

# Lietuvos upių šilumos išteklių ir jų daugiamečių kaita

**Jonas Jablonskis,**

**Aldona Jurgelėnaitė,**

**Aldona Tomkevičienė**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas  
El. paštas: aldona@mail.lei.lt*

Straipsnis skirtas ištirti vieną iš atsinaujinančių energijos išteklių – upių vandens šilumą. Upių šilumos išteklių, kaip vandens debito ir vandens temperatūros matas, gali būti naudojami apibūdinti upės baseino reakciją į klimato kaitą. Jie kinta priklausomai nuo sezono ir upės hidrologinio režimo. Vadovaujantis vidutiniais mėnesiniais vandens debito ir vandens temperatūros duomenimis, 1951–2010 m. laikotarpiu išanalizuotas šilto periodo (gegužė–spalis) šilumos išteklių režimas ir kiekybiškai įvertinti jų pokyčiai, išryškinta šiluminių išteklių, vandens temperatūros bei vandens debitų daugiamečių kaita. Tiriant Nemuno ties Smalininkais šilumos srautus nustatytas cikliškas kaitos pobūdis. Tirtuoju 1951–2010 m. laikotarpiu buvo išskirti du šilumos srauto kaitos ciklai, apimančys 23 (1954–1976) ir 28 (1977–2004) metų laikotarpius, kurių vidurkiai skiriasi nuo daugiamečio (1951–2005) vidurkio atitinkamai 3,1 ir 2,8 %. Buvo nustatyta, kad didžiausią įtaką šilumos srautams formuoti turi upės tekantį vandens kiekis (vandens debitas). Šio straipsnio tikslas yra įvertinti Lietuvos upių šilumos išteklius ir jų daugiamečių kaitos pobūdį.

**Raktažodžiai:** upė, vandens debitas, vandens temperatūra, upių šilumos išteklių

## ĮVADAS

Didžioji upių tėkmės šiluminės energijos dalis gaunama su Saulės šilumos srautu. Nežymi šios energijos dalis ateina iš žemės gelmių (vandens–dugno sandūra), kita – susidaro tėkmės mechaninės energijos dėka (dėl trinties jėgų) bei dėl kitų supančios aplinkos fizinių–klimatinių veiksnių [1]. Upių nuotėkis yra atmosferos kritulių, kurie susiformuoja išgaravus vandeniui nuo žemės paklotinio paviršiaus ir vandens telkinių, mažesnioji dalis. Šio proceso varomoji jėga yra šiluminė energija, kuri atlieka milžinišką darbą išgarindama vandenį, formuodama kritulius, dalyvaudama hidrocheminiuose ir hidrobiologiniuose procesuose bei savaiminiame vandens apšalime, vandens srautuose stimuluodama gyvuosius organizmus [2–4]. Be to, upių vandens kaip ir žemės šiluma yra atsinaujinantys energijos išteklių, vis plačiau naudojami praktikoje. Upių ir kitų vandens telkinių šiluma naudojama pastatams šildyti šilumos

siurbliais [5–6], tačiau šių dienų technologijų ribotumas siaurina jų naudojimo galimybes dėl žemos vandens temperatūros šaltuoju metų laikotarpiu. Energijos išteklių trūkumas Lietuvoje – didelė problema, todėl ją sprendžiant reikėtų daugiau plėtoti atsinaujinančių išteklių energetikos technologijas. Esant tankiam upių tinklui bei vadovaujantis pasauline praktika, perspektyvoje galėtų būti naudojama upių vandenyje esanti šiluma. Upių šilumos nuotėkis yra vienas iš ežerų ir tvenkinių šilumos balanso komponentų. Prie vandens telkinio pastačius šilumines bei atomines elektrines, skaičiuojamas ežero šilumos balansas, kad būtų galima įvertinti elektrinių poveikį vandens šiluminiam režimui [7]. Todėl svarbu ištirti upėmis nešamos šilumos kiekį (šiluminių nuotėkį) ir jo daugiamečių kaitą.

Šilumos kiekis upėje priklauso nuo jos vandeningumo ir vandens temperatūros bei kinta priklausomai nuo jų režimo. Tėkmės kryptis ir hidrografinio tinklo struktūra sąlygoja šilumos srauto pokyčius pagal upės tėkmę,

sušvelnina ledo susidarymo sąlygas žiotyse ir daro įtaką upės slėnio klimato sąlygoms [7]. Reikšmingi upės šilumos srauto pokyčiai gali būti intakų išteklėjimo vietose. Sąlyginai šiltas upių vanduo švelnina aplinkos mikroklimatą, o mažai mineralizuotas ir palyginti švarus išilęs upių vanduo plačiai naudojamas buitiniams, gamybinėms bei rekreaciniams reikmėms.

Daug tyrimų atlikta įvertinant didžiųjų Rusijos upių terminį režimą, ledo reiškinius bei šiluminį nuotėkį. Tirtas Volgos, Šiaurės Dvinos, Pečioros, Vičegdos, Mizenės, Obės, Jenisiejaus, Kolymos, Lenos ir kitų upių šiluminis nuotėkis siekiant išaiškinti, kaip upių šiluminis nuotėkis veikia Arkties vandenyno terminį režimą ir kokį poveikį šiluminiam nuotėkiui turi hidroelektrinių ir jų kaskadų statyba [8–11].

Ilgalaikiai Lenos upės šiluminio nuotėkio pokyčiai šiltoju metų laiku (birželis–rugsėjis) pateikti [8] darbe. [10] darbe buvo įvertinta Volgos vandens nuotėkio reguliavimo įtaka upės terminiam režimui ir šilumos ištekliams. Nustatyta, kad, suregulavus Volgos vandens nuotėkį, jos vidutinis šiluminis nuotėkis sumažėjo 16 %, o maksimalus padidėjo 30 %.

