Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра гідрології та гідроекології

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
Том 3 (42)

Київ
2016

УДК 551.49

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:
Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. – 2016. – Т. 3(42). – 127 с.
HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:
The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskyi. – 2016. – Vol. 3(42). – 127 p.

У збірнику вміщено статті, в яких викладено методичні розробки, а також результати теоретичних та прикладних гідрологічних, гідрохімічних і гідроекологічних досліджень, що виконано в різних установах України.

- Науковий збірник "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія" засновано у травні 2000 р.
- Зареєстровано Міністерством юстиції України 8 жовтня 2009 р. (наказ № 1806/5).
- Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 15819-4291Р від 8 жовтня 2009 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки».
- Атестовано Вищою атестаційною комісією України; Постанова Президії ВАК України № 1-05/2 від 10 березня 2010 р.
- ***Видавець:*** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.

Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
(14 листопада 2016 р., протокол № 3)

Адреса видавця та редколегії:
м. Київ, МСП-680, проспект Глушкова, 2-А,
географічний факультет Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кафедра гідрології та гідроекології,
Лук'янець Ользі Іванівні (з позначкою "Науковий збірник").

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.
E-mail: *gidrolog@niv.kiev.ua*
luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Хільчевський В. К., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка* (**головний редактор**);

Гребінь В. В., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка* (**заступник головного редактора**);

Гандзюра В. П., доктор біологічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Гопченко Є. Д., доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*;

Линник П. М., доктор хімічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Ободовський О. Г., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Осадчий В. І., доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України, *Український гідрометеорологічний інститут;*

Осадча Н.М., доктор географічних наук, *Український гідрометеорологічний інститут;*

Самойленко В. М., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Сніжко С. І., доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Тімченко В. М., доктор географічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Цюпа Тадеуш, доктор габилитований, *Інститут географії Університету Яна Кохановського в Кєльцах (Польща);*

Шищенко П. Г., доктор географічних наук, член-кореспондент НАПН України, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*;

Щербак В. І., доктор біологічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*;

Лук'янець О. І., кандидат географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка* (**відповідальний секретар**).

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Vladislava Bartoš Divac
Flood protection design discharge at the confluence of the Danube and the Drava..…… **8**

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Гопцій М.В.
Узагальнення тривалості схилового припливу паводкового стоку теплого періоду на річках Українських Карпат…….…….…… **26**

Гребінь В.В., Мудра К.В.
Вплив кліматичних змін на гідрологічний режим річок басейну Дністра (ретроспективний аналіз попередніх досліджень)…….…..…… **34**

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Лобода Н.С., Гриб О.М., Яров Я.С., Гриб К.О.
Гідрохімічні показники та якість вод водотоків та водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська, озера пересипу)……..…… **42**
.

Хільчевський В.К., Лета В.В.
Комплексна оцінка якості води р. Чорна Тиса…….…….…… **50**

Кічук Н.С., Шакірзанова Ж.Р., Медведєва Ю.С., Курілова І.В.
Формування гідрохімічного режиму та оцінка якості води у Придунайських озерах **56**

ГІДРОЕКОЛОГІЯ. ГІДРОБІОЛОГІЯ

Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К.
Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення ……..…… **64**

Прокопук М.С., Погорєлова Ю.В.
Вміст біогенних речовин у водоймах міста Києва…….…… **76**

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М.
Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря …… **85**

Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.М.
Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників ……..…… **95**

Шевченко О.Г.
Порівняльний аналіз біокліматичних індексів для оцінки комфортності урбанізованого середовища в теплий період ……..……..…… **105**

НАУКОВІ ПОВІДОМЛЕННЯ

Білаш В.І., Пясецька С.І.
Теоретичні засади і розрахунок інтервалу невизначеності в метрологічному забезпеченні метеорологічних приладів вимірювання атмосферного тиску…… **116**

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія"……..……...…….…… **125**

C O N T E N T S

THE GENERAL METHODS ASPEGTS OF SNVESTIGATION

Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Vladislava Bartoš Divac
Flood protection design discharge at the confluence of the Danube and the Drava……. **8**

HYDROLOGY. WATER RESOURSES

Goptsiy M.V.
A generalization of the length of the inclined tributary flood flow of the warm period on the rivers of the Ukrainian Carpathians ……..……..…….. **26**

Grebin' V., Mudra K.
The impact of climatic changes on the hydrological regime of the rivers in the Dniester Basin (retrospective analysis of the previous researches)……..…….. **34**

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Loboda N., Grib O., Yarov Y., Grib K.
Hydrochemical indicators and water quality of watercourses and water reservoirs in south-eastern part of Kuyalnik liman watershed (beams Gildendorfskaya, Korsuntsovskaya, rerash lakes)……..…… **42**

Khilchevskyi V., Leta V.
Comprehensive assessment of water quality r. Black Tisa……..…… **50**

Kichuk N.S., Shakirzanova ZH.R., Medvedeva Y.S., Kurilova I.V.
Formation of hydrochemical regime and water quality assessment in Danubian lakes… **56**

HYDROEKOLOGY. HYDROBIOLOGY

Zabokrytska M., Khilchevsky V.
Water bodies of Lutsk: hydrography, local monitoring, water supply and water disposal … **64**

Prokopuk M.S., Pohorelova Y.V.
Nutrient content in water objects of Kiev…….…. **76**

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

Balabukh V., Bazalieieva I., Yagodinets S.,
The Impact of blocking on frequency and intensity of the weather temperature anomalies in Ukraine ……..…… **85**

Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., T.N. Shpytal
Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices ……..…… **95**

Shevchenko O. G.
Comparative analysis of bioclimatic indices for estimation of comfort in urban areas in warm period ……..…...… **105**

SCIENTIFIC REPORTS

Belash V.I., Pyasetska S.I.
Theoretical foundations and calculation of the uncertainty interval in metrological support of meteorological instruments for barometric pressure measurement ……..…...… **116**

The presenting and official registration of the articles for the scientific Periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»…….…… **125**

УДК 551.577.2

Stevan Prohaska[1], Aleksandra Ilić[2], Vladislava Bartoš Divac[1]
[1]Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade, Serbia, stevan.prohaska@jcerni.co.rs
[2]University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Niš, Serbia

FLOOD PROTECTION DESIGN DISCHARGE AT THE CONFLUENCE OF THE DANUBE AND THE DRAVA

Keywords: *coinciding flood discharges, lines of equal probabilities of occurrence, exceedance probabilities, design flood discharges*

Introduction. It is standard practice to assess the flood risk on the basis of the probability that the flood will exceed a pre-defined flood wave characteristic. In effect, this is equivalent to determining the flood return period. The approach includes statistical analysis of hydrologic data from the nearest hydrologic station that can provide flood discharge data. From an engineering perspective, the approach yields satisfactory results in a large number of tasks, especially in the case of flood defenses where there are no tributaries along the considered river reach. However, when the protected area includes the mouth of a tributary, the approach does not reliably estimate the considered flood wave characteristics because the rise and development of flood waves on the rivers differ as a rule. Maximum flood waves do not occur simultaneously on both rivers but a flood wave on one can have a significant effect on the flow of the other. It should be kept in mind that hydrologic data are generally collected by hydrologic stations located beyond the zone of mutual influence of the considered rivers. In such cases it is especially important to assess coinciding (concurrent) floods on the recipient and the tributary, and to size flood defenses for the discharge of a certain return period defined by two-dimensional probability analysis.

Methodology.

Coincidence of two random variables. In order to determine the design water levels in the zone of mutual influence of the recipient and a tributary, it is necessary to define the probability of instantaneous occurrence of floods on both of them, which represent random events (random variables X and Y), or, in other words, coincidence [5].

If two-dimensional random variables are normally distributed, the probability distribution function (lines of the same probability of occurrence of random variables *X* and *Y*) can be written as [2]:

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\cdot\sigma_x\cdot\sigma_y\cdot\sqrt{1-\rho^2}}\cdot \cdot exp\left(-\frac{1}{2\cdot\left(1-\rho^2\right)}\cdot\left[\frac{\left(x-\mu_x\right)^2}{\sigma_x^2}-\frac{2\rho\cdot\left(x-\mu_x\right)\cdot\left(y-\mu_y\right)}{\sigma_x\cdot\sigma_y}+\frac{\left(y-\mu_y\right)^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \quad (1)$$

The symbols in Eq. (1) stand for the following: x, y – simultaneous realization of random variables X and Y, respectively; μ_x, μ_y – expected values of X and Y; σ_x, σ_y – standard deviation of X and Y; ρ – coefficient of correlation between X and Y.

For a joint probability density function (jpdf), $f(x,y)$, the marginal densities $f(x,\bullet)$ and $f(\bullet,y)$ are defined by:

$$f(x,\bullet) = \int_{y=-\infty}^{y=\infty} f(x,y)dy, \tag{2}$$

$$f(\bullet,y) = \int_{x=-\infty}^{x=\infty} f(x,y)dx. \tag{3}$$

The marginal cumulative probability functions are determined from:

$$F(x,\bullet) = \int_{t=-\infty}^{t=x} f(t,\bullet)dt \tag{4}$$

and

$$F(x,\bullet) = \int_{t=-\infty}^{t=x} f(t,\bullet)dt. \tag{5}$$

The cumulative probability density function (cpdf), $F(x,y)$, is obtained from:

$$F(x,y) = P[X \le x \cap Y \le y] = \int_{t=-\infty}^{t=x}\int_{z=-\infty}^{z=y} f(t,z)dtdz. \tag{6}$$

The cumulative exceedance probability $\Phi(x,y)$ can be obtained from the following relation [2]:

$$\Phi(x,y) = \int_{t=x}^{t=+\infty}\int_{z=y}^{z=+\infty} f(t,z)dtdz = P[X > x \cap Y > y] = 1 - P[X < x \cup Y < y] =$$
$$= 1 - F(x,\bullet) - F(\bullet,y) + F(x,y) \tag{7}$$

In bivariate statistical analyses of flood characteristics, hydrologists encounter two basic obstacles which must be overcome in a practical implementation of the proposed model.

The first stems from the fact that most flood characteristics are not normally distributed. It is, however, customarily assumed that the considered variables follow the Log-normal distribution. Therefore, their logarithmic transformations in expression (8) are said to be normally distributed:

$$U = \log X \; ; \; W = \log Y. \tag{8}$$

Evaluation of cumulative distribution functions involves extensive calculations in a three-dimensional space, *X*, *Y* and ρ, and implementation of a graphoanalytical scheme. This scheme has been described in [1] and is briefly discussed in the ensuing text.

The scheme deals with standard normal variables. Non-standard variables can be transformed into standardized variables by the well-known procedure, namely:

$$\psi = (u - \mu_u)/\sigma_u \; ; \; \xi = (w - \mu_w)/\sigma_w. \tag{9}$$

Based on the above assumption, the variables ψ and ξ are normally distributed, with the expected values $\mu_\psi = \mu_\xi = 0$ and standard deviations $\sigma_\psi = \sigma_\xi = 1$.

With the above transformations, the joint probability density function can be defined as:

$$f(\psi,\xi) = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{(1-\rho^2)}} exp\left(- \frac{1}{2 \cdot (1-\rho^2)} \left[\psi^2 - 2\rho\psi\xi + \xi^2 \right] \right). \quad \textbf{(10)}$$

The values of the correlation coefficient ρ should be replaced by R, which can be calculated from observed data using the standardized series ψ and ξ. With this parameter, and after simplifying the notation in Eq. (10), the following relation can be written:

$$\iint_A f(\psi,\xi) d\psi d\xi = 1 - exp\left(- \frac{\lambda^2}{2 - \left(1-\rho^2\right)} \right). \quad \textbf{(11)}$$

The integral given by Eq. (11) over an area A, i.e. the integral over the space ψ, ξ from A, represents the probability that the realization of events $\psi = h$ and $\xi = k$ will fall within the area A, which is contoured by an ellipse described by the following equation [10]:

$$\psi^2 - 2\rho \cdot \psi \cdot \xi + \xi^2 = \lambda^2. \quad \textbf{(12)}$$

The newly-introduced symbol λ is obviously related to the constant value of the integral in Eq. (11). Consequently, it is related to the variables ψ and ξ, as well as to the correlation coefficient.

Hence, the probability contained within the ellipse of Eq. (12) can be calculated for each value of $\lambda = const$.

Equating the variable part of the exponent in Eq. (10) to the exponent of Eq. (11) yields the relation

$$\psi^2 - 2\rho \cdot \psi \cdot \xi + \xi^2 = \lambda^2, \quad \textbf{(13)}$$

$$\xi^2 - 2\rho \cdot \psi \cdot \xi + (\psi^2 - \lambda^2) = 0. \quad \textbf{(14)}$$

As previously stated, any particular value of $\lambda = const$ corresponds to an ellipse. Furthermore, any given value, $\psi = h$, intersects the ellipse at two different values of ξ, let us say $\xi_1 = k_1$ and $\xi_2 = k_2$.

Hence, solving the quadratic Eq. (14) for any particular value of $\lambda = const$ corresponding to the required level of probability given by Eq. (11) results in two particular coordinates ($\xi_1 = k_1, \xi_2 = k_2$), which represent the intersection of the ellipse and the straight line $\psi = h_0$. A series of ellipses can be constructed by repeating the calculations for several selected values of λ while varying the values of $\psi = h_0$. After each calculation step, a transformation corresponding to Eq. (9) should be performed to obtain unstandardized values of the flood characteristics, instead of standardized logarithmic values.

The described computational scheme is rather direct. However, the results have no great use, except to give the analyst general insight into the relation of the considered flood characteristics.

In the case of evaluation of the cumulative distribution function, the direct method, as previously outlined, is not convenient. To overcome computational difficulties, the Abramowitz and Stegun [1] procedure was implemented in this study. The computational scheme uses a grapho-analytical procedure that defines the cumulative probability, $\Phi(h,k,\rho)$, in terms of the probabilities $\Phi(h,0,r)$ and $\Phi(k,0,r)$, where instead of the correlation coefficient, ρ, the value $r = r(h,k,\rho)$ is used. The value r is related to h and k, as well as to ρ itself. More specifically, the probability $\Phi(h,k,\rho)$ can be assessed from:

$$\Phi(h,k,\rho) = \Phi\left(h,0,\frac{(\rho h - k)\cdot \operatorname{sgn} h}{\sqrt{h^2 - 2\rho hk + k^2}}\right) + \Phi\left(k,0,\frac{(\rho k - h)\cdot \operatorname{sgn} k}{\sqrt{h^2 - 2\rho hk + k^2}}\right) - \begin{cases} 0 & \text{if } hk \geq 0 \text{ and } h + k \geq 0 \\ \frac{1}{2} & \text{for all other cases} \end{cases}, \quad \textbf{(15)}$$

where ($sgn\, h$) and ($sgn\, k$) are equal to 1 if h or k, respectively, are greater than or equal to zero, and they become -1 whenever h and k are less than zero.

It should be reiterated that the described procedure requires that the variables X and Y be logarithmed and properly transformed into standard normal variables. Therefore, the particular values of h_0 and k_0, for which the exceedance probability is calculated, must consequently be converted into natural values, namely:

$$x = 10^u = 10^{\left(\sigma_u \psi + \overline{U}\right)} = 10^{\left(\sigma_u h_0 + \overline{U}\right)}, \quad \textbf{(16)}$$

$$y = 10^w = 10^{\left(\sigma_w \xi + \overline{W}\right)} = 10^{\left(\sigma_w k_0 + \overline{W}\right)}. \quad \textbf{(17)}$$

Any value obtained according to the above-described model represents the probability that a flood event, which corresponds to particular magnitudes x_0 and y_0, will exceed a chosen combination of X and Y.

A model, based on the described procedure and utilizing the charts presented in [1], has been developed to perform the above calculations related to the two-dimensional distribution function. It contains the correlation coefficient, as a measure of dependence of the flood events in question. In order to assess the strength of that correlation, the error of the computed correlation coefficients needs to be estimated. To that end, relation (18) was used [11]:

$$\sigma_R = \left(1 - R^2\right)/\sqrt{N}, \quad \textbf{(18)}$$

where: σ_R - error of the correlation coefficient R; N - total number of data.

In this paper the following criterion was adopted: the correlation coefficient, R, is significantly different from zero if its absolute value is greater than the triple value of the error, σ_R that is $|R| \geq 3 \cdot \sigma_R$.

Based on the absolute value of the correlation coefficient, three degrees of statistical significance of the coincidence of two random variables are distinguished:

(1) Nearly statistically-significant coincidence:

$$|R| \geq 0.95 - 1.0. \quad \textbf{(19)}$$

(2) Statistically significant coincidence:

$$|R| \geq 3 \cdot \sigma_R - 0.95 . \quad \textbf{(20)}$$

(3) Statistically insignificant coincidence:

$$|R| \leq 3 \cdot \sigma_R \quad \textbf{(21)}$$

Defining the variables. The analysis of coinciding flood discharges of the recipient and a tributary is founded upon the definition of a two-parametric law of distribution of the combinations of variables shown in Table 1 [4].

Table 1. **Combinations of simultaneously occurring variables**

River Reach		Combination	Appellation
Gauging station 1	Gauging station 2		
The main river upstream from the tributary	The main river downstream from the tributary	max-cor	*QINmax - QOUTcor1*
		cor-max	*QINcor1 - QOUTmax*
The main river upstream from the tributary	Tributary	max-cor	*QINmax - QTRcor1*
		cor-max	*QINcor2 - QTRmax*
Tributary	The main river downstream from the tributary	max-cor	*QTRcor2 - QOUTmax*
		cor-max	*QTRmax - QOUTcor2*

The coincidence calculations result in a line of similar probabilities of the above combinations of the selected flood wave parameter (differential distribution laws), as well as lines that define the exceedance probabilities of the same combinations of variables:

$$P\left[X > x; Y_{cor} > y\right] = \int_{X_1}^{\infty} \int_{Y_1}^{\infty} g\left(X, Y_{cor}, R\right) dx dy , \quad \textbf{(22)}$$

$$P\left[X > x; Y_{cor1} > y\right] = \int_{X_1}^{\infty} \int_{Y_1}^{\infty} g\left(X, Y_{cor1}, R\right) dx dy_{cor1} , \quad \textbf{(23)}$$

$$P\left[X_{cor} > x; Y > y\right] = \int_{X_1}^{\infty} \int_{Y_1}^{\infty} g\left(X_{cor}, Y, R\right) dx_{cor} dy , \quad \textbf{(24)}$$

where: X , Y_{cor} - the highest annual flood wave peak of the recipient upstream from the mouth of the tributary and corresponding flood wave peak of the recipient downstream from the tributary, respectively; X , Y_{cor1} - the highest annual flood wave peak of the recipient and corresponding flood wave peak of the tributary; Y , X_{cor} - the highest annual flood wave peak of the tributary and corresponding flood wave peak of the recipient upstream from the tributary.

Determining analytical flood discharges of characteristic probabilities of occurrence. The results of calculations of analytical flood discharges of the recipient and the tributary in the zone of the mouth of the tributary can be used in practice to define: analytical water levels at a gauged confluence and analytical discharges at an

insufficiently gauged mouth of the tributary – when there is no data on the downstream reach of the recipient [8].

The theoretical background for all the above aspects of the practical uses of the results of calculations of coinciding flood discharges of the recipient and the tributary in the zone of their confluence is provided below.

Estimation of coinciding flood discharges to define design water levels at gauged confluences

A confluence is said to be gauged if hydrologic data (hydrologic stations) are available on the input cross-sections (of the recipient and the tributary) and the output cross-section (of the recipient downstream from the mouth of the tributary) [8]. The following data are needed to calculate design water levels:

- time-series of annual maximum discharges at the entry and exit stations, and
- results of flood discharge coincidence calculations of the following combinations of variables:
  - the highest annual discharge of the recipient and the corresponding discharge of the tributary, and
  - the highest annual discharge of the tributary and the corresponding discharge of the recipient.

The design water levels of the recipient and the tributary in the extended area of the confluence are obtained from hydraulic calculations of the water level lines at selected design discharges. The design water levels in the case of gauged confluences are determined for [6, 9]:

- the reach of the recipient downstream from the confluence:
  - the design discharge is the theoretical value of the annual maximum discharges $QOUT_{max,p}$ for the selected probability of occurrence p at the hydrologic station on the recipient downstream from the mouth of the tributary;
- for the reach of the recipient upstream from the confluence, in the zone of mutual influence of the recipient and the tributary, the design water level is an envelope of the maximum water levels obtained by calculating the water level lines of the water surface for the following combinations of discharges:
  - theoretical value of the highest annual discharge of the recipient downstream from the confluence for the probability of occurrence p and corresponding discharge of the recipient upstream from the confluence for the same probability of coincidence $\left(QOUT_{max};QIN_{cor1}\right)_p$,
  - corresponding discharge of the recipient downstream from the confluence and theoretical value of the highest annual discharge of the recipient upstream from the confluence, for the probability of occurrence p and the same coincidence probability $\left(QIN_{max};QOUT_{cor1}\right)_p$,
- for the tributary upstream from the confluence, in the zone of mutual influence of the recipient and the tributary – the design water level is an envelope of the maximum water levels obtained by calculating the water level lines for the following combinations of discharges:
  - theoretical value of the highest annual discharge of the recipient upstream from the confluence for the selected probability of occurrence p and corresponding

discharge of the tributary, for the same coincidence probability $(QOUT_{max};QTR_{cor2})_p$,

– corresponding discharge of the recipient downstream from the confluence and theoretical value of the highest annual discharge of the tributary for the selected probability of occurrence p and the same coincidence probability $(QTR_{max};QOUT_{cor2})_p$,

- for the recipient upstream from the zone of mutual influence of the recipient and the tributary – the design water levels are obtained by hydraulic calculations of the water level lines for the theoretical value of the highest annual discharge of the recipient (at the upstream hydrologic station), for the selected probability of occurrence $QIN_{max,p}$,
- for the tributary upstream from the zone of mutual influence of the recipient and the tributary – the design water levels are obtained from hydraulic calculations of the water levels lines for the theoretical value of the highest annual discharge of the tributary (at the upstream hydrologic station), $QTR_{max,p}$, for the selected probability of occurrence p.

