

Nemuno nuotėkis žiemų kontrastų fone

Jonas Jablonskis

*Lietuvos mokslų akademijos
Vandens problemų taryba,
Hidrologijos laboratorija,
Lietuvos energetikos institutas,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: hydro@mail.lei.lt*

Pagal ilgamečius (1812–2008) Nemuno ties Smalininkais nuotėkio hidrometrinius duomenis, aprobuotus S. Kolupailos, ir plačiai naudojamus hidrologiniuose tyrimuose, nagrinėjamos upės nuotėkio daugiametės kaitos galimos priežastys. Parodoma, kad viena šių priežasčių, tiesiogiai veikiančių Nemuno hidrologinį režimą, yra žiemos oro temperatūros daugiametės kaitos pobūdis ir prieš žiemą esančio sezono hidrologinė būseną. Sudaryti žiemos (gruodžio–vasario mėn.) sezono nuotėkio regresijos modeliai patikimai grindžia šį pobūdį.

Gautos išvados rodo, kad šiuolaikinis dviejų dešimtmečių klimato atšilimas, kuris siejamas su klimato kitimo hipoteze, nors ir mažesniu mastu buvo ne kartą stebimas tyrimų laikotarpiu ir rodo Nemuno baseino regione ir šalia jo esančių upių vyraujančią ciklinę daugiametę kaitą.

Raktažodžiai: Nemunas, nuotėkis, oro temperatūra, kaita, regresijos modelis

ĮVADAS

Nemunas – didžiausia Lietuvos upė, kuri savo baseine sudaro vandenį nuo 72 % Lietuvos, dalies Baltarusijos, Lenkijos, Rusijos ir net Latvijos teritorijų. Ji yra 937 km ilgio ir 97 900 km² baseino (su delta) upė [1].

Nemuno baseinas yra regione, kuriam būdingi pereinamojo iš jūrinio į žemyninį vidutinių platumų klimato bruožai ir kurio reljefas sudarytas iš sudėtingo litologinio pagrindo, iki šių dienų veikiamo antropogeninių ir gamtinių procesų.

Straipsnyje nagrinėjamas Nemuno nuotėkis klimatinė pozicijų požiūriu. Tyrimo tikslas – nustatyti, kaip kito Nemuno žiemos nuotėkis, veikiamas oro temperatūros, kritulių ir rudens nuotėkio. Žiemos sezonas (gruodžio–vasario mėn.) pasirinktas siekiant įsitikinti, kaip šio sezono upės nuotėkis reagavo į žiemos oro temperatūros pokyčius, ar šiuolaikinė klimato būseną yra išimtis, ar panaši ji buvo ir per pastaruosius du šimtmečius. Be to, klimato atšilimo hipotezė remiasi padidėjusiu žemyninių ledynų tirpimu. Tad pagal gautus rezultatus suformuluotos išvados apie Nemuno nuotėkio, kaip klimato produkto, kaitą ir laipsnišką kitimą.

Manoma, kad Nemuno ties Smalininkais 200 metų nuotėkio duomenys gali daug ką paaiškinti klimato kaitos (tiksliau kitimo) kilmės srityje. Hidrologai, kuriuos palaiško ir klimatologai, mano, kad upių nuotėkis yra klimato įtakos produktas, tiesa, neatmetant geografinės aplinkos ypatybių ir aktyvios žmogaus veiklos. Ar šis požiūris teisingas, galima įsitikinti palyginus Nemuno nuotėkio ir kitų klimatinėse elementuose, pirmiausia oro temperatūros, šimtmetinius duomenis. Gvildenant klimato kitimo problemą svarbu įsitikinti, ar šylant klimatui pakito nuotėkis ir priešingai, ar nuotėkio daugiametė kaita rodo klimato atšilimą.

Nemuno nuotėkio duomenų, apimančių du šimtmečius, svarba nėra lokali, bet atspindi šiauriau ir piečiau nuo Nemuno baseino esančių upių hidrologines ypatybes. Apie tai buvo kalbama konferencijoje, minint Smalininkų vandens matavimo stoties 200 metų veiklos jubiliejų (Smalininkai, 2011 m. rugsėjo 24 d.), ir šia proga paskelbtuose straipsniuose [2, 3], kuriuose daromos išvados, kad Nemuno nuotėkio režimo ir kaitos bruožų turi šiauriau (Dauguva, Varnern-Gota bei Vuoksi) ir piečiau (Vysla, Oderis) Nemuno esančios upės. Manoma, jog Nemunas atspindi plačios teritorijos upių nuotėkio kaitos klimatinis bruožas.

Tačiau minėtuose darbuose beveik nenagrinėjamos galimos priežastys, sukeliančios arba tam tikru laipsniu veikiančios nuotėkio, taip pat ir Nemuno, daugiametę kaitą, o apsiribojama nuotėkio daugiametės kaitos tarp upių panašumu arba skirtumais. Suprantama, tiriant nuotėkio kaitos priežastis, būtinas nuoseklesnis tyrimas, kuris lygiagrečiai įvertintų ir nuotėkio klimatinį elementų tarpusavio poveikį, deja, trūksta šimtmetinių duomenų.

Straipsnyje upių nuotėkis ir jo klimatiniai veiksniai nagrinėti lygiagrečiai ir padarytos išvados pagal tų veiksmų loginį panašumą ar skirtumus, vadovaujantis statistiniais kriterijais. Atliekant tokį palyginimą buvo skirtas ypatingas dėmesys paskutiniams dešimtmečiams, nuo kurių, kaip teigiama, prasidėjo globalinis klimato atšilimas, siejamas su šiltnamio efektu dėl padidėjusios dujų koncentracijos [4, 11, 12].

Klimato atšilimo priežastys šiuo metu aiškinamos trejopai. Vyraujanti nuomonė – klimatas šyla dėl žmogaus veiklos, kai į atmosferą išmetama milžiniški kiekiai CO₂ ir metano dujų, kurios iššaukia šiltnamio efektą. Kito požiūrio atstovai klimato kaitą vertina kaip įprastą klimato procesą, neatmeta ir civilizacijos įtakos. Trečiojo požiūrio šalininkai neneigia nė vienos priežasties, tačiau siūlo racionalų požiūrį į klimato kaitą – mokliškai ištirti ir pateikti objektyvią tiesą apie klimato kaitos priežastis.

PRADINIAI DUOMENYS IR METODIKA

Tyrimui buvo panaudoti 1811–2010 m. Nemuno ties Smailininkais nuotėkio duomenys, skelbti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos metraščiuose. Karo metų trūkstami duomenys buvo įvertinti pagal aukščiau esančios Lampėdžių vandens matavimo stoties (VMS) stebėjimus. Analizei labai svarbu, kad duomenys būtų kiek galima tikslesni, nenutrūkstantys ir išsamūs. Remiantis atliktais tyrimais nustatyta, kad nuotėkis gana patikimas, išskyrus 1812–1827 m. laikotarpį [5, 6].