Tokio pobūdžio tyrimai nuolat tęsiasi. Apie tai byloja šiais metais (2013 07 24–25) Rybinske įvykusi IV konferencija, skirta Rusijos vandens telkinių ledo reiškinų ir vandens terminiams procesams aptarti. Šios konferencijos mokslo darbuose paskelbtas A. J. Šiklomanovo straipsnis [11], kuriame nagrinėjami Š. Dvinos, Obės, Jenisiejaus, Lenos, Janos, Kolymos žemupių ledo reiškiniai, vandens terminis režimas bei šiluminis nuotėkis. Pagal sukauptus 1960–2001 m. duomenis, laisvo nuo ledo dangos periodo upių vandens temperatūros pamatinėje kaitoje statistiškai reikšmingų tendrų nenustatyta; upių vandens temperatūra kito nežymiai.

Nepaisant to, kad turime pakankamai duomenų apie Lietuvos daugelio upių vandens nuotėkį ir jo terminę būklę, šalies upių šilumos ištekliai nebuvo tirti. Daugiau dėmesio skirta Elektrėnų marių ir Drūkšų ežero, kurių vanduo buvo naudojamas elektrinėms aušinti [12–13], šiluminio balanso, kurio viena iš sudedamųjų yra šiluminis nuotėkis, tyrimui. Lietuvos upių terminio režimo tyrimai skelbti [14–18] darbuose. Išnagrinėta Nemuno nuo aukštupio iki žiočių vandens temperatūra [14], jos režimo pokyčiai dėl nuotėkio reguliavimo [15], išaiškinti upių terminio režimo savitumai ir jų priežastys [16–18], tačiau šiuose darbuose upių vandens šilumos ištekliai nebuvo nagrinėjami. Pirmasis 1930 m. Nemuno terminio režimo ir ledo reiškinų tyrimus atliko S. Kolupaila [19].

Šio straipsnio tikslas – įvertinti svarbesnių Lietuvos upių šilumos išteklius (šiluminį nuotėkį) pagal skelbtus 1951–2010 m. periodo šiltojo metų sezono (gegužė–spalis) vidutinius vandens nuotėkio ir vandens temperatūros duomenis, jų daugiametę kaitą ir kaitos pobūdį.

## PRADINIAI DUOMENYS IR METODIKA

Upių įgyta šiluma pernešama kartu su vandens tėkme, todėl ją tiriant būtini upės vandens nuotėkio ir temperatūros duomenys. Hidrologiniu požiūriu Lietuvos upės stacionariai ištirtos pakankamai gerai. Iki 2010 m. įvairiais periodais veikė 130 vandens matavimų stočių (VMS), kurių duomenys paskelbti Hidrologijos metraščiuose [20]. Vandens temperatūra Nemune (Kauno VMS) pradėta matuoti nuo 1928 m., o kitose Lietuvos upėse – nuo 1945 m. Ledo reiškiniai ir vandens lygis Smalininkuose fiksuojami nuo 1811 m. [21]. Tyrimui panaudoti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos VMS išmatuoti bei Hidrologijos metraščiuose paskelbti upių vandens debitų ir temperatūros duomenys.

Upės vandens šilumos kiekį apibūdina jo temperatūra ir upės nuotėkis (debitas). Upės vandens temperatūra matuojama 8 ir 20 valandomis 0,1–0,5 m gylyje. Matavimų vidurkis apibūdina turbulentiškai susimaišiusios vandens tėkmės vidutinę temperatūrą. Kiekvienoje VMS vandens debitai apskaičiuojami pagal išmatuotus debitus ir stebėtus vandens lygius bei sudarytas vandens debito  $Q = f(h)$  kreives.

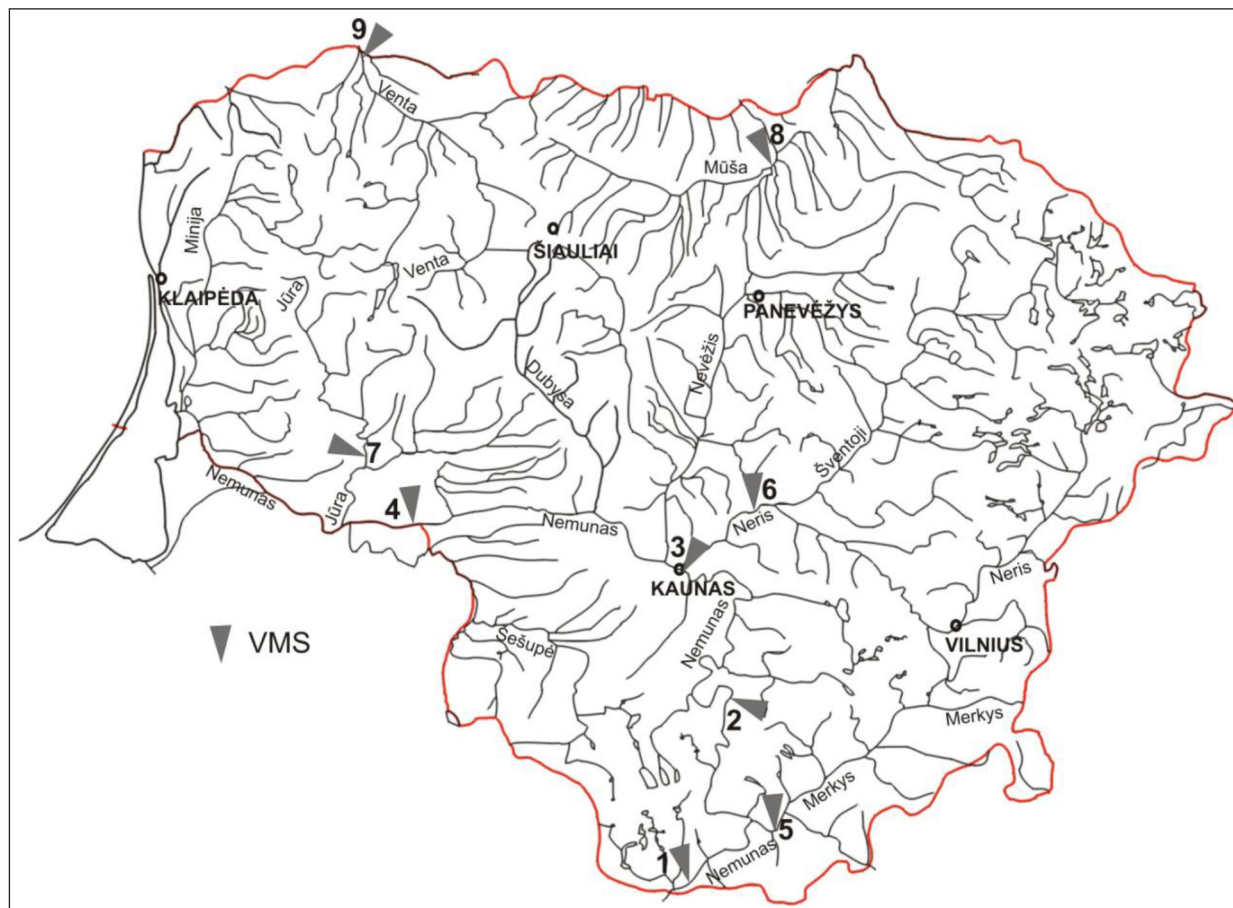
Šiltoju metų laiku Lietuvos upėmis nuteka apie 30–40 % metinio nuotėkio, per likusius 6 mėnesius (lapkritis–balandis) nuteka didesnė metinio nuotėkio dalis, tačiau vandens temperatūra žema. Pagal kadastrinius duomenis [22], Nemune ties Smalininkais žemesnė nei 0,2 °C vandens temperatūra vidutiniškai stebima nuo gruodžio 16 iki kovo 27 d., lapkričio–gruodžio dekadų temperatūra yra 0,6–5,0 °C. Balandžio mėn. vandens temperatūra pakyla iki 6,2 °C, ir pavasariniai vandens šilumos srautai daro įtaką ledo procesams tiek Nemune, tiek kitose upėse.

