

Fizinė okeanografija • Physical Oceanography

Kuršių marių hidrologinio režimo pokyčiai

Inga Dailidienė

Klaipėdos universitetas,
H. Manto g. 84, LT-92294 Klaipėda,
el. paštas: inga.dailidiene@ku.lt

Inga Dailidienė. Kuršių marių hidrologinio režimo pokyčiai. *Geografija*. 2007. T. 43(1). ISSN 1392-1096.

Klimato pokyčių studijos yra susijusios su geofizinių procesų, įskaitant hidrologinių ir meteorologinių elementų kaitą, analize. Pagrindinis šios studijos tikslas yra ištirti ilgalaikių hidrogeologinių sąlygų pokyčių Kuršių mariose ypatumus. Remiantis 1961–2005 m. sukauptais matavimų ir stebėjimų duomenimis, buvo atlikti Kuršių marių hidrologinio režimo ypatumų tyrimai, kurie padėtų sukurti prielaidas racionaliems šio vandens telkinio tvarkymui ir išsaugojimui, parengti išankstinius gamtos saugos priemonių planus. Daugiamečio vandens lygio režimo analizės rezultatai patvirtina, kad tiriant klimato kaitą būtina vandens lygio kaitos regioninė analizė. Regioninė vandens lygio kaitos komponentė gali būti analizuojama kaip vienas iš atmosferos cirkuliacijos kaitos indikatorių.

Raktažodžiai: Kuršių marios, hidrometeorologinis režimas, vandens lygis, ilgalaikiai pokyčiai

ĮVADAS

Šiuo metu daugelio šalių visuomenė yra susirūpinusi galimomis globalaus klimato kaitos pasekmėmis. Formuojasi supratimas apie galimą esminį poveikį ne tik gamtinei aplinkai, bet ir žmonių gyvensenai. Atliekami išsamūs regioniniai tyrimai, kuriami galimų pokyčių scenarijai, pagrįsti ilgamečių stebėjimų duomenimis. Gamtoje visi komponentai yra besąlygiškai daugiau ar mažiau tarpusavyje susiję, todėl klimato pokyčiai ir antropogeninio poveikio didėjimas gali turėti lemiamą poveikį Kuršių marių hidrologiniam režimui, o kartu ir ekosistemai.

Šiame darbe Kuršių marių hidrologinių ir meteorologinių sąlygų daugiamečio kaitos procesai tirti nagrinėjant juos kaip vieną geodinaminę sistemą, kurioje vyksta energijos ir medžiagos perdavimas bei pasikeitimas, nusakomas tarpusavio ryšiais. Vandens lygio kaita Kuršių mariose analizuota kartu su ilgamete meteorologinių sąlygų kaita, susiejant tai su klimato kitimo problematika, Šiaurės Atlanto atmosferos cirkuliacijos osciliacija.

TYRIMŲ PROBLEMATIKA IR METODIKA

Šiame darbe, remiantis 1961–2005 m. sukauptais matavimų ir stebėjimų duomenimis, atlikti Kuršių marių hidrologinio režimo ypatumų tyrimai, kurie padėtų sukurti racionalių šio vandens telkinio tvarkymo ir išsaugojimo prielaidas, parengti išankstinius gamtos saugos priemonių planus.

Kuršių marios yra Baltijos jūros pietrytinės dalies sekli ir gėlavandenė lagūna, sudaranti tiesaus trikampio baseiną. Siaura smėlėta Kuršių nerijos juosta skiria marias nuo Baltijos jūros.

Vidutinis marių gylis – tik apie 3,8 metro, o maksimalus gylis pietinėje marių dalyje tesiekia 5,8 metro. Bendras Kuršių marių plotas – 1584 km², ilgis – 93 km, didžiausias plotis – 46 km (Žaromskis, 1996). Darbe analizuota Lietuvos akvatorijai priklausanči šiaurinė marių dalis, kuri apima tik apie 1/3 marių ploto, t. y. 381,57 km² (Žilinskas, Petrokas, 1998).

Lietuvos klimato svyravimai yra neatsiejami nuo viso Žemės rutulio klimato procesų. Klimatas iš esmės veikia gamtinę aplinką, gyvąją gamtą, žmonių veiklą, todėl klimato kitimo įvertinimas turi didelę mokslinę ir praktinę reikšmę. Lietuvoje, panašiai kaip ir visoje Europoje, klimato stebėjimai ir tyrimai siekia keletą šimtmečių. Pirmieji trumpi Lietuvos klimato aprašymai mus pasiekia iš XIX amžiaus. Pastaruoju metu kompleksiniai Lietuvos klimato svyravimų tyrimai atliekami Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedroje bei Geografijos instituto Klimatologijos sektoriuje. Klimato elementų kintamumą Lietuvos teritorijoje analizavo A. Bukantis, S. Kazakevičius, P. Korkutis, I. Markevičienė, E. Rimkus, L. Rimkutė, G. Stankūna- vičius, B. Kavaliauskas, V. Matekonienė, M. Misiūnienė, G. Bartkevičienė. Besikeičiančiais atmosferos procesais aiškinta šalčio laikotarpio (ypač 01 ir 03 mėnesių) šiltėjimo tendencija, nes šaltuoju metų laiku Baltijos regione daugėja cikloninės cirkuliacijos procesų ir stiprėja zoninė vakarų pernaša (Bukantis ir kt., 2001). Atmosferinių procesų pokyčiai tiesiogiai veikia hidrologinio režimo kaitą.

Tarptautinė tarpyvyriausybė klimato kaitos grupė (IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change) skelbia, jog vienas iš pagrindinių klimato kaitos indikatorių yra vandens lygis (IPCC, 2001). Įvairių autorių duomenimis, pasaulinis van-

dens lygis, o kartu ir Baltijos jūros lygis, dėl klimato atšilimo kyla (Kalas, 1993; Jarmalavičius, Žilinskas, 1996a; Johansson ir kt., 2001; Ekman, 2003; Dailidienė ir kt. 2005). Nustatyta, kad globaliu mastu vandens lygis praeitame šimtmečiu kilo vidutiniškai apie 1–2 mm per metus (Barnett, 1990; IPCC, 2001; Kalas, 1993; Stigge, 1993).

Baltijos šalių mokslininkai atkreipia visuomenės dėmesį į galimus Baltijos jūros hidrologinės struktūros, vandens balanso pokyčius (Lepistö, 1997; Johansson ir kt., 2004), susijusius su klimato kaita. Ryškėjantys klimato kaitos procesai Šiaurės Atlanto regione gali turėti įtakos tolimesnei Baltijos jūros hidrologinių sąlygų kaitai. Galime numatyti, jog keičiantis klimatui, šiltėjant oro ir kartu vandens temperatūrai, mažės ledų sezonų trukmė Baltijos jūroje bei dažniau susidarys nepastovi ledo danga Kuršių mariose. Žvejams, krantotvarkininkams, ekologams, biologams ir panašių specialybių atstovams aktualu, kokie pasikeitimai vyksta daugiamečiame hidrometeorologinių parametų režime.