The design water level lines for the zone of mutual influence of the recipient and the tributary are determined as schematically represented in Fig. 1. The adopted level of protection corresponds to the selected probability of occurrence p [6].

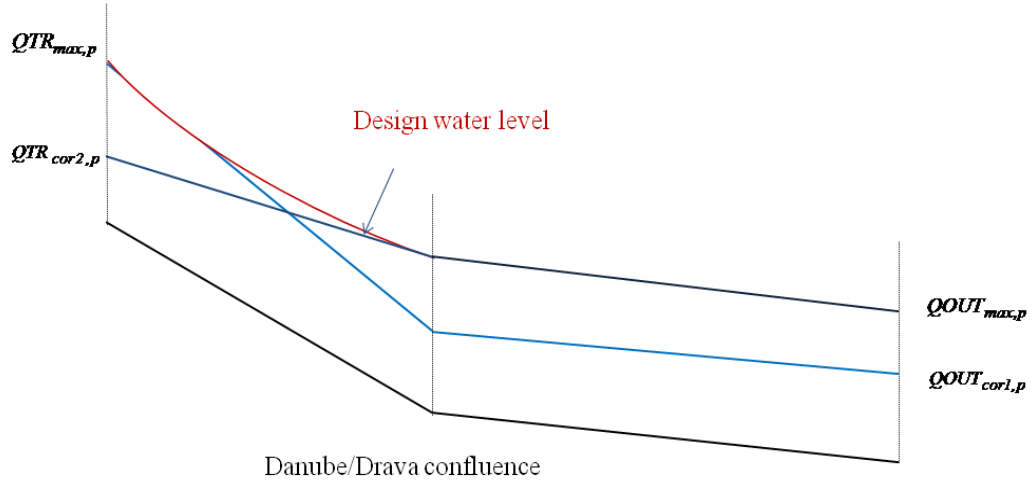


Figure 1. **Schematic representation of the selection of the design water level in the zone of the confluence**

Estimation of coinciding flood discharges to define design water levels at partially gauged confluences

A partially gauged confluence refers to the extended sector of the confluence, where data are not available at one station. All the necessary probabilities and coincidences of the variables described in Eqs. (22), (23) and (24) are defined on the basis of available data.

To simplify the procedure, shown below is how calculations are made in the absence of data on the output cross-section of the recipient [7]. This means that time-series of daily discharges are available for: the input cross-section of the recipient $\left(QIN_{max}\right)$ and the input cross-section of the tributary $\left(QTR_{max}\right)$.

In this case it is necessary to define the coincidences (lines of the same probability of occurrence $f(x,y)$ and cumulative lines of exceedance probabilities $\Phi(x,y)$) for the following combinations of variables, only for synchronous occurrences:

- the highest annual discharge of the recipient upstream from the mouth of the tributary – corresponding discharge of the tributary $\left(QIN_{max};QTR_{cor1}\right)$, and
- the highest annual discharge of the tributary – corresponding discharge of the recipient upstream from the mouth of the tributary $\left(QTR_{max};QIN_{cor2}\right)$.

In this case study, the maximum discharge of a certain probability of occurrence – $QOUT_{max,p}$ was determined based on two points of intersection (1 and 2) of the previously-mentioned coincidence lines in two cases:

$$P\left[\left(QIN_{max} > qIN_{max}\right)\cap\left(QTR_{cor1} > qTR_{cor1x}\right)\right] = p\,,\ \ f\left(QIN_{max},QTR_{cor1}\right) = p\,, \qquad \textbf{(25)}$$

$$P\left[\left(QTR_{max} > qTR_{max}\right)\cap\left(QIN_{cor2} > qIN_{cor2x}\right)\right] = p\,,\ \ f\left(QTR_{max},QIN_{cor2}\right) = p\,, \qquad \textbf{(26)}$$

where: p is the probability of occurrence.

The coordinates of the intersected points were:

- Case 1:
  - Point 1 $\left(QIN^{1}_{max} : QTR^{1}_{cor1}\right)_p$
  - Point 2 $\left(QIN^{2}_{max} : QTR^{2}_{cor1}\right)_p$
- Case 2:
  - Point 1 $\left(QTR^{1}_{max} : QIN^{1}_{cor2}\right)_p$
  - Point 2 $\left(QTR^{2}_{max} : QIN^{2}_{cor2}\right)_p$

The design value of the highest discharge along the reach of the recipient downstream from the mouth of the tributary, for the probability of occurrence p – $QOUT_{max,p}$ Eq. (27), is equal to the mean value of the sum of coordinates of the two points in the two graphs, i.e.:

$$QOUT_{max,p} = \left(\begin{array}{l}\sum\limits_{1}^{2}\left(QIN^{1}_{max,p} + QTR^{1}_{cor1,p}\right) + \sum\limits_{1}^{2}\left(QIN^{2}_{max,p} + QTR^{2}_{cor1,p}\right) + \\ + \sum\limits_{1}^{2}\left(QTR^{1}_{max,p} + QIN^{1}_{cor2,p}\right) + \sum\limits_{1}^{2}\left(QTR^{2}_{max,p} + QIN^{2}_{cor2,p}\right)\end{array}\right) / 4\cdot \qquad \textbf{(27)}$$

It should be kept in mind that the basic assumption of this approach is that the intermediate catchment in the considered sector between the input cross-sections and the output cross-section has no significant effect on flood wave formation at the output cross-section of the recipient.

Results.

***Flood discharges of characteristic probabilities of occurrence at a gauged confluence*.** The primary criterion related to the construction of flood defenses in the zone of the confluence of the Drava and the Danube is cost-effective sizing of all structural flood protection measures [3]. In the specific case, the main structures are levees. The sector of the Danube River from the hydrologic stations at Bezdan on the Danube and Donji Miholjac on the Drava to the hydrologic station at Bogojevo on the Danube is shown in Fig. 2.

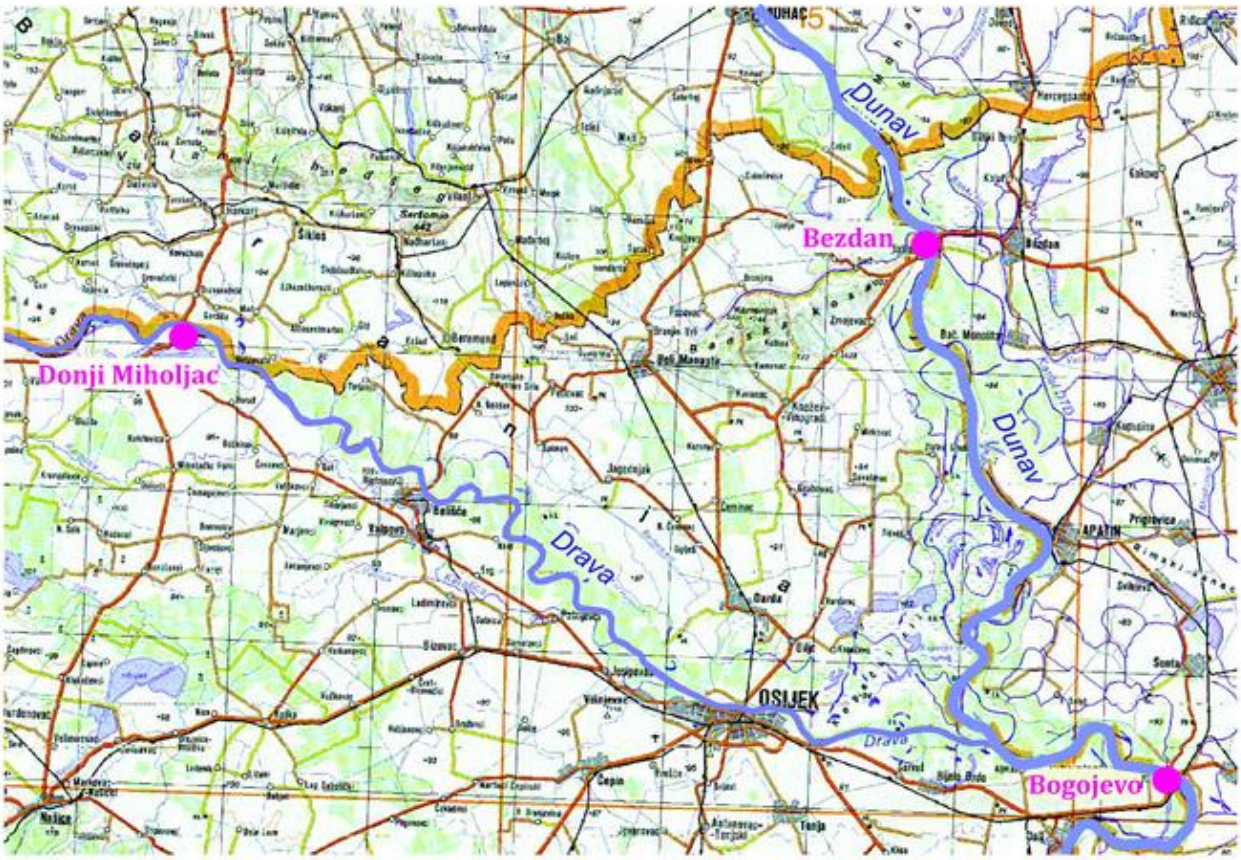


Figure 2. **Reach of the Danube River from the hydrologic station at Bezdan to the hydrologic station at Bogojevo**

The theoretical discharges of different return periods at the considered river cross-sections, derived by the conventional approach for statistically significant coincidences, based on time-series of annual discharges from 1931 to 2014, served as a basis for sizing of flood defenses. Goodness-of-fit tests (χ^2, Kolmogorov-Smirnov and $n\omega^2$) revealed that Gumbel's theoretical probability distribution function best fitted the empirical values of the data recorded by the three hydrologic stations. The theoretical discharges of characteristic probabilities of occurrence are shown in Table 2.

Table 2. **Theoretical values of annual maximum discharges of the Danube and the Drava for different probabilities of occurrence – $Q_{max,p}$ (m³/s)**

Probability of occurrence (%)	Danube		Drava at Donji Miholjac
	at Bezdan	at Bogojevo	
0.1	11020	12350	3384
1	8810	9910	2652
5	7249	8186	2136

However, values that represent derived quantities, which depend on the strength of coincidence of flood discharges of the Danube and the Drava according to criteria (19), (20) and (21), need to be considered in relation to the recipient upstream from the confluence, within the zone of mutual influence of the two rivers, in order to define design discharges for sizing of flood protection. The optimal approach is to adopt the most likely combination of discharge coincidence variables of the Danube and the Drava from the exceedance probability curve, taking into consideration the place of origin of the flood wave for the selected level of protection (i.e. return period).

In the present case study, the coincidence of flood discharges of the Danube and the Drava was estimated for the following combinations of variables:

- highest annual discharge at Bezdan – corresponding discharge at Bogojevo $\left(Q_{max}^{Bez};Q_{cor1}^{Bog}\right)\equiv\left(IMOC\right)$,
- corresponding discharge at Bezdan – highest annual discharge at Bogojevo $\left(Q_{cor1}^{Bez};Q_{max}^{Bog}\right)\equiv\left(ICOM\right)$,
- highest annual discharge at Bezdan – corresponding discharge at Donji Miholjac $\left(Q_{max}^{Bez};Q_{cor1}^{DM}\right)\equiv\left(IMTC\right)$,
- corresponding discharge at Bezdan – highest annual discharge at Donji Miholjac $\left(Q_{cor2}^{Bez};Q_{max}^{DM}\right)\equiv\left(ICTM\right)$,
- highest annual discharge at Bogojevo – corresponding discharge at Donji Miholjac $\left(Q_{max}^{Bog};Q_{cor2}^{DM}\right)\equiv\left(TCOM\right)$,
- corresponding discharge at Bogojevo – highest annual discharge at Donji Miholjac $\left(Q_{cor2}^{Bog};Q_{max}^{DM}\right)\equiv\left(TMOC\right)$.

The results are graphically represented in Figs. 3 through 8, including lines of the same probabilities of occurrence (density functions), lines of exceedance probabilities (distribution functions) and empirical points.

To assess the statistical significance of the calculated coincidences of flood discharges of the Danube and the Drava, Table 3 shows the main indicators of the strengths of the established coincidence correlations – the coefficient of linear correlation and standard error.

The above results lead to the conclusion that there is statistically significant coincidence between the combinations of the highest annual discharges of the tributary at Donji Miholjac and the corresponding discharges of the recipient at Bezdan and Bogojevo, as well as between all combinations of discharges at the upstream station (Bezdan) and the downstream station (Bogojevo) on the recipient. None of the combinations of the highest annual discharges of the recipient (Bezdan or Bogojevo) and the corresponding discharges of the tributary is statistically significant.

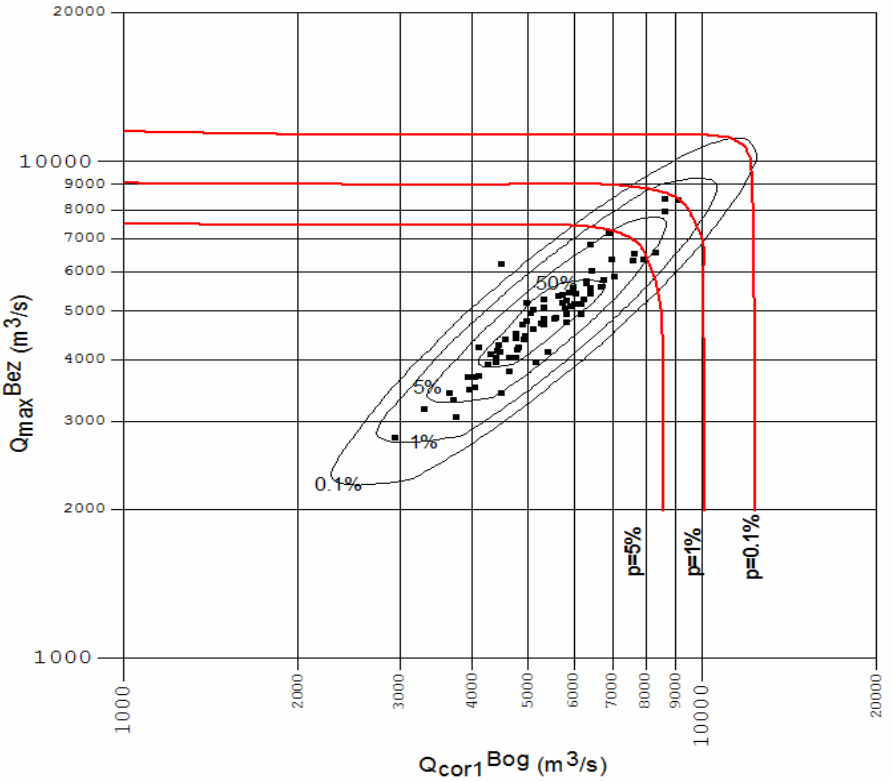


Figure 3. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Danube at Bezdan and the corresponding discharge of the Danube at Bogojevo (*IMOC*)**

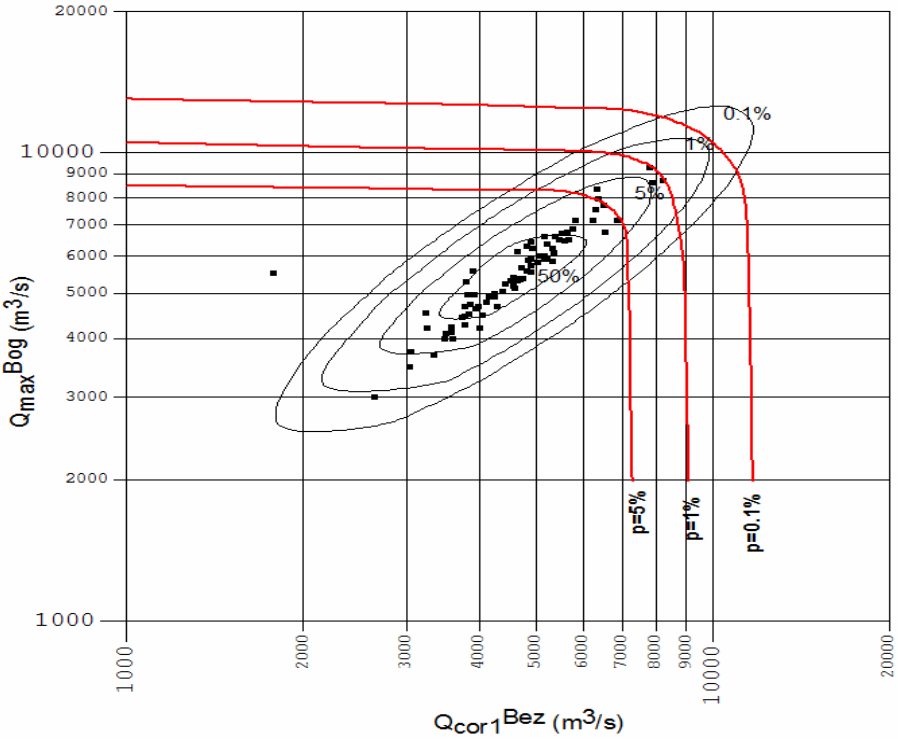


Figure 4. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Danube at Bogojevo and the corresponding discharge of the Danube at Bezdan (*ICOM*)**

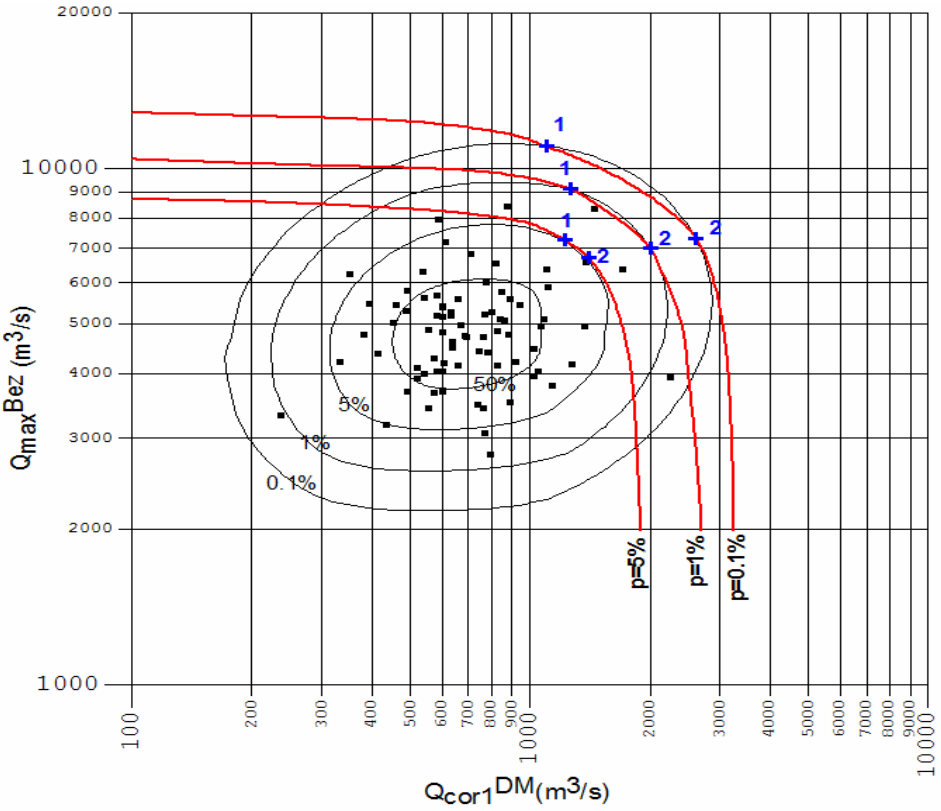


Figure 5. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Danube at Bezdan and the corresponding discharge of the Drava at Donji Miholjac (*IMTC*)**

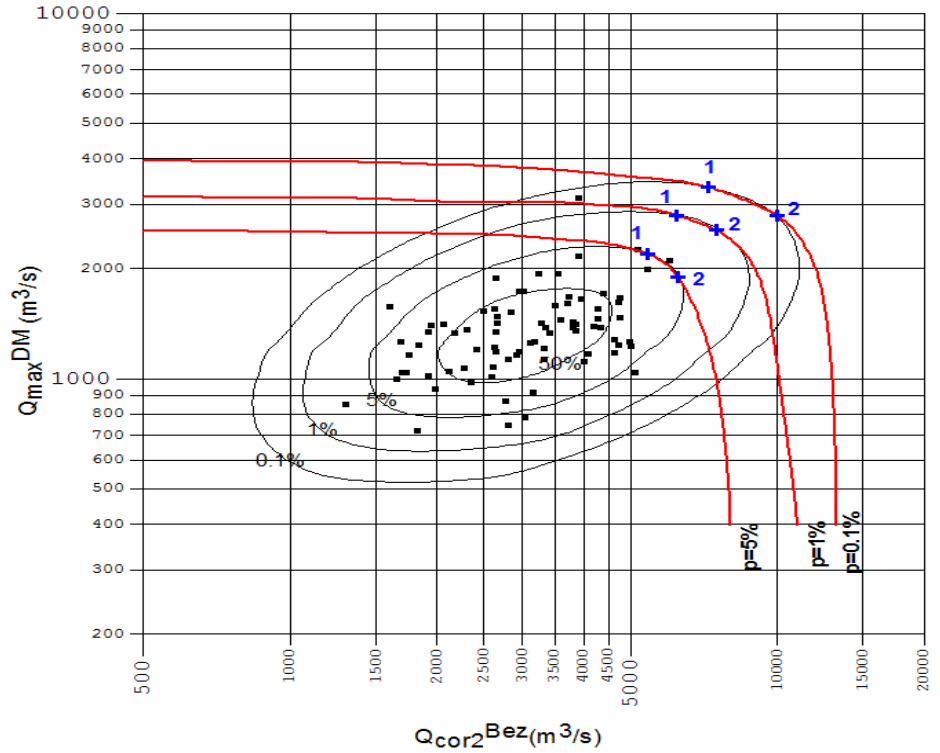


Figure 6. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Drava at Donji Miholjac and the corresponding discharge of the Danube at Bezdan (*ICTM*)**

