

JŪROTYRA

VANDENS CIRKULIACIJA IR ERDVINĖ DRUMSTUMO DINAMIKA VASARĄ KURŠIŲ MARIŲ IR BALTIJOS JŪROS LIETUVOS AKVATORIJOSE

Arūnas Galkus

Geologijos ir geografijos institutas, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223, Vilnius

El. paštas: galkus@geo.lt

Įvadas

Vandens tėkmių Kuršių mariose tyrimų raidos ir vandens cirkuliacijos principinės sistemos paieškos pagrindiniai aspektai pateikta ankstesniame autoriaus straipsnyje, kuriame nagrinėjama vandens cirkuliacija Kuršių marių šiaurinėje dalyje pavasarį nusistovėjusio hidrometeorologinio režimo sąlygomis (Galkus, 2003). Sutikdamas su teiginiu, kad Kuršių marių tėkmių sistema laiko atžvilgiu kinta (Dubra, 1978), šiame straipsnyje autorius analizuoja vandens cirkuliacijos ir drumstumo dinamikos ypatybes kitu metų sezonu – vasarą. Atsiradus galimybei lauko matavimus atlikti jūroje, patyrinti ir tolesni iš Kuršių marių ištekancio vandens bei nuosėdinės medžiagos sklaidos keliai – priešais Klaipėdos sąsiaurio žiotis esančiame Baltijos jūros rajone. Lauko tyrimai buvo atliekami trumpalaikių „nuotraukų“ principu, esant kuo ramesniam orui, kad būtų galima išvengti vėjo poveikio.

Straipsnio tikslas – atlikti Kuršių marių ir Baltijos jūros Lietuvos akvatorijų vandens tėkmių, drumstumo ir skaidrumo rodiklių erdvinio pasiskirstymo vasarą analizę (mariose – esant skirtingam vandens apykaitos tarp marių ir jūros pobūdžiui); šios analizės pagrindu sukurti Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens cirkuliacijos, vandens drumstumo ir skaidrumo kartoschemas; identifikuoti analizuojamų rodiklių santykinio stabilumo skirtinguose laiko pjūviuose erdvinius elementus.

1. Medžiaga ir metodika

Ekspediciniai tyrimai, kurių analizės duomenys pateikiami šiame straipsnyje, Kuršių marių Lietuvos akvatorijoje nuo sienos su Rusijos administruojama Kaliningrado sritimi iki Klaipėdos sąsiaurio žiočių atlikti 2001 m. liepos 10–13 d. ir 2002 m. rugpjūčio 26–29 d.

2001 m. liepą tyrimų metu vandens temperatūra kito nuo +18,8°C (Klaipėdos sąsiaurio žiočių priedugnyje) iki +21,8°C. Per 2001 metų ekspediciją vandens lygis Klaipėdos sąsiauryje nukrito 14 cm (nuo +1 iki -13). Matavimų ties sąsiaurio žiotimis metu priedugnio vandens sluoksnio druskingumas siekė 6,7–6,8 ‰ (paviršiaus – 0,6 ‰). Giliau sąsiauryje druskingo vandens aptikta tik ploname dugno įdubų priedugnio vandens sluoksnyje. Pradiniame tyrimų etape pūtė apie 10 m/s stiprumo pietryčių vėjas, todėl matavimai buvo pradėti nuo užuovėjinės marių zonos ties Kiaulės Nugaros sala ir tęsiami pietų kryptimi. Palaiapsniui silpdamas ir kelis kartus keisdamas kryptį iš pietų į vakarus ir atvirkščiai, vėjas ir bangavimas visiškai nurimo liepos 12 d. antroje pusėje baigiant darbus ties Kuršių nerijos Parnidžio ragu. Liepos 13 d.

dirbant Klaipėdos sąsiauryje vėjas vėl sustiprėjo (Galkus, Jokšas, 2002).

2002 m. rugpjūtį tyrimų tarpsniu vandens temperatūra kito nuo +18,0°C (Klaipėdos sąsiaurio farvaterio priedugnyje) iki +21,8°C. Po ilgos sausros vandens lygis Kuršių mariose buvo nukritęs (Klaipėdos uoste – apie -17 cm). Druskingo jūros vandens prasiskverbė toli į marias (ties Alksnyne priedugnyje vandens druskingumas siekė 6,01 ‰, paviršiuje – 5,24 ‰), nors Klaipėdos sąsiaurio žiočių priedugnyje vandens druskingumas buvo panašus kaip ir 2001 m. liepą. Esant ramiam orui, darbai pradėti nuo marių akvatorijos pietinės dalies ties siena su Kaliningrado sritimi. Pirmąją darbų dieną vėjo greitis praktiškai buvo lygus nuliui, o vandens paviršius – visiškai lygus. Antrosios dienos rytą, atliekant matavimus ties Ventės ragu, pietų–pietryčių krypties vėjo greitis siekė 3–4 m/s ir, tai kiek sustiprėdamas, tai visai nurimdamas, išliko panašus iki tyrimų mariose pabaigos.

Kuršių marių kompleksinių plataus spektro tyrimų pirmojo (vasaros) etapo bendrieji rezultatai kartu su tyrimo stočių schema jau paskelbti (Galkus, Jokšas, 2002). 2002 metų tyrimuose buvo remtasi ta pačia metodika ir atraminėmis tyrimų stotimis, kaip ir ankstesniuose darbuose.

Baltijos jūroje matavimai atlikti 2002 m. rugpjūčio 29–30 d., tiesiogiai pratęsiant Kuršių mariose vykdytus tyrimus. Tam, kad vėjo poveikis tyrimų tikslumui būtų maksimaliai eliminuotas, pirmąją tyrimų dieną tėkmių matavimams oras buvo labai palankus: štilis, beveik lygus vandens paviršius. Kitą dieną, dvelkiant iki 5 m/s vakarų–šiaurės vakarų krypties vėjui, pamažu susiformavo nedidelės smulkios bangos.