Pastaruoju metu vis daugėja Lietuvoje darbų, kuriuose atliekami kompleksiniai tyrimai atsižvelgiant į klimato kaitą. Upių, ežerų ir pelkių vandens lygio ryšius su klimato svyravimais nagrinėjo K. Kilkus (1998), G. Valiuškevičius (Klikus, Valiuškevičius, 2001). Klimatinių veiksnių poveikį defliacijai analizavo R. Morkūnaitė (2001), eolinius procesus jūros krante tyrinėjo G. Žilinskas, D. Jarmalavičius, V. Minkevičius (2001). Klimato pokyčių poveikį Baltijos jūros ir Kuršių marių krantams nagrinėjo R. Žaromskis (2001). Pietinės Baltijos daugiamečio vandens lygio svyravimo ypatumus, siejant juos su jūrų transgresijos bei krantų būklės klausimais, analizavo D. Jarmalavičius, G. Žilinskas (Jarmalavičius, Žilinskas, 1996a; Jarmalavičius, Žilinskas, 1996b). Klimatinių ir antropogeninių veiksnių poveikį šiaurinės marių dalies hidrodinaminiam režimui kartu su jūros vandens invazijomis į marias analizavo R. Žaromskis, G. Stankūnavičius (2005). Kaip nuo klimato rodiklių priklauso gruntinio vandens lygio režimas ir cheminė sudėtis, tyrinėjama Z. Gulbino, M. Samuilos (2001) darbuose. Klimato sąlygų poveikis upių vandeningumui analizuojamas J. Jablonskio (1992) darbe. Su klimato kaitos rodikliais vis dažniau siejami taip pat gyvosios gamtos, ekosistemų funkcionavimo klausimai (Jonaitis, Bartkevičienė, 2005; Karpavičius, 2005), gamtinės nelaimės (Galvonaitė, Valiukas, 2005), žmonių sveikata.

Apibendrinant reikėtų pažymėti, kad, nepaisant gana gerų tyrimų įvairiais aspektais, Lietuvos Baltijos jūros ir Kuršių marių akvatorijos meteorologinių ir hidrologinių elementų kaita laiko atžvilgiu nagrinėta palyginti nedaug ir paprastai tik siejant su visos Lietuvos klimato kaitos pokyčiais. Nedaugelyje darbų kartu nagrinėjamos meteorologinės bei hidrologinės sąlygos Baltijos jūros priekrantėje ir Kuršių mariose. Iki šiol nedaug kompleksiskai nagrinėtas atskirų klimato rodiklių (oro temperatūros, vėjo, slėgio) poveikis hidrologinių parametų pokyčiams, t. y. vandens lygiui, vandens temperatūrai, ledo trukmei. Analizuojant hidro-klimatinių sąlygų daugiamečio kaitos procesus meteorologiniai duomenys gali padėti tiksliau nusakyti atmosferos ir hidrosferos geosisteminius tarpusavio ryšius ir išaiškinti hidrologinių elementų daugiamečio režimo pokyčių dėsningumus.

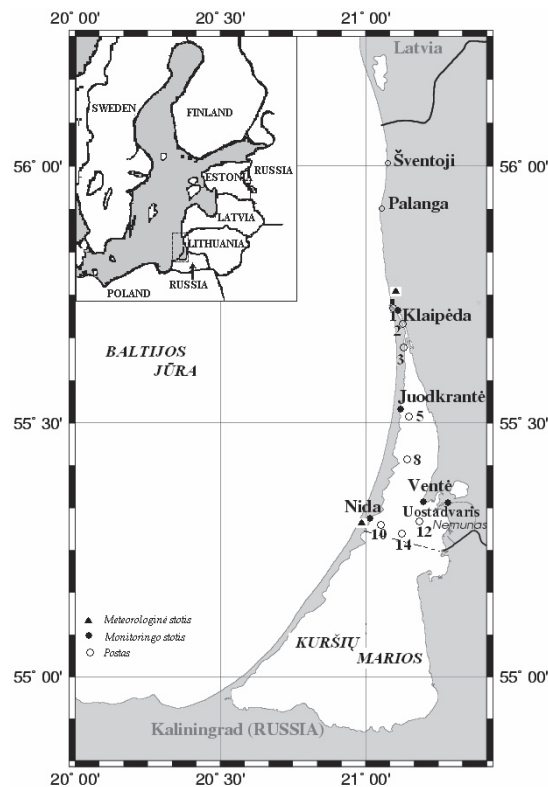
Pagrindinis šio darbo tikslas buvo ištirti marių vandens lygio kaitos ypatumus ir įvertinti, kokie procesai lėmė jo pasikeitimus Kuršių mariose. Darbe panaudoti 1961–2005 m. Lietuvos Aplinkos ministerijos Jūrinių tyrimų centro marių postuose ir

stebėjimo stotyse atliktų hidrologinių parametų matavimų bei Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos Klaipėdos ir Nidos meteorologinių stočių matavimų duomenys. Stčių išsidėstymas pavaizduotas 1 paveiksle.

Sudarytos 1961–2005 m. vandens lygio, vandens temperatūros, vandens druskingumo, ledų trukmės, oro temperatūros, oro slėgio, vėjo krypties ir greičio, kritulių duomenų statistinės imtys. Naudoti Smalininkų stoties vidutiniai metiniai ir mėnesiniai Nemuno debito duomenys.

Sudarant ir pasirenkant duomenų imtis buvo atsižvelgta į daugelio pasaulio mokslininkų išvadas, kad nuo XX a. vidurio Šiaurės Atlanto regione prasidėjo ženklėsnė atmosferos ir vandenyno sąveikos pokyčiai (Bukantis ir kt., 1995; Nesterov, 2000; IPCC, 2001; Hurrell, 1995; Hurrell, 2003). Šiuos procesus nurodo NAO (*Nord Atlantic Oscillation*) indeksas. Lietuvos teritorija, kaip ir visas Europos regionas, yra vakarų pernašos iš Atlanto vandenyno poveikio zonoje. Čia temperatūros, kritulių bei nuotėkio režimą, vandens lygį ir ledų susidarymo-tirpimo sąlygas daugiausia nulemia Šiaurės Atlanto atmosferos slėgio jūros lygyje dideli nereguliarūs svyravimai tarp Islandijos ir Azorų barinių darinių (Jalinskas, Stankūnavičius, 2004; Bartkevičienė, 2005). NAO indeksas yra sudarytas tarp minėtų dviejų slėgio jūros lygyje anomalijų polių.