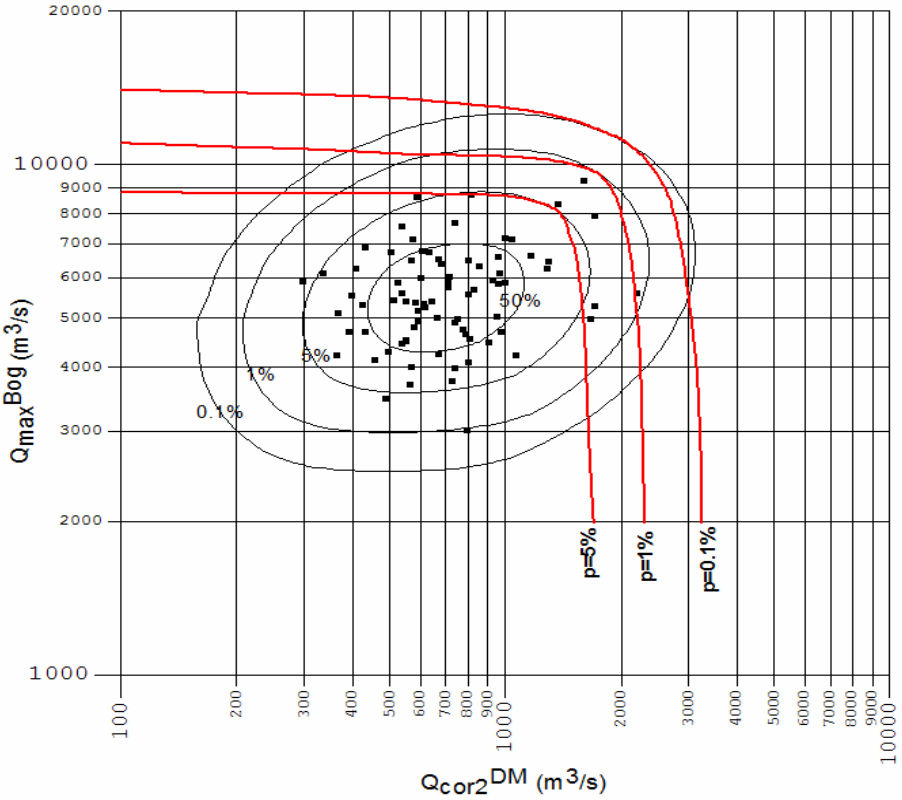


Figure 7. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Danube at Bogojevo and the corresponding discharge of the Drava at Donji Miholjac (*TCOM*)**

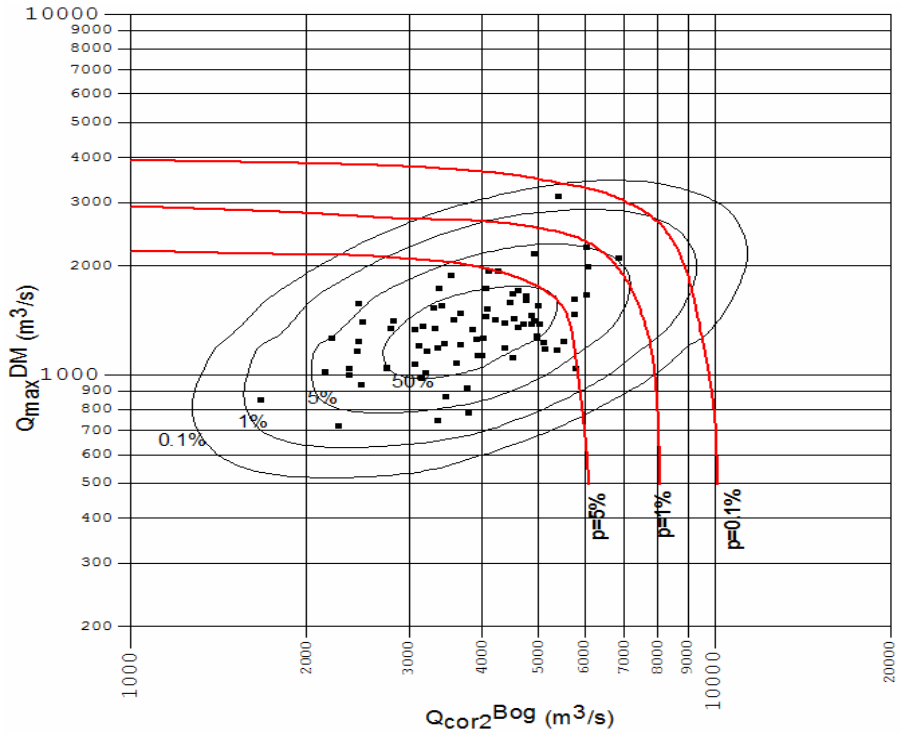


Figure 8. **Coincidence of the maximum annual discharge of the Drava at Donji Miholjac and the corresponding discharge of the Danube at Bogojevo (*TMOC*)**

Table 3. **Statistical significance of the considered combinations of variables**

Hydrologic stations	Combination of variables	R	N	σ	3σ	Statistical significance
Bezdan – Bogojevo	max – cor	0.91809	79	0.017676	0.053029	YES
	cor – max	0.8561	79	0.030050	0.090151	YES
Bezdan – Donji Miholjac	max – cor	0.15869	79	0.109676	0.329027	NO
	cor – max	0.45362	79	0.089358	0.268073	YES
Donji Miholjac – Bogojevo	cor – max	0.24087	79	0.105981	0.317944	NO
	max – cor	0.51906	79	0.082196	0.246589	YES

The values shown in Table 3 corroborate the validity of the proposed approach for the estimation of the coincidence of flood discharges in the extended zone of the confluence of the Drava and the Danube.

The analytical discharges for the different combinations of variables are shown in Table 4.

Table 4. **Analytical flood discharges of the Danube and the Drava for different coincidence probabilities**

p%	Danube upstream from confluence			Danube downstream from confluence			Drava upstream from confluence		
	Q_{max}^{Bez}	Q_{cor1}^{Bog}	Q_{cor1}^{DM}	Q_{max}^{Bog}	Q_{cor2}^{Bez}	Q_{cor1}^{DM}	Q_{max}^{DM}	Q_{cor2}^{Bog}	Q_{cor1}^{Bez}
0.1	11020	11750	1700	12350	10000	2000	3384	8000	9000
1.0	8810	9100	1650	9910	8000	1770	2652	6800	7000
5.0	7249	7800	1300	8186	6500	1180	2136	5400	5800

The analytical discharges for determining design water levels for sizing flood defenses along the Danube from its point of entry into Serbia to the hydrologic station at Bogojevo, and along the Drava from the hydrologic station at Donji Miholjac to the confluence with the Danube, are schematically represented in Figs. 9 and 10, respectively.

For the reach of the Danube upstream from the mouth of the Drava, the water level envelopes of a 100-year return period would be obtained on the basis of the following combinations of discharges: $Q_{max,1\%}^{Bog} = 9910\ m^3/s$ and the corresponding discharge from Fig. 4, $Q_{cor1,1\%}^{Bez} = 8000\ m^3/s$, and $Q_{max,1\%}^{Bez} = 8810\ m^3/s$ and the corresponding discharge from Fig. 3, $Q_{cor1,1\%}^{Bog} = 9100\ m^3/s$.

For the reach of the Drava upstream from its mouth, the water level envelope of a 100-year return period would be obtained from the combinations: $Q_{max,1\%}^{DM} = 2652\ m^3/s$ and the corresponding discharge from Fig. 8, $Q_{cor2,1\%}^{Bog} = 6800\ m^3/s$, and $Q_{max,1\%}^{Bog} = 9910\ m^3/s$ and the corresponding discharge from Fig. 7, $Q_{cor2,1\%}^{DM} = 1770\ m^3/s$.

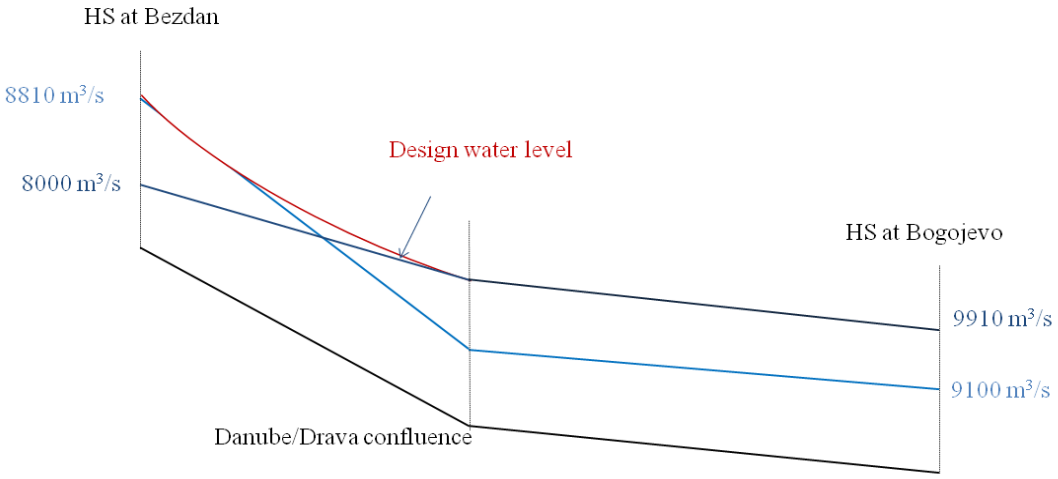


Figure 9. **Maximum design discharges for estimating the 100-year water level along the considered reach of the Danube**

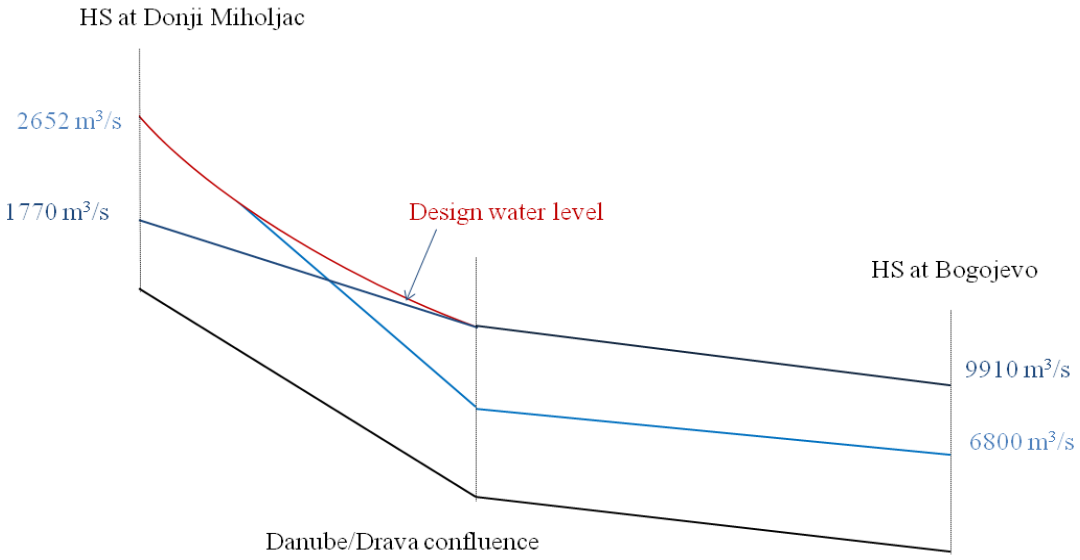


Figure 10. **Maximum design discharges for estimating the 100-year water level along the Danube to the mouth of the Drava and along the Drava to the hydrologic station at Donji Miholjac**

Design flood discharges at an insufficiently gauged cross-section of the recipient. In order to apply the proposed approach to the estimation of flood discharge coincidence for defining design water levels at a partially gauged cross-section, it was assumed that there are only two upstream gauging stations, at Bezdan and Donji Miholjac, in the considered sector of the Danube and the Drava, and that there are no data on the reach downstream from the mouth of the Drava. Data from the "non-existent" station at Bogojevo were used only to verify the results.

The results of coincidence calculations for the following combinations of variables at the hydrologic stations at Bezdan and Donji Miholjac were used:

- maximum annual discharge of the Danube at Bezdan – corresponding discharge of the Drava at Donji Miholjac $\left(Q_{max}^{Bez};Q_{cor1}^{DM}\right)$, and

- annual maximum discharge of the Drava at Donji Miholjac – corresponding discharge of the Danube at $\left(Q_{max}^{DM};Q_{cor2}^{Bez}\right)$.

Table 5 shows the analytical results for maximum design discharges of the Danube at the 'non-existent' station at Bogojevo, for the probabilities of occurrence p = 0.1, 1.0 and 5.0 %.

It follows from the results that the proposed method for estimating the flood discharge coincidence of a recipient and a tributary is also suitable for defining theoretical values of maximum discharges of certain probabilities of occurrence along the recipient downstream from the mouth of the tributary, if time-series of daily and annual maximum discharges at the two input cross-sections in the upstream sector are available. It was assumed in the above example concerning the estimation of annual maximum discharges of the Danube at Bogojevo (Table 5, Figs. 5 and 6) that data were available only on the upstream sector, at Bezdan on the Danube and Donji Miholjac on the Drava. The resulting analytical values of annual maximum discharges of the Danube at Bogojevo, based on defined coincidence functions, matched very well the results of conventional probabilistic analysis (Table 5). The differences between the analytical values based on coincidence and the statistical analysis were minimal – the errors were in the interval from -7.0% (for a 1000-year return period) to -1.3% (50-year return period).

Table 5. **Analytical discharges of the Danube at the 'non-existent' Bogojevo station for different probabilities of occurrence**

Combi-nation	Variable	5%			1%			0.1%		
		Point		∑∑	Point		∑∑	Point		∑∑
		1	2		1	2		1	2	
$Q_{max}^{Bez};Q_{cor1}^{DM}$	Q_{max}^{Bez}	7250	6700	13950	9100	7000	16400	11020	7300	18320
	Q_{cor1}^{DM}	1220	1400	2620	1260	2000	3200	1100	2610	3710
	∑			16570			19600			22030
$Q_{max}^{DM};Q_{cor2}^{Bez}$	Q_{max}^{DM}	2200	1900	4100	2800	2550	5150	3350	2800	6150
	Q_{cor2}^{Bez}	5400	6250	11650	6200	7500	13200	7200	10000	17000
∑				15750			18350			23150
∑∑				32320			37950			45180
$Q_{max,p}^{Rač} = \sum\sum/4$				**8080**			**9487**			**11295**
Bogojevo	$Q_{max,p}^{racGumbel}$			**8186**			**9910**			**12150**
	$\Delta Q_{max,p}(\%)$			**-1.3**			**-4.3**			**-7.0**

Conclusion. The practical significance of the results of coincidence estimation is that flood protection could be sized on the basis of design discharges that provide a lower level of protection in the zone of mutual influence of a recipient and a tributary, from a conventional one-dimensional design approach perspective, while ensuring the same level of protection from a flood risk standpoint. The proposed coincidence estimation approach yields representative quantitative indicators of optimal combinations of the considered random variables, from the standpoint of cost-effectiveness and safety. The results can be used to define design water levels at river mouths, where the required (appropriate) data are not available at one gauging station.

The developed method for estimating the coincidence of flood discharges of the recipient and a tributary is also suitable for defining maximum design discharges if no data are available on a river cross-section. The calculations in the case of no data at the hydrologic station of Bogojevo showed that the errors were minimal, up to 10%.

Acknowledgment. The presented analyses and results are outcomes of the research project titled 'Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in Serbia 2011–2015' (TR-37005) of the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development. The authors extend their gratitude to the Ministry for its financial assistance and support.

References

1. Abramowitz, M., Stegun, A., I., 1972. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables.* New York: Dover Publications, INC. ***2.*** Prohaska, S., Marjanović, N., Čabrić, M., 1978. *Dvoparametarsko definisanje velikih voda.* Novi Sad*:* Vode Vojvodine. ***3.*** Prohaska, S., 1983. *Koincidencija velikih voda donje Save sa velikim vodama Dunava i Drine.* Novi Sad: Vode Vojvodine. ***4.*** Prohaska S., Isailović D., Srna P., Marčetić I.,1999. Coincidence of Flood Flow of the Danube River and its Tributaries. *In:The Danube and its Basin – A Hydrological Monograph Follow-up volume IV*. Bratislava: Water Research Institute, Regional Co-operation of the Danube Countries in the Frame of the International Hydrological Programme of UNESCO, 1-187. ***5.*** Prohaska, S., 2006. *Hidrologija II deo*. Beograd: Institut za vodoprivredu 'Jaroslav Černi', Rudarsko-geološki fakultet, Republički hidrometeorološki zavod Srbije. ***6.*** Prohaska, S., Ilić, A., 2008. Coincidence of the Probability of Flood Waves. *In: International Conference 'Planning and Management of Water Resources Systems'*, 25-27 September 2008 Novi Sad, 171-183. ***7.*** Prohaska, S., Ilić, A., Majkić, B., Orlić, A., Stanić, Ž. 2009. Postupak za definisanje višedimenzionalnih verovatnoća pojave poplava na složenim rečnim sistemima, U: Monografija 'Upravljanje vodnim resursima Srbije '09'.Beograd: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 215 – 232. ISBN 978-86-82565-24-6. ***8.*** Prohaska, S., Ilic, A. 2010. Coincidence of Flood Flow of the Danube River and Its Tributaries. In: M. Brilly*,* ed. *Hydrological Processes of the Danube River Basin - Perspectives from the Danubian Countries*, Springer, 175-226. ISBN 978-90-481-3422-9. doi: 10.1007/978-90-481-3423-6_6. ***9.*** Prohaska ,S., Ilić, A., Bartoš, Divac, V. 2010. *Tehničko rešenje: Nova metoda za definisanje višestruke koincidencije poplavnih talasa na složenim rečnim sistemima*. Beograd: Privredna komora Beograda. ***10.*** Yevjevich, V., 1972a. *Probability and Statistics in Hydrology.* Fort Collins,Colo. U.S.A: Water Resources Publications. ***11.*** Yevjevich, V., 1972b. *Stochastic Processes in Hydrology.* Fort Collins,Colo. U.S.A: Water Resources Publications.

Расчетные расходы воды для зашиты от наводнений в месте слияния Дуная и Дравы

Стеван Прохаска, Александра Илич, Владислава Бартош Дивац

В статье представлены теоретические основы для определения совпадений (одновременных) паводковых расходов воды в зоне сильного взаимного влияния между основной рекою (реципиентом) и притоком, в том числе математические основы и порядок определения линий той же самой вероятности появления и линий вероятности превышений двух случайных величин. В случае сложной речной системы, ограниченной двумя входными сечениями (реципиента и притоки) и одним выходом поперечного сечения (реципиента), соответствующие комбинации ежегодных максимальных расходов воды рек и соответствующие (синхронные) расходы воды определены в других входных / выходных сечениях, при условии, если не существует значительного влияния притока из промежуточного водосборного бассейна.

Результаты моделирования совпадений расходов воды паводков в секторе Дуная представлены от точки въезда в Сербию (гидрологический пост в Бездане) до контрольно-измерительной станции в Богоево, а также в нижнем течении реки Дравы - от контрольно-измерительной станции в Дони-Михоляц до ее устья. В работе численно и графически проиллюстрированы результатами расчетов.

Ключевые слова: *совпадение паводковых расходов воды, линии равных вероятностей появления, вероятностей превышения, расчетная схема паводковых расходов воды.*

Розрахункові витрати води для захисту від повеней в місці злиття Дунаю і Драви

Стеван Прохаска, Олександра Іліч, Владислава Бартош Дівац

У статті представлені теоретичні основи для визначення збігів (одночасних) паводкових витрат води в зоні сильного взаємовпливу між основною рікою (реципієнтом) і припливом, в тому числі математичні основи та порядок визначення ліній тієї ж самої ймовірності появи і ліній ймовірності перевищень двох випадкових величин. У разі складної річкової системи, обмеженої двома вхідними перетинами (реципієнта і притоки) і одним виходом поперечного перерізу (реципієнта), відповідні комбінації щорічних максимальних витрат води річок і відповідні (синхронні) витрати води визначені в інших вхідних / вихідних перетинах, за умови, якщо не існує значного впливу припливу з проміжного водозбірного басейну.

Результати моделювання збігів витрат води паводків в секторі Дунаю представлені від точки в'їзду до Сербії (гідрологічний пост в Бездане) до контрольно-вимірювальної станції в Богоево, а також в нижній течії річки Драви - від контрольно-вимірювальної станції в Доні-Міхоляц до її гирла. У роботі чисельно і графічно проілюстровані результатами розрахунків.

Ключові слова: *збіг паводкових витрат води, лінії рівних ймовірностей появи, ймовірностей перевищення, розрахункова схема паводкових витрат води.*

Flood protection design discharge at the confluence of the Danube and the Drava

Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Vladislava Bartoš Divac

The theoretical background for defining coinciding (concurrent) flood discharges in the zone of strong mutual influence between the recipient and a tributary is presented in the paper, including the mathematical basis and a procedure for defining lines of the same probability of occurrence and lines of probability exceedance of two random variables. In the case of a complex river system, bounded by two input cross-sections (of the recipient and the tributary) and one output cross-section (of the recipient), relevant combinations of annual maximum river discharges and corresponding (synchronous) discharges are defined at other input/output cross-sections, if there is no significant influence of inflow from the intermediate catchment.

The results of the simulation of coinciding flood discharges for the sector of the Danube from the point of entry into Serbia (gauging station at Bezdan) to the gauging station at Bogojevo are presented, including the lower course of the Drava – from the gauging station at Donji Miholjac to its mouth. The paper is numerically and graphically illustrated with calculation results.

Keywords: *coinciding flood discharges, lines of equal probabilities of occurrence, exceedance probabilities, design flood discharges.*

Надійшла до редколегії 07.10.2016

УДК 551.166

Гопцій М.В.
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

УЗАГАЛЬНЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СХИЛОВОГО ПРИПЛИВУ ПАВОДКОВОГО СТОКУ ТЕПЛОГО ПЕРІОДУ НА РІЧКАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Ключові слова: *тривалість схилового припливу, дощові паводки, просторові узагальнення, паводковий стік*

Вступ. Тривалість схилового припливу, як й інші характеристики схилового стоку, в періоди формування дощових паводків і весняних водопіль є одними з провідних параметрів у розрахункових схемах максимального стоку і входять до їх структури у явному або прихованому вигляді.