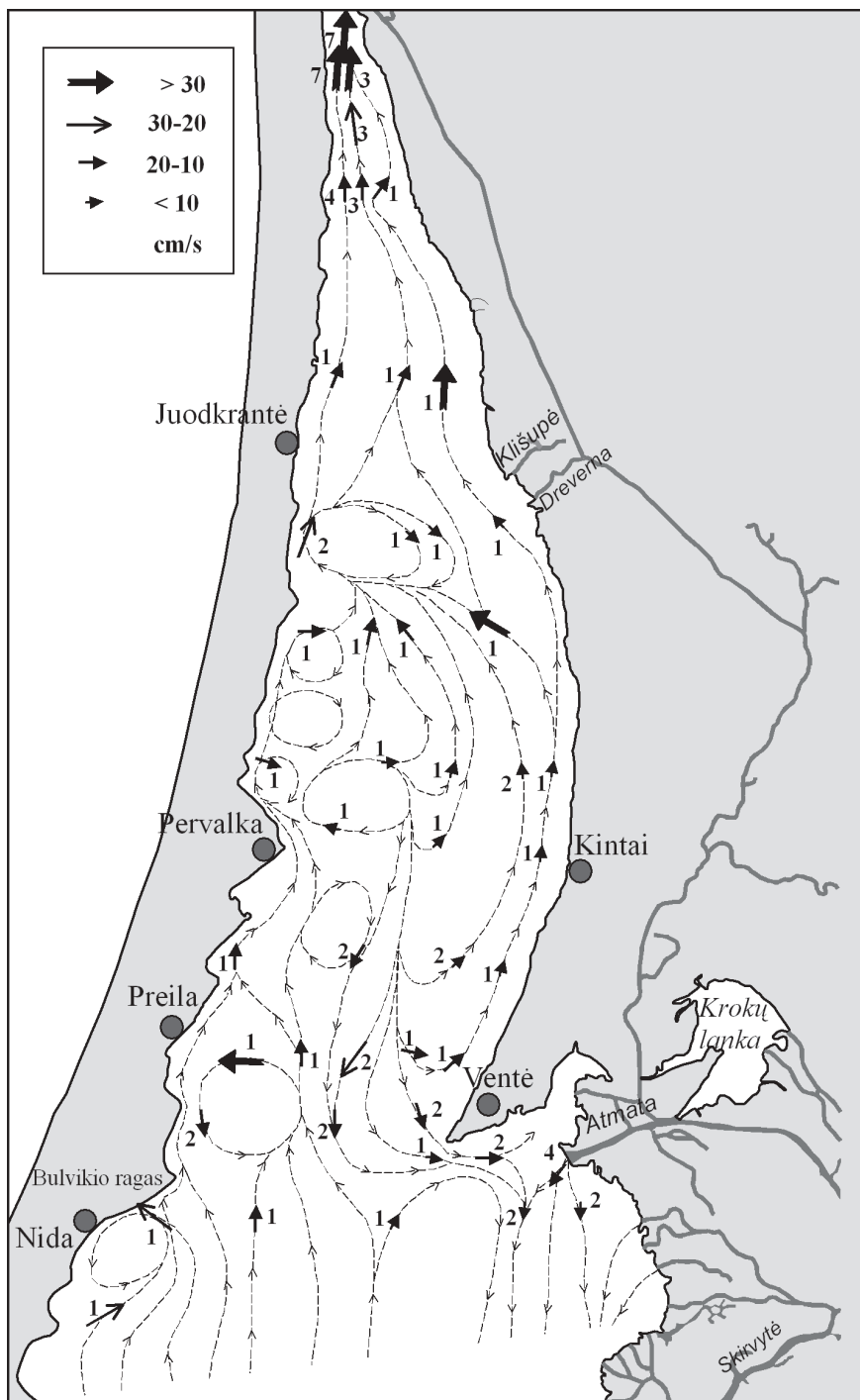
Vandens drumstumas, tėkmių greitis ir kryptis buvo matuojami norvegų firmos *AANDERAA INSTRUMENTS* daugiafunkciniu zondų *RCM 9*. Matavimai vertikalėse Kuršių mariose ir Klaipėdos sąsiauryje atlikti kas 1 m, Baltijos jūroje – kas 3 m (viršutinis horizontas 1 m gylyje, apatinis – mariose 0,5–1 m, jūroje – 1–2 m nuo dugno). Vandens drumstumas išmatuotas pagal infraraudonųjų spindulių išsisklaidymo vandenyje intensyvumą ir išreikštas santykiniais vienetais (*NTU – Nephelometric Turbidity Unit*). 2001 metų liepą maksimali *NTU* reikšmė Kuršių mariose siekė 71 (didžiausia skandinavių dalelių koncentracija – 68 mg/l), 2002 m. rugpjūtį – 43 (32 mg/l), Baltijos jūroje 2002 m. rugpjūtį – 7,6 (9,5 mg/l). Tėkmės greitis (matavimo rezultatus fiksuojant 0,01 cm/s tikslumu) fiksuotas zondo *RCM 9* komplekte esančiu *Doppler* davikliu. Zondo padėtis vandens tėkmės atžvilgiu jos krypties azimuto nustatymo metu buvo stabilizuojama specialiu vairu. Vandens skaidrumas – atvirkščias drumstumui rodiklis – buvo nustatomas išmatavus balto 30 cm skersmens (*Sekki*) disko didžiausio matomumo vandenyje gylį.

Sudarant bendrosios vandens cirkuliacijos schemas buvo atsižvelgiama į matavimų rezultatus tame vandens horizonte, kur vertikalėje išmatuota sparčiausia tėkmė. Tėkmių kryptis ir greitis kartoschemose pažymėti strėlėmis, o erdvė, kur trūksta duomenų, užpildyta subjektyviai interpoliuotu vandens judėjimo keliu nuo vieno matavimų taško iki kito.

2. Rezultatų analizė

2001 metų vasaros viduryje tyrinėtų Kuršių marių vandens tėkmių greičiai kito nuo 1 cm/s iki 46 cm/s. Palaipsniui didėdamas šiaurės kryptimi vidurkinis tėkmės greitis buvo didžiausias Klaipėdos sąsiauryje. Maksimalus tėkmės greitis išmatuotas priešžiotinėje sąsiaurio dalyje 3 m ($\approx 0,2$ h) horizonte (Galkus, Jokšas, 2002).

Nemuno (Atmatos) avandeltoje vidurkinė tėkmių kryptis 2 m ir gilesniuose horizontuose buvo orientuota į vakarus–pietvakarius, o 1 m horizonte – į rytus. Pažymėjus kartoschemoje greičiausių tėkmių kryptis (1 pav.) matyti, kad patekęs į marias Nemuno vanduo nedideliu



1 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens tėkmių schema (2001 m. liepa). Strėlėmis pažymėtos matavimo vertikalių vietos, vertikalėse išmatuotų greičiausių tėkmių kryptys ir greičiai (žr. legendą). Skaičius prie strėlės rodo vandens horizontą (m), kuriame didžiausias tėkmės greitis.

Fig. 1. Scheme of water streams (July, 2001) in the Lithuanian water area of Curonian lagoon. The vertical lines of measurements and the directions and velocities of the most rapid streams are marked with arrows (see legend). The number by the arrows indicates the water horizon (m), where the stream velocity is highest.

greičiu (< 10 cm/s) pirmiausia pasuka į pietvakarius. Skirtingai nei pavasarį (Galkus, 2003), ties Ventės ragu praktiškai visoje vandens stovymėje vyrauja rytų–pietryčių tėkmės (pučiant apie 5 m/s stiprumo priešingos krypties vėjui). Tik ties dugnu vanduo lėtai (2 cm/s) juda šiaurės vakarų kryptimi. Kaip ir pavasarį, ankstesnių tėkmių tyrėjų minimo „galingo kompaktiško vandens srauto“, atkeliaujančio nuo Nemuno žiočių ir ties Ventės ragu pasukančio į šiaurę (Galkus, 2003), neaptikta.

Iš pietinės Kuršių marių dalies vakarine marių puse į šiaurę plūsdamas vanduo savo kelyje suformuoja daug žiedo pavidalo tėkmių. Vandens sukuriavimo atkarpa driekiasi nuo Nidos iki Juodkrantės. Pietiniame atkarpos ruože vanduo cirkuliuoja prieš, šiauriniame – pagal laikrodžio rodyklę (1 pav.). Cirkuliacijos žiedų kryptį lemia dugno reljefo, kranto konfigūracijos ar patvankos poveikis konkrečiai tekmei. Koriolio jėgos poveikis sekliame vandens baseine praktiškai neišryškėja.

