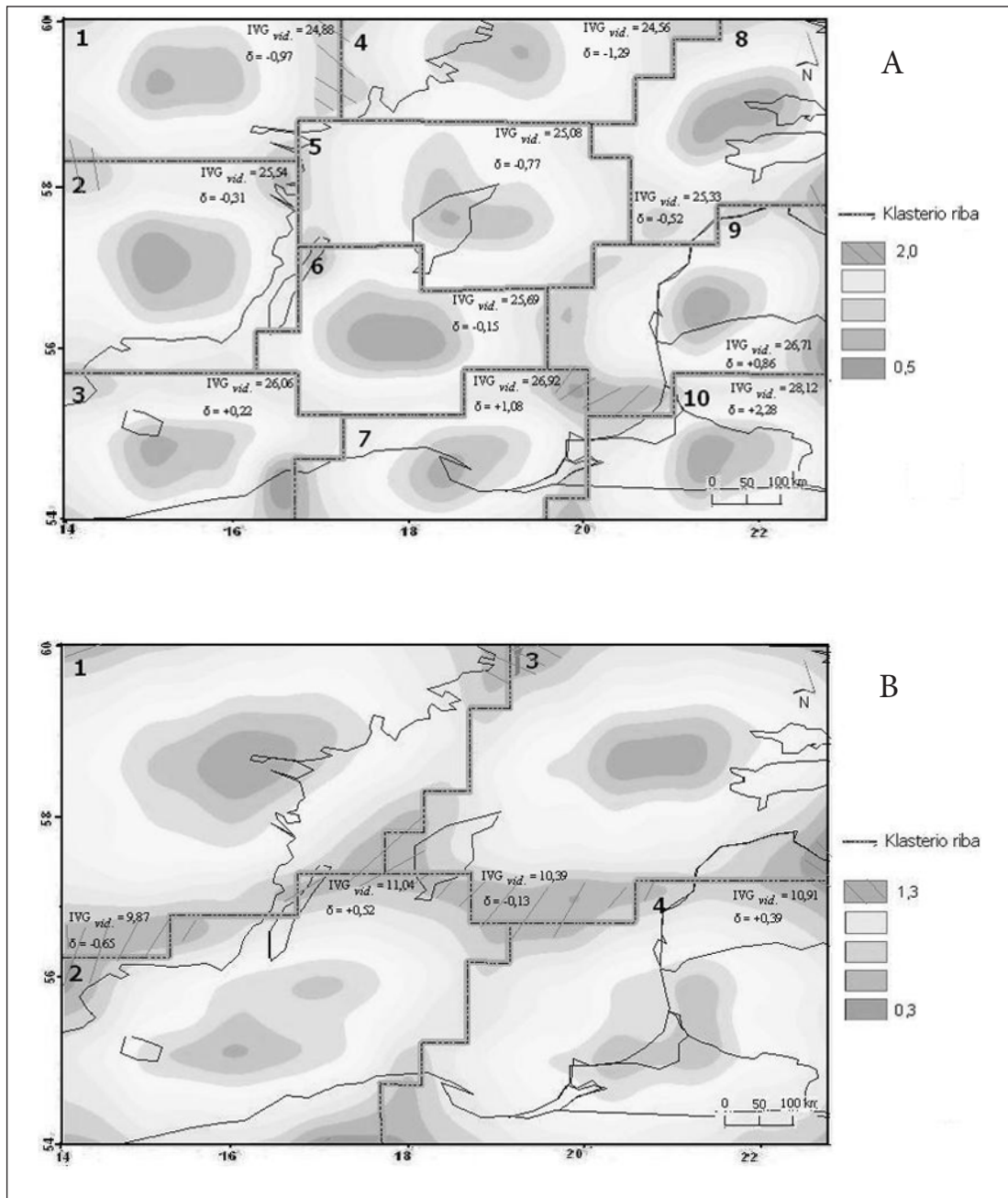
Susidarius nuolatinei sniego dangai ir užšalus kai kurioms jūros įlankoms, IVG klasterių skaičius šiek tiek padidėja. Pradedant gegužės mėn. išryškėja trys pagrindiniai klasteriai centrinėje Baltijos dalyje, kurie išsilaiko iki lapkričio mėn. Apibrėžus klasterių ribas, nustatyti regionai, kurie niekada nepatenka į klasterio centrinės ribas (Kuršių marios ir Estijos teritorija).