Siekiant vienodumo ir vadovaujantis Pasaulinės meteorologijos organizacijos (PMO) rekomendacijomis, skaičiavimai buvo atlikti dešimtmečiams, trisdešimtmečiui (1961–1990), kuris laikomas pasaulinio klimato norma (standartine klimato norma), ir daugiamečiam periodui. Dėl klimato kaitos įvertinimo buvo analizuojami 1951–2010 m. (šešių dešimtmečių) laikotarpio duomenys.

Tyrimui buvo parinktos didžiosios Lietuvos upės bei VMS, turinčios ilgas nuotėkio ir vandens temperatūros stebėjimų duomenų eiles. Tai Nemunas ties Druskininkais (1), Nemajūnais (2), Kaunu (3) ir Smalininkais (4), Merkys ties Puvočiais (5), Neris ties Jonava (6), Jūra ties Taurage (7), Mūša ties Ustukiais (8) ir Venta ties Leckava (9) (1 pav.). Šių upių baseinai apima visą Lietuvos teritoriją ir įvairaus terminio režimo upes [16], todėl pagal jas galime spręsti apie Lietuvos upių vandens šilumos režimą.

Upe plukdomos šilumos kiekis buvo apskaičiuotas pagal formulę [7, 11]:

$$Q_t = c \cdot \rho \cdot Q \cdot T \cdot t; \quad (1)$$



1 pav. Tirtų upių vandens matavimo stotys (VMS)

kur  $c$  – vandens šiluminė talpa ( $c = 4,187 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ , kai vandens  $t = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\rho$  – vandens tankis,  $\text{kg/m}^3$ ;  $Q$  – vandens debitas,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $T$  – vandens temperatūra,  $^\circ\text{C}$ ;  $t$  – laiko intervalas, s. Pagal (1) formulę galima apskaičiuoti šilumos kiekį  $Q_p$ , pratekanti upe per laiko intervalą  $t$ .

## REZULTATŲ APTARIMAS

Pagal dešimtmečių duomenis (lentelė) matyti, kad beveik visų upių 1951–1960, 1971–1980 ir 1981–1990 m. nuotėkis buvo didesnis už daugiametę normą, o 1961–1970, 1991–2000 ir 2001–2010 m. – mažesnis. Vandens temperatūra šiais dešimtmečiais nuotėkio atžvilgiu kito asinchroniškai. Tai rodo, kad atskirais laikotarpiais upės vandens temperatūra yra žemesnė, kai upė vandeningesnė, o kai ji mažiau vandeninga, tada jos vandens temperatūra yra aukštesnė; paprastai upėje vandens temperatūra dėl objektyvių priežasčių didėja pagal upės tėkmę [16].

Nemuno ties Smalininkais 1961–1990 m. šiltojo metų sezono vandens debito, vandens temperatūros bei Vilniaus MS oro temperatūros duomenų palyginimas parodė, kad tarp debito ir vandens temperatūros koreliacijos koeficientas  $r = -0,573$ , oro temperatūros ir debito  $r = -0,489$ , o tarp oro ir vandens temperatūrų  $r = 0,880$ . Panašūs ryšiai gauti tarp

kitų upių debitų ir vandens temperatūros. Iš čia matyti, kad klimatinio požiūriu nuotėkis statistiškai neigiamai susijęs tiek su vandens, tiek su aplinkos oro temperatūromis.

Lentelėje pateikti Nemuno, jo didesnių intakų, taip pat Mūšos ir Ventos upių atskirų laikotarpių vandens šilumos srautai ( $W$ ), šilumos nuotėkis ( $Wh$ ) ir savitoji šiluminė energija ( $\text{J/m}^3$ ). Apskaičiavus Nemuno ir jo didesnių intakų vandens šilumos išteklius, nustatyti dideli jų kiekiai. Šiltuoju metų laiku Nemune, Neryje, Jūroje, Ventoje ir Mūšoje 1 kubiniame metre vandens sukaupiama iki  $65\text{--}68 \text{ MJ/m}^3$  šilumos, vėsesnio vandens Merkio upėje –  $56 \text{ MJ/m}^3$ , o šilčiausią mėnesį (liepą) Nemune šis rodiklis siekia  $85 \text{ MJ/m}^3$ .