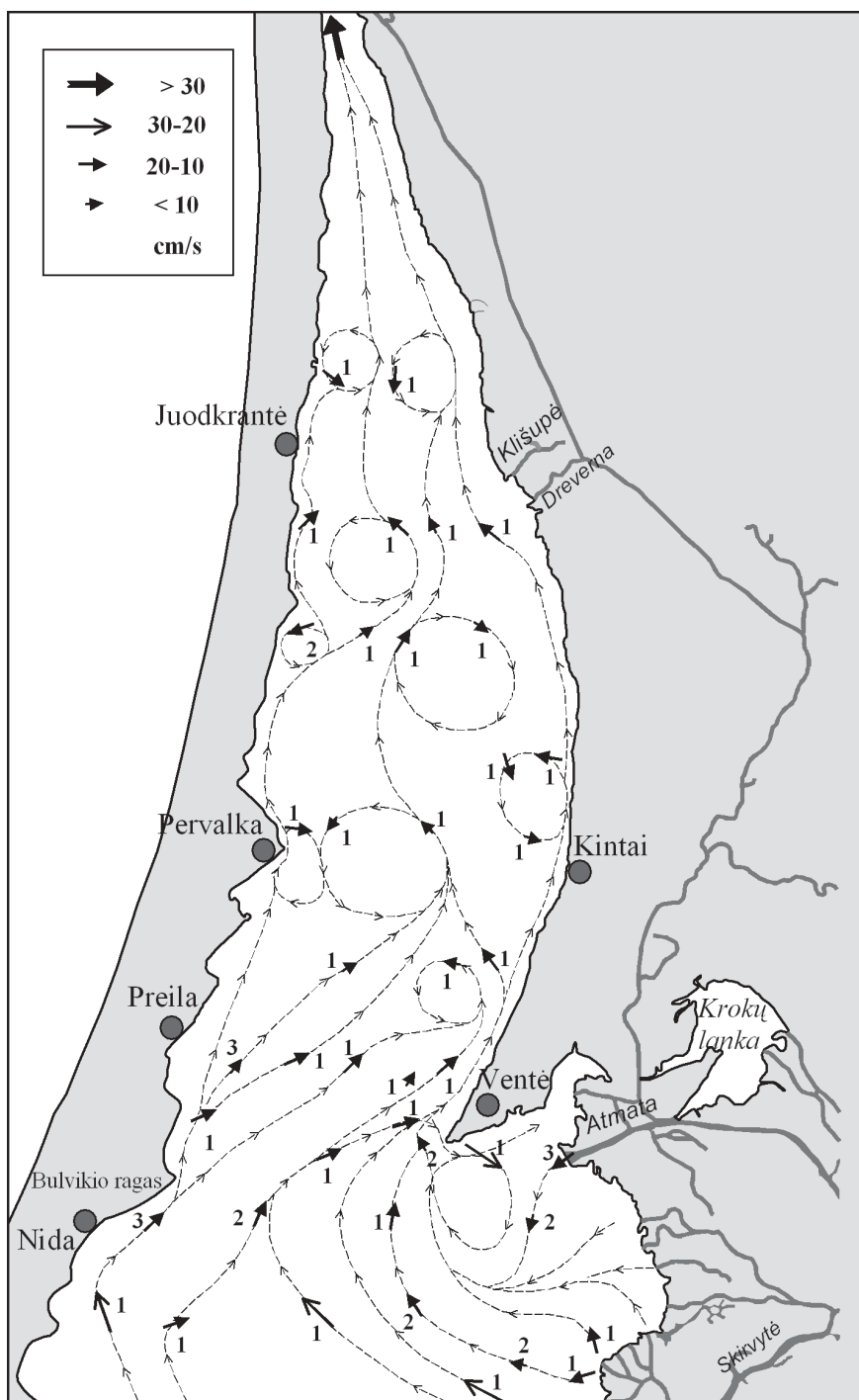
Prasiveržęs pro Ventės rago platumoje sukuriuojančio vandens zoną vanduo rytine marių priekrante plūsta tiesiai link Klaipėdos sąsiaurio: iš pradžių lėtai (vidutiniškai apie 10 cm/s), šiauriau Drevernos – greičiau (iki 34 cm/s). Klaipėdos sąsiaurio pradžioje ir ties jo žiotimis didžiausi tėkmės greičiai išmatuoti 3 m gylyje: vakarinėje protakoje ties Kiaulės Nugaros sala – 33 cm/s (0,4 h, azimutas 13°); priešais sąsiaurio žiotis – 46 cm/s (0,2 h, 355°). Giliau sąsiauryje greičiausia tėkmė fiksuojama aukščiausiam iš tyrinėtų 1 m horizonte: ties jachtų uosteliu – 29 cm/s (58°), ties Danės upės žiotimis – 33 cm/s (69°). Apytiksliai sąsiaurio šies kryptimi jūros link vanduo teka giliau (5–7 m) ir mažesniu (~2 cm/s) greičiu.

2002 metų rugpjūtį atlikti matavimai papildomose stotyse Skirvytės avandeltoje parodė, kad iš Atmatos srūvančiam vandeniui pietvakariuose susiliejus su PV–ŠV kryptimi tekančio vandens srautais, bendra vandens tėkmė palaipsniui pasuka į vakarus, toliau pietuose – į šiaurę (1 ir 2 pav.). Dėl Kalvos ir Akmenės pakilimų šlaitų sukeliama patvanka tam tikra dalis vandens pasuka link Nemuno žiočių, formuodama pagal laikrodžio rodyklę judančio vandens žiedinę tėkmę, nors pagal A. Willerio sudarytą schemą (Žaromskis, 1996) Vidmarėse vanduo turėtų cirkuliuoti priešinga kryptimi. Ties Ventės ragu su PR tekme susilieja vandenys, kurių tekėjimo kryptį (iš Š–ŠR į R–PR) pakeičia analogiškas mechanizmas, veikiantis vandens tekmei pasiekus Kuršių marių šiaurinės dalies seklumų zoną.

Didžiausi tėkmių greičiai Kuršių mariose (išskyrus Klaipėdos sąsiaurį) 2002 m. rugpjūtį tyrimų tarpsniu išmatuoti piečiausiam tyrimų rajono pakraštyje (iki 22 cm/s) ir vienoje iš stočių į pietus nuo Ventės rago (24 cm/s) 1 m horizonte (2 pav.). Kitur mariose tėkmių greičiai niekur neviršija 2 cm/s. Net Atmatos žiotyse maksimalus tėkmės greitis (4 m horizonte) tesiekia 13 cm/s (minimalus – paviršiniame 1–2 m horizonte, 9 cm/s).

Ventės rago–Klaipėdos sąsiaurio ruože vanduo lėtai, sukuriuodamas juda į šiaurę. Identifikuotuose dideliuose sukuriuose vanduo dažniausiai sukasi prieš laikrodžio rodyklę. Šiauriau Juodkrantės po truputį pradeda didėti priedugnio vandens sluoksnio druskingumas, nes artėja gėlo ir druskingo vandens maišymosi zona. Tėkmių kryptys tampa labai nepastovios, greičiausios tėkmės (1 m horizonte, iki 18 cm/s) pasisuka priešinga Klaipėdos sąsiauriui kryptimi (2 pav.).