Виходячи з теорії руслових ізохрон, максимальний модуль схилового припливу безпосередньо залежить від трьох складових схилових гідрографів (шару стоку, тривалості припливу і коефіцієнта його часової нерівномірності), тобто [1].

$$q'_m = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}Y_m, \qquad \textbf{(1)}$$

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу; $(n+1)/n$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу; T_0 - тривалість схилового припливу; Y_m - шар схилового стоку.

Матеріали та об'єкт дослідження. Для досліджень та аналізу дощового стоку на річках Українських Карпат використані багаторічні часові ряди по шарах та максимальних витратах води дощових паводків теплого періоду 93 гідрометеорологічних станцій та постів (по 2010 рік, включно). Періоди спостережень більші ніж 15 років і площах водозборів від 18,1 км^2 (р. Кам'янка – с. Дора) до 9140 км^2 (р. Тиса – смт Вилок). Найбільш тривалий ряд становить 99 років (р. Прут - м. Чернівці), найменший - 16 років (р. Ріка - с. Нижній Бистрий).

У відповідності з рекомендаціями нормативного документу СНиП 2.01.14-83 [2], статистична обробка максимальних витрат води та шарів стоку проводилась двома методами - моментів та найбільшої правдоподібності. Їх аналіз показав, що за обома методами одержані практично однакові значення коефіцієнтів варіації. Точність вхідних даних по максимальному стоку дощових паводків 1%-ї ймовірності щорічного перевищення на річках Українських Карпат оцінюється на рівні 15,8% [3].

Як вже зазначалося вище, для розробки методики розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Українських Карпат була обрана структура операторного типу [1, 4]. Вона усуває деякі недоліки, що виникають при використанні нормативного документу СНиП 2.01.14-83.

Реалізація (1) передбачає визначення усіх складових, але у цій статті розглядається лише розрахункова тривалість схилового припливу T_0 до руслової мережі.

Науково-методичні рекомендації щодо визначення розрахункової тривалості схилового припливу води до руслової мережі. Відсутність спостережень за схиловим припливом є причиною того, що такий важливий чинник трансформації атмосферних опадів на схилах, як тривалість припливу, досить часто враховується у формулах максимального стоку опосередковано, тобто входить у ті чи інші розрахункові комплекси.

Обчислювальна процедура встановлення тривалості схилового припливу у структурі формул, заснованих на теорії руслових ізохрон, є більш складною у порівнянні із найбільш простими варіантами, які можуть бути реалізованими в структурах геометричних моделей. Тому відносно T_0 можна скористатись рівнянням [1]:

- при $t_p / T_0 < 1{,}0$

$$T_0 = \left(\frac{Y_m \varepsilon_F}{n q_m} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left[(n+1) T_0^n - \frac{m_1 + 1}{n + m_1 + 1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}, \qquad \textbf{(2)}$$

- при $t_p / T_0 \geq 1{,}0$

$$T_0 = \frac{m_1 + n + 1}{n+1} \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} \frac{m_1 + n + 1}{(n+1)} t_p^{m_1} \Bigg)^{\frac{1}{m_1}}. \qquad \textbf{(3)}$$

Визначення T_0 в структурах (2) і (3) ускладняється тим, що в кожній з них, крім T_0, невідомим залишається ще й коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F. У свою чергу наявні рівняння не утворюють системи. Тому кожне з рівнянь необхідно розглядати в два етапи (з накладанням обмежень на параметр ε_F), приймаючи на першому етапі ε_F=1,0. Слід також зауважити, що за таких умов на першому етапі алгебраїчним шляхом буде вирішуватись лише рівняння (3). Щодо рівняння (2), а саме з нього розпочинається процедура визначення T_0, то воно трансцендентного типу і для свого вирішення потребує залучення обчислювальних методів. Досить ефективним, на наш погляд, може бути застосування методу простої однокрокової ітерації. Рівняння (2) має два дійсних корні, причому фізично задовольняючим вирішенню поставлених задач, служить верхній з них. Ось чому пропонується нульове наближення T_0 завжди розпочинати з деякого числа, більшого за тривалість руслового добігання t_p. Точність, з якою відбувається ітерація задається дослідником. Послідовність обчислювальних процедур відбувається автоматично. Задане завідомо більше, ніж t_p, початкове наближення використовується для здійснення пошуку кореня T_0 у рівнянні (2). На кожному кроці відбувається порівняння обчислень T_0 з тривалістю руслового добігання t_p. Якщо на якомусь кроці $t_p > T_0$, а задана точність не досягається, то пошук тривалості T_0 буде відбуватися у структурі рівняння (3), але вже алгебраїчним шляхом [1].

Після вирішення задачі встановлення T_0 на першому етапі подальшим є побудування залежності T_0 від розміру водозборів. За її допомогою визначається середня для регіону величина $T_0 = T'_0$, як відрізок на осі ординат залежності $T_0 = f \lg(F+1)$ при F=0.

Оберненим шляхом встановлюються відповідні коефіцієнти русло-заплавного

зарегулювання ε_F. Їх узагальнення, виконується графічним шляхом при використанні функції вигляду [1]

$$\varepsilon_F = e^{-b\lg(F+1)}. \quad \textbf{(4)}$$

Тепер, за наявністю залежності $\varepsilon_F = f(F)$, на другому етапі здійснюється остаточне вирішення рівнянь (2) і (3) відносно T_0. Необхідно зауважити, що на залежностях ε_F від $\lg(F+1)$ згладжуюча лінія проводиться таким чином, щоб вона виходила зі свого верхнього граничного значення ε_F=1,0 при $F \to 0$. У подальшому при збільшенні F параметр ε_F має убуваючий характер.

Закінчується обчислювальна комп'ютерна процедура фінальними значеннями T_0, які підлягають дослідженню на їх залежність від місцевих чинників (залісеності, заболоченості, закарстованості водозборів) та їх висотного положення.

На кафедрі гідрології суші ОДЕКУ запропонована обчислювальна програма «Caguar», за допомогою якої автоматизовано процедуру пошуку T_0 в структурі рівнянь (2) або (3).

При визначенні тривалості схилового припливу T_0 постає потреба й у визначенні коефіцієнта часової нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$. Він встановлюється за методом, який свого часу був запропонований Є.Д. Гопченком [5] і базується на даних мережі гідрологічних станцій і постів.

Для обґрунтування $(n+1)/n$ використовуються коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку $(m_1+1)/m_1$. Екстраполяція залежності $(m_1+1)/m_1 = f(F)$ на вісь ординат є шукане значення параметра $\left((m_1+1)/m_1\right)_{F=0} = (n+1)/n$.

Для гірських річок Українських Карпат $\dfrac{n+1}{n}$ = 9,19, а $n = 0{,}12$.

Науково-методичні рекомендації щодо просторового узагальнення характеристик схилового припливу річок. Просторові узагальнення можливі у формі районів або представлення T_0 за допомогою карт. Пропонується така послідовність здійснення просторових узагальнень T_0:

1. Спочатку фінальні величини тривалості схилового припливу T_0 перевіряються на нормальність за допомогою критерію Гауса [2]

$$\sigma_{T_0} \Big/ \rho_{T_0} = \sqrt{\pi/2} \approx 1{,}25, \quad \textbf{(5)}$$

де σ_{T_0} - середнє квадратичне відхилення T_0 від середнього територіального ($T_{0,сер}$); ρ_{T_0} - середнє арифметичне відхилення

Якщо вихідні матеріали задовольняють умові (5), то на цьому просторове узагальнення і закінчується при T_0, яке дорівнює середньому з N об'єктів.

Невідповідність даних критерію Гауса є підставою для подальших досліджень T_0, але вже в залежності від місцевих чинників.

2. Будується залежність T_0 від місцевих факторів. Необхідно при цьому мати на увазі, що методично по різному здійснюються узагальнення характеристик

паводкового і повеневого стоку.

Просторове узагальнення T_0 *дощових паводків*. Враховуючи локальний характер паводкоформуючих опадів, вихідні побудування залежностей $T_0 = f(\varphi°пн.ш.)$ не є ефективним науково-методичним прийомом. Тому, починаючи аналіз факторної обумовленості T_0, доцільно починати з висотного положення водозборів, а потім поступово дослідити вплив на схилову зарегульованість паводкового стоку залісеності і заболоченості. Приведені величини $T_0 = (T_0)_{пр}$ визначаються за рівнянням

$$(T_0)_{пр} = \frac{T_0}{k_H \cdot k_л \cdot k_б}. \qquad \textbf{(6)}$$

Осереднюються вони у межах розглядуваної території або районуються.

Таким чином, автором при обґрунтуванні T_0 пропонуються методичні підходи, які спираються на структури об'ємного типу і операторні моделі.

Методи та результати досліджень. Приступаючи до узагальнення T_0 по території, необхідно, як показано вище, проаналізувати вплив місцевих чинників на тривалість схилового припливу (залісеності і заболоченості) і географічного положення водозборів.

Дослідження місцевих факторів здійснювалось в основному за басейновим принципом, тому досліджувана територія поділена відповідно до фізико-географічного районування на Закарпаття та Передкарпаття.

Щоб з'ясувати ступінь впливу на тривалість схилового припливу дощових паводків кожного з місцевих чинників, необхідно спочатку виключити вплив висотного положення водозборів. З цією метою були побудовані залежності вигляду $T_0 = f(H_{ср})$, як показані на рис.1 (а,б).

З рис.1 видно, що тривалість схилового припливу дощових паводків на річках як *Закарпаття*, так і *Передкарпаття* загалом підкоряється висотній поясності, причому із збільшенням висоти водозборів T_0 збільшується. Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї висоти, наприклад, $H_{ср} = 500$ м, тобто

$$(T_0)_{H=500} = T_0 - a_H(H - 500), \qquad \textbf{(7)}$$

де $(T_0)_{H=500}$ – приведені до умовної висоти 500 м значення тривалості схилового припливу дощових паводків; a_H - кутовий коефіцієнт.

Тоді коефіцієнт впливу висотного положення водозборів на T_0 буде дорівнювати:

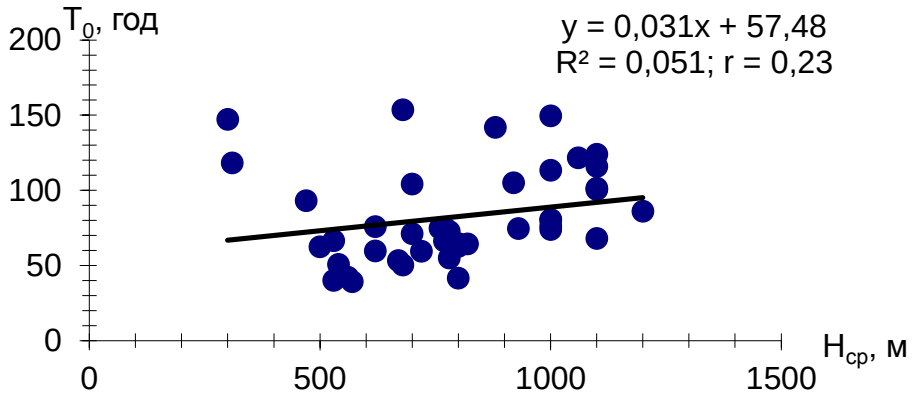
- для Закарпаття

$$k_H = 1 + 0{,}43 \cdot 10^{-3}(H_{ср} - 500), \qquad \textbf{(8)}$$

- для Передкарпаття

$$k_H = 1 + 0{,}41 \cdot 10^{-3}(H_{ср} - 500). \qquad \textbf{(9)}$$

а)



б)

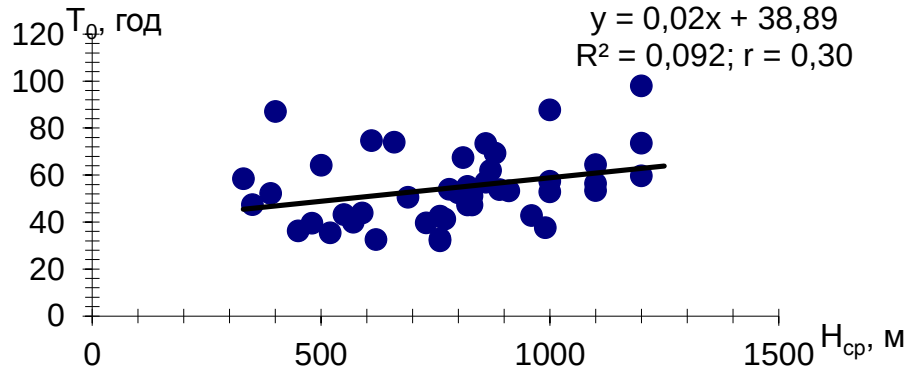


Рис. 1. **Залежність тривалості схилового припливу (год.) дощових паводків теплого періоду від висотного положення водозборів: а) Закарпаття, б) Передкарпаття**

Приведені значення тривалості схилового припливу $(T_0)_{H=500}$ можна досліджувати на можливий вплив на їх величину залісеності водозборів $f_л$ (рис.2 а,б).

На підставі залежності (див. рис. 2 а) для Закарпаття встановлено коефіцієнт впливу залісеності на збільшення тривалості схилового припливу дощових паводків $k_л$

$$k_л = 1 + a_{k_л}(f_л - 50), \qquad \textbf{(10)}$$

де $a_{k_л}$=0,0108.

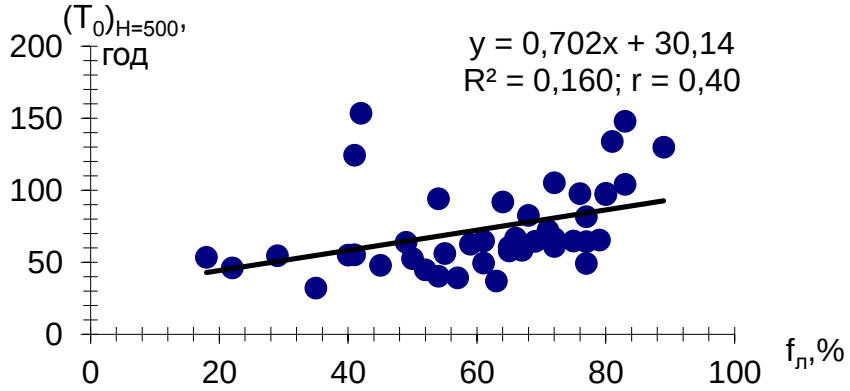
Для Передкарпаття вплив лісу незначний.

Розрахувавши за (10) коефіцієнти залісеності $k_л$, можна виключити їх вплив на T_0, якщо $(T_0)_{H=500}$ розділити на $k_л$, тобто

$$(T_0)_{H=500, f_л=50} = \frac{(T_0)_{H=500}}{k_л}. \qquad \textbf{(11)}$$

Заболоченість на гірських водозборах майже відсутня, тому не має сенсу виявляти її вплив.

а)



б)

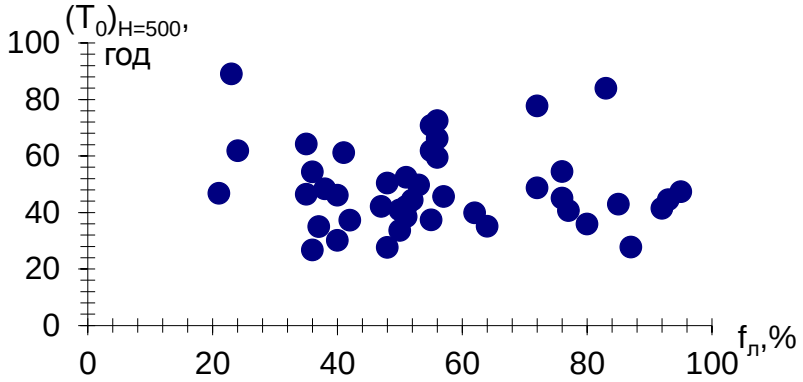


Рис. 2. **Залежність приведених значень тривалості схилового припливу дощових паводків $(T_0)_{H=500}$ (год.) від залісеності водозборів:а) Закарпаття; б) Передкарпаття**

Використовуючи рівняння (8-9) і (10), можна, виключивши з вихідних величин T_0 вплив висотного положення і залісеності, приступити до просторового узагальнення приведених (до $H_{ср} = 500$ м і $f_л = 50$ %) значень тривалості схилового припливу дощового стоку. Звичайно таке узагальнення досягається побудовою відповідних карт (рис.3).

На підставі даних, отриманих в результаті дослідження впливу основних чинників на тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі, значення T_0 $H_{ср} = 500$ м і $f_л = 50$ %були узагальнені по території шляхом їх картування. На рис.3 досліджувана характеристика відображена у вигляді ізоліній, які проведені (для більшої точності визначення величини T_0) з кроком 20 годин. В окремих місцях, де спостерігаються високі градієнти параметру, крок між ізолініями може становити 10 або 60 годин.

Як видно з рис.3, діапазон зміни T_0 по території досить великий – від 30 до 150 годин. Аналіз карти показує, що якоїсь загальної закономірності в зміні величини T_0 по території немає, проте можна виявити деякі особливості або закономірності в межах окремих районів. Так, треба відмітити райони карстових явищ, які відмічаються значним збільшенням тривалості схилового припливу.

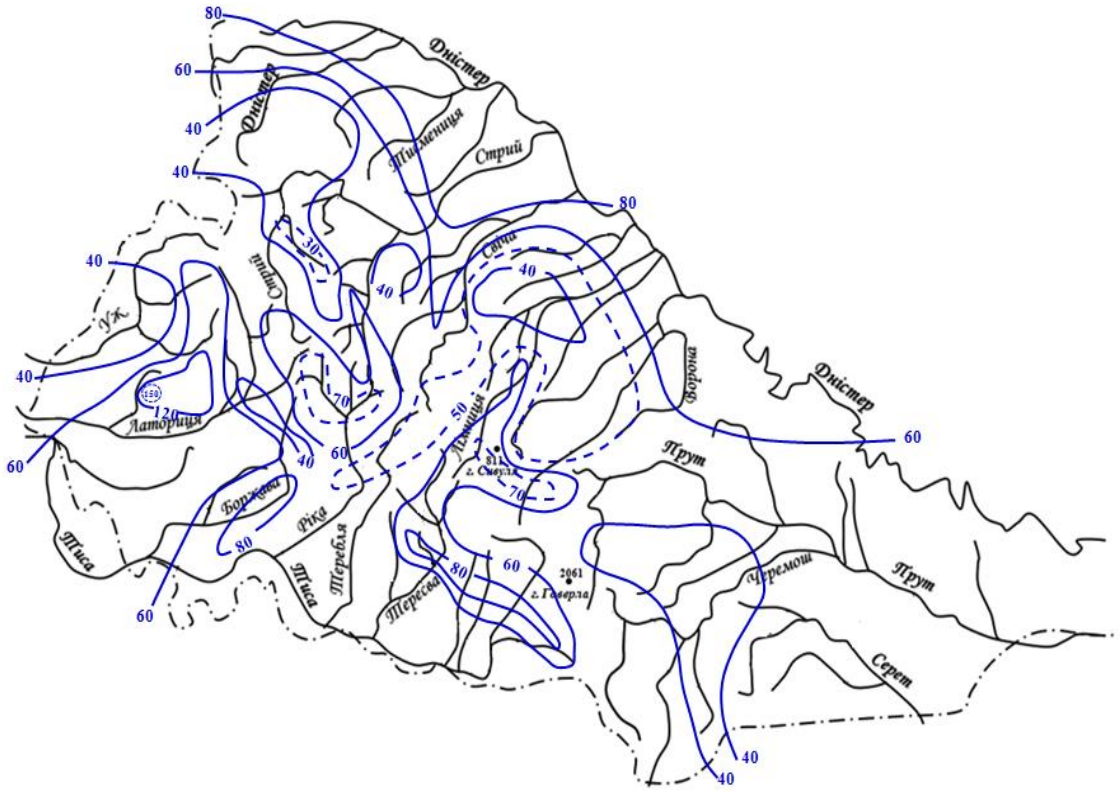


Рис. 3. **Розподіл тривалості припливу води зі схилів у руслову мережу дощових паводків теплого періоду (год.), приведеної до** $H_{ср} = 500$ **м і** $f_{л} = 50$ **%**

Висновки. Перевірочні розрахунки свідчать, що похибка карти знаходиться у межах $\pm 8{,}6\%$, що відповідає точності вихідних даних по стоку дощових паводків на гірських річках Українських Карпат.

При використанні карти в зняті величини необхідно внести відповідні поправки впливу висотного положення та залісеності водозборів.

Список літератури

1. *Гопченко Є.Д.* Сучасна нормативна база в галузі максимального стоку та шляхи її удосконалення / Є.Д. Гопченко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. - Вип. 255. – С.201 – 212. **2.** *Пособие* по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 447 с. **3.** *Гопцій М.В.* Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку річок Українських Карпат / М.В. Гопцій // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. – Переяслав-Хмельницький, 2016. – Вип. 11.– С.17-19. **4**. *Гопцій М.В.* Про недоліки структурної бази нормативного документу СНиП 2.01.14-83 / М.В. Гопцій, Є.Д. Гопченко //Вісник ОДЕКУ. - 2009. - Вип. 8. – С.209-213. **5**. Гопченко Е.Д. О расчете максимальных расходов весеннего половодья в бассейне р.Оки / Е.Д. Гопченко, Т.А Симонова // Водные ресурсы. - №6. – С. 54-61.

Узагальнення тривалості схилового припливу паводкового стоку теплого періоду на річках Українських Карпат

Гопцій М.В.

На базі сучасної вихідної інформації по максимальному стоку гірського регіону виконано просторового узагальнення розрахункової тривалості схилового припливу дощового стоку до руслової мережі на річках Українських Карпат. Обчислювальна процедура встановлення

тривалості схилового припливу заснована на теорії руслових ізохрон, яка дозволяє ураховувати увесь діапазон площ водозборів та вплив місцевих чинників на розрахункові характеристики схилового стоку.

Ключові слова: *тривалість схилового припливу, дощові паводки, просторові узагальнення, паводковий стік.*

Обобщение продолжительности склонного притока паводкового стока теплого периода на реках Украинских Карпат

Гопций М.В.