Vilniaus MS duomenys priimti kaip pagrindinė klimatinė oro temperatūros charakteristika. 1770–1970 m. mėnesių bei metų vidutinės oro temperatūras yra paskelbęs V. Ščemeliovas [7], o paros temperatūras iki 1988 m. – Vilniaus hidrometeorologijos observatorija [8]. Šie duomenys taip pat laikytini patikimais.

Tyrimui naudoti kritulių duomenys (nuo 1819 m. iki šių dienų) pagal Tilžės (dabar Sovetsko) MS išmatuotas reikšmes. 1819–1890 m. laikotarpio krituliai paskelbti [9] darbe, o vėlesnio laikotarpio – klimato žinyuose ir metraščiuose. Reikia manyti, kad ir kritulių rezultatai yra objektyvūs. Galima teigti, kad šie nuotėkio, oro temperatūros ir kritulių daugelio metų tikslūs duomenys gali padėti išsiaiškinti straipsnyje keliamus uždavinius.

Duomenų analizė, skaičiavimai ir apibendrinimai atlikti žinomais ir tyrimuose naudojamais statistiniais me-

today. Kadangi straipsnio pagrindinis tikslas – nustatyti, kaip Nemuno nuotėkis reaguoja į žiemų oro temperatūrą, kuri beveik išimtinai neigiama (žemiau nulio), atitinkamai buvo sudaryta žiemos mėnesių (gruodis–vasaris) vidutinės temperatūros duomenų seka. Nuotėkis išreikštas jo tūriu W (m³, km³), oro temperatūra – T (°C), kritulių aukštis – P (mm). Rudens sezonu laikytas trijų mėnesių (rugsėjis–lapkritis) laikotarpis prieš žiemos sezoną, o pavasario – dviejų mėnesių (kovas, balandis) laikotarpis po žiemos sezono. Analizuojant šių sezonų duomenis, atliktas jų tarpusavio kaitos palyginimas, koreliacinė analizė, išryškintas tarpusavio ryšys ir kt. Rezultatai pateikti lentelėje ir grafiniu būdu integralinėmis kreivėmis, kurios akivaizdžiai parodo tiriamos charakteristikos kaitos procesą.

Diskusija: ciklinė kaita ar pastovus vienpusis, trendinis kitimas?

Dėl klimato atšilimo priežasčių mokslininkai dar ginčijasi. Nesutariama ir nepavyksta įtikinamai įrodyti, kas sukelia klimato kaitą: natūralios gamtos jėgos, antropogeninis poveikis, ar abu veiksniai drauge, kurie atitinkamai lemia kaitos ciklinį pobūdį.

Jau 1979 m. Pasaulinė meteorologijos organizacija, kuri koordinuoja hidrometeorologijos tyrimus pasaulyje, atkreipė dėmesį į ilgai trunkantį klimato kitimą – kylančią oro temperatūrą [10–12] dėl vis daugiau į atmosferą patenkančio CO₂ kiekio ir šiltnamio efekto. Buvo teigiama, kad globaliai oro temperatūra nuo XIX a. pab. iki 1975 m. pakilo 0,5°, iki 2000 m. – 1,3°, spėjama, kad iki 2025 m. pakils 2,5°, o iki 2050 m. – net 3–4 °C. Tačiau klimato galimas atšilimas dėl padidėjusio CO₂ ir metano dujų, patenkančių į atmosferą, yra hipotezės lygio, nes nėra išsamiai (patikimai) įrodytas, kartais ir prieštaringai aiškinamas.

Tačiau vieningai sutariama, kad atmosferos tarša – tai pagrindinė pasaulinė problema, kuri sprendžiama šalims nustatant išmetamo anglies dioksido kvotą ir įsigyjant taršos sertifikatus. Vieningai pasauliniu mastu išspręsti atmosferos taršos problemą kol kas nepavyksta, nors skiriama nemažai pastangų (2002 m. – Kioto protokolas, 2009 m. – Jungtinių Tautų klimato kaitos konferencija Kopenhagoje ir kt.). Siekiama, kad vidutinė pasaulio oro temperatūra per XXI a. nepakiltų daugiau kaip 2 °C. Literatūroje sutinkame skirtingų nuomonių apie klimato kaitos priežastis: pirma, pasaulinis atšilimas yra gamtos reiškinys, kurį lemia daugybė kitų skirtingų veiksnių; dėl šiltnamio efekto žmogaus veikla nėra reikšminga arba tai tiesios dalis natūralaus klimato vėsimo ir šilimo ciklo dėl žemės paviršių pasiekiančios Saulės energijos – šviesos kiekio ir pan.

Antra, klimato kaitos kryptis, paremta gausia faktine medžiaga, patvirtina ciklinę (nereguliariai pasikartojančią)

klimato ir jo elementų kaitą, sukeltą gamtos jėgų, o ne jas stelbiančių antropogeninių priežasčių.

Lietuvoje vyrauja nuomonė, jog klimatas iš tikrųjų keičiasi [13]. Taip manė 84,8 % apklausoje dalyvavusių Lietuvos piliečių, iš jų 68,2 % to priežastimi laikė atmosferos teršimą.

Lietuvos klimato, klimato veiksnių ir upių nuotėkio daugiametės kaitos klausimai tiriami jau ne vieną dešimtmetį. Klimato kaitos gamtinius ir technologinius aspektus yra išsamiai išanalizavęs akademikas V. Kontrimavičius [14]. Jis pritaria nuomonei, jog klimato kaitą lemia natūralūs veiksniai, o antropogeninis poveikis klimatui nereikšmingas.

Klimato kaitos įtaka Lietuvos upių nuotėkiui pradėta tirti 1934 m. [15]. Smalininkų VMS vidutinių metinių vandens lygių kaitoje, kai upės užšalimo ir polydžio data keičiasi, V. Šostakovičius nustatė 3, 6, 11 ir 30 metų klimatinės kaitos bangas.

Pokariu tokio pobūdžio tyrimų pagausėjo. 1959 m. prof. J. Macevičius paskelbė rezultatus apie Lietuvos upių metinio nuotėkio tyrimus [16]. Nustatyta, kad svyravimo ciklų prigimtis klimatinė, tarp nuotėkio ir oro temperatūros stebima atvirkštinė priklausomybė, tarp nuotėkio ir kritulių – sinchroninė. Lietuvos upių nuotėkio, ežerų vandens lygio ir hidrometeorologinių elementų kaitos pobūdis nuodugniau išnagrinėtas [17–20] darbuose. Juose plačiau išnagrinėtas upių nuotėkio kaitos pobūdis: reguliaraus periodinio (dvimečio, keturmečio bei 25–30 metų dažnio) tendencijos ir nereguliaraus – ciklinio 20–30 bei 110 metų trukmės ciklai, turintys priešingų ženklų kaitos fazių.