Atliekant tyrimus ties Alksnyne per visą vandens stovymę buvo pasklidęs druskingas vanduo. Prie dugno vandens druskingumas siekė 6,01‰, 1 m horizonte – 5,24‰. Druskingas vanduo jau sparčiai grįžo link jūros, palaipsniui greičiau tekėdamas link dugno: 1 m gylyje – 14 cm/s (azimutas 44°), 3 m – 27 cm/s (349°), 5 m – 51 cm/s (335°), 7 m – 58 cm/s (337°, gylis – 8 m). Ties Kiaulės Nugaros sala druskingas vanduo vis dar plūdo gilyn į marias, didindamas greitį rytinėje protakoje. Tėkmės greičio kaita vertikalėje šiuo atveju buvo priešingo pobūdžio, negu ties Alksnyne: 1 m – 41 cm/s (azimutas 145°), 3 m – 41 cm/s (149°), 5 m – 34



2 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens tėkmių schema (2002 m. rugpjūtis). Strėlėmis pažymėtos matavimo vertikalinių vietos, vertikalėse išmatuotų greičiausių tėkmių kryptys ir greičiai (žr. legendą). Skaičius prie strėlės rodo vandens horizontą (m), kuriame didžiausias tėkmės greitis.

Fig. 2. Scheme of water streams (August, 2002) in the Lithuanian water area of Curonian lagoon. The vertical lines of measurements and the directions and velocities of the most rapid streams are marked with arrows (see legend). The number by the arrows indicates the water horizon (m), where the stream velocity is highest.

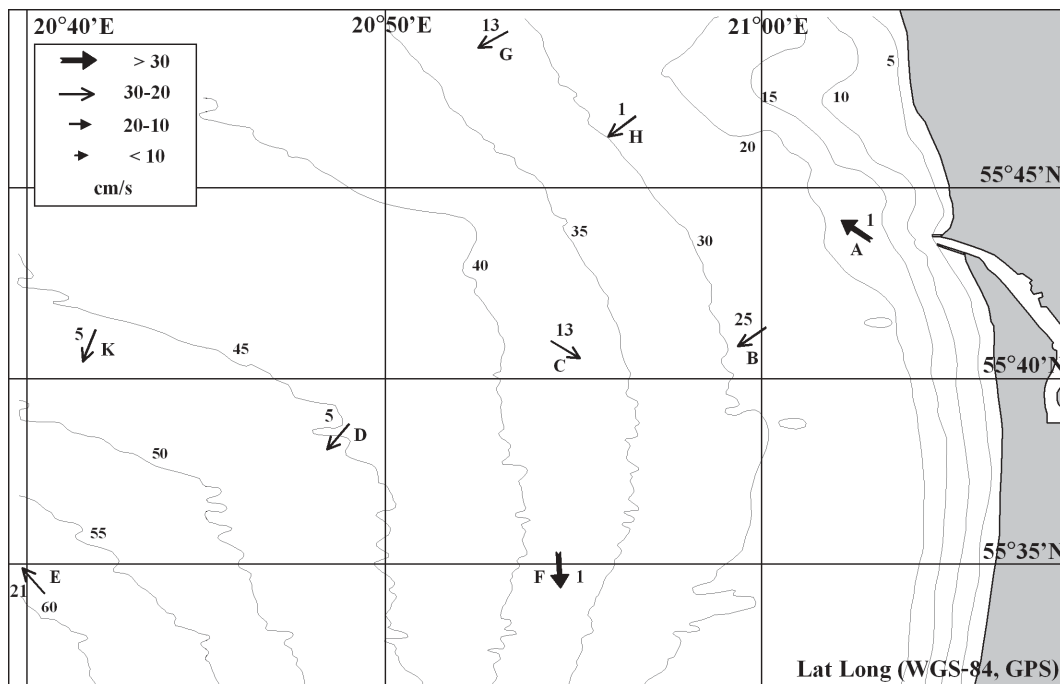
cm/s (179°), 6 m – 27 cm/s (192°, gylis – 6,9 m). Vakariniėje protakoje tėkmės greitis vertikalėje tuo metu kito 7–15 cm/s ribose, maksimaliai išaugdamas 3 m horizonte (azimutas 168°). Intensyvesnio vandens plūsmo rytinėje protakoje išmatuotas didesnis vandens druskingumas (paviršiuje – 5,90‰, priedugnyje – 6,53‰), vakarinėje – kiek mažesnis (atitinkamai 5,59‰ ir 6,37‰).

Klaipėdos sąsiaurio viduryje (ties jachtų uosteliu) druskingas jūros vanduo vyravo visoje vandens storumėje. Vandens druskingumas jau 1 m horizonte siekė 6,09‰. Tokiomis sąlygomis vandens tėkmė su gyliu palaiptamsiui krypta iš PV į Š–ŠV: 1 m horizonte – azimutas 233°, greitis 6 cm/s; 3–5 m – 276–278°, 16–19 cm/s; 7–9 m – 341–347°, 8–1 cm/s. Ties dugnu druskingiausias (6,69‰) vertikalėje vanduo 7 cm/s greičiu juda beveik ta pačia kryptimi kaip 1 m horizonte: 11 m – 256° (gylis – 12 m). Nors Danės gėlo vandens prietaka į Klaipėdos sąsiaurį jo vandens druskingumo praktiškai nepaveikia (ties upės žiotimis druskingumas 1 m horizonte siekia 6,24‰), vandens tėkmė viršutinėje vandens storumės dalyje (iki 8 m horizonto) būtent ties Danės žiotimis pasuka V–ŠV kryptimi (didžiausias greitis – 21 cm/s 5 m horizonte, mažiausias – 7 cm/s 1 m ir 8 m horizontuose). Apatiniuose horizontuose jūros vanduo iš lėto plūsta sąsiaurio gilumon: 10 m – 115°, 4 cm/s, 11 m – 149°, 1 cm/s, 11,8 m – 200°, 2 cm/s (gylis – 12,1 m). Uosto vartuose 1 m horizonte nustatyta ŠR (48°) 16 cm/s tėkmė, o 3 m horizonte vanduo jau pasuka (11 cm/s) priešinga (PV) kryptimi (232°). Su gyliu tėkmė ten palaiptamsiui gręžiasi iš PV į ŠV (greitis – apie 14 cm/s). Ploname priedugnio vandens sluoksnyje, kuris farvateryje išauga iki 1–2 m, išmatuota iki 9 cm/s P–PR tėkmė.

Baltijos jūroje priešais Klaipėdos sąsiaurio žiotis vandens tėkmės sukelia ne tik atplūstančio gėlo vandens sklaidą. Cirkuliacijos priežastys gali būti ir vandens tankio skirtumai, ir vėjai, ir kituose jūros rajonuose vykstantys vandens masių judesiai. Priekrantėje svarbiu veiksnium tampa dugno reljefas ir kranto konfigūracija. Labiausiai tėkmių greičiai išauga, kai viena kryptimi iškart veikia keli veiksniai, dažniausiai – dreifinis ir gradientinis. Deja, konkrečių duomenų apie tėkmių rodiklius jūroje ties Lietuva labai trūksta. Prireikus šio pobūdžio informacijos, tėkmės dažniausiai aprašomos remiantis netiesioginiais duomenimis, kitų Baltijos jūros rajonų tyrimais ir bendro pobūdžio žiniomis apie tėkmių sistemą Baltijos jūroje. Pati bendroji Baltijos jūros tėkmių sistema nepakankamai tyrinėta, o šios srities apibendrinantys darbai paskelbti gana seniai (tyrimų apžvalga ir detalus literatūros sąrašas pateikta knygoje: Žaromskis, 1996).