Klasterinė analizė parodė, kad panašiausi IVG režimo teritoriniai skirtumai susidaro sausio ir va-

sario, kovo ir lapkričio, balandžio ir spalio, gegužės ir rugsėjo, birželio ir rugpjūčio mėn. Tai rodo ryškų IVG sezoniškumą tiek virš jūros, tiek ir virš Centrinę Baltiją supančios sausumos. Šaltuoju metų laiku (lapkritis–kovas) IVG teritoriniams skirtumams didžiausią įtaką daro spinduliuotės balanso skirtumai tarp pietinės ir šiaurinės dalies bei skirtumai tarp sausumos ir jūros. Vasarą didelė IVG režimo teritorinė įvairovė yra nulemta tiek spindulinių faktorių, tiek vandens paviršiaus temperatūros anomalijų dydžio ir erdvinės sklaidos, tiek ir savito seklesnių įlankų terminio ir cirkuliacinio režimo. IVG trumpalaikiai teritoriniai skirtumai iš esmės yra veikiami oro masių advekcijos, tačiau analizuojant ilgalaikį poveikį šie skirtumai tampa neryškūs.

SKIRTINGAIS METODAIS NUSTATYTŲ IVG SEKŲ VIENALYTIŠKUMO ANALIZĖ

Analizei naudotos SSM/I ir ATOVS paros vidutinės IVG kiekio reikšmės virš analizuojamosios teritorijos. Kiekvieno mėnesio homogeniškumas tikrintas atskirai. Sekų homogeniškumas nepažeistas šaltuoju metų laikotarpiu (1 lentelė). Birželio–spalio mėn. Studento empirinis kriterijus yra didesnis nei teorinis, rodantis, kad sekos yra nehomogeniškos ir jų rekonstruoti ar jungti į vieną ilgą seką neįmanoma.



7 pav. Rugspjūčio (A) ir gruodžio (B) mėn. vidutinis IVG kiekis (IVGvid.) (kg/m²), nuokrypiai (δ) nuo daugiamečio teritorinio mėnesio vidurkio (kg/m²), IVG kiekio klasterių ribos bei atstumai juose 2004–2011 m. laikotarpiu virš Baltijos regiono (1,2,3... – klasterio numeris)

Fig. 7. Mean monthly IGV (IVGvid.) in kg/m² for August (A) and December (B), deviations from the areal monthly mean (δ), IGV areal cluster borders and distances from the cluster centre over the Baltic region in 2004–2011 (1,2,3... – cluster number)

Gegužės–spalio mėn., remiantis Stjudento ir Z kriterijais, vidurkių homogeniškumas imtyje laikomas pažeistu tiek esant 0,05, tiek 0,01 reikšmingumo lygmeniui. Šiuo sezonu IVG kiekis rajone daug didesnis negu šaltuoju sezonu, taip pat šis parametras erdviškai smarkiai kinta visame testuojamame areale. Lapkričio–balandžio mėn. IVG

kiekio SSM/I ir ATOVS sekos yra homogeniškos, todėl šio sezono duomenys yra tinkami tolesnei IVG kiekio analizei (2 lentelė).

Integruoto vandens garų kiekio daugiamečio (1989–2010 m.) lapkričio–balandžio mėn. vidurkis virš analizuojamosios teritorijos yra 9,20 kg/m². Mažiausi vidutiniai IVG kiekiai (8,6–8,7 kg/m²)

1 lentelė. SSM/I ir ATOVS IVG kiekio duomenų sekų homogeniškumo analizė (H – homogeniška, N – nehomogeniška) naudojant Stjudento kriterijų (t_e – Stjudento empirinis kriterijus, t_t – Stjudento teorinis kriterijus) 2004 (A) ir 2005 (B) metais virš centrinės Baltijos jūros dalies ($\alpha = 0,05$)