[15–22] ir kiti tyrimai parodė, kad upių nuotėkio kaitą lydi klimato elementų panaši kaita, kurių priežastys neaiškios, tad jos iki šiol nenustatytos. Ilgą laiką nuotėkio, jo klimatinė elementų ir apskritai kaitos priežastimis buvo laikomas Saulės aktyvumo ir atmosferos cirkuliacijos pobūdis. Pastaruoju metu vyraujančia priežastimi įvardijama antropogeninė įtaka, kuri, dėl į atmosferą padidėjusių išmetamųjų dujų, joje sukuria taip vadinamąjį šiltnamio efektą, kuris nuo XX a. antrosios pusės lydi atmosferos oro išilimą ir vienapusį spartėjantį klimato šilimą.

Klimato kaitos įtaką Lietuvos upių nuotėkiui nagrinėjo Lietuvos energetikos instituto Hidrologijos laboratorija, 2009 m. pateikusi biudžetinio darbo ataskaitą [23]. Nors tikslas praktinis – įvertinti Lietuvos upių kaitos, sąlygojamos klimato, įtaką hidroenergetiniams ištekliams ir sudaryti jų šimtmetinę (2001–2100 m.) prognozę, tačiau siekiant šio tikslo buvo atliekama hidrometeorologinių parametru kaitos prognozė, sudarytas Nemuno baseino iki Kauno HE hidrologinis modelis, pritaikyti klimato kaitos scenarijai Lietuvos sąlygomis.

Mes atkreipėme dėmesį į kai kurias [23] darbe pateiktas galutines išvadas, kad XX a. kartu su žiemos oro temperatūra didėjo kritulių kiekis ir nuotėkis, tokios pat jų ki-

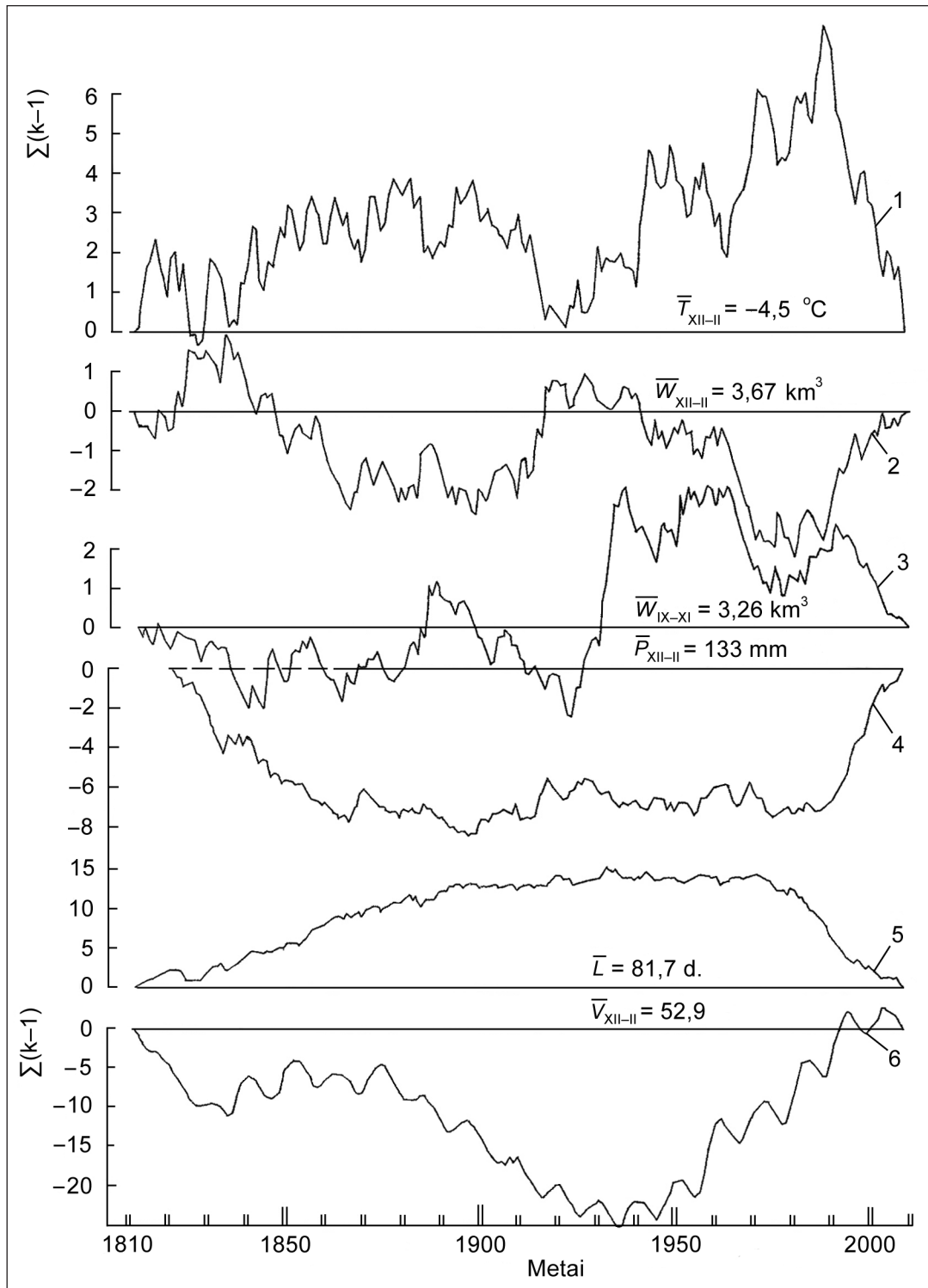
limo tendencijos laukiamos ir XXI a. Tai paskatino atlikti išsamesnį šio laikotarpio žiemos nuotėkio ir jo klimatinė elementų tarpusavio tyrimą, kuris [23] darbe pakankamai nebuvo išryškintas. Sąveikai konstatuoti buvo panaudotos Lietuvos ilgiausios hidrometeorologinių duomenų eilės: Nemuno nuotėkis ties Smalininkais, išreikštas vandens tūriu (km^3) nuo 1812 iki 2008 m., to paties laikotarpio Vilniaus MS oro temperatūra ir Tilžės (Sovetsko) MS krituliai nuo 1818 m.