Lentelėje matyti, kad Nemuno ties Smalininkais šiltojo metų sezono vidutinė srauto šiluminė galia buvo  $26,6 \text{ GW}$ , o liepą –  $29,3 \text{ GW}$ . Imant absoliučiais dydžiais, šilumos srautas priklauso nuo upės vandeningumo ir vandens temperatūros, o šilumos nuotėkis arba šilumos atsargos dar ir nuo laiko trukmės. Nemuno ties Smalininkais plukdomas kasmetinės šilumos atsargos sudaro  $117,8 \text{ TWh}$  (lentelė). Tuos skaičius galime palyginti su turimais kasmetiniais vėjo kinetinės energijos ir upių vandens potencinės energijos ištekliais bei energijos sąnaudomis. Turimais duomenimis, maksimalūs Lietuvos vėjo energijos metų

Lentelė. Šiltojo metų laikotarpio (gegužė–spalis) upių vandens debitai  $Q$  m<sup>3</sup>/s ir vandens temperatūra  $t$  °C, vandens šilumos srautai  $q_t$  (J/s, W) bei ištekliai (Wh ir J/m<sup>3</sup>)

| Upė – VMS                     | Baseino plotas $A$ km <sup>2</sup> | Charakteristikos      | Metai     |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                               |                                    |                       | 1951–1960 | 1961–1970 | 1971–1980 | 1981–1990 | 1991–2000 | 2001–2010 | 1961–1990 | 1951–2010 |
| Nemunas – Druskininkai        | 37 100                             | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 157,4     | 157,9     | 179,4     | 174,4     | 157,4     | 159,1     | 170,6     | 166,5     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 16,10     | 16,27     | 15,73     | 16,12     | 16,32     | 17,20     | 16,04     | 16,29     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 10,6      | 10,8      | 11,8      | 11,8      | 10,8      | 11,5      | 11,5      | 11,4      |
|                               |                                    | TWh                   | 46,9      | 47,6      | 52,3      | 52,1      | 47,6      | 50,7      | 50,7      | 50,2      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 67,5      | 68,2      | 65,8      | 67,5      | 68,4      | 72,1      | 67,2      | 68,3      |
| Nemunas – Nemajūnai           | 42 800                             | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 208,3     | 192,6     | 226,3     | 217,8     | 198,6     | 196,7     | 212,2     | 206,7     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 15,88     | 15,88     | 15,23     | 15,66     | 15,96     | 16,45     | 15,59     | 15,84     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 13,9      | 12,8      | 14,4      | 14,3      | 13,3      | 13,6      | 13,9      | 13,7      |
|                               |                                    | TWh                   | 61,3      | 56,6      | 63,8      | 63,2      | 58,7      | 59,9      | 61,3      | 60,6      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 66,5      | 66,5      | 63,8      | 65,6      | 66,9      | 68,9      | 65,3      | 66,4      |
| Nemunas – Kauno HE – Kaunas   | 45 800*<br>46 300**                | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 233,1     | 196,3     | 218,4     | 215,0     | 190,2     | 201,5     | 209,9     | 209,1     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 16,35     | 16,22     | 15,71     | 15,93     | 16,36     | 16,95     | 15,95     | 16,25     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 16,0      | 13,3      | 14,4      | 14,4      | 13,0      | 14,3      | 14,0      | 14,2      |
|                               |                                    | TWh                   | 70,6      | 59,0      | 63,5      | 63,4      | 57,6      | 63,3      | 62,0      | 62,9      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 68,5      | 68,0      | 65,8      | 66,7      | 68,5      | 71,0      | 66,8      | 68,1      |
| Nemunas – Smalininkai         | 81 200                             | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 422,9     | 367,5     | 403,4     | 431,1     | 372,6     | 376,0     | 400,7     | 395,6     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 16,05     | 16,08     | 15,62     | 15,94     | 16,21     | 16,32     | 15,88     | 16,04     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 28,4      | 24,8      | 26,4      | 28,8      | 25,3      | 25,7      | 26,7      | 26,6      |
|                               |                                    | TWh                   | 125,7     | 109,5     | 116,7     | 127,3     | 111,9     | 113,6     | 117,8     | 117,5     |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 67,2      | 67,4      | 65,4      | 66,8      | 67,9      | 68,4      | 66,5      | 67,2      |
| Merkys – Puvočiai             | 4 300                              | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 28,13     | 25,62     | 26,92     | 29,82     | 26,87     | 30,26     | 27,45     | 27,94     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 13,88     | 13,50     | 12,98     | 13,35     | 13,37     | 13,78     | 13,28     | 13,48     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 1,64      | 1,45      | 1,46      | 1,67      | 1,51      | 1,75      | 1,53      | 1,58      |
|                               |                                    | TWh                   | 7,23      | 6,41      | 6,47      | 7,37      | 6,65      | 7,72      | 6,75      | 6,98      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 58,2      | 56,6      | 54,4      | 55,9      | 56,0      | 57,7      | 55,6      | 56,5      |
| Neris – Jonava                | 24 600                             | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 148,8     | 131,0     | 120,3     | 144,4     | 122,9     | 132,8     | 131,9     | 133,4     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 15,45     | 15,54     | 15,17     | 15,52     | 15,63     | 16,15     | 15,41     | 15,58     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 9,63      | 8,53      | 7,65      | 9,39      | 8,05      | 8,99      | 8,52      | 8,71      |
|                               |                                    | TWh                   | 42,6      | 37,7      | 33,8      | 41,5      | 35,6      | 39,7      | 37,6      | 38,5      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 64,7      | 65,1      | 63,6      | 65,0      | 65,5      | 67,7      | 64,6      | 65,3      |
| Jūra – Tauragė                | 1 690                              | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 11,34     | 8,67      | 12,75     | 13,13     | 8,69      | 11,20     | 11,52     | 10,95     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 15,82     | 15,71     | 15,27     | 15,41     | 15,90     | 16,37     | 15,46     | 15,75     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 0,752     | 0,571     | 0,816     | 0,848     | 0,579     | 0,768     | 0,746     | 0,723     |
|                               |                                    | TWh                   | 3,32      | 2,52      | 3,61      | 3,75      | 2,56      | 3,40      | 3,30      | 3,20      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 66,3      | 65,8      | 64,0      | 64,6      | 66,6      | 68,6      | 64,8      | 66,0      |
| Mūša – Ustukai                | 2 280                              | $Q$ m <sup>3</sup> /s | –         | 3,25      | 5,77      | 5,52      | 4,19      | 3,89      | 4,85      | 4,52***   |
|                               |                                    | $t$ °C                | –         | 15,40     | 15,13     | 15,55     | 15,70     | 16,33     | 15,36     | 15,62***  |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | –         | 0,210     | 0,366     | 0,360     | 0,276     | 0,266     | 0,312     | 0,296     |
|                               |                                    | TWh                   | –         | 0,927     | 1,62      | 1,59      | 1,22      | 1,18      | 1,38      | 1,31      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | –         | 64,5      | 63,4      | 65,2      | 65,8      | 68,4      | 64,4      | 65,4      |
| Venta – Leckava               | 1 690                              | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 11,34     | 8,67      | 12,75     | 13,13     | 8,69      | 11,20     | 11,52     | 10,96     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 15,82     | 15,71     | 15,27     | 15,41     | 15,90     | 16,37     | 15,46     | 15,75     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 1,02      | 0,735     | 1,15      | 1,29      | 0,816     | 0,838     | 1,06      | 0,975     |
|                               |                                    | TWh                   | 4,52      | 3,25      | 5,09      | 5,71      | 3,61      | 3,70      | 4,69      | 4,33      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 63,5      | 65,5      | 62,6      | 64,6      | 65,4      | 67,5      | 64,2      | 64,9      |
| Nemunas – Smalininkai (liepa) | 81 200                             | $Q$ m <sup>3</sup> /s | 308,9     | 281,3     | 360,5     | 397,5     | 358,2     | 364,5     | 346,4     | 345,1     |
|                               |                                    | $t$ °C                | 20,67     | 19,84     | 19,58     | 19,59     | 20,25     | 21,43     | 19,67     | 20,23     |
|                               |                                    | GJ/s (W)              | 26,8      | 23,4      | 29,6      | 32,6      | 30,4      | 32,7      | 28,5      | 29,3      |
|                               |                                    | TWh                   | 19,9      | 17,4      | 22,0      | 24,3      | 22,6      | 24,4      | 20,4      | 21,8      |
|                               |                                    | MJ/m <sup>3</sup>     | 86,6      | 83,1      | 77,9      | 82,1      | 84,8      | 89,8      | 82,4      | 84,8      |