Manoma, kad nesant ilgalaikio vienos krypties vėjo poveikio Gdansko baseine (į kurią patenka ir mūsų tiriamasis rajonas) tėkmių greičiai tiek paviršiniuose, tiek priedugnio horizontuose dažniausiai svyruoja 1–2 cm/s ribose (Hidrologinis..., 1987). J. Dubros pateiktas duomenimis, 43% matavimų jūroje nustatytos 5–1 cm/s greičio tėkmės, 33% – 11–15 cm/s. Didžiausius tėkmių greičius šis tyrinėtojas sieja išimtinai su audrų stiprumu, pučiant šiaurės ir vakarų krypties vėjams (Dubra, 1970, 1994, 2003).

Itin ramiu oru atlikti matavimai parodė, kad ir nesant vėjo vandens tėkmių greičiai Baltijoje būna didesni ne tik už Kuršių marių, bet ir už Klaipėdos sąsiaurio tėkmių greičius, o jų reikšmės toje pačioje vertikalėje skiriasi iki 18 kartų. Didžiausi tėkmės greičiai jūroje išmatuoti 1 m horizonte: 57 cm/s – F st. ir 33 cm/s – A st. (3 pav.). Priešais Klaipėdos sąsiaurio žiotis esančios A stoties paviršiniame (iki 3 m) vandens sluoksnyje 5–7 kartus padidėjęs vandens drumstumas (palyginus su gilesniais horizontais ir aplinkiniais arealais) rodo, kad kontinentinės išsūvės ten vaidina reikšmingą vaidmenį (nors kartu stebimas energingas jūros vandens skverbimasis į marias). Tėkmės pobūdis, be abejo, priklauso ir nuo bendrų jūros vandens cirkuliacijos bruožų, tarp jų – nuo seniai literatūroje minimos priekrantinės šiaurės tėkmės. Panašu, kad tolesnį tėkmių posūkį į PV (G, H ir B st.) lemia povandeninio šlaito konfigūracija.



3 pav. Baltijos jūros tėkmės (2002 m. rugpjūtis). Strėlėmis pažymėtos matavimo vertikalijų vietos, vertikalėse išmatuotų greičiausių tėkmių kryptys ir greičiai (žr. legendą). Skaičius prie strėlės rodo vandens horizontą (m), kuriame didžiausias tėkmės greitis.

Fig. 3. Water streams (August, 2002) in the Lithuanian water area of Baltic Sea. The vertical lines of measurements and the directions and velocities of the most rapid streams are marked with arrows (see legend). The number by the arrows indicates the water horizon (m), where the stream velocity is highest.

Pietvakarių krypties vandens srauto vidurinėje dalyje didžiausias greitį tėkmė iš pradžių pasiekia 1 m (H st., 29 cm/s), vėliau – 5 m horizonte (K ir D st., 2–24 cm/s). Srauto pakraščiuose greičiausia tėkmė nustatyta 13 m horizonte: G st. (0,4 h) – 21 cm/s ir B st. (0,45 h) – 26 cm/s. Tame pačiame horizonte (0,3 h) greičiausia tėkmė (27 cm/s) išmatuota ir C st., nors jos kryptis ten pasikeičia (3 pav.).

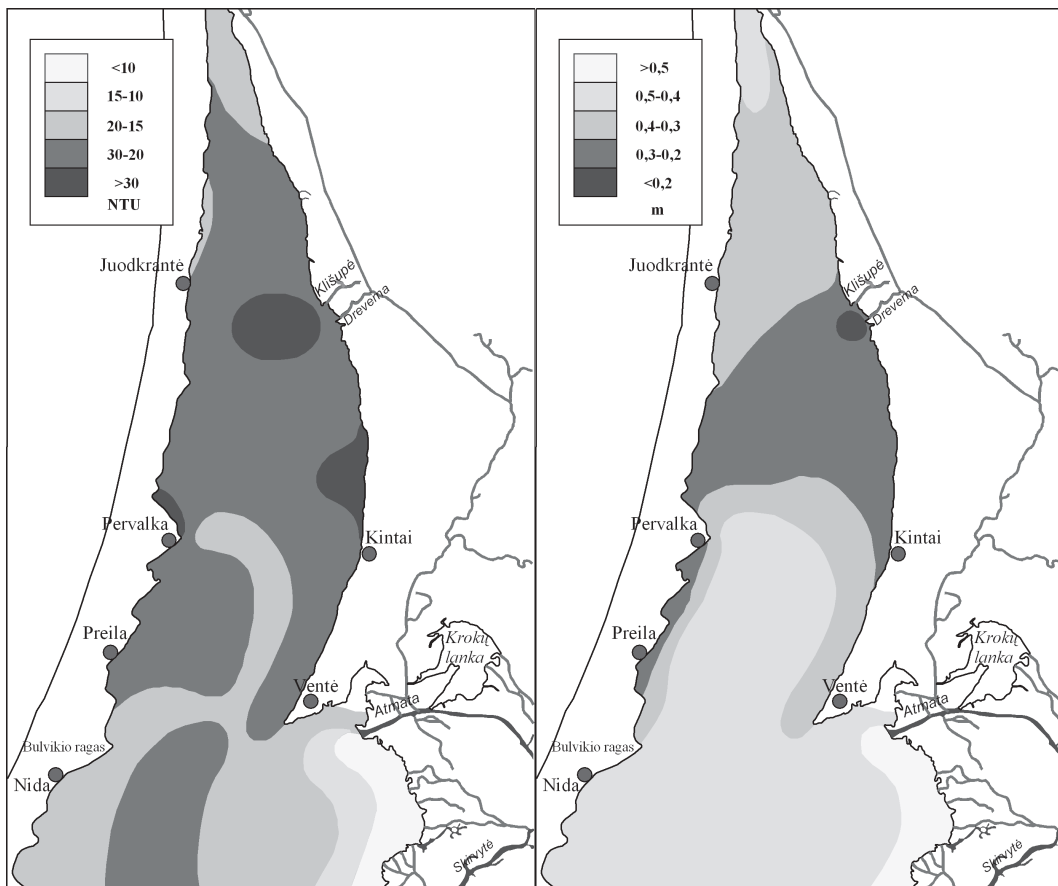
Nors manoma, kad Baltijos jūroje ties Lietuva vanduo tik trečdaliu visų atvejų teka pietų kryptimi (Dubra, 1970, 1994), didžiausią vandens storumę apimanti sparčiausia tėkmė išmatuota vandeniui plūstant pietų kryptimi (F st.): 1 m horizonte – 57 cm/s, azimutas 185°; 3–15 m – 3 cm/s, 214–226°; 18–33 m – 13 cm/s, 132–184°, priedugnio vandens sluoksnyje – 4 cm/s, 182° (gylis – 37,5 m). Didžiausiame gylyje maksimali vertikalėje tėkmės greičio reikšmė (ŠV, 23 cm/s) nustatyta giliausioje iš tirtų E stotyje (gylis 59 m), esančioje ties beprasidedančiu link Gdanskio įdaubos dugno pažemėjimu. Viršutiniame 10 m vandens sluoksnyje vidurkinis nuo PR (paviršiuje) iki Š (5–10 m) krypčių tėkmės greitis lygus 3 cm/s, 30–55 m horizonte – 11 cm/s (P–V), o priedugnyje – 4 cm/s (P).