REZULTATŲ ANALIZĖ

Palyginkime Nemuno ties Smalininkais žiemos trijų mėnesių (gruodžio–vasario) nuotėkio tūrį su Vilniaus MS žiemos oro vidutine temperatūra. Palyginimas atliktas integralinių kreivių metodu (1 pav.). Sugretinimas parankus tuo, kad kreivių fragmentų polinkis apibūdina žiemos atitinkamų oro temperatūrų ir nuotėkio dydžius, o nuoseklus jų sumavimas rodo proceso kitimo pobūdį visų duomenų vidurkio atžvilgiu. Pagal 1 pav. duomenis galima spręsti, kokia buvo žiemos oro temperatūros ir Nemuno nuotėkio per 1812–2008 m. pamatinė kaita ir jų daugiametis nuoseklus kitimas, bet, svarbiausia, koks egzistavo tų klimato elementų tarpusavio kitimo santykis. Tai yra pagrindinis šio tyrimo tikslas. Daugeliu atvejų oro temperatūros ir nuotėkio pamatinė kaita ir daugiametis kitimas – veidrodinis (priešingų tendencijų).

Empirinis oro temperatūros ir nuotėkio koreliacijos laukas pateiktas 2 pav. 197 ryšio $W = f(T)$ taškai išsidėstę juostoje, rodančioje, kad tirtuoju laikotarpiu žiemų oro temperatūra kito nuo atšiauriausios mūsų klimato sąlygų 1939–1940 m. žiemos, kurios vidutinė oro temperatūra buvo $-10,9^\circ\text{C}$, iki 1842–1843 m. žiemos, kurios oro temperatūra buvo lyg tropikuose – $+0,8^\circ\text{C}$. Tad žiemų oro temperatūrų variacinis plotis $A_T = 0,8 - (-10,9) = 11,7^\circ\text{C}$. Nemuno žiemų nuotėkio variacinis plotis $A_W = 8,12$ (1834 m.) – $1,54$ (1912 m.) = $6,58 \text{ km}^3$. Šių eilių vidurkiai: $\bar{T}_{\text{XII-II}} = -4,5^\circ\text{C}$, $\bar{W}_{\text{XII-II}} = 3,67 \text{ km}^3$.

Pagal šiuos dydžius suskirsčius koreliacinį lauką į 4 zonas pagal vidurkius, galima teigti, kad tirtuoju laikotarpiu dominavo sausos ir šaltos (38 %) bei vandeningos ir šiltos (36 %) žiemos. Mažiau buvo sausų ir šiltų (20 %) bei mažiausiai (6 %) buvo stebima vandeningų ir šaltų žiemų derinių. Šie deriniai pasikartojo atitinkamai kas treji, penkeri metai, o šaltas ir vandeningas derinys tirtuoju laikotarpiu buvo stebimas tik kas šešiolika metų. Du pirmieji žiemų deriniai lėmė bendrą santykį tarp žiemos oro temperatūros ir Nemuno nuotėkio. Todėl tiesialinijinio ryšio koreliacijos koeficientas gautas $r_{TW} = -0,58$, palyginti aukštas ir statistškai patikimas, kadangi apskaičiuotas iš $n = 197$ stebėtų duomenų. Be to, iš ryšio taškų išsidėstymo (2 pav.) matyti, kad ryšio $W = f(T)$ pobūdis ne visai tiesialinijinis, bet turi eksponentinį pobūdį, nes labiau pasklidę ryšio taškai yra

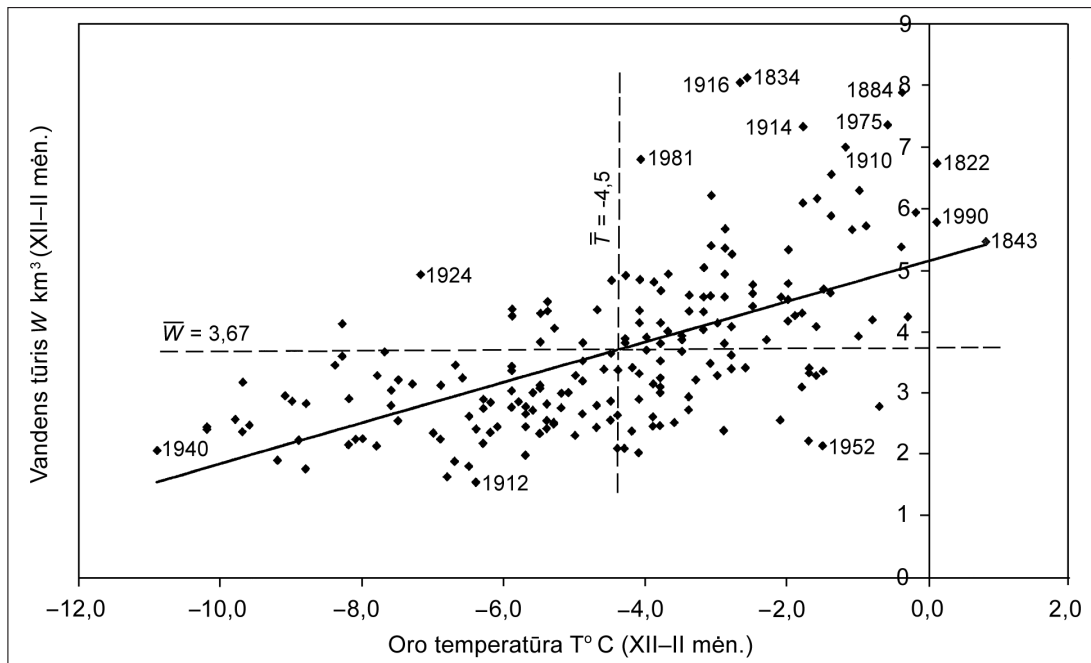


1 pav. Integralinės kreivės $\Sigma(k-1)$: 1 – Vilniaus MS žiemos oro temperatūra, 2 – Nemuno ties Smalininkais žiemos nuotėkis, 3 – Nemuno ties Smalininkais rudens nuotėkis, 4 – Sovetsko (Tilžės) MS žiemos krituliai, 5 – Nemuno ties Smalininkais padengimo ledu trukmė, 6 – žiemos sezono Saulės aktyvumas (Volfo skaičiais)

šiltų (šiltesnių už vidurkį) ($-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) žiemų zonoje, o nuotėkio kaita glaudesnė tarp šaltų žiemų.

Koreliaciniame lauke (2 pav.) nepastebėtas ryšio taškų grupavimasis laiko požiūriu, netgi 1961–1990 m. kli-

matinės normos laikotarpio duomenų yra visose zonose, nors šio laikotarpio oro temperatūra $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (9 %) vėsesnė, o nuotėkis $3,56\text{ km}^3$ (3 %) mažesnis už daugiamečių vidurkį.