На базе современной исходной информации по максимальному стока горного региона выполнено пространственное обобщение расчетной продолжительности склонного притока дождевого стока в русловою сети на реках Украинских Карпат. Вычислительная процедура установления продолжительности склонного притока основана на теории русловых изохрон, которая позволяет учитывать весь диапазон площадей водосборов и влияние местных факторов на расчетные характеристики склонного стока.

Ключевые слова: *продолжительность склонного притока, дождевые паводки, пространственные обобщения, паводковый сток.*

A generalization of the length of the inclined tributary flood flow of the warm period on the rivers of the Ukrainian Carpathians

Goptsiy M.V.

The duration of the slope inflow are among the leading of parameters in the calculation formulas of the maximum modification of flow which are part of the structure in an explicit or latent form, as well as other characteristics of the prechannel flow during the formation of rainfall floods and spring floods.

For the development, methodology for calculating of the characteristics the maximum runoff of rainfall floods of the Ukrainian Carpathians Rivers had been selected operator type structure [3, 4], which eliminates some of the disadvantages arising from the use of normative document of SNIP 2.01.14-83.

Computational procedure for establishing the duration of the slope inflow in the structure of formulas had been based on the theory of the isochronous channel, is more complex in comparison with the most simple variant that can be implemented in the structures of geometric models.

Determination T_0 of the structures (2) and (3) it has been complicated by the fact that in each of them T_0, except coefficient of the channel-floodplain regulation also has an unknown ε_F. In turn, the existing equation do not form systems. Therefore, each of the equations must be considered in two stages (overlapping restriction on parameter ε_F), assuming the first stage $\varepsilon_F = 1.0$. It should also be noted that under these conditions in the first step algebraic way will only be solved equation (3). According to equation (2), from which was begin of the procedure definition it is T_0 a transcendent type and for their solution requires the use of computational methods. Enough effective, in our opinion, could be the use of a methods simple one-step iteration.

Ends computer computing procedure is final values, which are to be inspected for their dependence on local factors (forest coverage, wetland, karst catchments) and their height position.

Based on the data derived from the study of the influence of major factors on the duration of the flow of water from the slopes to the channel network, the values have been compiled by T_0 them on the territory of the mapping. Figure 3 of the characteristic has been reflected in the form of isolines that are conducted (for greater accuracy in determining the value T_0) in steps 20 hours. In some places where there are high gradients of the parameter, the step between isoline may be 10 or 60 hours.

As seen from Figure 3, the range of the duration the flow of water from the slopes in the channel network of rainfall floods the warm period, shown in $H_{cp} = 500$ & $f_л = 50\,\%$, and the territory is large enough - from 30 to 150 hours. Analysis of the maps shows that some general patterns in change the value the territory T_0 is not, however, it was possible to identify some of the features or regularities within separate regions. Yes, it should be noted areas of karst phenomena, which had been marked a significant increase in the duration the slope inflow.

Keywords: *length inclined inflow, rainfall events, spatial generalization, and flood flows.*

Надійшла до редколегії 27.09.2016

УДК 556.012

Гребінь В.В., Мудра К.В.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ РІЧОК БАСЕЙНУ ДНІСТРА (РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ)

Ключові слова: *зміни клімату, гідрологічний режим, Дністер, дослідження*

Вступна частина. Дністер – одна з великих річок України та найбільша річка Молдови. Загальна довжина річки становить 1352 км (за іншими даними – 1362 км), в межах України - 912 км (925 км) [6,9]. Водозбірна площа Дністра становить 72100 км^2. Довжина басейну – близько 700 км, середня ширина - близько 100 км. Басейн річки розташовано у межах трьох країн: Польщі, України та Молдови. У Польщі розташована порівняно невелика (232 км^2) північно-західна частина басейну – верхів'я двох лівих карпатських приток Дністра – Стривігору (Стрв'яжу) та Мшанки. Близько 52700 км^2 (73,2%) становить українська частина басейну. Вона охоплює значну частину територій семи областей України (Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька, Тернопільська, Хмельницька, Вінницька та Одеська). На Молдову припадає 19100 км^2 площі басейну Дністра (26,5%), але в межах Молдови басейн Дністра займає 59% території країни (19 районів та Придністровський регіон повністю). В басейні мешкає близько семи мільйонів осіб, з них понад п'ять мільйонів – в межах України. Поза межами басейну дністровську воду споживають ще близько трьох мільйонів осіб, включаючи мешканців Чернівців та Одеси [2].

Територія басейну Дністра є однією з найбільш паводконебезпечних в Європі. Впродовж року на Дністрі та його притоках проходить, в середньому, 3–8 паводків різної висоти. При цьому максимальні витрати дощових паводків 1– 5% ймовірності перевищення більші за витрати снігових та сніго-дощових паводків відповідних ймовірностей в 2–3 рази. В переважній більшості випадків (67%) найвищі річні витрати води на річках басейну зумовлені дощовими опадами [7].

Враховуючи особливості розподілу території між країнами басейну переважна частина проблем Дністра має транскордонний характер і може бути успішно вирішена з використанням механізмів транскордонного співробітництва. В рамках адаптації до існуючих та майбутніх змін клімату на басейновому рівні найбільш важливими виявляються проблеми, пов'язані зі змінами водного режиму річки. Як показують попередні дослідження [8], подальші кліматичні зміни на території басейну Дністра ймовірно призведуть до зростання інтенсивності та нерівномірності випадіння опадів (особливо сильних дощів) в межах басейну, що викличе активізацію паводкової активності.

Виклад основного матеріалу. Дністер з давніх часів використовувався як транспортна артерія для сполучення Галичини з Молдовою та Причорномор'ям. Саме потреби судноплавства обумовили проведення перших гідрографічних досліджень на Дністрі та складання його гідрографічної карти (друга половина XVIII сторіччя), а також початок (у середині XIX сторіччя) регулярних спостережень за рівнями води [7]. Наприкінці XIX сторіччя розпочинаються регулярні спостереження за стоком Дністра та його приток. Становлення і розвиток гідрологічних досліджень в басейні Дністра досить детально проаналізовано в працях Н.В.Приймаченко [7], В.К.Хільчевського та ін. [11]. В останній монографії значна увага приділена історії вивчення якісного складу поверхневих вод басейну. Отже, зупинимося детальніше

на тих роботах, де аналізуються зміни клімату в межах басейну та їх наслідки для водного режиму річок.

Однією з перших слід назвати статтю В.Гребеня [1], присвячену сучасним змінам внутрішньорічного розподілу стоку води та завислих наносів лівобережних приток Дністра та опубліковану в 2005 році. Автор зазначає, що зміни складових водно-теплового балансу, що є наслідком кліматичних змін на території басейну, обумовили вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку води та наносів подільських приток Дністра. Це проявляється у зменшенні частки стоку весняного сезону (одночасно із зменшенням максимальних витрат весняного водопілля) при збільшенні частки стоку інших сезонів року, що супроводжується зростанням величин мінімального стоку.

Поштовхом до активізації досліджень змін клімату в межах басейну Дністра та їх впливу на водний режим річки стало проходження катастрофічного дощового паводку 2008 р.

В травні 2010 р. в рамках міжнародного проекту «Транскордонне співробітництво та стійке управління в басейні р. Дністер: фаза III – реалізація Програми дій» (скорочено – «Дністер - III») розпочався пілотний проект «Зниження уразливості до екстремальних паводків та змін клімату в басейні Дністра», що виконувався впродовж 2010–2014 рр. При виконанні завдань проекту спеціалістами Українського гідрометеорологічного інституту (С.Краковська та В.Балабух) було здійснено аналіз змін клімату в басейні Дністра за період 1991-2010 рр. по відношенню до періоду 1961-1990 рр. (періоду так званої «кліматичної норми») та зроблено прогноз таких змін на 2021-2050 рр. на основі проекцій регіональних кліматичних моделей. В якості базового періоду для верифікації модельних розрахунків та оцінки можливих кліматичних змін в басейні обрано період 1971-2000 рр. [8].

За даними вчених середня річна температура в межах басейну впродовж 1991-2010 рр. зросла на 0,7–0,8ºС по відношенню до кліматичної норми. Найбільші зміни термічного режиму властиві зимовому та літньому сезонам року. Зростання середньої річної та середніх сезонних температур повітря супроводжується зростанням мінімальних та, особливо максимальних температур. Якщо річна сума опадів в межах басейну за останні двадцять років практично не змінилася (+1,2%), то змінився їх внутрішньорічний розподіл. При суттєвому (на 20–25%) зменшенні кількості опадів зимового періоду відбулося зростання їх кількості впродовж теплого періоду року, особливо в серпні - жовтні. Величина зростання досягає в окремі місяці 50% та найбільш проявляється в середній та нижній частинах басейну Дністра. Аналіз структури опадів показав, що в теплий період року близько 30% кількості опадів випадає у вигляді сильних та дуже сильних дощів: за один дощ може випасти місячна, і навіть більше, сума опадів. В той же час тривалість бездощових періодів зростає. Оскільки ці зміни відбуваються на фоні зростання температури повітря, то призводять до збільшення посушливості в регіоні. Найбільш яскраво це проявляється у середній та нижній течії Дністра.

Проекції змін клімату в басейні Дністра на період 2021–2050 рр. по відношенню до періоду 1971-2000 рр. показали, що відбудеться подальше зростання середньої річної та середніх місячних температур повітря. Величина зростання середньої річної температури повітря досягне 1,4ºС відносно базового періоду. Найбільше зростання температури повітря очікується у січні – лютому та серпні – жовтні. Максимальне потепління очікується в нижній частині басейну.

Для кількості атмосферних опадів зміни, що очікуються, є досить неоднорідними в часі та просторі. Зменшення місячних сум опадів прогнозується у

лютому, липні, серпні та жовтні. Всі інші місяці будуть характеризуватися зростанням кількості опадів з максимумом у вересні – до 15%.

Отже, в цілому в басейні Дністра очікується більш м'яка та волога зима; весна буде майже без змін; більш жарке та посушливе літо; більш тепла та, в цілому, посушлива (крім вересня) осінь. Такі зміни кліматичних умов можуть призвести до зміни режиму живлення річок басейну (передусім до зменшення його снігової складової), зростання кількості та інтенсивності паводків, особливо в осінній період (в середній та нижній течії – також влітку). Для нижньої частини басейну очікується суттєве (до 24%) зменшення мінімальних витрат води в період літньо-осінньої межені [8].

Зазначений проект заклав основу для подальшої діяльності в басейні з метою адаптації до змін клімату. Матеріали досліджень та публікації проекту широко використовуються в даний час при виконанні наступного проекту «Зміни клімату та безпека в басейні Дністра», що розпочався в 2013 р. і триває в даний час.

Оцінка змін водних ресурсів Дністра на основі моделі «клімат-стік» з використанням сценаріїв глобального потепління здійснена у роботі Н.С. Лободи та В.П. Дорофєєвої [3]. Особливістю даного дослідження є врахування у розрахунках майбутніх змін водних ресурсів додаткового впливу водогосподарських чинників (забору води на комунально-побутові та промислові потреби, перекидання стоку, наявності штучних водойм, зрошування).

Результати, отримані авторами, свідчать про зменшення величини стоку Дністра на 22–26% при подвоєнні вмісту парникових газів в атмосфері Землі. Згідно з результатами, отриманими за нестаціонарною моделлю глобального потепління GFDL впродовж 2030–2040 рр. величина стоку Дністра зменшиться на 33 %, а впродовж 2070–2080 рр. – на 50%. З урахуванням сумарного антропогенного впливу ступінь зменшення стоку річки перевищить 40% вже впродовж 2030–2040 рр., а на притоках Дністра, розташованих у середній та нижній частинах басейну ступінь зменшення стоку досягне руйнівної межі (понад 50 %). До 2080 року руйнівної межі досягне зменшення стоку в межах всього басейну. Аналіз сучасних та можливих майбутніх змін льодового режиму річки Дністер в умовах кліматичних перетворень здійснено в роботі Н.С. Лободи та А.М.Сіренко [4].

Дослідження кліматичних змін в басейні Дністра та їх впливу на гідрологічний режим річок басейну проводяться і на території Молдови. Результати останніх досліджень знайшли своє відображення у колективній монографії Р. Коробова, І.Тромбицького та ін. [2]. Авторами надано досить детальну характеристику сучасного (за період 1981–2010 рр.) клімату молдовської частини басейну Дністра. Відзначено зростання за цей період середньої річної температури повітря в межах зазначеної території на 0,5–0,6 ºС за десятиріччя. Найбільше зростання відмічено для літнього сезону (0,9–1,0ºС за десятиріччя). Найменші темпи зростання відмічено для зими. На відміну від температури повітря, автори не відзначають статистично значимих змін в режимі випадіння атмосферних опадів. Оскільки зростання температури повітря не компенсується суттєвим збільшенням кількості опадів (на півдні та в центральній частині Молдови навпаки, простежується тенденція до їх зменшення в окремі сезони), то посилюється посушливість клімату в межах нижньої частини басейну Дністра.

Результати моделювання ймовірних змін клімату молдовської частини басейну, представлені авторами, включають проекції змін середньої місячної температури повітря та місячних сум опадів відносно базового періоду (1971-2000 рр.) для двох часових періодів (2021–2050 рр. та 2071–2100 рр.) та для можливих проекцій змін клімату, представлених у п'ятому звіті МГЕЗК (IPCC, 2013).

Аналіз проекцій змін середніх місячних температур повітря показує, що у випадку стабілізації радіаційного навантаження середньорічна температура повітря буде підвищуватися незначно: в межах 0,2 ºС до середини поточного сторіччя і на 0,3 ºС – до його завершення. За умов високого радіаційного навантаження вже до середини поточного сторіччя зростання середніх річних температур складе 1,6–1,7 ºС, а до 2100 р. зростання температури складе 4,4ºС. При проміжному рівні радіаційного навантаження зростання середньорічної температури повітря стає значущим лише в другій половині поточного сторіччя і досягне майже 2,0 ºС ближче до його закінчення.

На відміну від тих тенденцій, що спостерігаються в теперішній час, найбільше за абсолютною величиною зростання середньомісячної температури повітря слід очікувати в зимовий період, коли воно може становити (залежно від рівня радіаційного навантаження) від 0,5 до 2,0 ºС до середини сторіччя та від 1,0 до 5,5ºС – до його завершення. Достатньо значне, хоча і дещо менше зростання середніх температур очікується також і в літні місяці та може скласти близько 1,5–1,7ºС до 2050 р. та більше 4,5ºС до 2100 р.

Результати моделювання також включають проекції майбутніх змін кількості атмосферних опадів. Аналіз результатів моделювання свідчить, що тренд змін кількості опадів залежить від рівня радіаційного навантаження. Зокрема, до середини поточного сторіччя, при умові стабілізації концентрації викидів, річна кількість опадів в межах молдовської частини басейну Дністра має скоротитися на 5,3%, а впродовж другої половини сторіччя подальше скорочення практично припиниться, досягнувши лише 6,4%. За умов проміжної стабілізації, або при високому радіаційному навантаженні в середині сторіччя річна кількість опадів залишиться на рівні 1971–2000 рр., а до кінця сторіччя повинні дещо зрости (на 1,0–5,0%). Отже, можна очікувати, що впродовж поточного сторіччя значення річних кількостей опадів будуть коливатися в межах ± 5%.

В сезонному розрізі, найбільші зміни очікуються у весняно-літній період, досягаючи 20–30% відносно базових значень. При цьому опади, за будь-яким варіантом радіаційного навантаження, будуть зменшуватися влітку, але дещо зростати навесні, за виключенням другої половини сторіччя. Отже, очікується своєрідне зміщення опадів теплого періоду року на більш ранні терміни. Незначне зростання осінніх та зимових опадів не демонструє чітко виражених закономірностей. Принципових відмінностей в тенденціях змін кількості опадів в різних частинах молдовської частини басейну не виявлено [2].

Звичайно, наведені авторами цифри стосовно території басейну слід розглядати як орієнтовні. Тим не менше, вони дозволяють достатньо добре оцінити напрями і масштаби можливих змін в прикладних характеристиках клімату.

Зокрема, до середини поточного сторіччя, поряд із скороченням тривалості холодного періоду, може суттєво зменшитися кількість морозних днів та, відповідно, зросте тривалість без морозного періоду. До середини сторіччя очікується зниження загальної кількості опадів, що випадають у вигляді снігу, приблизно на чверть (при збільшенні кількості днів з сильними снігопадами). Зростання середньомісячних температур повітря в теплий період року при практично незмінній кількості опадів призведе до посилення посушливості клімату. Найбільш посушливим очікується кінець літа. Погіршення умов зволоження негативно вплине на стан екосистем басейну та на запаси його водних ресурсів.

Поруч із посухою, значний інтерес викликають випадки випадання сильних дощів. Впродовж останніх сорока років в басейні Дністра відзначається зростання

повторюваності інтенсивних опадів. Очікується, що така тенденція буде спостерігатися і надалі, що призведе до зростання кількості злив.

Авторами надано також оцінку уразливості молдовської частини басейну Дністра до паводків. Зазначається, що близько 40% заселеної площі країни відчуває небезпеку паводків. В середньому за 1992– 2005 рр. щорічно в країні спостерігалися 1-2 повені, середній щорічний збиток від яких становив близько 5 млн. доларів США. Найбільш катастрофічні з них, хоча і мали епізодичний характер, характеризувалися затопленням значної території та суттєвими матеріальними збитками. Відзначається також, що після будівництва Дубосарського та Дністровських (ГЕС-1 та ГЕС-2) водосховищ та створення в 60-70-х роках минулого сторіччя на річці захисної інфраструктури, повені на Дністрі є високими в тому випадку, коли «не спрацьовують» системи захисту або управління. Тому акцент в захисті від паводків на річках Молдови змістився на малі річки, де паводки, викликані зливовими літніми опадами, спостерігаються практично щорічно (хоча і відрізняються меншими масштабами наслідків) [2].

На малих внутрішніх водотоках повені, що обумовлені зливовими дощами в межах водозбору, зазвичай не є тривалими, однак вони важко прогнозуються і тому є більш небезпечними. До того ж, мережа моніторингових постів на малих річках є недостатньою, а інфраструктура протипаводкового захисту створена лише на найбільш важливих водотоках. При цьому вона з часом погіршується через недостатнє фінансування її експлуатації. На жаль, греблі на малих річках та штучних ставках та захисні протипаводкові вали знаходяться часто в такому технічному стані, що навіть їх наявність вже посилює загрозу повеней.

Отже, рівень захисту від повеней на малих річках Молдови залежить від технічного стану дамб, що потребують значних коштів на відновлення.

Детальний аналіз сучасного стану досліджень паводкового стоку на річках Молдови наведений в монографії О.М.Мельничука [5]. Автор відзначає, що в силу свого географічного розташування територія Молдови відноситься до зони активної зливової діяльності. Багаторічні дослідження показують, що в межах країни випадають рекордні для Центральної Європи зливові дощі, добова сума яких може досягати кількамісячної їх норми (150–200 мм). Зокрема, зливовий дощ, що випав 26 серпня 1994 року, охопив значну частину території Молдови та південний схід Румунії. Водозбори річок Лопушна та Калмацуй (ліві притоки Пруту) опинилися в епіцентрі зливового осередку. Радарні виміри показали, що за 5,5 годин 26 серпня випав рекордний для території Молдови шар опадів, що склав 240 – 250 мм та який перевищив попередній добовий максимум (218 мм), зафіксований Кишинівською метеорологічною станцією 10 червня 1948 р.

Автор аналізує також багаторічну динаміку визначних паводків в басейні Дністра за період інструментальних спостережень (з 80-х років XIX сторіччя) та наголошує на достатньо тісному зв’язку випадків проходження визначних паводків та фаз водності річки. Зокрема, в першу багатоводну фазу (1881-1897 рр.) спостерігався один випадок катастрофічного паводку (1893 р.); під час другої фази, тривалістю 30 років (1911-1941 рр.) спостерігалися вже три подібні випадки – 1913, 1927, 1941 рр.); протягом третьої фази, тривалістю 18 років (1964-1982 рр.) зафіксовано два подібні випадки (1969, 1980 рр.); протягом теперішньої четвертої, незавершеної фази, тривалістю 15 років, спостерігалося вже шість випадків катастрофічних паводків (1998, 2000, 2004, 2007, 2008, 2010 рр.). Якщо співставити частоту проходження таких паводків в період багатоводних фаз, то можна відзначити зростання повторюваності паводків останніми роками в 2–3 рази. Особливо загрозливими вони виявилися впродовж двох останніх фаз високої

водності, що пов'язують із глобальним потеплінням та особливостями атмосферної циркуляції в даний період.

На думку автора, виявлена закономірність взаємозв'язку циклічних коливань річкового стоку Дністра та хронології проходження паводків дозволяє дати оцінку появи нового періоду багатоводної фази в 2026–2045 рр., який буде супроводжуватися високою повторюваністю паводків.

До речі, такий взаємозв'язок для річок Українських Карпат значно раніше було встановлено у роботі Ю.О.Чорноморець та В.В.Гребеня [12]. Ними було досліджено частоту формування паводків з ймовірністю перевищення максимальної витрати менше 10% (дуже високі) та менше 50% (вищі за середні) відповідно до фаз водності річок. Повторюваність проходження дуже високих паводків (забезпеченістю менше 10%) під час багатоводної фази становить 1 раз в 7 років, а під час маловодної – лише 1 раз на 20 років. Іншим важливим висновком, зробленим авторами статті, стало визначення середньої тривалості фаз водності на річках Українських Карпат, яка становить 23 роки. Даний висновок дозволив авторам передбачити, що сучасна багатоводна фаза на річках Українських Карпат, що розпочалася в 1994 р. ймовірно триватиме до 2014–2016 рр. Якщо виходити із середньої ймовірності проходження дуже високих паводків під час багатоводної фази, то «протягом найближчих років слід чекати в регіоні проходження, як мінімум, ще одного паводку, аналогічного за своїми параметрами та наслідками до паводків 1998 та 2001 рр.». Зазначимо, що дану статтю було опубліковано в 2005 році, а вже через три роки наведене вище передбачення повністю справдилося (мається на увазі катастрофічний паводок на Прикарпатті в 2008 р.).