Darbe, nustatant atmosferos cirkuliacijos poveikį daugiamečiai hidrometeorologinių procesų kaitai Kuršių marių akvatorijoje, naudotos vidutinės metinės žiemos (gruodžio–kovo mėnesių) NAO indekso vertės nuo 1961 iki 2005 metų. Žiemos NAO indeksas pasirinktas remiantis M. Ekmano (Ekman,



1 pav. Tyrimų akvatorija. Kuršių marių meteorologijos stočių, postų ir stebėjimo stočių schema

Fig. 1. Study area. Scheme of the Curonian Lagoon monitoring, meteorological station, and posts

2003) ir M. Johanssono (Johansson ir kt., 2001) darbai, kuriuose teigiama, kad Baltijos jūros vandens lygio kaita geriau koreliuoja su atmosferos cirkuliacijos osciliacija žiemos metu. Dažniausiai Baltijos jūros vandens lygis lyginamas su J. W. Hurrello (1995) apskaičiuotu žiemos NAO indeksu. NAO indekso duomenys gauti iš laisvai prieinamų elektroninių duomenų bazių (<http://jisao.washington.edu>). Jeigu NAO indeksas žiemą yra teigiamas, sustiprėję vakarų vėjai per Šiaurės Atlantą perneša santykinai šiltas oro mases į didelę Europos dalį. Pagal M. Johanssoną (Johansson ir kt., 2001), zoninę komponentę turintys vėjai, susiję su didesniu NAO indeksu (anomalija), Baltijos jūroje lemia aukštesnius vandens lygio horizontus. Šiame darbe analizuojama, kaip daugiamečiai vandens lygio kilimas siejasi su žiemos NAO indekso svyravimais bei koks

ryšys egzistuoja tarp vandens lygio ir vietinių Kuršių marių akvatorijos hidrometeorologinių sąlygų.

Hidrologinis režimas laiko požiūriu buvo nagrinėjamas remiantis kitimo tendenciją nusakančiais trendais, vidutinių metinių, kvartilių ir ekstremalių verčių kitimu, taip pat lyginant skirtingus laikotarpius. Hidrologinių parametų kaita laiko atžvilgiu įvertinta naudojant regresijos lygtis. Tiesinių trendų ir koreliacijos statistinis patikimumas įvertintas pagal Stjudento (t) kriterijų, taip pat nustatant statistinį kintamųjų regresinės priklausomybės ir koreliacijos patikimumo lygmenį (kai $p < 0,05$). Determinacijos koeficientas (r^2) naudotas kaip regresijos modelio tinkamumo indikatorius.

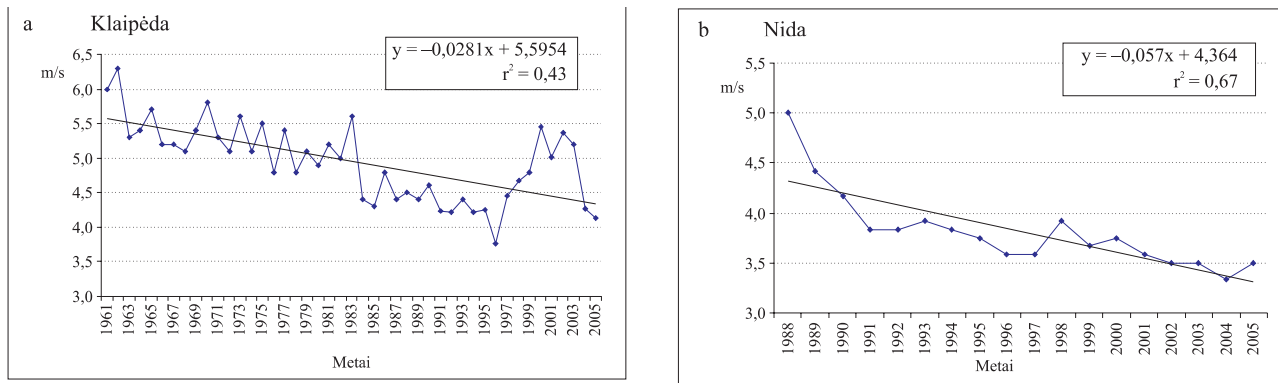
Hidrometeorologinių parametų daugiamečiai pokyčiai 1961–2005 m. ir nukrypimai nuo daugiamečių vidurkių nusta-

1 lentelė. Hidrometeorologinių parametų vidutinių metinių reikšmių statistiniai įverčiai 1961–1990 metais

Table 1. Statistical values of hydrometeorological parameters in the period 1961–2005

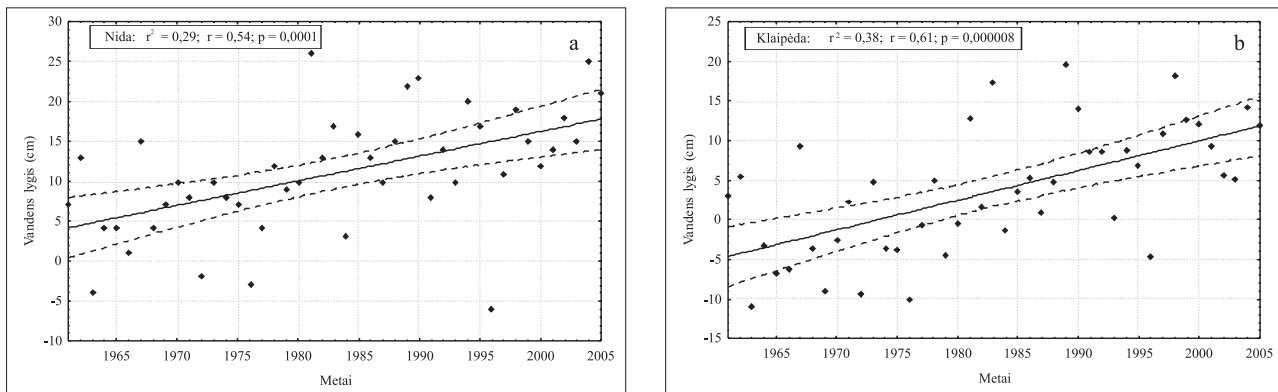
Oro temperatūra (°C), Klaipėda									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	7,0	6,5	7,5	6,8	5,6	8,7	6,3	7,7	0,9
1976–1990	7,0	6,4	7,6	6,9	5,3	9,0	6,1	7,6	1,1
1991–2005	7,9	7,5	8,2	7,9	6,3	9,0	7,7	8,4	0,7
Vandens temperatūra (°C), marios, Nida									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	8,7	8,5	9,0	8,8	7,9	9,5	8,3	9,2	0,5
1976–1990	8,7	8,3	9,1	8,7	7,5	10,3	8,1	8,8	0,8
1991–2005	9,3	9,1	9,6	9,3	8,2	10,0	9,1	9,7	0,5
Vėjo greitis (m/s), Klaipėda									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	5,5	5,3	5,7	5,4	5,1	6,3	5,2	5,7	0,4
1976–1990	4,8	4,6	5,0	4,8	4,3	5,6	4,4	5,1	0,4
1991–2005	4,6	4,3	4,8	4,4	3,8	5,5	4,2	5,0	0,5
Krituliai (mm), Klaipėda									
	Mean	–95%	95%	Mediana	Min.	Max	Q-0,25	Q-0,75	s
1960–1975	668	595	741	657	405	902	580	763	132
1976–1990	801	722	881	811	494	1086	756	879	144
1991–2005	723	669	778	729	558	941	661	770	98
Slėgis jūros lygyje (hPa), Klaipėda									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	1014,6	1013,8	1015,4	1013,9	1012,4	1017,3	1013,3	1015,9	1,5
1976–1990	1014,0	1013,4	1014,7	1013,9	1012,2	1016,4	1013,1	1015,2	1,2
1991–2005	1014,3	1013,6	1015,0	1014,3	1012,7	1016,3	1013,1	1015,4	1,3
Vandens lygis (cm), Klaipėdos sąs.									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	–2	–5,7	1,0	–3,7	–11	9	–7	3	6
1976–1990	5	–0,1	9,1	3,6	–10	20	–1	13	8
1991–2005	9	5,5	11,7	8,8	–5	18	5,8	12	6
Vandens lygis (cm), Juodkrantė									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	2	–1,3	5,5	2	–8	13	–2	7	6
1976–1990	9	4,7	14,1	8	–3	23	2	17	9
1991–2005	10	7,0	14,0	11	–6	19	7	16	6
Vandens lygis (cm), Nida									
	Vid.	–95%	95%	Mediana	Min.	Maks.	Q-0,25	Q-0,75	STN
1960–1975	6	3,3	9,0	7	–4	15	4	10	5
1976–1990	13	8,4	17,0	13	–3	26		17	8
1991–2005	14	10,2	18,2	15	–6	25	11	19	7