2 pav. 1812–2008 m. Nemuno ties Smalininkais žiemos nuotėkio W km³ ir Vilniaus MS žiemos oro temperatūros T °C koreliacijos laukas

1 ir 2 pav. pavaizduotas šių dviejų elementų tarpusavio santykis aiškus: daugeliu atvejų vyraujančių šaltų žiemų serijas keičia mažesnio vandeningo nuotėkis ir atvirkščiai. Atsižvelgiant į galimą dabartinį klimato atšilimą, mus turi dominti bent dviejų pastarųjų dešimtmečių nuotėkio ir oro temperatūros santykis. Iš tikrųjų 1988–2009 m. vidutinė žiemos temperatūra buvo $-2,9$ °C, t. y. $1,6^{\circ}$ aukštesnė, o Nemuno žiemos nuotėkis buvo $4,19$ km³, t. y. $0,52$ km³ arba $14,2$ % didesnis nei daugiametis vidurkis. Tai pagrindžia klimato atšilimo hipotezę, tačiau panašių atšilimų, o su jais ir nuotėkio pokyčių, būta ir praityje (tirtuoju laikotarpiu). Tai rodo 1 pav. pateiktos integralinės kreivės. Panašaus oro atšilimo būta 1898–1920 m. 23 metų žiemų oro temperatūra (Vilniaus MS) buvo $-3,8$ °C, o Nemuno žiemos sezono nuotėkis vidutiniškai siekė $4,16$ km³, apie $13,4$ % didesnis už daugiametį vidurkį, o oro temperatūra buvo $0,7$ °C aukštesnė už daugiametę. Žinoma, reikia pripažinti, kad šiuolaikinis oro atšilimas yra didesnis nei XX a. pr. Tirtuoju laikotarpiu buvo du pilni kaitos ciklai (1 pav.): 1828–1921 ir 1922–2008 m., o trečiojo – tik dalis, kuri baigėsi 1827 m. Visi požymiai rodo, kad ketvirtasis tirtųjų elementų kaitos ciklas turi prasidėti netrukus – tai oro atšalimo ir žiemos nuotėkio sumažėjimo tendencijos pradžia. Kokia tokio galimo pasikeitimo priežastis, neaišku, kaip ir kitais panašiais atvejais. Galbūt kosminė, nes ryški paskutinė oro temperatūros – nuotėkio daugiametė kaita vyko padidėjusio Saulės aktyvumo fone, o prieš tai buvusi (1828–1921 m.) mažiau išreikšta kaita – mažesnio Saulės aktyvumo fone (1 pav.). Žinoma, tai nepakankamas įrodymas.

NEMUNO NUOTĖKIO ŽIEMOS SEZONO TIESINIAI MODELIAI

Pateikus žiemos oro temperatūros ir nuotėkio ryšius (tarpusavio santykį) (1 ir 2 pav.) būtina formalizuoti ir įsitikinti, ar jie objektyvūs ir patikimi. Norint gauti konkrečias išvadas, būtina sudaryti tiriamų elementų tiesinius regresijos modelius [24].

Regresijos tiesė y (nuotėkis W) x (oro temperatūra T °C) atžvilgiu reiškia bendru pavidalu:

$$y - \bar{y} = r_{xy} \frac{S_y}{S_x} (x - \bar{x}), \quad (1)$$

čia r_{xy} – koreliacijos koeficientas, S_y, S_x – vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai nuo duomenų eilės vidurkių \bar{y} ir \bar{x} , o $r_{xy} \frac{S_y}{S_x}$ – regresijos koeficientas. Pagal konkrečius duomenis apskaičiavus (mažųjų kvadratų metodu) parametrus, (1) lygtis tampa paprasta tiesės lygtimi $y = ax + b$, kurios standartinis nuokrypis $S = S_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}$.

Nemuno žiemos nuotėkio priklausomybė nuo žiemos sezono oro temperatūros (modelis: $W_{\text{XII-II}} = f(T_{\text{XII-II}})$)

Modelio parametrai yra šie: $n = 197$ (1812–2008 m.), $\bar{W} = 3,67$ km³, $S_y = 1,33$ km³, $\bar{T}_{\text{XII-II}} = -4,5$ °C, $S_x = -2,43$ °C, $r_{xy} = -0,58$. Nemuno žiemos nuotėkio priklausomybė nuo žiemos oro temperatūros (Vilniaus MS duomenimis) išreiškia lygtimi:

$$W_{\text{XII-II}} = 0,317 T_{\text{XII-II}} + 5,10 \text{ (km}^3\text{)}. \quad (2)$$

Iš (2) lygties matyti, kad esant šaltesnei žiemai, Nemuno žiemos nuotėkis atitinkamai būna mažesnis ir atvirkščiai. Šiuo požiūriu (2) lygtis yra teisinga, nes koreliacijos koeficientas $r_{xy} = -0,58$ statistškai pagrįstas ir reikšmingas, nėra nulinis generalinės visumos požiūriu. (2) lygties regresijos koeficientas $a = 0,317$ generalinės visumos požiūriu telpa tarp 0,254 ir 0,380 reikšmių ir $a \neq 0$. Todėl ši paprasta lygtis visais statistiniais požiūriais yra patikima, kadangi sudaryta iš labai ilgos ($n = 197$) duomenų eilės. Lygties (modelio) vidutinis kvadratinis nuokrypis $S = 1,08 \text{ km}^3$.

Statistiniu požiūriu (2) lygtį dar galima laikyti patenkinama, nors santykis $S/S_y = 0,81$, palyginti didelis. Kaip rodo determinacijos koeficientas $r^2 = 0,34$, tik 34 % arba trečdalis visos žiemos nuotėčio variacijos paaiškinama oro temperatūros įvairove. Nepaisant to, galime teigti, kad per tiriamąjį laikotarpį Nemuno nuotėkis tam tikru laipsniu buvo susietas su žiemos oro temperatūros pametine kaita.

Kitos priežastys, sukeliančios Nemuno žiemos nuotėčio kaitą, gali būti įvairios. Kaip parodė analizė, žiemos nuotėčio kaitą paryškina ir lemia žiemą iškritę krituliai ir baseino rudens sezono hidrologinė būklė, t. y. rudens (rugsėjis–lapkritis) nuotėčio gausa.

Nemuno žiemos nuotėčio priklausomybė nuo žiemos sezono oro temperatūrų ir kritulių

(modelis: $W_{\text{XII-II}} = f(T_{\text{XII-II}}, P_{\text{XII-II}})$)

Modelis sudarytas pagal 1820–2008 m. Smalininkų VMS žiemos nuotėkį (W), Vilniaus MS žiemos oro temperatūrą (T) ir Sovetsko (Tilžės) MS žiemos kritulius (P). Regresijos lygtis tokia:

$$W_{\text{XII-II}} = 0,153 T_{\text{XII-II}} + 0,0082 P_{\text{XII-II}} + 3,26. \quad (3)$$

Ryšio koreliacijos koeficientas $R = 0,685$.