Table 1. IWV homogeneity analysis for SSM/I and ATOVS instruments (H – homogeneous, N – inhomogeneous) applying Student's t-test (t_e – Student's empirical parameter, t_t – Student's theoretical parameter) for years: 2004 (a) and 2005 (b) over Baltic Proper ($\alpha = 0.05$)

Mėnuo Month (A)	t_t	t_e	Interpretacija Interpretation	Išvada Summary	Mėnuo Month (B)	t_t	t_e	Interpretacija Interpretation	Išvada Summary
Sausis January	0,780	2,000	$ t_e < t_t$	H	Sausis January	1,378	2,000	$ t_e < t_t$	H
Vasaris February	1,479	2,003	$ t_e < t_t$	H	Vasaris February	0,221	2,003	$ t_e < t_t$	H
Kovas March	1,797	2,000	$ t_e < t_t$	H	Kovas March	-0,074	2,000	$ t_e < t_t$	H
Balandis April	1,056	2,000	$ t_e < t_t$	H	Balandis April	1,586	2,000	$ t_e < t_t$	H
Lapkritis November	1,289	2,000	$ t_e < t_t$	H	Lapkritis November	2,140	2,145	$ t_e < t_t$	H
Gruodis December	2,000	2,000	$ t_e < t_t$	H	Gruodis December	1,988	2,000	$ t_e < t_t$	H

Skirtingų daviklių duomenų sekų nepersidengiantys metai yra šie:

- SSM/I: 1989–2003 m.
- ATOVS: 2006–2010 m.

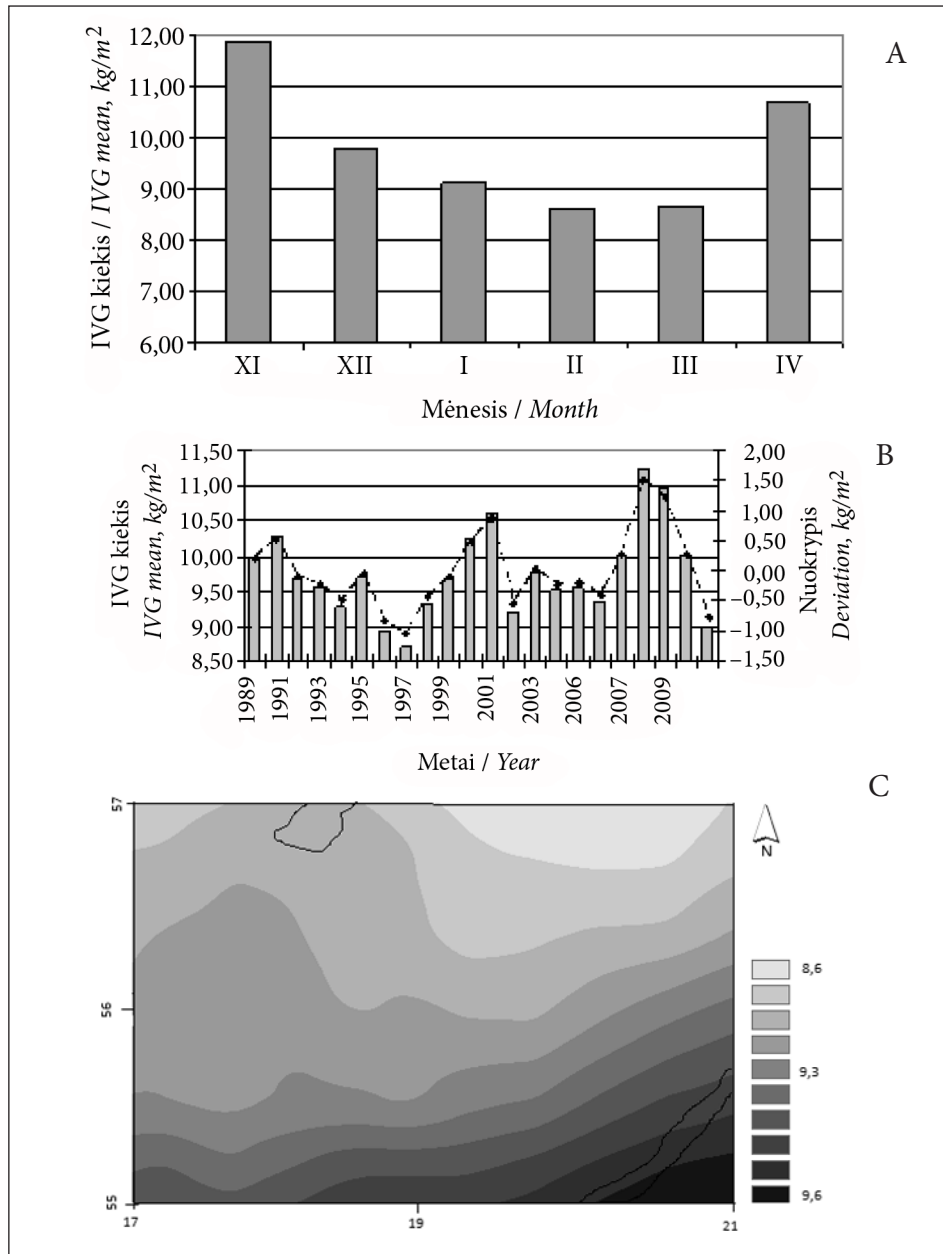
2 lentelė. SSM/I ir ATOVS IVG kiekio duomenų sekų homogeniškumo analizė (H – homogeniška, N – nehomogeniška) naudojant Stjudento kriterijų (t_e – Stjudento empirinis kriterijus, t_t – Stjudento teorinis kriterijus) nepersidengiančiais metais virš centrinės Baltijos jūros dalies ($\alpha = 0,05$)