Nors patikimam tėkmių sistemos vaizdui sukurti tyrimo stočių tinklas nepakankamas, remiantis esamų matavimų jūroje rezultatais galima išvelgti ties Klaipėdos sąsiauriu besiformuojanti, prieš laikrodžio rodyklę besisukantį makrosūkurį (3 pav.). Žiedinę vandens cirkuliaciją (tik gerokai didesnio masto, apimančią ir Latvijos priekrantės arealą) šiame Baltijos rajone pavaizdavo rusų mokslininkai 1982 m. paskelbtoje tėkmių schemoje, apskaičiuotoje

pagal teorinį PV krypties vėjo lauką (Žaromskis, 1996).

Kartu su tėkmės rodikliais išmatuotų vandens drumstumo santykinų reikšmių (*NTU*) pasiskirstymo analizė parodė, kad 2001 m. liepą drumstumo reikšmės tos pačios vertikalės horizontuose didžiojoje tirtos marių akvatorijos dalyje nelabai skiriasi. Tik artėjant prie Klaipėdos sąsiaurio ir pradėdant staigiai augti gyliui bei tėkmių greičiui gilesniuose horizontuose (1 pav.), drumstumo reikšmės priedugnyje, palyginus su 1 m horizontu, padidėja dvigubai ir daugiau. Dėl vietos stokos šiame darbe iliustracijai pateikta tik labiausiai reprezentacinė 1 m vandens horizonto sudaryta drumstumo reikšmių pasiskirstymo schema (4 pav.). Vandens drumstumo ir skaidrumo (5 pav.) tyrimai parodė, kad 2001 m. liepą mažiausiai drumstas buvo tik ką į marias iš Nemuno deltos patekęs vanduo (*NTU* – 9, skaidrumas – 0,6 m). Iš pietinės Kuršių marių dalies atplūsta gerokai drumstesnis vanduo (*NTU* – 20-30, skaidrumas – 0,4–0,5 m), kurio drumstumas didėja šiaurės kryptimi (pirmiausia – abiejose priekrantėse) ir itin išauga marių ruože tarp Pervalkos ir Juodkrantės (4 ir 5 pav.). Maksimalus vandens drumstumas vandens storumėje ten nustatytas rytinėje priekrantėje: 1 m horizonte – 36, priedugnyje (gylis 2,1 m) – 37 *NTU*. Vandens skaidrumas prieš Dreverną, pagausėjus planktono, sumažėja iki 0,19 m.

Toliau į šiaurę, nepaisant išaugančio tėkmės greičio (1 pav.), viršutiniame 1 m horizonte vandens drumstumas palaipsniui mažėja, skaidrumas – didėja. Kartu didėja drumstumas

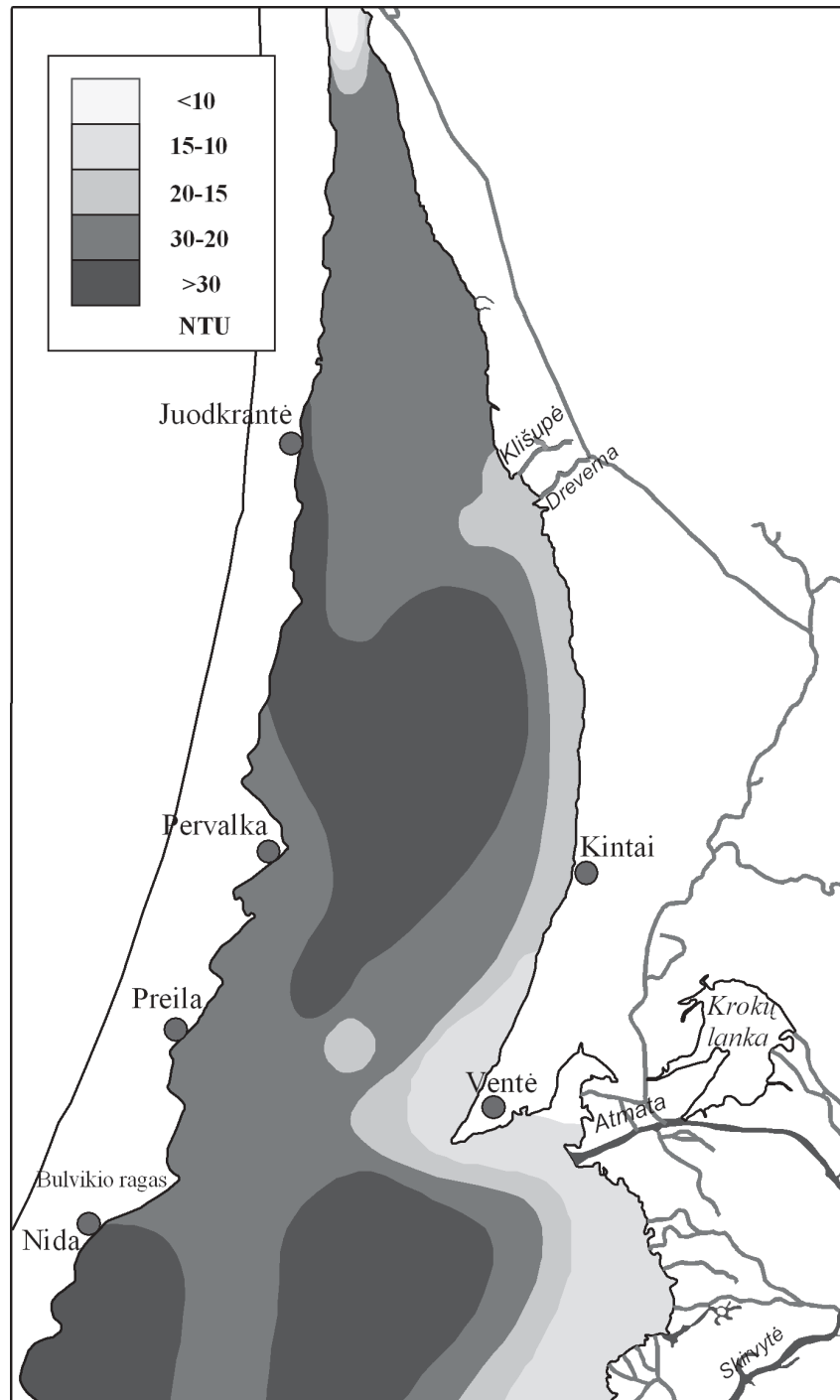


4 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens drumstumas (2001 m. liepa).

Fig. 4. Water turbidity in the Lithuanian water area of Curonian lagoon (July, 2001).