Vid. – parametro aritmetinis vidurkis; $\pm 95\%$ – vidurkių pasiskidavimo intervalai, STN – standartinis nuokrypis, Q-0,25 – žemutinis kvartilis, Q-0,75 – viršutinis kvartilis.



2 pav. Vidutinio metinio vėjo greičio (m/s) kaita ir tendencijos: a – Klaipėdoje, 1961–2005 m.; b – Nidoje, 1988–2005 m.

Fig. 2. Long-term annual mean wind speed (m/s) change and its linear trend: a – Klaipėda, 1961–2005; b – Nida, 1988–2005



3 pav. Vidutinio metinio vandens lygio kaita ir tiesiniai trendai postuose: a – Klaipėda, b – Nida

Fig. 3. Annual mean sea level and linear trend of the Curonian Lagoon tide gauges: a – Klaipėda, b – Nida

tyti anomalijų metodika. Pagal šią metodiką įvertintos meteorologinių kintamųjų anomalijos (Stankūnavičius, Barkevičienė, 2003). Hidrometeorologinių kintamųjų anomalijos 1961–1975, 1976–1990 ir 1991–2005 m. įvertintos:

$$T_A = T_{vid.} - \bar{T}; \quad (1)$$

čia T_A – hidrometeorologinių parametų anomalija tam tikru laikotarpiu (1961–1975, 1976–1990 ir 1991–2005 m.), $\bar{T}$ – tiriamojo laikotarpio hidrometeorologinio parametro daugiametis vidurkis (1961–1975, 1976–1990 ir 1991–2005 m.) ir $T_{vid.}$ – hidroklimatinis vidurkis, kuris skaičiuotas 1961–1990 metams.

REZULTATAI

1961–2005 m. pastebimai pakito hidrometeorologinės sąlygos. Palyginus 1961–1975 m. ir 1991–2005 m. hidrometeorologinių parametų vidurkius ir jų statistinius įverčius (1 lentelė), nustatytas didėjantis vandens lygio, oro ir vandens temperatūros, kritulių ir mažėjantis oro slėgio jūros lygyje bei vidutinio metinio vėjo greičio pokytis.

Oro ir vandens paviršiaus temperatūrų didžiausi nukrypimai nuo daugiamečių vidurkių (1961–1990 m.) Kuršių mariose stebėti 1991–2005 m. (2 pav.). Klaipėdos ir Nidos meteorologinėse stotyse 1961–1975 m. ir 1976–1990 m. vidutinė oro temperatūra buvo panaši kaip 1961–1990 m. (atitinkamai 7,0 °C ir 7,2 °C). Didesnė oro temperatūros anomalija nustatyta Klaipėdos (+0,9 °C) ir Nidos (+0,8 °C) meteorologinėse stotyse

1991–2005 m., lyginant su 1961–1990 m. vidutine daugiamečio oro temperatūra.

Vidutinė daugiamečio Kuršių marių vandens paviršiaus temperatūra ties Nida (8,7 °C) 1961–1990 m. buvo panaši kaip 1961–1975 m. ir 1976–1990 m. – atitinkamai 8,7 °C ir 8,7 °C. Vandens paviršiaus temperatūros anomalija buvo lygi 0,0 °C, lyginant su daugiamečiu 1961–1990 m. vandens temperatūros vidurkiu. Pažymėtinas 1991–2005 m. periodas, kurio metu Kuršių marių (Nidos) vandens temperatūros nukrypimas nuo daugiamečio (1961–1990 m.) buvo didžiausias, t. y. +0,6 °C. Kuršių marių vandens paviršiaus temperatūros, panašiai kaip ir oro temperatūros, didžiausia anomalija nustatyta paskutiniame, 1991–2005 m., periode.

1988–2005 m. Kuršių mariose ties Nida nustatytas reikšmingas ($r = 0,82$; $p < 0,05$) vidutinio metinio vėjo greičio mažėjimas (2 pav.). Panaši vidutinio metinio vėjo greičio mažėjimo tendencija stebėta 1961–2005 m. Klaipėdoje (2 pav., a). Lyginant skirtingų laikotarpių penkiolikos metų trukmės vidutinį vėjo greitį Klaipėdoje (1 lentelė), matyti, kad per 1961–2005 m. mažiausias vidutinis vėjo greitis buvo 1991–2005 m., tačiau pasižymėjo didesniu nukrypimu nuo vidurkio. XX a. ir XXI a. sandūroje buvo padidėjęs audringumas.