\* baseino plotas Kauno HE, kur matuojami vandens debitai;

\*\* baseino plotas Kauno VMS, kur matuojama vandens temperatūra;

\*\*\* be 1951–1960 m. dešimtmečio (nematuota).

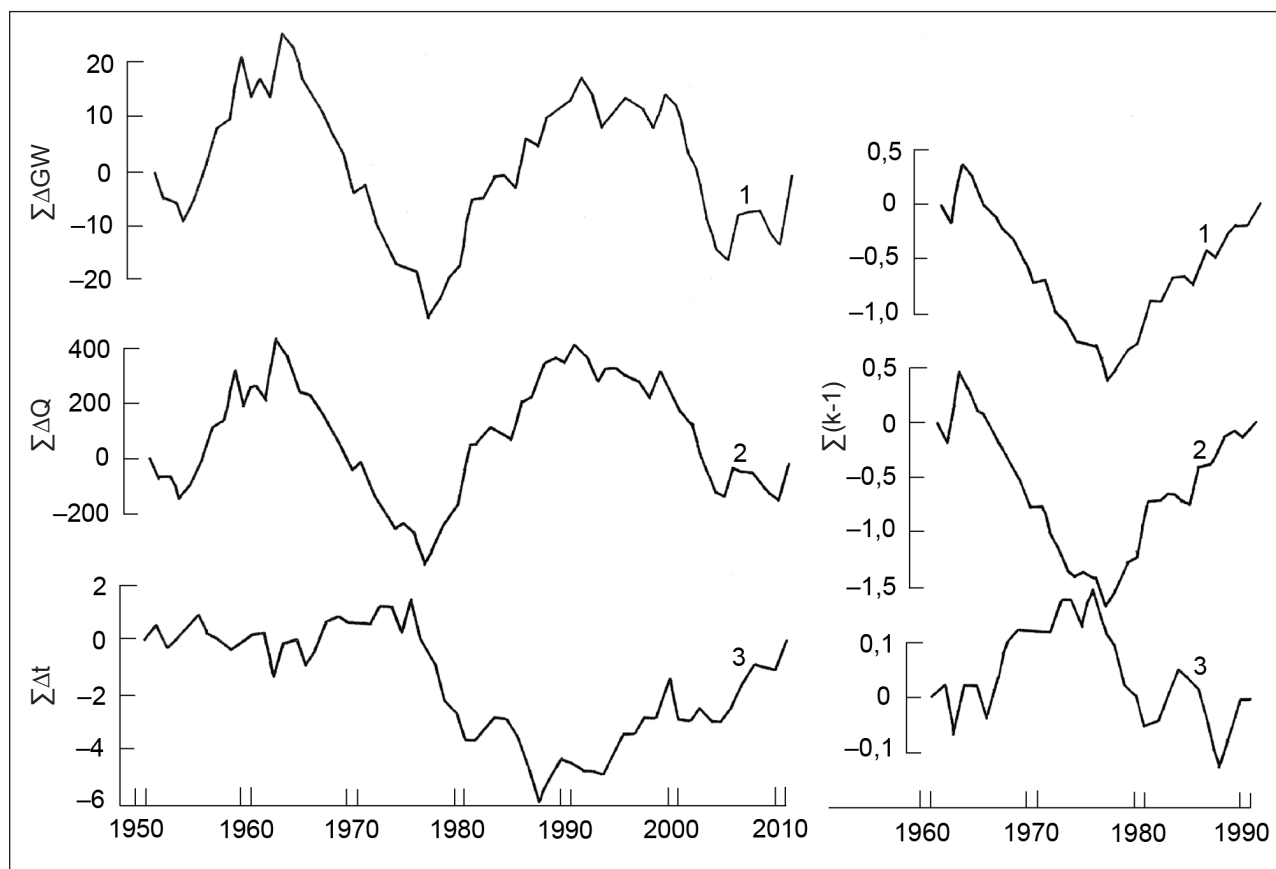
teoriniai ištekliai sudaro 1 000 MW (2,63 TWh) [23], o upių potencinė energija – 5,13 TWh [24]. Lietuvoje 2012 m. pirminės energijos sąnaudos sudarė 7 388,4 ktne (tonos naftos ekvivalento) [25] arba 85,9 TWh.