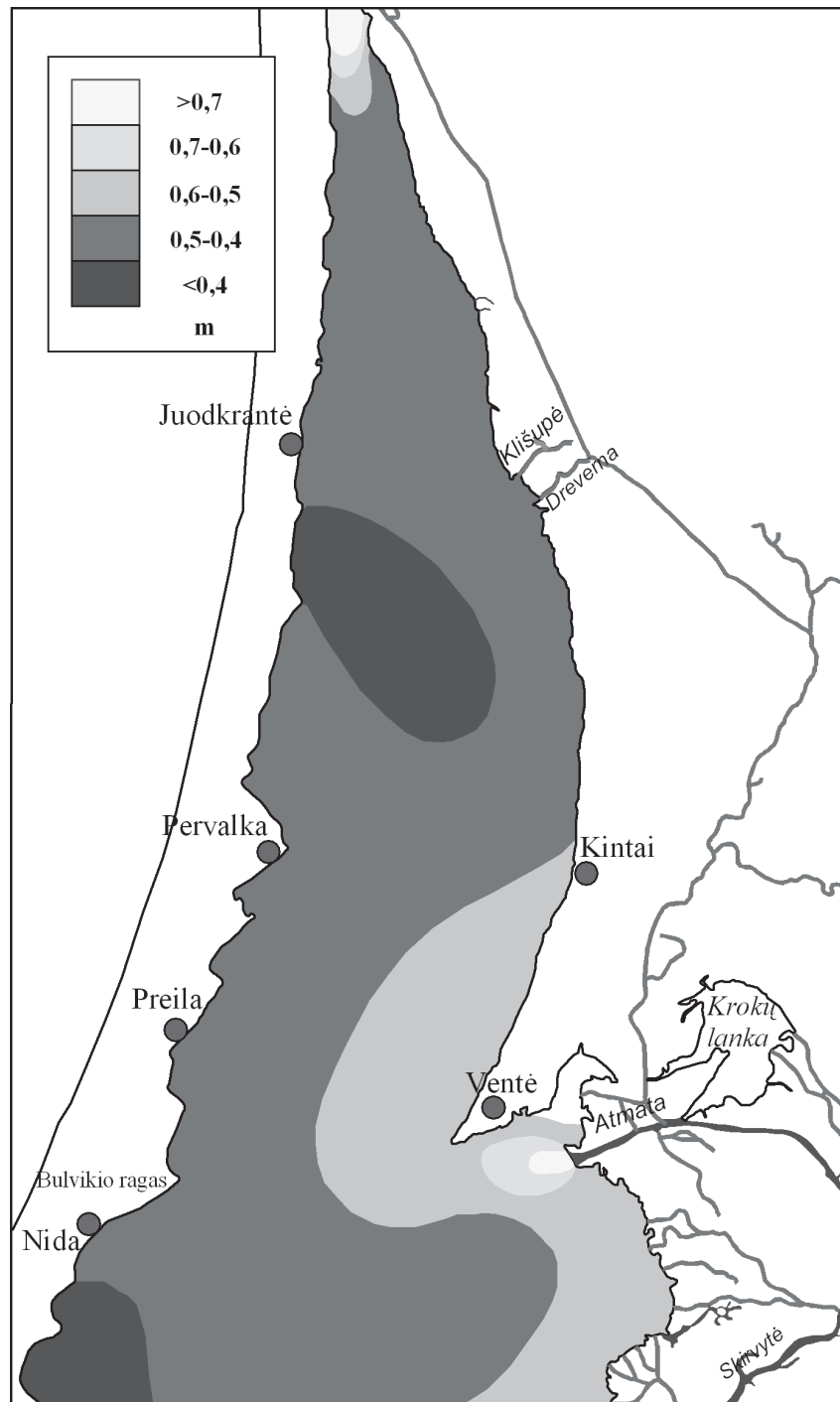
5 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens skaidrumas (2001 m. liepa).

Fig. 5. Water transparency in the Lithuanian water area of Curonian lagoon (July, 2001).



6 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens drumstumas (2002 m. rugpjūtis).
Fig. 6. Water turbidity in the Lithuanian water area of Curonian lagoon (August, 2001).

gilesniuose horizontuose (iki 71 NTU farvateryje ties Budnio ragu). Prie Kiaulės Nugaros salos drumstumo reikšmės priedugnyje sumažėja ir beveik susilygina su 1 m horizonto reikšmėmis (atitinkamai 16 ir 18 NTU, skaidrumas – 0,5 m). Klaipėdos sąsiauryje didesnio



7 pav. Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vandens skaidrumas (2002 m. rugpjūtis).

Fig. 7. Water transparency in the Lithuanian water area of Curonian lagoon (August, 2002).

drumstumo vanduo teka paviršiniaus, mažiau drumstas – priedugnio horizontais: ties jachtų uosteliu – atitinkamai 20 ir 11 NTU (skaidrumas 0,5 m), Danės žiotimis – 19 ir 11 NTU (0,5 m), sąsiaurio žiotimis – 16 ir 11 NTU (0,4 m).

Nors 2002 m. rugpjūtį vandens drumstumo ir skaidrumo reikšmių pasiskirstymas (6 ir 7 pav.) yra kiek kitoks negu 2001 m. liepą, tiek reikšmių spektras, tiek pagrindiniai pasiskirstymo dėsningumai išlieka tie patys: avandeltos vandens didesnis skaidrumas, padidėjusio drumstumo vandens plūsmas iš pietinės marių dalies į šiaurę, išaugusio drumstumo zonos buvimas (mažesnės negu liepą) vidurinėje tirtos akvatorijos dalyje. Dėl jūros vandens skverbimosi į marias rugpjūtį skaidriausias vanduo buvo Klaipėdos sąsiauryje ir ties juo esančioje marių atkarpoje: didžiausias skaidrumas Klaipėdos sąsiaurio žiotyse siekė 1,40 m, mažiausias drumstumas rytinės protakos ties Kiaulės Nugaros sala priedugnyje – 3,5 NTU.

Baltijos jūroje labiausiai drumstas vanduo nustatytas prieš Klaipėdos sąsiaurio žiotis: 1 m horizonte – 7,5, 3 m – 5, giliau – visur 1,2 NTU (gylis – 16,7 m, skaidrumas – 1,5 m). Giliau jūroje beveik visų matavimų drumstumo reikšmės praktiškai lygios nuliui (toje matavimų skalėje, kuri naudota Kuršių marių tyrimams), skaidrumas svyruoja nuo 3,2 iki 4,5 m. Tik priedugnio horizonte C, D, E ir F stotyse (3 pav.) dėl resuspendacijos ir atkeliavusios naujos nuosėdinės medžiagos grimzdimo ir migravimo link Gdanskio duburio vidurio drumstumo reikšmės išauga iki 1,5–2,2 NTU.

Rezultatų apibendrinimas ir išvados

Remiantis 2001 m. liepą ir 2002 m. rugpjūtį nustatytų vandens rodiklių analize, sudarytos Kuršių marių Lietuvos akvatorijos vyraujančių vandens tėkmių, vandens drumstumo ir vandens skaidrumo kartoschemos, atskleisti šių rodiklių erdvinės dinamikos Baltijos jūroje esminiai bruožai. Nustatyti šie vandens cirkuliacijos dėsningumai: 1) iš Nemuno deltos šiaurinių atšakų į marias patenkantis vanduo pirmiausia teka pietų, iš pietinių atšakų – vakarų kryptimis; 2) Vidmarių rytinėje dalyje aptikta vandens judėjimo žiedu pagal laikrodžio rodyklę (priešingai A. Willerio nurodytai kryptčiai) požymių; 3) iš pietinės Kuršių marių dalies į šiaurę vanduo plūsta vakarine Vidmarių puse; 4) Kranto akvatorijai (iki Juodkrantės šiaurėje) vasarą būdinga itin sudėtinga vandens cirkuliacija, pasižyminti sūkurių (dažniausiai cikloninio pobūdžio) gausumu; 5) vandens cirkuliacijos žiedu kryptį lemia Koriolio jėgą stelbiantys vietos veiksniai: dugno reljefas, kranto konfigūracija, patvankos poveikis ir kt.; 6) jūros vandens skverbimosi į marias tarpsniu nuo Pervalkos iki susidūrimo su druskingu vandeniu zonos praktiškai nebelieka jūros link orientuotų pastovių tėkmių, o jų greitis neviršija 18 cm/s; 7) jūros vandens tekėjimo kryptį ir greitį Klaipėdos sąsiauryje ir mariose lemia patvankos–nuotvankos metu susidaranti „ilgosios bangos“, taigi tekėjimo kryptis kai kuriose sąsiaurio atkarpose ir horizontuose gali skirtis; 8) nesant vėjo Baltijos jūroje tėkmių greičiai gali būti didesni ne tik už Kuršių marių, bet ir už Klaipėdos sąsiaurio tėkmių greičius, jų reikšmės toje pačioje vertikalėje skiriasi iki 18 kartų; 9) Baltijos jūroje ties Klaipėdos sąsiauriu išryškėja žiedinės vandens cirkuliacijos prieš laikrodžio rodyklę požymių.