Per 1961–2005 m. visais trimis (1961–1975, 1976–1990 ir 1991–2005) periodais pastoviausiai ir labiausiai didėjimo linkme pakito vidutinis metinis Klaipėdos sąsiaurio ir Kuršių marių vandens lygis (1 lentelė). Lyginant daugiamečių vidurkių reikšmes ir įvertinant vidurkio pasikeitimą (įvertinio poslinkį) pagal vidurkių skirtumą tarp 1960–1975 m. ir 1991–2005 m., viduti-

nis vandens lygis Klaipėdos sąsiauryje pakilo 11 cm, o mariose ties Nida ir Juodkrante – 8 cm.

Vandens lygis 1961–2005 m. Kuršių mariose augo vidutiniškai apie $+0,3 \text{ cm/metus}^{-1}$ (Dailidienė ir kt., 2006). Pažymėtina, kad Klaipėdos sąsiauryje nustatytas spartesnis vandens lygio augimas nei mariose ties Nida. 1961–2005 m. vidutinis metinis vandens lygis reikšmingai ($p < 0,01$) kilo Klaipėdos sąsiauryje – $+0,36 \text{ cm/metus}^{-1}$, o mariose ties Nida – $+0,30 \text{ cm/metus}^{-1}$ (3 pav.).

Staigesnio šuoliško vandens lygio kilimo metu XX a. pabaigoje didesnė už vidutinį statistinį dydį buvo ir vandens lygio sklaida. Klaipėdos sąsiaurio 1961–2005 m. vidutinio mėnesinio vandens lygio kaitos trendų teigiami regresijos koeficientai nusakoma, kad vandens lygis didėjo visais metų sezonais, tačiau daugiausia ($\geq 0,5 \text{ cm/metus}^{-1}$) kilo sausio–kovo ir birželio mėnesiais. Vidutinis daugiametis mėnesinis vandens lygis labiausiai varijuoja ir keičiasi laiko atžvilgiu šaltuoju metų laiku. Reikėtų pažymėti, jog didesni vandens lygio sezoninės ir daugiametės kaitos pokyčiai pasireiškė XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais.

Atmosferinių procesų pokyčiai tiesiogiai veikia vandens lygio kaitą. NAO indekso teigiamos reikšmės liudija stipresnius

nei įprasta vakarų vėjus (Stankūnavičius, Bartkevičienė, 2003), kurie, kaip yra žinoma, formuoja aukštesnį vandens lygį pietrytinėje Baltijos jūros priekrantėje, o kartu ir Kuršių mariose. Pažymėtina, kad jei iki XX a. 8-ojo dešimtmečio vyravo neigiamos NAO indekso fazės, tai vėliau stebimos beveik išimtinai teigiamos fazės.

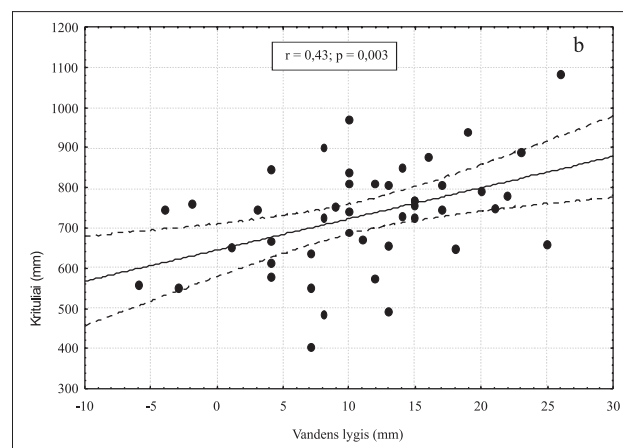
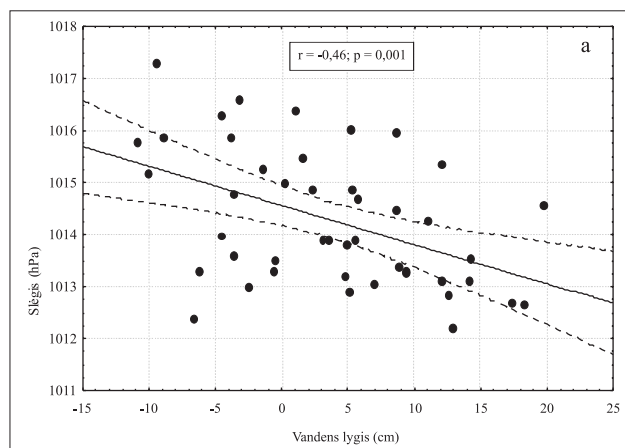
Daugiamečiai žiemos NAO indekso svyravimai pakankamai gerai koreliuoja ir atkartoja daugiametis vidutinio metinio vandens lygio, oro ir vandens temperatūros svyravimus, išmatuotus Klaipėdos sąsiauryje ir Kuršių mariose 1961–2005 metais. Didesnės NAO indekso vertės atitinka aukštesnį vandens lygį, šiltesnes oro ir vandens temperatūras (Dailidienė ir kt., 2006). Nustatyti koreliacijos koeficientai tarp žiemos NAO indekso ir marių vidutinio metinio vandens lygio kaitos kito nuo 0,53 iki 0,66, statistinis patikimumo lygmuo didesnis nei 99,9% ($p < 0,01$).

Analizuojant koreliacijos koeficientus tarp Klaipėdos sąsiaurio, Nidos, Juodkrantės, Ventės vidutinio metinio vandens lygio ir kitų hidroklimateinių parametrų 1961–2005 m. nustatyta, jog vandens lygio daugiametiniai pokyčiai reikšmingai ($p < 0,05$) priklauso nuo žiemos NAO indekso, oro ir vandens temperatū-

2 lentelė. Koreliacinis ryšys tarp vidutinių metinių vandens lygių ir hidrometeorologinių parametrų 1961–2005 metais. Reikšmingumo lygmuo – $p < 0,05$