Висновки. Історія гідрологічного вивчення Дністра, як однієї з великих річок України та найбільшої річки Молдови, що має значне господарське навантаження, налічує понад сто п'ятдесят років. Становлення і розвиток гідрологічних досліджень в басейні Дністра досить детально проаналізовано в багатьох наукових працях. Значний акцент зроблено на вивченні умов формування, аналізі проходження та методах прогнозування паводків в басейні, що відноситься до найбільш паводконебезпечних в Європі.

Праці, де аналізуються зміни клімату в межах басейну Дністра та їх наслідки для водного режиму річок, почали з'являтися близько десяти років тому. Переважна більшість як українських, так і молдовських вчених, що займаються даним питанням, намагаються оцінити зміни водних ресурсів Дністра на основі моделей «клімат-стік» з використанням сценаріїв глобального потепління.

Список літератури

1. *Гребінь В.В.* Внутрішньорічний розподіл стоку води і наносів лівобережних приток Дністра та його сучасні зміни / *В.В. Гребінь* // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т. 7. – С. 133-142. **2.** *Коробов Р.* Уязвимость к изменению климата: молдавская часть басейна Днестра / *Р.Коробов, И.Тромбицкий, Г.Сыроедов, А.Андреев.* – Кишинэу: «Elan Poligraf», 2014. – 324 с. **3.** *Лобода Н.С.* Стан водних ресурсів р. Дністер за сценаріями глобального потепління // *Н.С.Лобода, В.П.Дорофєєва* // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 3 (24). – С. 36-44. **4.** *Лобода Н.С.* Використання методів багатовимірного статистичного аналізу в гідрологічних прогнозах льодових явищ (на прикладі річок Дністер та Тілігул) / *Н.С.Лобода, А.М.Сіренко* // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 3 (24). – С. 58-65. **5.** *Мельничук О.Н.* Паводки и наводнения на реках Молдовы. – Кишинэу: «Primex-Com», 2012. – 234 с. **6.** *Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б.* Водний фонд України: довідковий посібник. – 2-е вид., доп. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 320 с. **7.** *Приймаченко Н.В*. Становлення і розвиток гідрологічних досліджень у басейні р. Дністер / *Н.В.Приймаченко* // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т. 7. – С. 182-

189. **8.** Проект инициативы ENVSEC «Снижение уязвимости к экстремальным наводнениям и изменению климата в бассейне реки Днестр». Заключительный отчет. Задача 1. Анализ и прогнозирование климата в бассейне Днестра. Задача 2. Анализ воздействия изменения климата на водные ресурсы реки Днестр / С.Краковская, В.Балабух, Л.Горбачева, Ю.Набиванец. – К.: УкрГМИ, 2112. – 118 с. **9.** Сайт Дністровсько-Прутського басейнового управління водних ресурсів Держводагентства України [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://dpbuvr.gov.ua/ **10.** Стратегические направления адаптации к изменению климата в бассейне Днестра / Автор-составитель *Денисов Н.,* Проект «Изменение климата и безопасность в басейне Днестра». – ENVSEC-ЕЭК ООН-ОБСЕ, 2015. – 70 с. **11.** *Хільчевський В.К.* Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.*К.Хільчевський, О.М.Гончар, М.Р.Забокрицька та ін.*; за ред. В.К.Хільчевського та В.А.Сташука. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 256 с. **12.** *Чорноморець Ю.О.* Аналіз внутрішньорічного та багаторічного розподілу максимальних витрат води річок Українських Карпат / *Ю.О.Чорноморець, В.В.Гребінь* // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т. 7. – С. 196-207.

Вплив кліматичних змін на гідрологічний режим річок басейну Дністра (ретроспективний аналіз попередніх досліджень)

Гребінь В.В., Мудра К.В.

Розглянуто результати досліджень українських та молдовських вчених щодо впливу кліматичних змін на водні ресурси та гідрологічний режим річок басейну Дністра. Зроблено висновок про те, що більшість дослідників намагається оцінити зміни водних ресурсів Дністра на основі моделей «клімат-стік» з використанням сценаріїв глобального потепління.

Ключові слова: *зміни клімату, гідрологічний режим, Дністер, дослідження.*

Влияние климатических изменений на гидрологический режим рек бассейна Днестра (ретроспективный анализ предыдущих исследований)

Гребень В.В., Мудра К.В.

Рассмотрены результаты исследований украинских и молдавских ученых относительно влияния климатических изменений на водные ресурсы и гидрологический режим рек бассейна Днестра. Сделан вывод про то, что большинство исследователей стараются оценить изменения водных ресурсов Днестра на основе моделей «климат-сток» с использованием сценариев глобального потепления.

Ключевые слова: *изменения климата, гидрологический режим, Днестр, исследования.*

The impact of climatic changes on the hydrological regime of the rivers in the Dniester Basin (retrospective analysis of the previous researches)

Grebin' V., Mudra K.

Results of Ukrainian and Moldavian scientist's researches concerning the impact of climatic changes on water resources and the hydrological regime of the rivers in the Dniester basin are considered. It is noted that activation of climate changes researches in the basin is connected with passing of a catastrophic rain flood in 2008. Considerable work in this direction is carried out within a number of the international projects, in particular the project "Transboundary cooperation and sustainable management in the Dniester River basin: Phase III – Implementation of the Action Programme" (Dniester-III) which was carried out during 2009 - 2014. In carrying out the project tasks by Ukrainian Hydrometeorological Institute experts was made the analysis of climate changes in the Dniester River basin for the period 1991 – 2010 with respect to the period 1961 – 1990 (called "climate norm"), also was made the forecast of such changes on the 2021 - 2050 based on projections of regional climate models. The base period for verification of model calculations and assess the possible climate changes in the basin selected period 1971 - 2000.

Noted project laid the foundation for further actions in the basin for the purpose of adaptation to climate changes. Materials of researches and publications of the project are widely used at present in carrying out the following project "Climate Change and Security in the Dniester River Basin" which began in 2013. And is currently ongoing.

Researches of climatic changes in the Dniester River Basin and their impact on the hydrological regime of the rivers in the basin are conducted also in the territory of Moldova. Most of the Moldavian researchers also try to estimate changes of Dniester water resources based of the models "climate-flow" with use of global warming scenarios. It is noted that in recent years the focus in protection of floods on the

Moldavian rivers has shifted to the small rivers where the floods caused by summer heavy rains are observed almost annually (have lesser scale of effects).

In separate researches long-term dynamics of high floods in the Dniester basin for the period of equipment observations is analyzed (from 80th years of the XIX century) and the attention is focused on rather close interrelation between passing of high floods and phases of water content of the river.

***Keywords**: climate changes, hydrological regime, Dniester, researches.*

Надійшла до редколегії 30.09.2016

УДК 556.53.4

Лобода Н.С., Гриб О.М., Яров Я.С., Гриб К.О.
Одеський державний екологічний університет

ГІДРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ЯКІСТЬ ВОД ВОДОТОКІВ ТА ВОДОЙМ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ВОДОЗБОРУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ (БАЛКИ ГІЛЬДЕНДОРФСЬКА, КОРСУНЦІВСЬКА, ОЗЕРА ПЕРЕСИПУ)

Ключові слова: *гідрохімічні показники, якість води, штучні водойми малих водотоків, озера пересипу*

Постановка проблеми та її значення. Куяльницький лиман розташований в межах Одеської області та має унікальні за своїми характеристиками рекреаційні ресурси (ропа, грязі). Стік та якість вод водотоків і водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська із ставками, озера Пересипу) відіграють важливу роль у формуванні гідролого-гідрохімічного режиму нижньої частини лиману, де в сучасний період видобуваються ропа і грязі для лікувальних потреб клінічного санаторію імені Пирогова. У минулі два десятиріччя екологічний стан Куяльницького лиману значно погіршився внаслідок його всихання [1]. Періоди всихання лиману практично всіма вченими пов'язуються з маловодними (посушливими) кліматичними періодами. Причиною нинішнього всихання лиману є вплив глобальних змін клімату, які стали значущими з кінця 80-х років минулого сторіччя [2]. Учасниками конвенції ООН із захисту та використання транскордонних водотоків та озер, зв'язаних з Чорним морем, в 2011 році був зроблений прогноз, згідно з яким в найближчі 30 років на півдні і південному сході України середній річний стік води зменшиться на 30-50%, наполовину знизяться витрати води в зимовий період, збільшиться ризик посух [3]. Аналіз стану водойм Північно-Західного Причорномор'я показав, що такий прогноз не тільки виправдовується, а й вимагає термінових компенсаційних рішень [4]. Поліпшення гідроекологічного стану Куяльницького лиману передбачає комплекс заходів, серед яких чільне місце посідає регулярний моніторинг гідролого-гідрохімічного режиму і якості вод приток лиману, тому питання установлення якості води водних об'єктів в балках Гільдендорфська, Корсунцівська та озер Пересипу має велику науково-практичну значущість. Робота відповідає завданням "Комплексної програми охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки в Одеській області на 2014-2019 роки", затвердженої рішенням Одеської обласної ради № 1021-VI від 21 лютого 2014 р.

Аналіз останніх досліджень з цієї проблеми. В науковій літературі досить детально розглядаються питання водного і сольового режиму, гідрохімічних показників і бальнеологічних властивостей Куяльницького лиману [5,6] та річки Великий Куяльник [7], яка забезпечувала найбільший приплив прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману [8]. Через значний вплив водогосподарської діяльності стік цієї річки майже наполовину перехоплюється штучними водоймами і роль впливу інших водотоків, які впадають до лиману, зростає. Проте матеріали

по гідрохімічних спостереженнях на них та відповідні оцінки гідроекологічного стану відсутні. Окремі результати гідрохімічного моніторингу інституту морської біології НАН України Корсунцівських ставків, озер Пересипу (Лузанівських ставків) та струмка біля с. Красносілка представлені у роботі Ю.І. Богатової [9], де Корсунцівські та Лузанівські ставки розглядаються як антропогенні джерела стоку неочищених комунальних вод з надвисокими концентраціями азоту.

Метою даного дослідження є оцінка якості вод водотоків та розташованих на них штучних водойм, водний стік з яких потрапляє в південно-східну частину Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська, озера Пересипу) на основі даних натурних експедиційних гідрохімічних та гідроекологічних досліджень, виконаних науковцями ОДЕКУ.

Методика досліджень. Екологічна оцінка якості вод проводилась згідно вимог методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [10]. Ця методика дозволяє одержувати інформацію про воду як складову водної екосистеми, життєве середовище гідробіонтів і важливу частину природного середовища людини. За 11 окремими інгредієнтами (мінералізація, хлориди, сульфати, прозорість, pH, розчинений кисень, $БСК_5$, сполуки азоту і фосфору) була здійснена орієнтовна оцінка якості вод за середніми і найгіршими значеннями показників сольового стану і трофо-сапробіологічними показниками. На основі екологічних індексів (I_1-індекс забруднення компонентами сольового складу, I_2 - індекс трофо-сапробіологічних показників) обчислювалося значення екологічного (інтегрального) індексу якості води I_e.

Оцінка придатності води для потреб водокористування була виконана за методом Гідрохімічного інституту (ГХІ) [11]. Розглядались 13 гідрохімічних показників (pH, мінералізація, розчинений кисень, $БСК_5$, сполуки азоту і фосфору, кальцій, магній, натрій і калій, сульфати, хлориди) згідно рибогосподарських нормативів ГДК, виходячи з сучасного та перспективного напряму господарського використання досліджуваних водних об'єктів і особливостей хімічного складу води в них.

Метод ГХІ передбачає проведення трьохступеневої класифікації за ознаками повторюваності випадків забруднення, кратності перевищення нормативів, характеру забрудненості води окремими показниками. Якість вод оцінюється за різними класами забрудненості, що відповідно впливає на висновки щодо придатності води для певних цілей. За сукупністю показників встановлюється рівень забруднення води і *речовини ЛОЗ* (лімітуючи ознаки забруднення, тобто, гідрохімічні показники, які в найбільше забруднюють воду, роблячи її непридатною для певного виду водокористування).

Виклад основного матеріалу і обговорення отриманих результатів. Детальні гідрохімічні дослідження в балках Гільдендорфська, Корсунцівська, озер пересипу в 2012 р. проводилися на мережі гідрохімічних станцій (ГХС), розташування яких наведене в (рис. 1, табл. 1), та епізодично прдовжувалися у наступні роки.

В результаті досліджень в басейнах балок Корсунцівська і Гільдендорфська було встановлено, що гідрохімічні показники розташованих на них штучних водойм та їх динаміка досить схожі. Так, колір води у всіх водоймах установлений як жовто-коричневий, прозорість вод змінюється від 0,3 до 0,43 м (б. Корсунцівська) та від 0,2 до 0,35 м (б. Гільдендорфська). На усіх ГХС у воді не було виявлено сірководню. Органолептичні показники водойм визнані "відмінними" (запах і смак відсутні). Показник pH змінюється в межах 7,2-7,49 (б. Корсунцівська) і 8,28-8,94 (б.Гільдендорфська), що відповідає "лужній" реакції води. Мінералізація води в обох

балках зростає по течії і складає в б. Корсунцівська 947-2673 мг/дм^3, в б.Гільдендорфська - 1363-6785 мг/дм^3, загальна твердість води в б. Корсунцівська зростає з 10 до 23,5 мг-екв/дм^3, в б. Гільдендорфська - з 16,9 до 47,5 мг-екв/дм^3.

Рис. 1. **Схема розташування гідрохімічних станцій (ГХС) в досліджуваному районі**

Таблиця 1. **Перелік гідрохімічних станцій (ГХС) ОДЕКУ в бб. Гільдендорфська, Корсунцівська**

ГХС	Назва водотоку, умовне позначення та характеристика ШВ (штучних водойм)
басейн балки Гільдендорфська	
1Г	ШВ* Г1 в руслі балки, в межах с.Красносілка (південна частина)
2Г	ШВ Г3 в руслі балки, нижче вп. лівої притоки –б. без назви (II), в межах с. Красносілка
3Г	ШВ Г4 в руслі балки, північніше (вище) с. Красносілка
4Г	ШВ Г6(II) в руслі лівої притоки – б. без назви (II), північніше (вище) с. Красносілка
басейн балки Корсунцівська	
1К	ШВ Кор.1 в руслі гирлової частини балки, в межах с. Корсунці (західна частина)
2К	ШВ Кор.2 в руслі балки, в межах с. Корсунці, між мостом Об'їзної автодороги м. Одеса (на с. Красносілка) та ШВ Кор.1
3К	ШВ Кор.3 в руслі балки, в межах с. Корсунці, між мостом Об'їзної автодороги м. Одеса (на с. Красносілка) та ШВ Кор.4 і Кор.18(I) в місці впадіння правої притоки б. Корсунцівська – б. Ільмацька
4К	ШВ Кор.6 в руслі балки, в межах с. Корсунці, в 0,2 км південно-західніше повороту Об'їзної дороги м. Одеса на с. Красносілка

За іонним складом домінуючим катіоном є натрій, аніоном - сульфати (б. Корсунцівська), гідрокарбонати і хлориди (б. Гільдендорфська). Вміст розчиненого у воді кисню у ШВ в басейні б.Корсунцівська змінювався від 4,06 до 4,5 мгО/дм^3, в басейні б. Гільдендорфська - від 12,3 до 17,42 мгО/дм^3. Забрудненість води органічними речовинами за $БСК_5$ по басейну б.Корсунцівська варіює від 4,06 до 4,50 мгO_2/дм^3, по б.Гільдендорфська - від 6,67 до 9,57 мгO_2/дм^3.

Сполуки азоту і фосфору виявлені по всім ГХС у бб. Корсунцівська і Гільдендорфська, що свідчить про їх постійне забруднення. Вміст азоту амонійного в обох балках зростає вздовж течії у ШВ б.Корсунцівська з 0,711 до 4,76 мгN/дм^3, у ШВ б. Гільдендорфська - з 0,538 до 5,55 мгN/дм^3. Досить високим є вміст азоту нітритного, який у ШВ б. Корсунцівська змінюється від 0,061 до 0,599 мгN/дм^3, у ШВ б. Гільдендорфська від 0,079 до 0,804 мгN/дм^3. Вміст азоту нітратного зменшується вздовж течії по ШВ б. Корсунцівська від 1,047 до 0,078 мгN/дм^3, по ШВ басейну б.Гільдендорфська вміст нітратів зростає від 0,194 до 2,754 мгN/дм^3. Вміст фосфатів у басейні б. Корсунцівська у ШВ вздовж течії зменшується від 0,384 до 0,135 мгР/дм^3, а в б. Гільдендорфська - збільшується від 0,051 до 0,1 мгР/дм^3.

Таким чином, при вивченні гідрохімічних показників штучних водойм балок Корсунцівська і Гільдендорфська в басейні Куяльницького лиману було встановлено, що водні об’єкти, створені на цих балках забруднені і простежуються просторові закономірності зміни вмісту в них біогенних сполук. Найбільш забрудненими виявилися поверхневі води в балці Гільдендорфська в районі с. Красносілка. В цьому районі біля ШВ Г-1 в південній частині с.Красносілка (ГХС-1Г) виявлене величезне несанкціоноване звалище сміття і скид неочищених господарсько-побутових стічних вод від приватних будинків просто в балку.

Водойми (озера) пересипу розташовані на південному узбережжі Куяльницького лиману. Вони існували за рахунок існування фільтраційного потоку з моря та випадання атмосферних опадів. До будівництва об’їзної автодороги з озер пересипу йшло природне розвантаження води у лиман у вигляді поверхневого стоку та фільтраційного (грунтового) потоку. Після будівництва об’їзної дороги м. Одеси, її насип став своєрідною дамбою для поверхневого та фільтраційного надходження води з пересипу, тому об’єм води в озерах збільшився. В даний час озера перетворені у чотири штучні водойми (Лузанівські ставки), що з’єднані між собою водопропускними спорудами (без регулювання), головним чином у вигляді труб. Водний режим ставків залежіть від централізованого скидання зливових та інших стічних вод. В кінцевому випадку стік води зі ставків через колектор потрапляє в лиман: у осінній та зимово-весняний період, коли рівень води в ставках пересипу найбільш високий, витрати скидних вод становлять в середньому 0,25 м^3/с, а в літній період – знижуються до 0,03-0,16 м^3/с. Тому річні об’єми скидних вод з ставків пересипу у сучасних умовах можуть становити 4,62-6,62 млн. м^3. За результатами батиметричної зйомки в 2012 р. штучних водойм пересипу встановлено, що площа водної поверхні озера П1 (рис.1) становила майже 0,377 млн. м^2, об’єм води досягав майже 0,393 млн. м^3, а середня глибина дорівнювала 1,04 м, площа водної поверхні озера 2 досягала 0,167 млн. м^2, об’єм води – 0,058 млн. м^3, а середня глибина – 0,34 м. Також виявлено перетік води впродовж періоду з квітня по вересень 2012 р. з озера 1 в озеро 2, а в періоди інтенсивних зливових дощів, як наприклад, 24.05.2012 р., в ставках пересипу спостерігалося швидке та значне підвищення рівня води, в деяких випадках до 0,5 м.

Температура води в озерах пересипу змінювалася від 21,4°С до 24,3°С, прозорість води – від 1,3 (озеро 2) до 0,60 м (озеро 1), колір води – від жовтого

(озеро 2) до коричневато-жовтого (озеро 1). Виявлено вуглеводний (озеро 1) і гнильний (озеро 2) запах води з інтенсивністю 2 бали, pH – від 7,98 (озеро 1) до 8,11 (озеро 2), значення окислювально-відновного потенціалу знаходилось у межах від мінус 51 мВ (озеро 2) до мінус 154 мВ (озеро 1). Мінералізація води озер в середньому становила 3533 мг/дм³ та після випадіння інтенсивних атмосферних опадів зменшувалась до 1600-1800 мг/дм^3. Вмісту у воді сірководню не встановлено. Вміст розчиненого кисню змінювався від 3,13 мгO_2/дм^3 (озеро 2) до 6,55 мгO_2/дм^3 (озеро 1), Б$СК_5$ – від 1,35 до 0,13 мгO_2/дм^3. На узбережжі озер виявлені звалища сміття, на ділянках прибережних смуг акваторії водойм знайдена нафтова плівка, локально на дні водойм - нафтопродукти (мазут).

За екологічною класифікацією води б. Гільдендорфська і Корсунцівська за критерієм мінералізації є солонуватими мезогалінними, за критеріями іонного складу характеризуються приналежністю до сульфатного класу вод, відрізняючись переважаючим катіоном. Води б. Гільдендорфська за середніми значеннями належать до групи натрію, тип II, за максимальними значеннями – до групи натрію, тип III. Води б. Корсунцівська як за середніми, так і за максимальними значеннями належать до групи натрію, тип II.

За критеріями іонного складу води озер-ставків пересипу характеризуються приналежністю до сульфатного класу вод та відносяться до групи натрію, тип II.

Виконана екологічна оцінка якості води за відповідним категоріями (табл. 2) показала, що за інтегральним (екологічним) індексом за середніми значеннями показників екологічний стан балки Корсунцівська відповідає II класу (3 категорія), тобто за станом оцінюється як "добрий", за ступенем чистоти - "досить чисті", за трофністю - "мезоевтрофні", за сапробністю "β'-мезосапробні". Рівень забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку (передусім, біогенні сполуки, погіршений кисневий режим, високий вміст органічних речовин) в 2,0 - 4,4 рази переважає забруднення по сольовому блоку (вміст хлоридів, сульфатів, мінералізація). За найгіршими (екстремальними) значеннями показників за екологічною класифікацією водні екосистеми балки Корсунцівська відповідають III класу (4-5 категорія), тобто, за станом оцінюються як "задовільні - посередні", за ступенем чистоти - "слабо - помірно забруднені", за трофністю - ""евтрофні - евполітрофні", за сапробністю - "β" - α'-мезосапробні". Найбільшим є рівень забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку, але значно зростає також забрудненість речовинами сольового блоку.

Екологічний стан озер Пересипу за середніми і найгіршими значеннями показників за екологічною класифікацією оцінюється на рівні III класу (5 категорія) за станом як "посередні", за ступенем чистоти "помірно забруднені", за трофністю - "евполітрофні", за сапробністю - "α'-мезосапробні". Найбільшим є рівень забрудненості води компонентами сольового складу, який в 1,5 рази більший, ніж забруднення речовинами трофо-сапробіологічного блоку.