Table 2. IWV homogeneity analysis for SSM/I and ATOVS instruments (H – homogeneous, N – inhomogeneous) applying Student's t-test (t_e – Student's empirical parameter, t_t – Student's theoretical parameter) for non-overlapping years over Baltic Proper ($\alpha = 0.05$)

Mėnuo Month	t_t	t_e	Interpretacija Interpretation	Išvada Summary
Sausis January	0,286	1,9645	Sausis January	H
Vasaris February	-0,324	1,9645	Vasaris February	H
Kovas March	-1,930	1,9645	Kovas March	H
Balandis April	-0,972	1,9645	Balandis April	H
Lapkritis November	-1,780	1,9645	Lapkritis November	H
Gruodis December	-1,890	1,9645	Gruodis December	H

susidaro šiaurės rytinėje analizuojamosios teritorijos dalyje, didžiausios – pietrytinėje jos dalyje. Didžiausios sezoninės reikšmės virš centrinės Baltijos jūros dalies nustatytos lapkričio mėn. ($11,88 \text{ kg/m}^2$),

mažiausios – vasario mėn. ($8,70 \text{ kg/m}^2$) (8 pav.). Tačiau šaltuoju laikotarpiu didelę įtaką IVG daro atmosferos cirkuliacija, todėl didžiausios lapkričio mėn. reikšmės fiksuotos 2006 m.



8 pav. Vidutinis centrinės Baltijos jūros dalies IVG kiekis (kg/m^2) lapkričio–balandžio mėn. (1989–2010 m.) (A), vidutinis metinis IVG kiekis (kg/m^2) (stulpelinė diagrama) bei nuokrypiai (kg/m^2) nuo daugiamečio vidurkio (punktūrinė linija) (B) ir vidutinio IVG kiekio (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas virš centrinės Baltijos jūros dalies (1989–2010 m.) (C)

Fig. 8. Mean areal IWV over Baltic region for November–April in 1989–2010: a) mean annual IWV (columns) and its deviation from climatology (dashed line) (b), and the spatial distribution of the IWV long-term mean for 1989–2010 over Baltic Proper (c), all units are kg/m^2

($15,13 \text{ kg}/\text{m}^2$), kai vyraavo zoninė cirkuliacija ir šilumos pernaša iš pietvakarių Europos, o mažiausia – 1998 m. ($8,82 \text{ kg}/\text{m}^2$), kai beveik visą mėnesį vyraavo anticikloninė cirkuliacija.