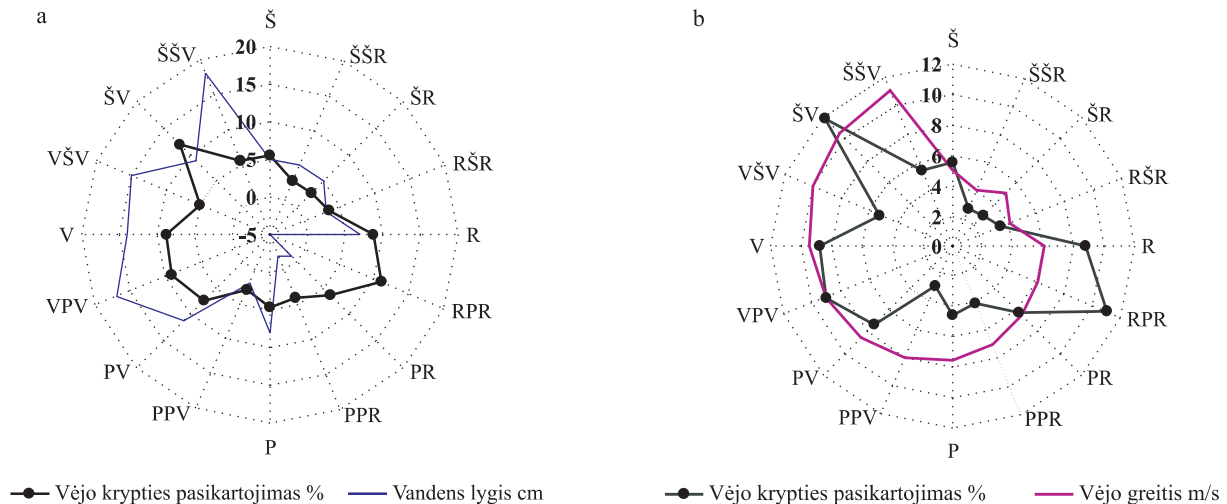
Table 2. Correlation of the annual water level, and the hydrometeorological parameters: 1 – winter NAO index, 2 – water temperatures (Klaipėda), 3 – air temperatures (Klaipėda), 4 – precipitation, 5 – ice phenomena (Klaipėda), 6 – the Nemunas River discharge at Smalininkai, 7 – air pressure at sea level at Klaipėda, 8 – water temperatures (Nida), 9 – air temperatures (Nida)

Postai	NAO	Oro temp.	Vandens temp., Klaipėda	Krituliai	Ledo trukmė	Nemunas Q	Slėgis, Klaipėda	Vand. temp., Nida	Oro temp., Nida
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Juodkrantė	0,2 $p = 0,00$	0,52 $p = 0,00$	0,47 $p = 0,001$	0,44 $p = 0,003$	-0,39 $p = 0,009$	0,42 $p = 0,004$	-0,63 $p = 0,00$	0,47 $p = 0,001$	0,53 $p = 0,00$
Klaipėda	0,60 $p = 0,00$	0,64 $p = 0,00$	0,61 $p = 0,00$	0,37 $p = 0,013$	-0,47 $p = 0,007$	0,27 $p = 0,07$	-0,46 $p = 0,001$	0,62 $p = 0,00$	0,63 $p = 0,00$
Nida	0,53 $p = 0,00$	0,48 $p = 0,001$	0,48 $p = 0,00$	0,43 $p = 0,003$	-0,30 $p = 0,049$	0,45 $p = 0,002$	-0,49 $p = 0,00$	0,49 $p = 0,00$	0,47 $p = 0,001$
Ventė	0,66 $p = 0,00$	0,43 $p = 0,004$	0,38 $p = 0,01$	0,47 $p = 0,001$	-0,37 $p = 0,013$	0,48 $p = 0,001$	-0,58 $p = 0,00$	0,33 $p = 0,03$	0,43 $p = 0,003$



4 pav. Ryšys 1961–2005 m.: a – tarp Klaipėdos sąsiaurio vidutinio metinio vandens lygio ir slėgio jūros lygyje Klaipėdoje kaitos ($r = -0,46$; $p = 0,001$); b – tarp marių vidutinio metinio lygio Nidoje kaitos ir iškritusio metinio kritulių kiekio Klaipėdoje ($r = 0,43$; $p = 0,003$)

Fig. 4. Comparison of changes in the period 1961–2005: a – changes of mean year water level in Klaipėda Strait and air pressure at sea level at Klaipėda; b – changes of mean year water level in the Curonian Lagoon near Nida and precipitation in Klaipėda



5 pav. Vyraujančios vėjo krypties (%), atitinkamo vandens lygio (cm) bei vėjo greičio (m/s) Klaipėdos sąsiauryje 2001 m. palyginimas pagal kiekvienos dienos duomenis ($n = 757$)

Fig. 5. Dominating wind direction (%) and wind speed (m/s) in the Klaipėda and water level (cm) in the Klaipėda Strait according to daily data ($n = 757$), 2001

ros, oro slėgio jūros lygyje, kritulių, ledų žiemos sezono trukmės bei Nemuno vandeningumo.

Yra žinoma, kad Kuršių marių vandens baseinas yra tarpinė grandis tarp Baltijos jūros ir Nemuno upės, todėl marių vandens lygio kaita yra veikiamą upių nuotėkio metinių ciklų kaitos (Červinskas, 1959). Koreliacijos koeficientai tarp marių vidutinio metinio vandens lygio skirtinguose postuose ir Nemuno debito Smalininkų poste kaitos 1961–2005 m. kito nuo 0,27 iki 0,48 (2 lentelė), reikšmingas patikimumo lygmuo didesnis nei 99,9% ($p < 0,01$).

Vandens lygio kaitą lemia slėgio pokyčiai. Stebimas didesnis nei 99,9% statistinio patikimumo lygmens ($p < 0,01$) atvirkštinis koreliacinis ryšys ($r = -0,46$) tarp vidutinio metinio oro slėgio jūros lygyje (Klaipėdos stoties) ir vidutinio metinio vandens lygio kaitos Klaipėdos sąsiauryje (4 pav., a). Koreliacijos koeficientai tarp oro slėgio jūros lygyje ir marių vandens lygio kaitos nuo $-0,46$ iki $-0,65$ (2 lentelė).

Daugiametė vandens lygio kaita priklauso nuo kritulių, patenkančių į Žemės paviršių. Koreliacijos koeficientai ($p < 0,01$) tarp Kuršių marių metinio vandens lygio ir metinio kritulių vidurkio (Klaipėdos stotis) kaitos 1961–2005 m. kito nuo 0,37 iki 0,47 (2 lentelė). Pažymėtina, kad koreliacinis ryšys ($r = 0,43$; $p = 0,003$) tarp vidutinio metinio kritulių kiekio, iškritusio Klaipėdoje, ir marių lygio Nidoje (4 pav.) gautas didesnis nei lyginant su Klaipėdos sąsiaurio lygiu (2 lentelė). Esminio koreliacijos reikšmingumo skirtumo tarp vandens lygio įvairiuose marių postuose ir iškritusių kritulių nenustatyta, tačiau apibendrinami galime numanyti, kad Klaipėdos sąsiaurio vandens lygio kaita yra labiau susijusi su Baltijos jūros lygio svyravimais veikiančiais procesais, o marių lygio svyravimai daugiau priklauso nuo Nemuno nuotėkio ir kritulių.

Lyginant 15 metų trukmės periodų, kurie padalija nagrinėjamą 1961–2005 m. laikotarpį į tris lygias dalis, vidutinį kritulių kiekį (1 lentelė), daugiausia kritulių iškrito 1976–1990 m. (801 mm), mažiausiai – 1961–1975 m. (668 mm). 1976–1990 m., kai iškrito daugiausia kritulių, nustatyti didžiausi svyravimai tarp atskirų metų, t. y. lietingus metus keitė sausesni.