Apie šalies upių vandens šiluminių rodiklių kaitą galime spręsti pagal Nemuno hidrologinius ir temperatūros duomenis. Upių vandens ir jo temperatūros tyrimas įgalina išryškinti jų hidrologinį klimatinį santykį ir jo apraiškas gamtiniuose procesuose, nes vandens srautai ir jų temperatūros yra klimatinų procesų rezultatas. Tai aiškiai matyti iš Nemuno ties Smalininkais šilumos srauto ir jį formuojančių veiksnių daugiametės kaitos grafikų (2 pav.). Grafikai sudaryti kasmet sumuojant nukrypimus nuo vidurkio. Kadangi tie nukrypimai yra įvairių ženklų, todėl jų suma (kreivės pradžia ir pabaiga) yra lygi nuliui, o kreivė rodo daugiametės kaitos pobūdį ir dydį 1951–2010 ir 1961–1990 m. vidurkių atžvilgiu (lentelė).

2 pav. grafikuose matyti, kad tiek nuotėkio, tiek vandens temperatūros duomenų sekos, tiek pagal jas apskaičiuoti vandens šilumos srautai, pamečiami išsidėstę cikliškai sinchroniškai ( $Q$  ir  $Q_t$ ) arba cikliškai asinchroniškai ( $t$  su  $Q$  ir  $Q_t$ ). Upių šilumos srautų ir nuotėkio kaita cikliškai sinchroniška su statistiškai reikšmingomis ( $\alpha = 0,05$ ) kaitos fazėmis. Sinchroniškiausiai svyruoja vandens debitas ir šiluminis

nuotėkis –  $r = 0,98$ , o tarp šiluminio nuotėkio ir vandens temperatūros –  $r = -0,36$  (nekorektiškos koreliacijos). Tai rodo, kad Nemuno šiluminio nuotėkio kaitą labiau atspindi vandens debito kaitos pobūdis, nes nuotėkio ir jo temperatūros daugiametė kaita asinchroniška ( $r = -0,57$ ). Be to, Nemuno nuotėkis statistiškai kinta labiau negu jo temperatūra, variacijos koeficientai atitinkamai  $C_v = 0,208$  (nuotėkio),  $C_v = 0,045$  (temperatūros) ir  $C_v = 0,197$  (šilumos srauto). Reikšmingų ilgalaikių trendų šiluminio nuotėkio daugiametėje kaitoje nenustatyta.

Nemuno ties Smalininkų VMS dešimtmečių šilumos srautus palyginus su daugiamečiu vidurkiu, skirtumas siekia 6,8 % (1961–1990), tačiau klimatinė standartinė norma tik 0,4 % aukštesnė už daugiametį vidurkį. 2 pav. (1) grafike išryškėja šios charakteristikos cikliškas kaitos pobūdis, kurį galima išreikšti absoliučiais dydžiais ir trukme. Tirtuoju 1951–2010 m. laikotarpiu išsiskiria du šilumos srauto kaitos ciklai, kurie apima 23 (1954–1976) ir 28 (1977–2004) metų laikotarpius. Jų vidurkiai skiriasi nuo daugiamečio (1951–2005) vidurkio atitinkamai 3,1 ir 2,8 %. Tačiau šių keturių cikliškų kaitos fazių, kurios apima 10–14 metų, vidurkiai reikšmingai ( $\alpha = 0,05$ ) nukrypsta nuo daugiamečio vidurkio. Pavyzdžiui, 1964–1976 m. laikotarpiu – 14,4 %, 1977–1990 m. daugiametį vidurkį



2 pav. Nemuno ties Smalininkais vandens šilumos srautai  $W$  – (1); vandens debitai  $Q$  ( $m^3/s$ ) – (2); vandens temperatūra  $t$  ( $^{\circ}C$ ) – (3) gegužės–spalio mėn.

šilumos srautas viršijo 13,4 %. Šios dvi fazės išsiskiria per visą stebėtą laikotarpį, o ypač standartinės normos (1961–1990) laikotarpiu. Kaip parodyta 2 pav. (2), (3) grafikuose, mažėjanti šilumos srauto fazė (1964–1976) susidarė esant mažesniai nuotėkiui ir aukštesnei jo vandens temperatūrai, o didėjanti (1977–1990) – esant gausesniai nuotėkiui ir žemesnei vandens temperatūrai. Šie atvejai rodo, kad šilumos srautams formuotis turi įtakos upe tekančio vandens kiekis, o pastarajam – temperatūra (taip pat ir oro). Atsižvelgiant į hidrologinių elementų ciklišką kaitą galime daryti prielaidą, kad nuo 2008 m. prasidėjo nauja didesnio, bet vėsesnio upių nuotėkio ir šilumos srauto kaitos fazė.

Upių vandens temperatūrai turi įtakos ir skirtingos vandens temperatūros intakų įtekėjimas. Nemune tokia situacija stebima įsiliejus vėsesniai Merkio vandeniui. Įvertinus vandens debitų ir temperatūrų skirtumus buvo gauta, kad Nemuno vandens temperatūra, įtekėjus Merkiui, sumažėja 0,4 °C.

Kaip rodo duomenys, upių nuotėkio šilumos srautų cikliškas kaitos pobūdis nekelia abejonių, tačiau tam tikrą poveikį upės terminiam režimui gali daryti ant upės ar šalia jos įrengti hidrotechniniai statiniai ir į upes patenkančios pramonės ir buities nuotekos. Lietuvos upėse įrengta per 1 000 tvenkinių. Pagal tyrimų [26] duomenis nustatyta, kad beveik visais tirtais atvejais žemiau užtvankų tam tikru atstumu keičiasi ekologiškai svarbūs vandens rodikliai, taip pat ir upės terminis režimas.