Didžiausias teigiamas IVG trendas (99 % statistinis patikimumo lygmuo) nustatytas lapkričio ($0,15 \text{ kg}/\text{m}^2$ per metus) ir gruodžio mėn. ($0,3 \text{ kg}/\text{m}^2$ per metus), tai skiriasi nuo ankstesnių Baltijos

regiono klimato tyrimų (BACC, 2007), kur įrodinama, kad didžiausi oro ir vandens temperatūros trendai susidaro viduržiemiu ir žiemos pabaigoje.

Virš centrinės Baltijos jūros dalies IVG kiekio lapkričio–balandžio mėn. absoliutus maksimumas užfiksuotas 2007 m. lapkričio 1 d. (27,07 kg/m²), o absoliutus minimumas – 2010 m. sausio 24 d. (3,35 kg/m²). Šios ekstremalios reikšmės tiesiogiai susiję su tomis dienomis vyravusiomis oro masėmis, jų terminėmis savybėmis.

IŠVADOS

1. ATOVS daugiametis IVG kiekio vidurkis virš Baltijos regiono yra 15,38 kg/m². Mažiausi kiekiai yra šiaurinėje dalyje (14,2 kg/m²), didžiausi – pietrytinėje (16,3 kg/m²). Analizuojamojo parametro reikšmės turi ryškų sezoninį pasiskirstymą. Nuo vasario (minimalios IVG reikšmės) iki liepos mėn. (maksimalios IVG reikšmės) parametro reikšmės padidėja beveik tris kartus.

2. Didžiausia IVG kiekio kaita pasižymi pietrytinė analizuojamosios teritorijos dalis. Šioje zonoje variacijos koeficiento reikšmės siekia 54 %.

3. SSM/I ir ATOVS daviklių integruoto vandens garų kiekio klimatinį duomenų sekos homogeniškos yra tik lapkričio–balandžio mėn. IVG kiekio daugiametis (1989–2010 m.) vidurkis lapkričio–balandžio mėn. virš centrinės Baltijos jūros dalies yra 9,75 kg/m². Didžiausios lapkričio mėn. reikšmės fiksuotos 2006 m. (15,13 kg/m²), kai vyravo zoninė cirkuliacija ir šilumos pernaša iš pietvakarių Europos, o mažiausia 1998 m. (8,82 kg/m²), kai beveik visą mėnesį vyravo anticikloninė cirkuliacija.

4. Spalio–kovo mėn. integruotas vandens garų kiekis yra didesnis virš vandens paviršiaus nei virš sausumos vidutiniškai 3 %. Maksimalus skirtumas tarp jų tenka vėlyvam rudeniiui, žiemos pradžiai ir viduriui. Balandžio–rugpjūčio mėn. virš sausumos IVG kiekis yra didesnis nei virš vandens paviršiaus vidutiniškai 5 %. Maksimalus skirtumas – birželio mėn. (8 %). Rugsėjo mėn. įvardijamas kaip pereinamasis.

5. Klasterinės analizės metu nustatyta, jog didžiausi IVG režimo teritoriniai skirtumai susidaro birželio–rugpjūčio mėn. (10 klasterių), o mažiausi – gruodžio mėn. (4 klasteriai). Didžiausią įtaką IVG teritoriniams skirtumams daro spinduliuotės

balanso platuminis pasiskirstymas Baltijos regione bei terminiai skirtumai tarp jūros ir sausumos šaltuoju metų laiku, o šiltuoju papildomai veikia vietinės cirkuliacijos sąlygos, paklotinio paviršiaus ypatumai ir kt. veiksniai.

PADĖKA

Autoriai dėkoja Vokietijos orų tarnybos (DWD) darbuotojams Christine Traeger-Chatterjee ir Jörg Trentmann už pagalbą analizuojant CM SAF duomenis.