Vandens lygis, lyginant 15 metų vidurkius, minėtais 1976–1990 m. taip pat pasižymėjo didžiausia sklaida apie vidurkį, nors aukščiausi vidurkiai stebėti 1991–2005 metais.

Yra žinoma, jog marių vandens paviršiaus svyravimams didelę įtaką turi vėjo kryptis ir greitis (Vaitkevičius, 1972; Bukantis, 1991). Centrinėje marių dalyje ties Nida didžiausios patvankos susidaro pučiant vakarų ir šiaurės krypties vėjams, o nuotvankos – rytų vėjams (Vaitkevičius, 1972). Įdomu tai, jog analizuojant vandens lygio daugiamečių kaitos priklausomybę nuo vidutinio metinio ir maksimalaus vėjo greičio reikšmingo ryšio, nors buvo tikėtasi, nerasta. Nustatyta, kad vandens lygio kitimus mariose kompleksiskai veikia abi vėjo charakteristikos, t. y. greitis ir kryptis. Sudarę Klaipėdos sąsiauryje matuoto vandens lygio ($n = 786$), tuo pat metu Klaipėdos meteorologinėje stotyje stebėto vėjo greičio bei krypties diagramą (5 pav.), matome, kad 2001 m. vyraavę stipresni PV, VPV, V, ŠŠV vėjai formavo aukštesnį vandens lygį. Aukščiausias vandens lygis Klaipėdos sąsiauryje stebėtas pučiant VPV, V, VŠV ir ŠŠV vėjams, o žemiausias – pučiant PPR, PR ir RPR vėjams.

Daugiametiams vandens lygio pokyčiams gali turėti poveikį daugiamečių vėjo krypties kaita, nes pastaruoju metu stebimi dažnesni pietvakarių vėjai, formuojantys aukštesnį vandens lygį, o pietryčių vėjai, formuojantys nuotvanką, retesni (Dailidienė ir kt., 2006). Labiausiai pasikeitė žiemos ir rudens sezonais vyraujančių vėjų kryptys. Žiemos metu pietryčių (PR) krypties vėjų pasikartojimas 1991–2005 m. laikotarpiu sumažėjo 9%, t. y. nuo 25% iki 16%, o pietvakarių vėjų padažnėjo atitinkamai nuo 11% iki 19%.

Vandens lygio kaita siejasi su daugiamečio ledo trukmės kaita Baltijos jūros priekrantėje (2 lentelė). 1961–2005 m., vyraujant šiltoms žiemoms, jūros pakrantėje nesusidarydavo ledo priešalas, todėl laisvos vandens masės svyravimus labiau veikė slėgio barinių gradientų kaita bei dažniau vyraujantys vakariinių krypties vėjai, kurie Lietuvai priklausančioje pietrytinėje Baltijos jūros dalyje formavo aukštesnius vandens horizontus ir patvanką.

APIBENDRINIMAS

Kuršių marių hidrologinis režimas priklauso nuo klimatinio proceso Baltijos jūros akvatorijoje. 1961–2005 m. oro ir vandens paviršiaus temperatūros didžiausi nukrypimai nuo vidutinės 1961–1990 m. temperatūros nustatyti 1991–2005 m.: oro temperatūros anomalija Nidoje buvo +0,8 °C, vandens paviršiaus – +0,6 °C. Daugiametis vandens lygio kilimas yra reikšmingai susijęs su atmosferos cirkuliacijos osciliacija Šiaurės Atlanto regione. Nustatyti koreliacijos koeficientai tarp žiemos NAO indekso ir Klaipėdos sąsiaurio bei marių vidutinio metinio vandens lygio kaitos yra nuo 0,53 iki 0,66, statistinis patikimumo lygmuo didesnis nei 99,9% ($p < 0,01$). Nustatyta vandens lygio daugiamečių pokyčių reikšminga ($p < 0,05$) koreliacija su oro ir vandens temperatūros, oro slėgio jūros lygyje, kritulių kiekio, Nemuno vandeningumo bei ledo reiškinių trukmės kaita.

Vandens lygio Kuršių mariose padidėjimas gali būti sietinas su klimato pokyčių nulemtomis šiltesnėmis žiemomis ir vandens lygio patvankomis pietrytinėje Baltijos jūros dalyje žiemos laikotarpiu. Vandens lygio patvanką sukeliančių pietvakarių krypties ir šiaurės vakarų vėjų dažnėjimas žiemos metu galėjo lemti aukštesnius vandens lygio horizontus šaltuoju periodu.

Vandens lygio daugiamečio režimo analizės rezultatai patvirtina, kad vandens lygio kaitos regioninė analizė yra būtina tiriant klimato kaitą. Regioninė vandens lygio kaitos komponentė gali būti analizuojama kaip viena iš atmosferos cirkuliacijos kaitos indikatorius.