Lygties standartinis nuokrypis $S = 0,97 \text{ km}^3$. Kadangi santykis $S/S_y = 0,73$, (3) lygtis efektyvesnė už (2). Ji paaiškina apie 50 % ($R^2 = 0,47$) nuotėčio kaitos, tačiau tikslumas mažai padidėjo, kadangi tarp žiemos sezono oro temperatūros ir kritulių egzistuoja taip pat atvirkštinė priklausomybė ($r = -0,45$). Ji parodo, kad šiltesnę žiemą iškrito daugiau kritulių.

Nemuno žiemos sezono nuotėčio priklausomybė nuo žiemos sezono oro temperatūrų ir Nemuno rudens sezono nuotėčio (modelis: $W_{\text{XII-II}} = f(T_{\text{XII-II}}, W_{\text{IX-XI}})$)

Modelyje (3) žiemos kritulius pakeitus prieš tai buvusio rudens sezono nuotėkiu (W), sudaryta tokia regresijos lygtis:

$$W_{\text{XII-II}} = 0,0281 T_{\text{XII-II}} + 0,4987 W_{\text{IX-XI}} + 2,171. \quad (4)$$

Ryšio koreliacijos koeficientas $R = 0,80$. (4) lygties standartinis nuokrypis $S = 0,80 \text{ km}^3$. Oro temperatūra ir rudens nuotėkis pagrindžia 64 % žiemos nuotėčio kaitos.

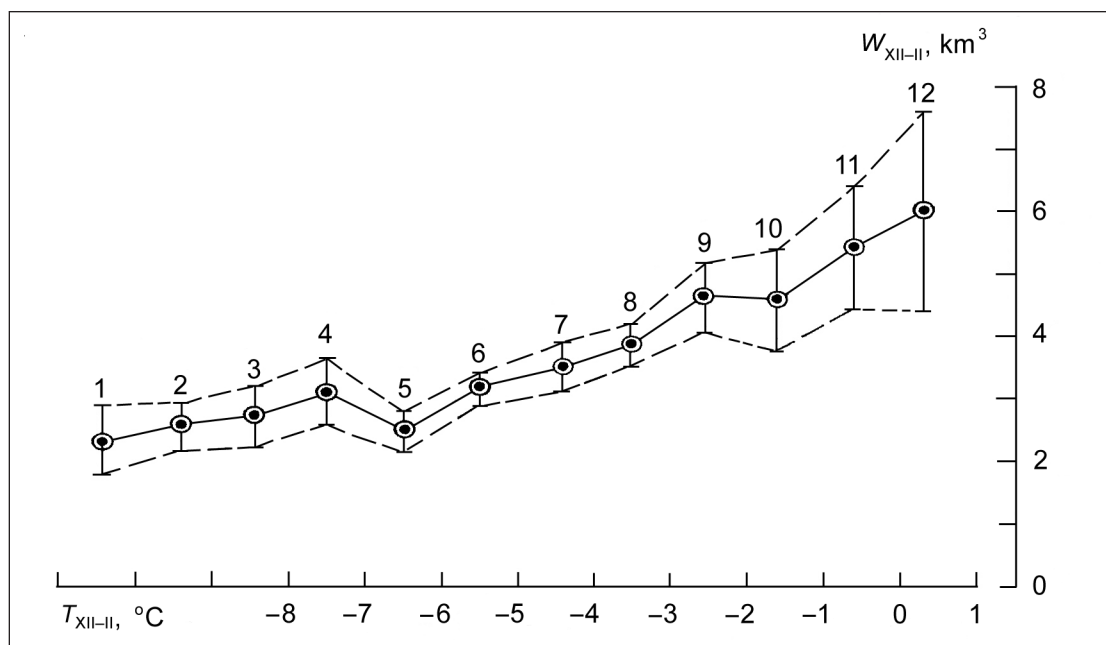
Deja, toks modelis neatskleidžia žiemos nuotėčio visų kaitos priežasčių. Tačiau galima konstatuoti, koku laipsniu galėtų pasikeisti žiemos nuotėkis atšilus klimatui, t. y. pakilus žiemos oro temperatūrai, kuri lemia taip pat ir vidutinę metinę oro temperatūrą.

Intervaliniai modeliai

Intervaliniai modeliai sudaryti pakeitus lygtyje (2) bendrąjį modelį grupių intervalų vidurkių modeliais. 1812–2008 m. žiemos oro temperatūros buvo suskirstytos į 12 grupių ($d = 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$). Kiekvienai grupei apskaičiuotas nuotėčio vidutinis dydis \bar{W} , jo standartinis nukrypimas S_w ir 95 % paklaida. Duomenys pateikti lentelėje. Žiemos sezono oro temperatūros dydžio kaita nuo $-10,9 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ atitinkamai formavo Nemuno nuotėkį ne atskiromis žiemomis, bet oro temperatūros dydžio intervalais (3 pav.).

Lentelė. Nemuno ties Smalininkais 1812–2008 m. žiemos (gruodis–vasaris) nuotėkis pagal oro temperatūros intervalus

Oro temperatūros $^\circ\text{C}$ intervalai	-11:-10	-11:-9	-9:-8	-8:-7	-7:-6	-6:-5	-5:-4	-4:-3	-3:-2	-2:-1	-1:0	0:+1	Vidutiniaiškai
Intervalo Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Duomenų apimtis n_i	3	7	11	10	16	17	30	33	23	18	11	3	197
Vidutinė oro temperatūra $T \text{ }^\circ\text{C}$	-10,43	-9,44	-8,45	-7,50	-6,49	-5,53	-4,39	-3,50	-2,54	-1,61	-0,61	-0,33	-4,5
Vidutinis nuotėkis $\bar{W} \text{ km}^3$	2,30	2,55	2,70	3,11	2,46	3,14	3,49	3,84	4,62	4,55	5,40	6,00	3,67
Vidutinis kvadratinis nukrypimas $S_w \text{ km}^3$	0,21	0,43	0,75	0,79	0,57	0,72	1,04	0,92	1,38	1,62	1,52	0,66	1,33
95 % paklaida $\pm t_{0,05;m} S_w / \sqrt{n_i}, \text{ km}^3$	0,52	0,39	0,50	0,57	0,30	0,26	0,40	0,33	0,60	0,80	1,02	1,63	0,19



3 pav. Nemuno ties Smalininkais žiemos nuotėkis W (km³)
1 °C Vilniaus MS žiemos oro temperatūrų intervalais