Gauta 2012 10 21
Pariimta 2012 12 05

LITERATŪRA

- Blankenship C. B., Al-Khali A., Wilheit T. T. 2000. Retrieval of water vapor profiles using SSM/T-2 and SSM/I data. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 57: 939–955.
- Bukantis A. 1994. *Lietuvos klimatas*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
- Čekanavičius V., Murauskas G. 2002. *Statistika ir jos taikymai. II dalis*. Vilnius: TEV.
- Falkenmark M., Mikulski Z. 1975. The Baltic Sea – a semi-enclosed sea, as seen by the hydrologist. *Nordic Hydrology*. 6: 115–136.
- Held I. M., Soden B. J. 2000. Water vapor feedback and global warming. *Annual Review of Energy and the Environment*. 25: 441–475.
- Hou A. Y., Ledvina D. V., Da Silva A. M., Zhang S. Q., Joiner J., Atlas R. M., Huffman G. J., Kummerow C. D. 2000. Assimilation of SSM/I-derived surface rainfall and total precipitable water for improving the GEOS analysis for climate studies. *Monthly Weather Review*. 128: 509–537.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- Johnsen K. P., Kidder S. Q. 2002. Water vapor over Europe obtained from remote sensors and compared with a hydrostatic NWP model. *Physics and Chemistry of the Earth*. 27: 371–375.
- Jonas M., Schulz J., Werscheck M. 2009. *Satellite Application Facility on Climate Monitoring Validation Report Vertically Integrated Water Vapour from SSM/I. Ataskaita*.
- 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.

11. Lindau R., Schulz J. 2004. Gridding / merging techniques for the humidity composite product of the CM-SAF. Proceedings of the 2004 EUMETSAT meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic, EUM P41, 519–526.
12. Randel D. L., Vonder Haar T. H., Ringerud M. A., Stephens G. L., Greenwald T. J., Combs C. L. 1996. A new global water vapor dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77(6): 1233–1246.
13. Reitan C. H. 1960. Mean monthly values of precipitable water over the United States, 1946–56. *Monthly Weather Review*. 88: 25–35.
14. Schroedter M. 2001. Water Vapour from TOVS/ATOVS – Value Added Products and Applications. Technical Proceedings of The Eleventh International ATOVS Study Conference. Hungary. 357–364.
15. Stephens G. L. 1990. On the relationship between water vapor over the oceans and sea surface temperature. *Journal of Climate*. 3: 634–645.
16. Trenberth K. E., Fasullo J., Smith L. 2005. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*. 24: 741–758.
17. The BACC Author Group. 2007. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer. 474.
18. Valauskaitė J., Stankūnavičius G. 2011. Atmosferos drėgnio kintamumas virš pietinės Baltijos jūros dalies. *Geografija*. 47(2): 79–87.
19. Zeng X. 1999. The relationship among precipitation, cloud-top temperature, and precipitable water over the tropics. *Journal of Climate*. 12: 2503–2514.

Justina Valauskaitė, Gintautas Stankūnavičius

INTEGRATED WATER VAPOUR CLIMATIC INDICES OVER BALTIC REGION

Summary

The paper deals with the integrated water vapor (IWV) climatological regime and dynamics over the Baltic Sea region. It is the authors' ongoing work on the distribution of atmospheric moisture over the Baltic region, based on climatic remote sensing database. IWV daily means were obtained from the Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) archives for period 2004–2011.

It was found that IWV long-term mean over the Baltic region is 15.38 kg/m². IVG average gradient is oriented north-south direction. The average difference between northern and southern part of the area is 2.1 kg/m². IVG has a seasonal variation: IVG maximum amount of midsummer at least three times higher than the late winter minimum.

The largest horizontal IVG gradients are over the sea-land boundary areas. In October–March period IVG mean is higher 3% over sea surface than over land. In April–September IVG mean is 5% less over sea surface than over land.

Homogeneity analysis showed that the ATOVS and SSMI / IVG data series over the central part of the Baltic are homogeneous only in the cold season from November to April. These data sets combined into one long data set helped to determine the climatic IVG indicators over the Central Baltic in 1989–2010.

Key words: integrated water vapour, Baltic Sea, ATOVS, SSM/I, homogeneity