Gauta 2007 03 25

Parengta 2007 04 17

Literatūra

1. Barnett T. P. (1990). Low-frequency changes in sea level and their possible causes. *Ocean engineering science. The sea, 9, part B*: 841–864.
2. Bartkevičienė. G. (2005). Šiaurės Atlanto osciliacijos poveikio hidroterminiai efektai Lietuvoje. *Meteorologija ir hidrologija: raida ir perspektyvos*. 2005 m. kovo 23 d. konferencijos pranešimai. 25–28.
3. Bukantis A. (1991). Kuršių marių vandens lygio priklausomybė nuo vėjo ir atmosferos barinių centrų padėties. *Geografijos metraštis*. 27: 101–107.
4. Bukantis A., Kavaliauskas B., Matekonienė V., Misiūnienė M. (1995). *Klimatologija*. Teminis straipsnių rinkinys. Geografijos instituto darbai. 1–119.
5. Bukantis A., Gulbinas Z., Kazakevičius S., Kilkus K., Mikelskienė A., Morkūnaitė R., Rimkus E., Samuila M., Stankūnavičius G., Valiuškevičius G., Žaromskis R. (2001). *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 1–280.
6. Dailidienė I., Davulienė L., Tilickis B., Stankevičius A., Myrberg K. (2006). Sea level variability at the Lithuanian coast of the Baltic Sea. *Boreal Environment Research*. 11. Helsinki 24 April. 109–121.
7. Dailidienė I., Davulienė L., Tilickis B., Myrberg K., Stankevičius A., Paršeliūnas E. (2005). Investigations of sea level change in the Curonian Lagoon. *Environmental research, engineering and management*. 4(34): 20–29.
8. Galvonaitė A., Valiukas D. (2005). Kai kurių klimato rodiklių pokyčiai per paskutinį dešimtmetį Lietuvoje. *Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos*. Respublikinės mokslinės konferencijos, vykusios 2005 metų kovo 23 d., pranešimai. Vilniaus universitetas. 31–32.
9. Jablonskis J. (1992). Lietuvos upių nuotėkio cikliniai svyravimai. *Energetika*. 4: 16–37.
10. Jalinskas P., Stankūnavičius G. (2004). Šiaurės Atlanto vandenyno paviršiaus temperatūros ryšys su Atmosferos cirkuliacija virš Europos. *Geografijos metraštis*. 37(1–2): 5–17.
11. Jarmalavičius D., Žilinskas G. (1996a). Pietinės ir Pietrytinės Baltijos jūros daugiamečių vandens lygių svyravimo ypatumai. *Geografija*. 32: 28–32.
12. Jarmalavičius D., Žilinskas G. (1996b). Daugiamečiai Baltijos jūros lygio svyravimai. *Lietuva – jūrų valstybė*. Lietuvos okeanologų konferencijos medžiaga. Klaipėda, 1995 m. gegužės mėn. 25–26 d. 120–126.
13. Johansson M., Boman H., Kahma K. K., Launiainen J. (2001). Trends in sea level variability in the Baltic Sea. *Boreal Environment Research*. 6: 159–179.
14. Johansson M. M., Kahma K. K., Boman H., Launiainen J. (2004). Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environment Research*. 9: 153–166.
15. Lepistö A., Kivinen Y. (1997). Effects of climate change on hydrological patterns of a forecasted catchment: a physically based modeling approach. *Boreal environment research*. 2: 19–31.
16. Kalas M. (1993). Characteristic of sea level changes on the Polish Coast of the Baltic Sea in the last forty-five years. *International Workshop. Sea Level Changes and Water Management*. 19–23 April 1993, Noordswijerhout, the Netherlands. Session 1: Observed Sea Level Changes and Land Subsidence. 51–61.
17. Karpavičius J. (2005). Sausrų poveikis medžių radialiajam priaugui Pietų Lietuvoje. *Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos*. Respublikinės mokslinės konferencijos, vykusios 2005 m. kovo 23 d., pranešimai. Vilniaus universitetas. 50–51.
18. Kilkus K. (1998). Lakes of temperate regions like climate change indicators. *Proceedings of the second international conference on Climate and Water*. 588–596.
19. Kilkus K., Valiuškevičius G. (2001). Klimato svyravimų atspindžiai ežerų ir upių hidrologiniuose bei hidrofizikiniuose rodikliuose. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 194–232.
20. Morkūnaitė R. (2001). Klimato veiksmų poveikis defliacijos procesams. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 233–258.
21. Nesterov E. C. (2000). Climatic trend-lines of the atmospheric and oceanic characteristics in the Atlantic-European region. *Items of hydrological investigations and forecasts*. Sankt Peterburg. 74–77.

22. Gulbinas Z., Samuila M. (2001). Gruntinio vandens lygio režimo ir cheminės sudėties priklausomybė nuo klimato rodiklių. *Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos*. Respublikinės mokslinės konferencijos, vykusios 2005 metų kovo 23 d., pranešimai. Vilniaus universitetas: 165–193.
23. Ekman M. (2003). The World's longest sea level series and winter oscillation index for Northern Europe 1774–2000. *Small publications in Historical Geophysics*. 12. Åland Islands. 1–31.
24. IPCC 2001. Climate change (2001). *The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
25. Hurrell J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*. 269: 676–679.
26. Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M. (2003). An Overview of the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact Geophysical Monograph*. 134. American Geophysical Union. 1–35.
27. Jonaitis V., Bartkevičienė G. (2005). Some regularities in long-term Dynamics of temporal dispersion of *Pleuroptera ruralis* (Scop.), primary parasitoid *Macrocentrus grandii* Goid. and secondary parasitoids in Lithuania. *Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos*. Respublikinės mokslinės konferencijos, vykusios 2005 m. kovo 23 d., pranešimai. Vilniaus universitetas. 35–36.
28. Stankūnavičius G., Bartkevičienė G. (2003). Ekstremalios atmosferos cirkuliacijos sąlygos Šiaurės Atlante: oro temperatūros ir kritulių anomalijos Europoje. *Geografijos metraštis*. 36(1): 18–33.
29. Stankūnavičius G., Žaromskis R. (2005). Anthropogenic impact as ecosystems regulator in the Curonian Lagoon. *Lagoons and coastal wetlands in the Global change context: impact and management issues*. Proceedings of the international conference. Venice, 26–28 April 2004. 48–55.
30. Stigge H. J. (1993). Sea level changes and high-water probability on the German Baltic Coast. *International Workshop. Sea Level Changes and Water Management*. 19–23 April 1993, Noordswijerhout, Netherlands. Session 1: Observed Sea Level Changes and Land Subsidence. 19–29.
31. Vaitkevičius K. (1972). *Statistinė vandens lygio priklausomybė nuo vėjo centrinėje ir pietinėje Kuršių marių dalyse*. Hidrometeorologiniai straipsniai. Vilnius: Periodika. 67–71.
32. Žaromskis R. (1996). *Okeanai, jūros, estuarijos*. Vilnius.
33. Žaromskis R. (2001). Klimato pokyčių poveikis Baltijos jūros ir Kuršių marių krantams. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 122–164.
34. Žilinskas G., Jarmalavičius D., Minkevičius V. (2001). *Eoliniai procesai jūros krante*. Geografijos institutas.
35. Žilinskas G., Petrokas T. (1998). Šiaurinės Kuršių marių dalies kartometrinės charakteristikos bei jų nustatymo problemos. *Geografijos metraštis*. 31: 110–122.
36. Červinskas E. (1959). Pagrindiniai Kuršių marių hidrologinio režimo bruožai. *Kuršių marios. Kompleksinio tyrinėjimo rezultatai*. Lietuvos TSR mokslų akademija, Biologijos institutas: 47–68.

Inga Dailidienė

CHANGES OF HYDROLOGICAL CONDITIONS IN THE CURONIAN LAGOON

Summary

The Curonian Lagoon is a large shallow coastal water body in the south-eastern part of the Baltic Sea. The global climate change, the rise in water level could influence water ecosystems. The paper presents the spatial and temporal variation of water level, water temperature in the Curonian Lagoon. The mean water level is rising by approximately 0.30 cm year⁻¹ in the Klaipėda Strait and 0.36 cm year⁻¹ in the Curonian Lagoon near Nida during the period 1961–2005. The increase of water level is associated with changes in atmospheric circulation in the North Atlantic region that indicate correlations with the NAO index. The water level fluctuations in the Curonian Lagoon are caused by variations in air mass dynamics in the North Atlantic areas. Statistical long-term mean water levels, which are regarded as standard in Lithuania and used for engineering and hydro-technical purposes, should be corrected with regard to the water level trend to rise.