Екологічний стан водних екосистем в балці Гільдендорфська за середніми значеннями показників за екологічною класифікацією відповідає III класу (5 категорія), тобто, за станом "посередні", за ступенем чистоти "помірно забруднені", за трофністю - "евполітрофні", за сапробністю - "α'-мезосапробні". За найгіршими значеннями показників екологічний стан водойм в балці Гільдендорфська відповідає IV класу (6 категорія), тобто за станом оцінюється як "погані", за ступенем чистоти "брудні", за трофністю "політрофні", за сапробністю "α''-мезосапробні". Рівень забруднення речовинами сольового блоку є найбільшим і незначно перевищує забрудненість по трофо-сапробіологічному блоку.

В цілому екологічний стан штучних водойм південно-східної частини

Куяльницького лиману оцінюється як незадовільний (особливо – в балці Гільдендорфська). У всіх досліджуваних водних об’єктах якість води погіршується за рахунок високих концентрацій мінеральних і біогенних речовин, органічних сполук.

Таблиця 2. **Екологічна оцінка якості води в штучних озерах південно-східної частини Куяльницького лиману (згідно [4]) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)**

Показники	Блокові індекси		Інтегральний екологічний індекс					
					Екологічна класифікація			
	I_1	I_2	I_e	Клас (категорія)	за станом	за ступенем чистоти	Трофність	Сапробність
балка Корсунцівська								
середні	2,33	4,88	3,60	II (3)	добрі	досить чисті	мезоевтрофні	β'-мезосапробні
найгірші	4,33	5,63	4,98	III (4)	задовільні	слабко забруднені	евтрофні	β"-мезосапробні
балка Гільдендорфська								
середні	6,00	5,13	5,56	III (5)	посередні	помірно забруднені	евполітрофні	α'-мезосапробні
найгірші	6,33	5,75	6,04	IV (6)	погані	брудні	політрофні	α"-мезосапробні
озера-ставки Пересипу (озера П1 та П2)								
середні	6,33	4,00	5,17	III (5)	посередні	помірно забруднені	евполітрофні	α'-мезосапробні
найгірші	6,67	4,50	5,58	III (5)	посередні	помірно забруднені	евполітрофні	α'-мезосапробні

За рівнем трофності (кількості органіки і біогенних елементів на одиницю об'єму води, який визначає біорізноманіття вод) водні екосистеми досліджуваного району потенційно відносяться до середньо- і високопродуктивних, а за сапробністю (ступенем забруднення органічними речовинами) їх стан відповідає рівню "мезосапробні". Води ставків в балці Корсунцівська, яка перебуває в порівняно кращому екологічному стані, визнані за сапробністю є "β-мезосапробними". Водойми в балці Гільдендорфська і озера пересипу за всіма показниками відносяться до категорії "α-мезосапробні". Оцінюючи екологічний стан за окремими показниками можна відзначити високий вміст сульфатів у водах б. Гільдендорфська, озерах-ставках пересипу. Дефіцит вмісту розчиненого кисню на більшості ГХС спричинює утворення несприятливих анаеробних умов. Значне забруднення сполуками азоту, а саме, азоту нітритного та амонійного, що спостерігається в водах балок Гільдендорфська та Корсунцівська є свідоцтвом протікання зворотного процесу трансформації азотних сполук в умовах значного біогенного навантаження. Характеристика якості води бб. Гільдендорфська і Корсунцівська (табл. 3), зроблена за методикою ГХІ, свідчить про переважання IV класу якості води (розряд а), в)) та «дуже брудний» стан водойм в цих балках. Питомий комбінаторний індекс забруднення ПКІЗ змінювався від 5,2 (б. Гільдендорфська) до 6,8 балів (б.Корсунцівська). Установлено, що найбільш суттєво забруднюють воду азот нітритний і сульфати, переважає IV клас якості води (розряд б) та «дуже брудний» стан водойм. В озерах пересипу питомий

комбінаторний індекс забруднення ПКІЗ становив від 5,54 (озеро П2) до 5,77 балів (озеро П1), основними забруднювачами води є сульфати.

Таблиця 3. **Оцінка придатності вод штучних водойм південно-східної частини Куяльницького лиману для рибогосподарських потреб за методом ГХІ за даними ОДЕКУ (на 2012 р.)**

Штучні водойми (озера)	Речовини - ЛОЗ	КІЗ	ПКІЗ	Клас якості
б. Корсунцівська	SO_4^{2-}, NO_2^-	89,0	6,8	IV, в – «Дуже брудна»
б. Гільдендорфська	NO_2^-	67,0	5,2	IV, а – «Дуже брудна»
Озера пересипу				
Озеро 1	SO_4^{2-}	75	5,77	IV-б дуже брудна
Озеро 2	SO_4^{2-}	72	5,54	IV-б дуже брудна

Висновки. Результати визначення класу якості та забрудненості води окремими речовинами дозволяють зробити висновок, що за хімічним складом розглянуті водойми південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману не можуть використовуватись для рибогосподарських потреб без ризику для риб та кінцевого споживача – людини. Обмежений водообмін і накопичення забруднюючих речовин в умовах відсутності достатнього припливу води з водозбірного басейну та інтенсивного випаровування з водної поверхні водойм, потрапляння забруднених господарсько-побутових вод з приватного сектору, зі звалищ, надходження забрудненого поверхневого стоку призводять до накопичення у водах надлишкових концентрацій головних іонів, біогенних речовин, розвитку дефіциту (відсутності) розчиненого у воді кисню та, як наслідок, до значного біогенного навантаження, а отже до деградації окремих водотоків і усієї екосистеми Куяльницького лиману. Поліпшити ситуацію дозволить комплекс науково-обгрунтованих заходів щодо усунення впливу речовин ЛОЗ, поліпшення водообміну, суворого дотримання вимог водоохоронного законодавства.

Список літератури

1. *Степаненко С.Н.* Причины обмеления Куяльницкого лимана и пути его спасения. / С.М. Степаненко – Одесса: Экология, 2013. - 35 с. **2.** *Кліматичні* зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. - Одеса: Вид. "ТЕС", 2015. -520 с. **3.** *Оценка* состояния трансграничных вод в регионе ЕЭК ООН: оценка трансграничных рек, озер и подземных вод в Восточной и Северной Европе. VI. Изменение климата и его воздействия на водные ресурсы // Экономический и Социальный Совет ООН (2-4 мая, 2011, г. Женева).- 2011. **4.** *Водний* режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія / за ред. Н.С. Лободи та Є.Д. Гопченка. – Одеса: ТЕС, 2016. – 332 с. **5.** *Зайцев Ю.П.* Решение проблемы борьбы с опустыниванием на примере Куяльницкого лимана и других приморских водоемов Украины / Ю.П. Зайцев, Б.Г. Александров, В.А. Демченко, В.В. Адобовский, С.Е. Дятлов, Е.В. Соколов // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития» (18-20 ноября 2015 г.) . – Одесса: ТЭС, 2015. – С.146-150. **6.** *Эннан А.А.* Причины и последствия деградации Куяльницкого лимана (Северо-Западное Причерноморье, Украина) / А.А. Эннан, И.И. Шихалеев, Г.Н. Шихалеева, В.В. Адобовский, А.Н. Кирюшкина // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. – 2014. – Т.19. – Вып. 3 (51). – С. 60-69. **7.** *Актуальные* проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Є.Д. Гопченко. - Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с. **8.** *Гопченко Е.Д.* Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода. – К.: КНТ, 2005. – 188 с. **9.** *Богатова Ю.И.* Гидрохимический режим Куяльницкого лимана в современный период / Ю.И. Богатова // Вісник Одеського

державного екологічного університету. – 2016. – Вип. 20. – С. 61-68. **10.** *Романенко В.Д.* Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с. **11.** *Емельянова В.П.* Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. / В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, Т.Х. Колесникова Т.Х.– 1983. – Т. LXXXVIII. – С. 119-129.

Гідрохімічні показники та якість вод водотоків та водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська, озера пересипу)

Лобода Н.С., Гриб О.М., Яров Я.С., Гриб К.О.

Представлені результати експедиційних досліджень по встановленню якості вод водотоків та водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська та озера пересипу).Установлено, що екологічний стан і якість вод досліджуваних водних об'єктів є незадовільними через потрапляння скидних комунальних та фільтраційних підземних вод, змиву забруднюючих речовин з навколишніх сміттєзвалищ та об'їзної дороги.

Ключові слова: *гідрохімічні показники, якість води, штучні водойми малих водотоків, озера пересипу.*

Гидрохимические показатели и качество вод водотоков и водоемов юго-восточной части водосбора Куяльницкого лимана (балки Гильдендорфская, Корсунцовская, озера пересыпи)

Лобода Н.С., Гриб О.Н., Яров Я.С., Гриб Е.А.

Представлены результаты экспедиционных исследований по установлению качества вод водотоков и водоемов юго-восточной части водосбора Куяльницкого лимана (балки Гильдендорфская, Корсунцовская и озера пересыпи). Установлено, что экологическое состояние и качество воды исследуемых водных объектов является неудовлетворительным вследствие поступления сбросных коммунальных и фильтрационных подземных вод, смыва загрязняющих веществ из окружающих мусорных свалок и объездной дороги.

Ключевые слова: *гидрохимические показатели, качество воды, искусственные водоемы малых водотоков, озера пересыпи.*

Hydrochemical indicators and water quality of watercourses and water reservoirs in south-eastern part of Kuyalnik liman watershed (beams Gildendorfskaya, Korsuntsovskaya, rerash lakes)

Loboda N., Grib O., Yarov Y., Grib K.

Estuary Kuyalnik is located in the Odessa region and has valuable natural and health resources. Runoff and water quality in watercourses and reservoirs of south-eastern part of the estuary Kuyalnik play an important role in shaping the regime of this water body. Contemporary state of estuary Kuyalnik is characterized as poor. To improve the situation carried out a set of measures, including hydrochemical monitoring. In the scientific literature studied in detail issues of water and salt regime, hydrochemical indicators and therapeutic properties of estuary Kuyalnik and river Big Kuyalnik but hydrochemical regime and water quality of small tributaries of estuary were studied not enough.

Hydrochemical monitoring was conducted in 2012 by scientists OSEU. It was found that the ecological condition of artificial reservoirs is assessed as unsatisfactory. In all the studied water bodies of water quality deteriorates due to high concentrations of minerals and nutrients, organic compounds. Characteristics of water quality in water bodies by fisheries management criteria indicates the predominance of class IV water quality and "very dirty" status of water bodies. It was found that most significantly pollute the water nitrite nitrogen and sulfates.

The results of the class quality and pollution of water by individual agents make it possible to conclude that the chemical composition of the studied reservoirs from south-eastern part of the estuary Kuyalk cannot be used for fishery needs without any risk to fish and the end user - the person. The limited water exchange, accumulation of pollutants in the absence of sufficient water inflow from the catchment, intensive evaporation from the water surface waters, contamination of household water from the private sector, from landfills, receipt of contaminated surface runoff lead to the accumulation in the waters of excessive concentrations of major ions, nutrient deficiency of (lack of) oxygen dissolved in water and, as a consequence, a significant nutrient load, and consequently the degradation of the individual streams and the entire ecosystem of estuary Kuyalnik. To improve the situation will allow a complex science-based measures to address the impact of main pollutants, improving of water exchange, strict compliance with the requirements of the water protection legislation.

Keywords: *hydrochemical indicators, water quality, artificial ponds of small watercourses, rerash lakes.*

Надійшла до редколегії 21.09.2016

УДК 556.531.4 (282.243.7.043)

Хільчевський В.К.[1], Лета В.В.[2]
[1]- Київський національний університет імені Тараса Шевченка
[2]- Ужгородський національний університет

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ Р. ЧОРНА ТИСА

Ключові слова: *гідрологія, стік, гідрохімія, клас якості, антропогенне навантаження, мінералізація води*

Вступ. Екологічний стан навколишнього середовища визначається, значною мірою, станом водних ресурсів, адже вони є передумовою формування господарства та життєдіяльності в межах геотехсистеми. Річка Тиса забезпечує водою значну частину населення Закарпатської області, а в межах прикордонної ділянки – й населення Румунії. Проте дослідження варто починати з територій менших за масштабом впливу та використання, позаяк вони дають змогу визначити зміни в екологічному статусі поверхневих вод зі збільшенням народногосподарського значення вниз за течією. З огляду на це, річка Чорна Тиса, яка дає початок головній водній артерії області – Тисі, стає важливим об'єктом вивчення. Адже саме матеріали з якості води цієї річки (Верхів'я Тиси) можуть слугувати певним орієнтиром у виявленні референційних умов при дослідженні р. Тиса вниз за течією, а згодом і всього Дунаю [17].

Аналіз попередніх наукових досліджень. На річках басейну р. Тиса з кінця 1990-х та протягом 2000-х років достатньо інтенсивно виконувалися гідрологічні, гідрохімічні та гідробіологічні дослідження, серед яких особливо слід відзначити роботу за міжнародним проектом Європейського Союзу по створенню «Національного плану управління басейном р. Тиса» (2012 р.) [12] для досягнення цілей, задекларованих у ВРД ЄС [3]. У цьому управлінському документі на р. Тиса та її притоках виділено 34 поверхневі водні масиви (водні тіла), для яких було виконано оцінку гідроморфологічного, гідрохімічного та екологічного станів (статусів). В процесі роботи над планом управління басейном Тиси виходили публікації монографічного характеру по гідроморфологічним [13] та екологічним аспектам [1, 2].

В той же час, треба відзначити, що наукових публікацій з гідрохімії р. Тиса (а тим більше, Верхів'я Тиси) не так багато.

Перш за все, треба відзначити, що у фундаментальній праці Л.М. Горєва, В.І. Пелешенка, В.К. Хільчевського «Гідрохімія України» (1995 р.) міститься розділ, присв'ячений басейну Тиси, а також у додатках наведено середні багаторічні концентрації головних іонів, біогенних речовин та мікроелементів для створів Рахів та Вилок на Тисі, а також для деяких створів на річках Тересва, Теребля, Ріка, Студений, Боржава, Латориця - для різних сезонів (весняної повені, літньо-осінньої та зимової межені) [6]. Є.Д. Гопченко та І.В. Катинська досліджували емпіричні залежності між значеннями мінералізації води та витратами води р. Тиса (Рахів, Тячів, Хуст, Вилок, Чоп) [5]. Вміст важких металів у воді Тиси по транскордонних пунктах моніторингу Вилок і Чоп ґрунтовно вивчали П.М. Линник та М.П. Скоблей [9, 14]. Міщенком виконано загальне еколого-геохімічне дослідження (зйомка) компонентів довкілля на території басейну Тиси (Закарпаття), в тому числі з відбором проб поверхневих та грунтових вод [11]. О.Ю. Левчак, В.В. Лета та Е.Й. Осінський проаналізували гідрологічні умови формування гідрохімічного режиму

Верхньої Тиси [8].

Мета даного дослідження – виконання комплексної оцінки якості води річки Чорна Тиса за архівними матеріалами та даними власних досліджень, виконаних у 2016 р.

Методика досліджень. Комплексну оцінку якості води річки Чорна Тиса здійснено за допомогою аналізу даних режимних спостережень Басейнового управління водних ресурсів р. Тиса та особистих досліджень під час гідрохімічної зйомки 16.09. 2016 р.

Для гідрохімічної зйомки було обрано точку відбору проб, розташовану на 1 км вище гирла р. Чорна Тиса.

Відбір проб води проведено відповідно до чинних нормативних документів. Для зберігання та транспортування проб води використано чистий скляний посуд об'ємом 1,5 дм^3 [7]. Проби води не консервували, а направляли безпосередньо у лабораторію.

Хімічний аналіз річкових вод у пробах, відібраних 16.09.2016 р., було проведено у лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Басейнового управління водних ресурсів річки Тиса Держводагентства України.

Виклад основного матеріалу. Басейн річки Чорна Тиса розташований у південно-західній частині Українських Карпат і займає площу 567 км^2, що становить 30 % від площі Рахівського району.

Гідрологічна характеристика річок. Чорна Тиса бере початок на висоті 1242 м над рівнем моря (південно-західний схил гори Братківська), а це обумовлює наявність порогів та водоспадів, круте падіння русла річки. У верхів'ї долина річки має V-подібну форму з шириною від 50-80 м до 200-300 м – вниз за течією, схили річки часто збігаються зі схилами гір, заплава вузька, а на окремих ділянках відсутня. Русло шириною 10 м, швидкість течії від 1-1,5 м/с у межень до 4-4,5 м/с - під час паводків, середня глибина від 30 см до 1 м, береги висотою до 10 м круті та урвисті, похил – 19 м/км. При виході в Ясінянську улоговину долина Чорної Тиси стає трапецеподібною та розширюється, похил річки зменшується, швидкість течії уповільнюється [4, 12].

Живлення річки змішане, але переважно дощове, в зимово-весняний період – дощове і снігове, а в період межені – підземне. Густота річкової мережі сягає показника від 2,0 до 2,8 км/км^2, що є одним з найвищих в Україні. Відмінною особливістю внутрішньорічного розподілу стоку в басейні Верхньої Тиси є його зменшення за течією. Більша частка весняного стоку припадає на квітень (17%) і травень (16%), а в цілому на весну припадає 41% річного стоку. На літній сезон припадає 26% стоку, найбільший стік спостерігається в червні (11%), на осінній - 18 %, зимовий – 15%. Такий складний режим стоку разом з паводками, що спостерігаються протягом року, надає визначенню меж сезонів умовного характеру та ускладнює їхнє виділення [4, 12].

Гідрохімічна характеристика річок. Для того, що матеріали статті мали порівняльний характер за основу було взято матеріали режимних спостережень у басейні Чорної Тиси, а також матеріали лабораторних аналізів проб води, відібраних 16 вересня 2016 р.

Значення біохімічного споживання кисню ($БСК_5$), що характеризує ступінь забруднення природних вод нестійкими органічними речовинами, у воді Чорної Тиси вниз за течією збільшується, практично, в 1,5 рази. Вміст легкодоступних для гідробіонтів органічних сполук (характеризується перманганатною окиснюваністю - ПО) та сумарний вміст органічних речовин (характеризується БО – біхроматною окиснюваністю - БО) у річковій воді також зростають в 1,3 рази. Це є досить

небезпечною ознакою можливого поступового забруднення водотоку органічними речовинами, що зумовлено відсутністю систем очистки стічних вод в басейні Чорної Тиси (табл. 1).

Таблиця 1. **Значення pH, вміст кисню та значення $БСК_5$, ПО і БО як показників якості води р. Чорна Тиса по органічним речовинам, 2009 р. [15]**

Пункти моніторингу	pH	O_2, мг/дм^3	$БСК_5$, мгO_2/дм^3	ПО, мгО/дм^3	БО, мгО/дм^3
Вище с. Чорна Тиса	8,0	13,1	1,7	2,4	4,1
Нижче смт Ясіня	7,9	13,1	2,2	2,8	4,9
Гирло річки, с. Розтоки	8,1	12,9	2,5	3,0	5,1

Вміст біогенних речовин (сполуки азоту та фосфору) у воді р. Чорна Тиса відповідає значенню характерному для 1-го класу якості (відмінний) поверхневих вод за критеріями Міжнародної комісії із захисту річки Дунай та «Методики екологічної оцінки» [10].

Таблиця 2. **Вміст біогенних речовин (сполук азоту і фосфору) у воді р. Чорна Тиса, 2009 р. [15]**

Пункти моніторингу	$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_2^-$	$N\text{-}NO_3^-$	$P\text{-}PO_4^{3-}$	P(заг.)
Вище с. Чорна Тиса	0,06	0,006	0,51	0,03	0,05
Нижче смт Ясіня	0,08	0,007	0,58	0,04	0,06
Гирло річки, с. Розтоки	0,09	0,007	0,62	0,05	0,08

Зростання вмісту азоту амонійного (NH_4^+) у воді р. Чорна Тиса можна пояснити розкладанням органічних речовин, що містять азот. Джерелом їх надходження можуть бути господарсько-побутові стічні води населених пунктів, а також стічні води підприємства ВАТ «Хутро» (зараз не працює), яке розташовано у смт Ясіня. Концентрації азоту нітритного (NO_2^-) та нітратного (NO_3^-) є досить низькими, що обумовлено сповільненими бактеріальними процесами перетворення форм азоту за умов надлишку кисню.

Щодо вмісту фосфору та ортофосфатів (PO_4^{3-}) у воді р. Чорна Тиса, то їх середнє значення не перевищує 1-го класу оцінки якості (відмінно), однак внаслідок потрапляння до водотоку неочищених стічних вод населених пунктів, розташованих вздовж водотоку, їх концентрація поступово зростає з незначним сезонним коливанням.

Таблиця 3. **Вміст деяких важких металів у воді р. Чорна Тиса, 2009 р. [15]**

Пункти моніторингу	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni
Вище с. Чорна Тиса	54	11	3	4	0,4	3
Нижче смт Ясіня	52	12	4	5	0,5	3
Гирло річки, с. Розтоки	55	13	4	5	0,4	4

Після проведення аналітичних досліджень з використанням атомно-абсорбційного спектрофотометра ААС серії Contra AA300 було встановлено, що для води Чорної Тиси характерний 2-й клас якості (добре) за цинком та міддю та 1-й клас якості (відмінно) за загальним хромом, кадмієм та нікелем. Можливо, в результаті антропогенного чинника, вміст свинцю переходить з 1-го класу якості води в 2-й клас.

Для визначення специфічних умов щодо вмісту важких металів у воді Чорної Тиси необхідно розширити кількість пунктів моніторингу, врахувати всі можливі джерела надходжень забрудників, фактор природного геологічного походження (природні мінерали, підземні води) та антропогенне надходження. Тільки після узагальнення багаторічних даних можна робити остаточні висновки щодо екологічного статусу вод Чорної Тиси.