Nemuno vandens ir jo šilumos srautams tiesioginės įtakos turi Kauno HE. Terminis poveikis jaučiamas 16 km upės ruože iki Neries [14]. Lentelės duomenys rodo, kad visais atvejais vandens temperatūra Kauno VMS yra aukštesnė už Nemajūnų VMS ir žemiau esančių Lampėdžių bei Smalininkų VMS atitinkamų laikotarpių vandens temperatūrą. Skirtumai siekia 0,3–0,4 °C. Nustatyta, kad Nemuno ties Kaunu vandens temperatūrai įtakos turi Kauno HE ir Kauno miestas.

Natūrali vandens temperatūra teigiamai veikia daugelį gamtinių procesų, tačiau gerokai padidėjusi šiluma vandenyje gali sukelti ir nepageidaujamų reiškinių. Nuolat yra atliekama vandens telkinių galimos šiluminės taršos kontrolė. Pagal gamtosaugos reikalavimus, į vandens telkinį išleidžiamo vandens temperatūra šilčiausią mėnesį neturi viršyti paskutinio dešimtmečio vidutinės vandens temperatūros 3 °C, o žiemą – 5 °C. Vadovaujantis šiomis normomis, buvo atliekama Drūkšių ežero šiluminės apkrovos kontrolė [15].

Praktiniu požiūriu reikėtų vertinti ne tik vandens išteklių dydį, bet ir jų šiluminę vertę, kaip atsinaujinančios energijos šaltinį. Tai galima pasiekti įvertinus hidromodulio ( $l/s \cdot km^2$ ) šilumos srautą  $W/km^2$ . Jis parodo, koks šilumos srautas kartu su vandeniu nuteka iš upės baseino kvadratinio kilometro per sekundę. Šį rodiklį tirtoji upėms galima nustatyti pagal lentelės duomenis.

Pavyzdžiui, Nemune ties Smalininkais, kur jo baseino plotas 81 200  $km^2$ , tirtuoju 1951–2010 m. periodu (gegužė–spalis) kartu su vandeniu ( $Q = 395,6 m^3/s$ ) vidutiniškai per mėnesį tekėjo  $q_t = 0,328 MW/km^2$  šilumos srautas, (liepos mėnesį  $q_t = 0,361 MW/km^2$ ), Merkiu ties Puvočiais daugiausia – 0,367  $MW/km^2$ , o mažiausia Mūšoje ties Ustukiais – 0,130  $MW/km^2$ .

Upių vandens šilumos srautai ir šiluminės energijos atsargos jose – svarbus atsinaujinantis energijos šaltinis, dalyvaujantis įvairiuose fiziniuose-ekologiniuose procesuose, dar nepakankamai ištirtas ir vertinamas kompleksiskai naudojant upių vandens išteklius. Apibendrinti upių hidroterminiai duomenys leistų racionaliau panaudoti upių vandens išteklius. Duomenys apie Nemuno šiluminį režimą būtų naudingi įvertinant statomos Baltijos AE aušinamo vandens poveikį upių hidroterminiam režimui.

## IŠVADOS

1. Upių šilumos srautų ir nuotėkio kaita cikliškai sinchroniška, su statistiškai reikšmingomis ( $\alpha = 0,05$ ) kaitos fazėmis; upių šiluminio nuotėkio ir jo temperatūros kaita cikliškai asinchroniška, t. y. Nemuno šiluminis nuotėkis labiau priklauso nuo vandens debito, nei nuo vandens temperatūros, o jo šiluminio nuotėkio kaitą labiau atspindi vandens debito kaitos pobūdis. Nemuno nuotėkis ir šilumos srautai statistiškai kinta labiau nei jo vandens temperatūra, variacijos koeficientai atitinkamai  $C_v = 0,208$  (nuotėkio),  $C_v = 0,045$  (temperatūros) ir  $C_v = 0,197$  (šilumos srauto).

2. Apskaičiavus Nemuno ir jo didesnių intakų vandens šilumos išteklius, nustatyti dideli jų kiekiai. Šiltuoju metų laiku Nemune, Neryje, Jūroje, Ventoje ir Mūšoje šilumos sukaupta iki 65–68  $MJ/m^3$ , vėsesnio vandens Merkio upėje – 56  $MJ/m^3$ , o šilčiausią mėnesį liepą Nemune šis rodiklis siekia 85  $MJ/m^3$ .

3. Upių vandens šilumos srautai ir šiluminės energijos atsargos jose – svarbus atsinaujinantis energijos šaltinis, dalyvaujantis įvairiuose fiziniuose-ekologiniuose procesuose, dar nepakankamai ištirtas ir vertinamas kompleksiskai naudojant upių vandens išteklius.

Gauta 2013 06 07

Priimta 2013 12 20

## Literatūra

1. Hammond D., Pryce A. R. Climate change impacts and water temperature. *Science Report*. 2007. P. 101.
2. Gore J. A., Mead J., Penczak T., Higler L., Kemp J. Processes influencing aquatic Fauna. *Echohydrology: Processes Models and Case Studies*. 2008. P. 62–87.
3. Morrill Jean C., Baes Roger C., Conklin Martha H. Estimating stream temperature from air temperature:

- Implications for future water quality. *Journal of Environmental Engineering*. 2005. Vol. 131. No. 1. P. 139–146.
4. Reiser S., Temming A., Eckhardt A., Hermann J.-P. Automation and critical evaluation of an annual chamber for aquatic ectotherm temperature preference experiments. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013. P. 11.
  5. Ding Y., Huang X., Wu X., Li B. Investment and economy analysis of water-source heat pump system in Chongqing, China. *Journal of Renewable Energy*. 2013. Vol. 2013, Article ID 574196. P. 5.
  6. Qin Z., Tong M., Kun L. Experimental investigation on water quality standard of Yangtze River water source heat pump. *Water Science & Technology*. 2012. Vol. 66. No. 5. P. 1103–1109.
  7. Odrova T. V. *Gidrofizika vodoemov sushi*, 1979. 312 s.
  8. Liu B., Yang D., Ye B., Berezovskaya S. Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia. *Global and Planetary Change*. 2005. Vol. 48. Issues 1–3. P. 96–111.
  9. Magrickii D. V. Teplovoy stok ryek v morya Rossiyskoy Arktiki i ego izmeneniya. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*. 2009 09 05. S. 69–77.
  10. Chernova J. V., Jolin M. M. Vliyanie zaregulirovaniya stoka Volgi na termicheskiy rezhim deltovykh vodotokov. *Sovremennoe sostoyanie i strategii sokhraneniya prirodnykh resyrsov i antropogennykh ekosistem: materialy vsrossiysko nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2010. S. 90–94.
  11. Shiklomanov A. I. Izmeneniye ledovogo i termicheskogo rezhima v nizovyakh krupnykh rek basseyna Severnogo Ledovitogo okeana. *Sbornik nauchnykh trudov IV Vserossiyskoy konferentsii „Ledovye i termicheskie protsessy na vodnykh obektakh Rossii“*. Moskva. 2013. S. 147–154.
  12. Janukėnienė R. Drūkšių ežero-aušintuvo kai kurie hidroterminiai aspektai. *Energetika*. 1994. Nr. 1. P. 95–98.
  13. Lasinskas M. I., Jablonskis J. S., Janukėnienė R. J. Vliyanie teplovykh elektrostanciy na nekotorye gidrometeorologicheskie kharakteristiki vodoemov-okhladiteley. *Ekologicheskie aspekty issledovaniy vodomov-okhladiteley AES*. Moskva, 1983. S. 3–16.
  14. Grižienė G. J., Čelkis G. J., Jablonskis J. S. Kharakteristiki temperatury vody reki Nemunas po dannym nabliudeniuy 1945–1988 g. g. *Lietuvos TSR Mokslų Akademijos darbai*. B serija. 1983. T. 6(139). P. 43–52.
  15. Meilutytė-Barauskienė D., Kovalenkoviėnė M., Šarauskienė D. The impact of runoff regulation on the thermal regime of the Nemunas. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2005. No. 4(34). P. 43–50.
  16. Jablonskis J., Jurgelėnaitė A. Vandens temperatūros įvairovės savitumai Lietuvos upėse. *Energetika*. 2010. Nr. 56(2). P. 163–171.
  17. Vanagaitė J., Valiukevičius G. Lietuvos upių vandens temperatūros atitikimo ekologiniams reikalavimams įvertinimas. *Geografija*. 2011. Nr. 47(2). P. 62–70.
  18. Jurgelėnaitė A., Kriaučiūnienė J., Šarauskienė D. Spatial and temporal variation in the water temperature of Lithuanian rivers. *BALTICA*. 2012. Vol. 25. No. 1. P. 65–76.
  19. Kolupaila S. Nemuno užšalimai per 120 metų (1811–1930). *Kosmos*. 1930. Nr. 10–12. P. 299–305.
  20. *Hidrologinis metraštis 2010*. Vilnius, 2011. 206 p.
  21. Kolupaila S. *Hidrometrinis metraštis II*. Kaunas, 1930. 376 p.
  22. *Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki*. Vyp. 3. Leningrad, 1978. T. 4. 216 s.
  23. *Valstybinio audito ataskaita atsinaujinančių energijos išteklių potencialo naudojimas Lietuvoje*. Vilnius: Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė, 2010. 63 p.
  24. Jablonskis J., Punys P., Šavelskis V., Tautvydas A. *Lietuvos mažosios hidroenergetikos žinynas*. Kaunas, 1996. 204 p.
  25. *Lietuvos energetika 2012*. Kaunas: LEI, 2013. 17 p.
  26. Rimavičiūtė E. *Nuotėkio reguliavimo tvenkinių įtaka upių žemutiniams bjefams: daktaro disertacija*. Kaunas, 2000. 126 p.

Jonas Jablonskis, Aldona Jurgelėnaitė, Aldona Tomkevičienė

## HEAT RESOURCES IN THE WATER OF LITHUANIAN RIVERS AND THEIR TEMPORAL VARIATION

### Summary

The article is intended to explore one of the renewable energy resources – heat carried by the river water (heat runoff). River water heat runoff, as a synthetic measure of water discharge and water temperature, is useful to define the characteristics of watershed in response to climate change. River water potential heat resources calculated according to long-term (1951–2010) water discharge and water temperature data of the warm season of a year (May–October) are presented in this article. The data are provided for decades, for the period of climatological standard normal (1961–1990) and for the entire period of observations. The correlations between river water and its heat indicators as well as multi-annual fluctuations were analyzed. The cyclic nature of the change has been established by analysing the heat runoff of the Nemunas River at Smalininkai. Two cycles of heat runoff change, which included 23 (1954–1976) and 28 (1977–2004) years and which averages were different from the multi-annual average of 3.1% and 2.8%, were released. The studied indicators are suggested

to use when it is necessary to know not only the river water resources but also the heat content in the water.

**Key words:** river, water discharge, water temperature, heat resources

Йонас Яблонскис, Алдона Юргяленайте,  
Алдона Томкявичене

## ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ РЕК ЛИТВЫ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

### *Резюме*

Статья предназначена для изучения одного из возобновляемых источников энергии – теплового стока рек. Тепловой сток реки как синтетический показатель расхода и температуры воды можно использовать для описания бассейнового реагирования на изменение климата. Тепловой сток изменяется в зависимости от сезона и гидрологического режима реки. По данным речного стока и температуры воды за период 1951–2010 г. были рассчитаны величины теплового стока и теплового запаса в воде рек Литвы за теплый период года (май–октябрь). Данные представлены за десятилетия, за период климатической нормы (1961–1990) и за весь исследуемый период (1951–2010). Анализируя тепловой сток реки Нямунас (водомерная станция Смалининкай) был определен циклический характер его изменения. За анализируемый период 1951–2010 г. были выделены два цикла изменения теплового стока, которые включают 23 (1954–1976) и 28 (1977–2004) лет, средние значения теплового стока которых отличаются от многолетних значений в среднем на 3,1 и 2,8 %, соответственно. Проанализированы взаимоотношения между речным стоком и его тепловыми характеристиками и их многолетнее изменение. Исследуемые характеристики предлагаются использовать не только для оценки водных ресурсов, но и для оценки нагрева речных вод.

**Ключевые слова:** река, сток, температура воды, тепловой сток рек