ŠILTOS ŽIEMOS – GAUSESNIŠ NEMUNO NUOTĖKIS

Taip turėtų būti, jeigu pasitvirtintų klimato atšilimo hipotezė, kuri įrodinėjama daugelyje darbų [4, 11, 13 ir kt.]. Pagal pateiktus modelius ir lentelės duomenis su $\alpha = 0,05$ (95 %) patikimumu, teigiame, kad beveik per 200 metų Nemuno žiemos sezono nuotėkis yra susietas su jo baseino oro temperatūra, analizuota pagal Vilniaus MS duomenis. Kai žiemų temperatūros yra 4–5 °C šaltesnės nei vidutiniškai (–4,5 °C), žiemos sezono nuotėkis yra 26–30 % mažesnis nei daugiametis vidurkis (3,67 km³) ir atvirkščiai: kai žiemos oro temperatūra 2–3 °C šiltesnė nei vidutinė, tai Nemune nuteka 25–45 % daugiau vandens. Reikia pažymėti, kad tiesialinijinis $W = f(T)$ ryšys nėra optimalus, nes nuo jo labiausiai yra nutolęs labai šaltų ir labai šiltų žiemų nuotėkis (2 pav.). Iš čia matyti, kad atšilus klimatui 4–5 °C, t. y. žiemos oro temperatūrai tapus nulinei, žiemos nuotėkis gali padidėti iki 5 km³ ir daugiau, t. y. 40–60 % aukščiau daugiametio vidurkio. Tokių situacijų buvo užfiksuota 1822, 1843 ir 1990 m. (2 pav.). Žemiau vidurkio 2,5 °C ir daugiau oro temperatūra buvo stebima 55 žiemų metu (lentelė), t. y. 28 % visų žiemų arba kas ketvirtą žiemą. Vadinasi, mes gana dažnai gyvename „atšilusio klimato“ sąlygomis. Panašiai galima įvardyti ir klimato vėsimo fluktuacijas. Pvz., 4 °C žemiau vidutinės (–4,5 °C) oro temperatūros buvo nukritusios 11 žiemų, kai oro temperatūra buvo apie –8,5 °C. Per šias žiemas Nemuno nuotėkis buvo sumažėjęs iki $2,70 \pm 0,50$ km³, t. y. vidutiniškai 0,97 km³ arba 26,4 % žemiau daugiametio vidurkio.

NEMUNO NUOTĖKIO TARPSEZONINIAI RYŠIAI

Žiemos sezono nuotėkis sudaro apie 22 % metinio nuotėkio, tačiau atskirai mažai nagrinėtas. Jis dažniausiai jungiamas su rudens nuotėkiu ir nagrinėjamas drauge kaip rudens ir žiemos nuotėkis [25].

Žiemos nuotėkis įdomus ne tik kaip sezoninis, kuris labiausiai susietas su šaltuoju metų laiku, bet ir jo santykiu su gretimų sezonų nuotėkiu. Sudarant žiemos sezono statistinius modelius, labiau pasireiškia prieš žiemą esančio rudens sezono vandeningumas (4 modelis) nei žiemą iškritę krituliai (3 modelis). Žiemos oro temperatūra veikia ne tik šio sezono nuotėkį, bet ir pavasario ($W_{III-IV} = 4,51 - 0,185 T_{XII-II}$, $r = 0,288$, $S = 0,94$, $S_y = 1,36$). Tai galima paaiškinti gana paprastai. Žiemos oro temperatūros ir nuotėkio ryšys atvirkštinis, $r = -0,58$, nėra aukštas, tačiau statistikai reikšmingas, akivaizdžiai didesnis už atsitiktinį ($r = 0,15$) pagal $n = 197$ duomenis. Jis rodo, kad šiltomis žiemomis, kurių gali pasitaikyti daugiau, jei atšiltų klimatas, atitinkamai daugiau nuteka vandens ir atvirkščiai – esant šaltoms žiemoms, Nemuno nuotėkis būna mažesnis. Taigi tuo atveju lieka daugiau sniego ir ledo drėgmės pavasario nuotėkiui formotis, todėl, kai žiemos šaltos, pavasaris būna vandeningesnis. O tarp žiemos ir pavasario nuotėkių stebimas ir silpnas neigiamas ryšys, kurio $r = -0,17$. Tai vienintelis tokio pobūdžio tarpsezoniškas ryšys. Pavasario nuotėkio kaitai didesnės reikšmės turi žiemos ($r = 0,288$) nei pavasario oro temperatūra ($r = -0,10$).

Žiemų orų būseną lemia daugelį nuotėkio režimo charakteristikų ir veiksnių, tarp jų ir ledo reiškinų dau-

giametę kaitą. Pvz., ledo dangos trukmę (dienomis), kuri Nemune (Kaune ir Smalininkuose) registruojama daugelį metų, su žiemų oro temperatūrą sieja tokia priklausomybė $L = 41,5 - 8,92 T_{\text{XII-IV}}$, $r = 0,68$, $S = 0,76$, $S_y = 25,3$.

Taigi Nemuno žiemos nuotėkis, ryškiai susietas su rudens nuotėkiu ir žiemos oro temperatūra, daro įtaką pavasario nuotėkiui, kurie drauge sudaro apie 73 % upės metinio nuotėkio.

Nemuno nuotėkio tarpsezoninius ryšius galima įvertinti tokiais koreliacijos koeficientais: ruduo (rugsėjis–lapkritis) ir žiema (gruodis–vasaris) $r = 0,35$ (hidrologiniai metai), žiema ir pavasaris (kovas, balandis) $r = -0,17$, pavasaris ir vasara (gegužė–rugpjūtis) $r = 0,31$, vasara ir ruduo $r = 0,34$. Kaip ir kiek klimato pokyčiai veikia Nemuno vasaros, rudens ir bendrą metų nuotėkį, būtina iširti išsamiau.

IŠVADOS

1. Nemunas, turintis daugiamečius (nuo 1811 m.) hidrometrinius duomenis, atspindi vidutinių platumų (Baltijos regiono ir Europos nuo Vanern-Gota (Švedija) iki Oderio (Vokietija)) upių nuotėkio režimo tam tikrus bruožus, reikšmingas moksliniu ir praktiniu požiūriu.

2. Tirtuoju 1812–2008 m. laikotarpiu (pagal daugiametį vidurkį) Nemuno baseine vyravo sausos ir šaltos (38 %) bei vandeningos ir šiltos (36 %) žiemos, mažiau buvo sausų ir šiltų (20 %), o mažiausiai – vandeningų ir šaltų (6 %) žiemų derinių, atitinkamai pasikartojančių kas treji, penkeri ir šešiolika metų.

3. Nemuno žiemos nuotėkio ir Vilniaus MS oro temperatūros palyginimas (1, 2 pav.) rodo tarpusavio daugiamečių kaitos veidrodinį pobūdį.