Remiantis Kuršių marių tėkmių pavasario (Galkus, 2003) ir vasaros „nuotraukų“ lyginamąja analize, išskirti šie stabiliai pasikartojantys vandens cirkuliacijos elementai: 1) ties Atmatos žiotimis prasidedanti pietų–pietvakarių krypties tėkmė; 2) tėkmė vakarinėje Vidmarių pusėje iš pietinės Kuršių marių dalies į šiaurę; 3) vandens sukuriavimo zona tarp Ventės rago ir Juodkrantės; 4) nukreipta link jūros pastovi tėkmė šiauriau Juodkrantės, greičiausia mariose (esant jūros vandens skverbimuisi į marias tėkmė gali pradėti formotis kiek šiauriau, o jos stabilumas – sutrikti).

Kuršių marių vandens skaidrumo bei drumstumo erdvinės dinamikos vasarą analizė atskleidė šiuos dėsningumus: 1) Nemuno avandeltos vanduo yra skaidresnis, palyginus su kitais marių arealais; 2) iš pietinės marių dalies į šiaurę plūstantis vanduo išsiskiria išaugusiomis

drumstumo reikšmėmis; 3) padidėjusio vandens drumstumo arealas nustatytas vidurinėje Kranto atkarpoje; 4) vandens skaidrumas didžiausias jūros vandens skverbimosi į marias zonoje.

Baltijos jūroje vandens drumstumas maksimaliai padidėja ties Klaipėdos sąsiaurio žiotimis, ypač – viršutiniame vandens horizonte. Šešis kartus mažesnio, tačiau, lyginant su aplinkine akvatorija, padidėjusio drumstumo vandens sluoksnis nuo Klaipėdos sąsiaurio nusidriekia jūroje link Gdanskio duburio vidurio. Vandens skaidrumo reikšmės jūroje išauga iki 4,5 m.

Gauta 2003-10-12

Literatūra

Dubra J. (1970). Gėlo vandens išplitimas pagal Lietuvos TSR jūrinius krantus, *Hidrometeorologiniai straipsniai* 3, Vilnius, p. 73–82.

Dubra J. (1978). Srovės. *Kuršių marios*. A. Rainys (red.). Vilnius: Mokslas, t. 2, p. 17–23.

Dubra J., Dubra V. (1994). Srovių režimas. *Naftos terminalas Būtingėje*, Vilnius, p. 33–46.

Dubra J. (2003). Naftos verslovė ties Nida ir jos galimas poveikis aplinkai. *Baltijos jūros aplinkos būklė*, Kaunas, p. 111–114.

Galkus A., Jokšas K. (2002). Kuršių marių šiaurinės dalies vandens rodiklių regioniniai ypatumai, *Geografijos metraštis* 35, p. 44–60.

Galkus A. (2003). Vandens cirkuliacija ir erdvinė drumstumo dinamika Kuršių marių Lietuvos akvatorijoje pavasarį nusistovėjusio hidrometeorologinio režimo sąlygomis, *Geografijos metraštis* 36(1), p. 101–109.

Trzosinska A., Cyberska B., Krzimirski W. (1987). Hidrologinis ir hidrocheminis režimas. *Sedimentacijos procesai Gdanskio baseine (Baltijos jūra)*, Maskva, p. 30–57. (Rusų k.)

Žaromskis R. (1996). Okeanai, jūros, estuarijos. Vilnius. 293 p.

Arūnas Galkus

Institute of Geology and Geography, Vilnius

Summer water circulation and spatial turbidity dynamics in the Lithuanian waters of Curonian lagoon and Baltic Sea

Summary

The article is an analysis of summer water circulation and turbidity dynamics in the Lithuanian waters of Curonian lagoon and Baltic Sea based on indices measured in July of 2001 and August of 2002. The field investigations were implemented following the principles of short-term surveys under the conditions of calm weather (in order to eliminate the wind effects).

The aim of the article is to study the summer spatial distribution of water flows, turbidity and transparency indices (in the lagoon – under the conditions of different character of water exchange between the lagoon and the sea); to create, on the basis of the results obtained, sketch maps of water circulation, water turbidity and water transparency for Curonian lagoon and the Baltic Sea; to identify the relatively stable elements of analysed indices in different time sections.

The following features of water circulation were determined: 1) the water flow from the northern Nemunas branches getting into the lagoon is directed S whereas the water flow from the southern branches is directed W; 2) there are evidences that in the eastern part of the lagoon middle the water is moving clock-wise in a circle (in the direction opposite to the one indicated in literary sources); 3) the water from the southern part of Curonian lagoon to the northern part is flowing along the western section of the lagoon middle; 4) the summer water circulation pattern is especially complicated in the

northern near shore till Juodkrantė. It stands out for abundance of vortices (mainly cyclonic); 5) the local factors, suppressing the Coriolis force, predetermine the direction of circulation rings (circles): bottom relief, configuration of the shore, set-up, etc.; 6) the stable flows trending to the sea almost disappear (and their velocity does not exceed 0.18 m/s) in the sector between Pervalka and fresh-salty water interface during the marine water invasion into the lagoon; 7) the marine water flow direction and velocity in the Klaipėda strait and lagoon are predetermined by 'long waves' generated by the processes of set up and back-wash; the flow direction in particular parts of the strait and horizons may differ; 8) under windless conditions the water flows in the Baltic Sea exceed the flow velocities in the Curonian lagoon and even in the Klaipėda strait (their values in the vertical section differ by up to 18 times); 9) signs of counter clock wise ring-like water circulation can be observed in the Baltic Sea near the Klaipėda strait.

After comparative analysis of Curonian lagoon spring (Galkus, 2003) and summer flow surveys the following relatively stable elements were distinguished: 1) the SSW flow taking its source near the Atmata mouth; 2) the S–N flow in the western part of the middle lagoon; 3) vortex zone between the Ventės Ragas cape and Juodkrantė; 4) the stable highest velocity flow striking to the sea north of Juodkrantė (during the marine water invasion the flow may form slightly northern more, and its stability may be disturbed).

Analysis of summer spatial dynamics of water transparency and turbidity in the Curonian lagoon revealed the following regularities: 1) the water is more transparent in the Nemunas delta front than in other lagoon areas; 2) the water of higher turbidity surges from the southern part of lagoon to the northern one; 3) an area of high water turbidity is identified in the central part of the shore Krantas; the maximal values of water transparency occur in the marine water invasion zone.

The highest water turbidity values occur in front of the Klaipėda strait mouth: the water turbidity value in the surface horizon by 6 times exceeds the value in the near-bottom water horizon.