4. Sudaryti Nemuno žiemos nuotėkio regresijos modeliai atskleidžia, kad žiemos oro temperatūra paaiškina 34 % (2 modelis), o drauge su žiemos krituliais (Sovetsko MS) 50 % (3 modelis) žiemos nuotėkio daugiamečių kaitos. Oro temperatūra drauge su prieš tai buvusiu rudens nuotėkiu lemia 64 % šios kaitos.

5. Pateiktas (lentelė) žiemos nuotėkis $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ oro temperatūros intervalais leidžia nustatyti to intervalo vidutinį nuotėkio dydį ir jo 95 % tikimybės paklaidą.

6. Nemuno nuotėkio tarpsezoniniai ryšiai vertinami $r = 0,31-0,35$ teigiamais koreliaciniais ryšiais, išskyrus žiemą ir pavasarį, tarp kurių yra silpna neigiama $r = -0,17$ koreliacija.

Literatūra

- Jablonskis J., Jurgelevičienė J., Juškienė A. *Nemuno hidrografija*. Vilnius, 1993. 96 p.
- Kliukienė R. (parengė). *Smalininkų vandens matavimo stoties reikšmė krašto istorijoje*. Kaunas, 2011. 44 p.
- Gailiušis B., Kriaučiūnienė J., Jakimavičius D., Šarauskienė D. The variability of long-term runoff series in the Baltic Sea drainage. *Baltica*. 2011. Vol. 24. No. 1. P. 45–54.
- Rimkus E., Satkūnas J. Klimato pokyčiai šiandien ir ateityje – ar Lietuvos žemė pasirengusi juos patirti. *Mokslas ir gyvenimas*. 2011. Nr. 4. P. 24–25.
- Kolupaila S. *Hidrometrinis metraštis II*. Kaunas. 1930. 376 p.
- Lasinskas M. Nemuno nuotėkis ties Smalininkais. *Hidrometeorologijos straipsniai*. 1970. T. 3. P. 5–17.
- Ščemeliovas V. Vilniaus oro temperatūra 1770–1970. *Hidrometeorologiniai straipsniai*. 1971. T. 4. P. 99–107.
- Srednie sutočnyje temperatury vozducha g. Vilnius*. Vilnius, 1981. 161 p.
- Hellmann G. *Die Niederschläge in den Norddeutschen Stromgebieten*. 2. Weit Band. Tablen 1. Berlin, 1906.
- Jotvys M. Apie rytdienos klimatą. *Mūsų gamta*. 1979. Nr. 6. P. 25–26.
- Antropogenyje izmeneniya klimata*. Leningrad, 1987.
- Budyko M. J. Empiričeskaja ocenka predstojaščich izmeneny klimata. *Meteorologija i gidrologija*. 1989. Nr. 10. P. 5–14.
- Balžekienė A., Telešienė A. Lietuvos gyventojų požiūris į branduolinę energetiką, klimato kaitą ir genetiškai modifikuotus organizmus. *Mokslas ir technika*. 2009. Nr. 12. 26 p.
- Kontrimavičius V. Klimato kaita. Gamtiniai ir technologiniai aspektai. *Mokslas ir technika*. 2002. Nr. 1. P. 26–27.
- Šostakovič V. B. Nemuno režimo periodiški svyravimai. *Kosmos*. 1934. Nr. 10–12. P. 177–184.
- Macevičius J. Lietuvos upių nuotėkio periodiniai svyravimai. *Geografinis metraštis*. 1959. T. 11. P. 161–174.
- Jablonskis J., Janukėnienė R. *Lietuvos upių nuotėkio kaita*. Vilnius, 1978. 173 p.
- Jablonskis J. Lietuvos upių nuotėkio cikliniai svyravimai. *Energetika*. 1992. Nr. 4. P. 16–37.
- Jablonskis J. Nemuno nuotėkis per 180 metų. *Energetika*. 1994. Nr. 4. P. 19–32.
- Jablonskis J. Oro temperatūros Vilniuje kaita per 210 metų (1777–1987). *Energetika*. 1993. Nr. 3. P. 8–17.
- Ščemeliovas V. Apie Lietuvos klimato svyravimą. Lietuvos TSR aukštųjų mokyklų mokslo darbai. *Geografija ir geologija*. 1964. T. 3. P. 73–85.
- Jablonskis J. Nemuno nuotėkio šimtmetiniai svyravimai. *Hidrometeorologiniai straipsniai*. 1970. T. 3. P. 19–27.

23. Gailiusis B. *Klimato kaitos įtaka Lietuvos vandens išteklių būklei ir hidroenergetikos sektoriui*. Lietuvos energetikos institutas. Hidrologijos lab. 2009. Galutinė ataskaita. B1-33-161-7, 9-G.106.
24. Martišius S. *Elementarūs prognozavimo metodai ir modeliai*. Vilnius, 1974. 163 p.
25. Gailiusis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. *Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas, 2001. 792 p.

Jonas Jablonskis

RUNOFF OF THE NEMUNAS RIVER IN WINTER SEASONS

Summary

Based on the long-period data series of the Nemunas River runoff, which were approximated by S. Kolupaila in 1930, this paper examines the relationship between the river runoff and an average air temperature of the winter (December–February) season. An inverse correlation between the river runoff and air temperature was found. According to the air temperature and precipitation of the winter period as well as the river runoff of the autumn period, empirical regression models were created for the winter period runoff of the Nemunas River. It was established that the hydro-meteorological conditions typical for the last two decades, often associated with the global warming caused by anthropogenic impacts, were also observed at the beginning of the last century, when the effect of human activities on climate was likely less significant.

Key words: runoff, Nemunas, air temperature, winter period, variation, regression model

Йонас Яблонскис

СТОК РЕКИ НЯМУНАС В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Резюме

По многолетним (1812–2008) данным стока реки Нямунас, аппроксимированным С. Колупайлой в 1930 году, в данной статье анализируется взаимосвязь между стоком реки и средней температурой воздуха зимнего (XII–II) периода. Установлено, что существует обратная корреляционная зависимость между стоком реки и температурой воздуха. По температуре воздуха (МС Вильнюс) зимнего периода, атмосферным осадкам (МС Советск) зимнего периода и стоку реки Нямунас (Смалининкай ВС) осеннего периода построены эмпирические регрессионные модели зимнего стока реки Нямунас. Установлено, что гидрометеорологические условия свойственные последним двум десятилетиям, особенности которых часто связывают с глобальным потеплением вызванным антропогенным воздействием, наблюдались и в начале прошлого столетия, когда влияние человека на климат было менее существенным.

Ключевые слова: сток, Нямунас, температура воздуха, зимний сезон, изменение, регрессионная модель