Таблиця 4. **Фізичні властивості та хімічний склад води р. Чорна Тиса, 2016 р.**

№ за/п	Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення показника	ГДК у рибогосподарських водоймах
1	Завислі речовини	мг/дм^3	5,2	< 15
2	pH	одиниці pH	8,0	6,5-8,5
3	Прозорість	см	30	30
4	Запах	бали	1	< 2
5	Кольоровість	градуси	5	< 20
6	Перманганатна окиснюваність (ПО)	мгО/дм^3	1,9	< 5,0
7	Амоній-іони	мг/дм^3	0,1	< 0,5
8	Нітрит-іони	мг/дм^3	0,04	< 0,08
9	Нітрат-іони	мг/дм^3	1,9	< 40,0
10	Фосфат-іони	мг/дм^3	0,05	-
11	Сульфат-іони	мг/дм^3	22,6	< 100,0
12	Хлорид-іони	мг/дм^3	4,9	< 300,0
13	Залізо загальне	мг/дм^3	0,1	< 0,05
14	Хімічне споживання кисню (ХСК)	мгО/дм^3	5,1	< 15,0
15	Біохімічне споживання кисню ($БСК_5$)	мгO_2/дм^3	1,8	< 3,0
16	Нафтопродукти (вуглеводні неполярні)	мг/дм^3	0,01	< 0,05
17	СПАР	мг/дм^3	< 0,01	< 0,2
18	Сухий залишок (мінералізація)	мг/дм^3	179,0	< 1000,0
19	Лужність	мг-екв/ дм^3	2,5	-
20	Жорсткість (загальна)	мг-екв/дм^3	2,7	< 7,0
21	Кальцій	мг/дм^3	40,1	180,0
22	Магній	мг/дм^3	8,5	50,0
23	Марганець	мг/дм^3	0,05	< 0,01
24	Мідь	мг/дм^3	0,005	0,004
25	Цинк	мг/дм^3	0,008	0,01
26	Хром	мг/дм^3	0,001	0,001
27	Свинець	мг/дм^3	0,005	0,1

Результати гідрохімічної зйомки, проведеної 16 вересня 2016 року, засвідчують відмінний екологічний стан поверхневих вод річки Чорна Тиса, за винятком перевищення ГДК рибогосподарських водойм за показниками заліза загального та марганцю, що при відсутності скидів промислових стічних вод пояснюється природним забрудненням, а саме вилуговуванням залізомарганцевих руд (див. табл. 4).

Хотілося б коротко зупинитися на показнику мінералізації річкових вод Тиси, як надзвичайно важливому показнику придатності води для водопостачання (табл. 5).

Таблиця 5. **Мінералізація води р. Чорна Тиса (літньо-осіння межень 2016 р.) у порівнянні з середньобагаторічною мінералізацією води р. Тиса за сезонами [6]**

Пункти моніторингу	Весняне водопілля	Літньо-осіння межень	Зимова межень
р. Чорна Тиса – 1 км вище гирла	-	179	-
р. Тиса – м. Рахів	187	201	223
р. Тиса – м. Вилок	199	251	236

Згідно класифікації природних вод за мінералізацією В.К. Хільчевського (2003 р.) [16] води поділяються на:

дуже прісні — менше 0,1 г/дм³;
помірно прісні — 0,1 — 0,6 г/дм³;
прісні з підвищеною мінералізацією — 0,6 — 1,0 г/дм³;
слабосолоні — 1,0 — 3,0 г/дм³;
середьосолоні — 3,0 −15,0 г/дм³;
солоні — 15,0 — 35,0 г/дм³;
сильносолоні −35 — 50 г/дм³;
розсоли — понад 50 г/дм³

Як видно з табл. 5, мінералізація води р. Чорна Тиса, зафіксована під час гідрохімічної зйомки 2016 р., становить 179 мг/дм^3. Нижче по Тисі мінералізація дещо підвищується (201-251мг/дм^3). Згідно вищеназваної класифікації вода Тиси належить до помірно прісної. Водні об'єкти з водою такої мінералізації є надзвичайно важливим і цінним сегментом водних ресурсів як високоякісні джерела водопостачання.

Висновки. В цілому, результати гідрохімічних досліджень р. Чорна Тиса засвідчують непоганий екологічний стан річки, за винятком незначного перевищення ГДК за марганцем та залізом станом на 16 вересня 2016 р. Річка Чорна Тиса є важливим індикативним басейном з позицій визначення референційних умов. А Тиса, в цілому, є надзвичайно важливим джерелом водопостачання населення і промислового сектора. Причому, цінність цього джерела буде лише зростати з часом. Тому на охорону вод річки мають бути спрямовані зусилля всіх країн басейну Тиси.

Список літератури

1. Афанасьєв С.О. Структура біотичних угрупувань та оцінка екологічного статусу річок басейну р. Тиси. – К.: СП «Інтертехнодрук», 2006. – 101с. **2.** Бойко Н., Балажі Ш., Коваль Г. та ін. Забруднювачі та їх впливи на екологічно вразливі екосистеми Верхнього Потисся / Н. Бойко, Ш Балажі, Г. Коваль. – Ужгород – Ніредьгаза, 2008. - 380 с. **3.** Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЕС. – Режим доступу – http://dbuwr.com.ua/docs/ Waterdirect.pdf. **4.** Водний фонд Закарпатської області. Поверхневі води: Довідник. – Ужгород: Закарпатський облводгосп Держводгоспу України , 2007. – 35 с. **5.** Гопченко Є.Д. Мінералізація води р. Тиса на ділянці м. Рахів – м. Чоп / Є.Д. Гопченко, І.В. Катинська // Вісник Одеського держ. Екологічного ун-ту. – 2012. – Вип. 13. – С. 158-164. Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/ Vodeu/2012_13/20%20Gopchenko% 20Katynska.pdf **6.** Горєв Л.М. Гідрохімія України /Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. – К.: Вища школа. – 1995. – 307 с. **7.** ДСТУ ISO 5667-6-2001 Частина 6. Настанови щодо відбирання проб води з річок та інших водотоків. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами. **8**. Левчак О.Ю. Гідроекологічна характеристика Верхньої Тиси (в межах Закарпатської області) [Електронний ресурс] / О.Ю. Левчак, В.В. Лета, Е.Й. Осінський - Ужгород 2013. – Режим доступу: http://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/885/1/. **9.** Линник П.М. Уміст арсену та його розподіл між розчинною й завислою формами у воді транскордонної ділянки річки Тиса / П.М. Линник, М.П. Скоблей // Наукові праці УкрНДГМІ.

– 2015. – Вип. 267. – С. 56-64. – Режим доступу: http://uhmi.org.ua/pub/np/267/Linnik_Skobley_257.pdf **10.** Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. / Романенко В.Д., Жулинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. – К.:СИМВОЛ-Т, 1998. – 48 с.**11.** Міщенко Л.В. Геоекологічний стан компонентів довкілля у басейні р. Тиса (Закарпаття) / Л.В. Міщенко // Екологічна безпека. – 2009. – 2/6. – С. 58-63. Режим доступу: http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2009_2(6)/58.PDF **12.** Національний план управління басейном р. Тиса . 2012. – Режим доступу – http://buvrtysa.gov.ua/download/National%20plan%203.0.pdf. **13.** Ободовський О.Г. Гідроморфологічна оцінка якості річок басейну Верхньої Тиси / Ободовський О. Г., Ярошевич О. Є. — К. : Інтертехнодрук, 2006. — 70 с. **14.** Скоблей М.П. Важкі метали у воді річки Тиси: вміст, форми знаходження та особливості міграції (за результатами моніторингових досліджень) [Електронний ресурс] / М.П. Скоблей, П.М. Линник //Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – 2014. – Т. 4(35). – С. 87-97. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ glghge_2014_4_12. **15.** Технічний звіт «Оцінка екологічного стану та контрольний моніторинг якості води в басейні Верхньої Тиси на ділянці українсько-румунського кордону відповідно до положень ВРД ЄС та вимог міжнародної комісії з охорони річки Дунай – Ужгород: БУВР р. Тиса, 2009. – 86 с. **16.** Хільчевський В.К. Основи гідрохімії / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр. – 2012. – 312 с. . **17.** Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика середньої та нижньої частини Дунаю / В.К. Хільчевський // Вісник Київського університету. Серія: Географія. – 1990. – Вип. 32. – С. 29-33.

Комплексна оцінка якості води р. Чорна Тиса

Хільчевський В.К., Лета В.В.

В статті описано актуальність дослідження Верхньої Тиси з акцентом на Чорну Тису. Проаналізовано попередні наявні гідрохімічні та гідроекологічні дані моніторингу вищевказаних об'єктів та доповнено базу даних особистими спостереженнями. Наведено гідрологічну характеристику річки Чорна Тиса. Розглянуто антропогенний вплив на басейн річки як фактор, що впливає на екологічний стан вод. Гідрохімічний аналіз поверхневих вод проведено на основі режимних спостережень та даних власної гідрохімічної зйомки 2016 р. Наведено оцінку води Чорної Тиси і всієї Тиси за мінералізацією, як цінного джерела водопостачання.

Ключові слова: *гідрологія, стік, гідрохімія, клас якості, антропогенне навантаження, мінералізація води.*

Комплексная оценка качества воды р. Черная Тиса

Хильчевский В.К., Лета В.В.

В статье описано актуальность исследования Верхней Тисы с акцентом на Черную Тису. Проанализированы предварительные имеющиеся гидрохимические и гидроэкологические данные мониторинга вышеуказанных объектов и дополнено базу данных личными наблюдениями. Приведено гидрологическую характеристику реки Черная Тиса. Рассмотрено антропогенное воздействие на бассейн реки как фактор, влияющий на экологическое состояние вод. Гидрохимический анализ поверхностных вод проведено на основе режимных наблюдений и данных собственной гидрохимической съемки 2016 г. Приведена оценку воды Черной Тисы и всей Тисы по минерализации, как ценного источника водоснабжения.

Ключевые слова: *гидрология, сток, гидрохимия, класс качества, антропогенная нагрузка, минерализация воды.*

Comprehensive assessment of water quality r. Black Tisa

Khilchevskyi V., Leta V.

The article describes the relevance of research within the Upper Tisa Rakhiv district of Transcarpathian region with a focus on Black Tisa, as pool of these river have environmental conditions similar to referential. Analysed previous studies surveying the above objects and expanded database of personal observations. Processed materials stock of Basin water resources of the river Tisa, phenological laboratory CBR and Transcarpathian hydrometeorology center. Processed materials interdepartmental research Tisa River basin, within the international cooperation to protect the Danube River basin. Argued the importance of continuing research of this type. Elected sampling for hydrochemical new data measurements. Considered regulations and methodology for environmental assessment of surface water quality for the respective categories. The first part contains a detailed hydrological characteristics of river Black Tisa, their pool is described as the annual distribution of runoff. Included geographical features of

river valley and fluvial processes within the areas surveyed. Considered human impact on river basin as a factor affecting the ecological status of waters. Hydrochemical analysis river conducted based on routine observations and measurement of water samples taken on September 16, 2016. Tables of data from physical and chemical elements of surface water quality of the river studied. Measurement tests carried out using modern equipment in the laboratory of Basin water resources of the river Tisa according to the method of environmental assessment of surface water quality for the respective categories. Separately defined the specific conditions of the Black Tisa content of heavy metals. Considered in detail hydrochemical measurements of water samples, according to which the excess of the norm for the performance of iron and manganese. Argued the importance of continued monitoring of the ecological status of rivers Upper Tisa, as they have important economic and scientific importance and international status of the study.

Keywords: *hydrology, flow, hydrochemistry class quality, human pressure, chemical elements* indicator.

Надійшла до редколегії 05.10.2016

УДК 556.55

Кічук Н. С. [1]***, Шакірзанова Ж. Р.*** [1]***, Медведєва Ю.С.*** [2]***, Курілова І.В.*** [3]

[1] *- Одеський державний екологічний університет*

[2] *- Одеська національна морська академія*

[3] *- Дунайське басейнове управління водних ресурсів*

ФОРМУВАННЯ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ У ПРИДУНАЙСЬКИХ ОЗЕРАХ

Ключові слова: *мінералізація води, режим експлуатації, коефіцієнт забруднення, нормативні документи, ймовірність перевищення*

Вступ. В нижній течії Дунаю в межах Одеської області розташовані прісноводні заплавні озера. Усі вони витягнуті з півночі на південь і примикають до Дунайської заплави. Найбільшими з них є Ялпуг, Кугурлуй, Кагул, Катлабух, Китай.

При перетворенні озер на водосховища було створено низку регулюючих споруд на каналах, які з'єднують водосховища з річкою Дунай [1,2].

Так, подача води в Кагул та її відведення з нього здійснюється каналами Вікета (він розташований вище за течією) та Орловський.

Водосховище Картал з'єднано з Дунаєм каналом Орловський (він же пов'язує Кагул з Дунаєм). Окрім того, є зв'язок з Кагулом протокою Лузарса, а з розташованим нижче за течією Кугурлуєм – протокою Тобачелло.

Найбільше водосховище Ялпуг-Кугурлуй з'єднано з Дунаєм трьома каналами: Скунда, "105-й кілометр" і Репіда.

Водосховище Катлабух з'єднане з Дунаєм каналами Громадський і Желявський.

Насамкінець, водосховище Китай з'єднано з Дунаєм (точніше його рукавом Степовим) каналом Кофа.

Загальна довжина каналів, які забезпечують водообмін між Дунаєм і водосховищами, сягає 66 км. Кількість шлюзів-регуляторів становить 21, з яких 12 розташовані поряд з Дунаєм та його рукавами (рис. 1). Так, два шлюза-регулятора встановлено на каналі Кофа. Окрім того, нижче за течією розташований шлюз-регулятор Міжколгоспний (ним регулюється подача води на зрошувані поля). Насамкінець, на березі Соломонового рукава Дунаю збудований шлюз-регулятор, який регулює подачу води в канал Дунай–Сасик.

Якість води в р.Дунай формується під впливом природних та антропогенних факторів. За останні роки за рахунок значного антропогенного навантаження якість води у водоймах в Придунайському регіоні значно погіршилася.

В Плані управління басейном р. Дунай – спільному документі розробленому і ухваленому 15 країнами Дунайського регіону в 2009 р., визнано, що в басейні річки знаходяться 6224 населених пункти (з населенням > 2000 РЕ). 2900 населених пунктів не мають каналізації; тисяча населених пунктів мають очисні споруди, що потребують реконструкції. За оцінкою Міжнародної комісії з захисту р. Дунай (МКЗД) загальна кількість забруднюючих органічних речовин, що потрапляє в Дунай з населених пунктів, складає 1,5 млн. т на рік (за величиною ХСК) та 727 тис. т на рік (за величиною БСК). Від промислових джерел забруднення в річку потрапляє 134 тис. т органічних речовин, переважно зі стічними водами хімічної, паперової та харчової промисловості.

За даними річного звіту Транснаціональної системи моніторингу в басейні р. Дунай у 2009 р. загальне річне навантаження у створі м. Рені складало по загальному азоту 453 тис. т, по загальному фосфору – 14,3 тис. т.

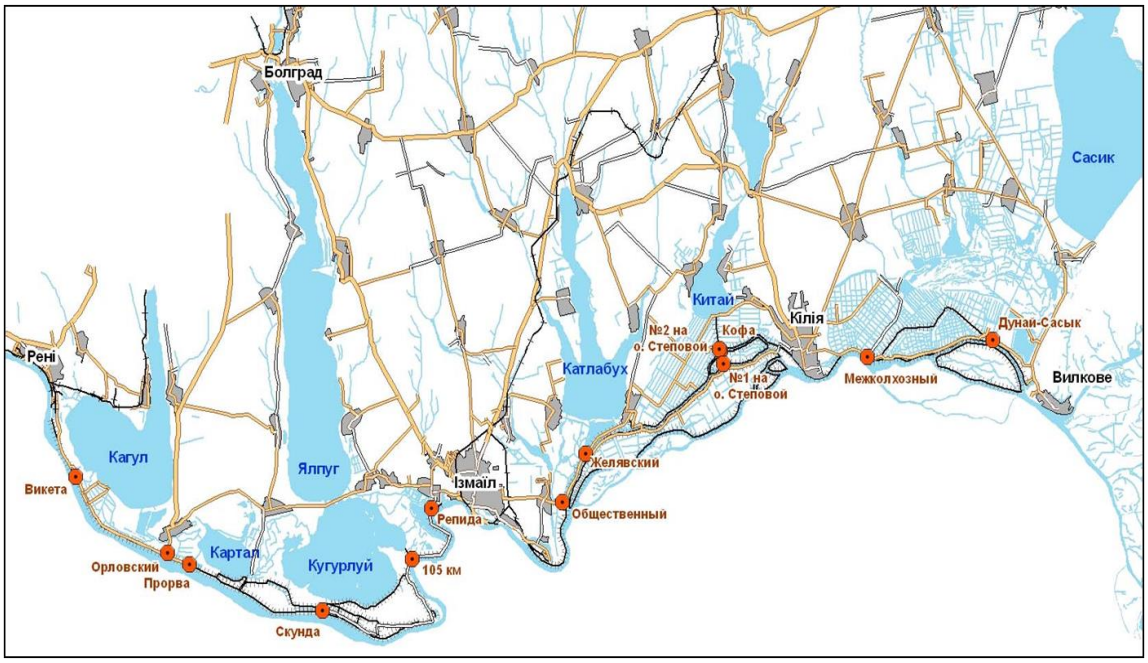


Рис. 1. **Схема розташування шлюзів-регуляторів на Придунайських водосховищах**

Як і у випадку із забрудненням органічними речовинами, головною причиною забруднення поверхневих вод сполуками азоту та фосфору є недостатній рівень очистки стічних вод, що надходять від комунальних, промислових та сільськогосподарських точкових джерел, та с поверхневим стоком.

Вважається, що надмірна евтрофікація водойм починається при вмісті в воді азоту в концентрації 0,2-0,3 мг/дм^3, фосфору – 0,01-0,02 мг/дм^3.

Середній вміст неорганічних сполук азоту у воді Дунаю на українській частині становить 1,55 мг/дм^3, фосфору – 0,08 мг/дм^3. Тому дуже значна частина біогенних речовин потрапляє в придунайські озера-водосховища саме з дунайською водою під час наповнення озер та посилює їх евтрофікацію.

Щорічно (у відповідності до протоколу Міжвідомчої комісії з встановлення водогосподарських режимів роботи Придунайських озер-водосховищ) з березня по квітень Придунайські озера-водосховища наповнюються водою з р. Дунай. З червня по вересень відбувається зменшення об'ємів води за рахунок випаровування з водної поверхні та водозабором. Восени відбуваються скиди води із озер до р. Дунай [3].

За умов, коли підйоми рівня в Дунаї великі, є змога подати у водосховища більше води і відповідно збільшити водообмін. За низьких рівнів це практично неможливо. Зокрема складні умови для наповнення водосховищ спостерігалися, наприклад, у 2011,2012,2014 рр., що було пов'язане з невеликою водністю Дунаю.

На гідрохімічний режим і якість води у озерах впливає випаровування з водної поверхні, водозабір на господарські потреби, об'єм наповнення та скидів в р. Дунай, а також надходження води зі стоком малих річок. Щодо останніх, то для них характерні велика мінералізація води і водночас значна концентрація біогенних і забруднювальних речовин. Значне зменшення площ зрошувальних земель призвело до зниження забору води з Придунайських водойм і відповідно зменшення наповнення цих водойм з р. Дунай. Порушення водообміну спричинило підвищення мінералізації води у водоймах, зниження якості води, яка в більшості випадків не відповідає вимогам, що ставлять до зрошувальних вод державним стандартом України.

Мета роботи полягає в оцінці якості води озер Ялпуг, Кугурлуй, Кагул, Катлабух, Китай за комплексом гідрохімічних показників та зміни її за роками, визначенні коефіцієнта забруднення (КЗ), оцінці якості води в водотоках, що впадають в озера, визначенні ступеня забруднення та шляхів вирішення проблем подальшого функціонування Придунайських озер.

Методи дослідження та вихідні матеріали. Для узагальненої оцінки стану поверхневих вод та для виявлення можливих тенденцій у зміні їх якості здійснюється оцінка рівня забрудненості за коефіцієнтом забруднення, який є узагальненим показником, що характеризує рівень забрудненості вод. Він визначається на основі нормативу якості води для об'єктів господарсько-побутового водокористування (СанПіН 4630-88). Величина КЗ характеризує кратність перевищення нормативів якості води у частках ГДК (гранично допустимі концентрації). Значення КЗ, що перевищують одиницю, свідчать про порушення діючих норм. Оцінка якості води за величиною КЗ виконувалася за наступними показниками: БСК, сульфати, СПАР, азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, феноли, залізо, мідь, хлориди, цинк, нафтопродукти. Для оцінки якості води за вихідні матеріали прийняті дані спостережень та лабораторних вимірювань Дунайського басейнового управління водних ресурсів (за період 1996-2014 рр.).

Результати дослідження. Для узагальненої оцінки стану поверхневих вод за даними спостережень лабораторії Дунайського БУВР були розраховані значення коефіцієнта забруднення для кожного водного об'єкта [4,5].

Моніторинг, який виконує Дунайське басейнове управління водних ресурсів, дозволяє встановити якість води, яка надходить у водосховища і скидається з них. Згідно з методикою комплексної екологічної оцінки якості поверхневих вод суші поетапно проводилися такі розрахунки: обґрунтування і обробка даних; визначення класів і категорій якості води за окремими показниками; узагальнення оцінок якості води з визначенням класів і категорій її якості; визначення об'єднаної оцінки якості води для водного об'єкта. Природні особливості водосховищ (розміри, стік малих річок, а також надходження дунайської води) визначають те, що для кожного з них характерні певні особливості гідрохімічного режиму. Так, мінералізація води в Кагулі на посту ГНС Нагірне в середньому за 2010–2014 рр. становила 441 мг/дм^3, що значно більше ніж кілька десятиліть тому. Власне, зростання мінералізації, а також концентрації біогенних і забруднювальних речовин властиве і для інших водосховищ Придунайського регіону. Якість води в озері також дещо погіршала за такими показниками: ХСК, окислюваність перманганатна, нітрати, залізо, хром. Середньорічна величина ХСК дорівнює 71мг/дм^3, БСК$_{20}$ – 22 мг/дм^3, що перевищує

допустимі величини у 5 і 7 разів відповідно.

Значні відмінності по акваторії має якість води у водосховищі Ялпуг–Кугурлуй, оскільки ця водойма майже поділена надвоє, і з'єднується лише неширокою протокою, над якою прокладено автошлях.

Мінералізація в південній частині водосховища (оз.Кугурлуй), що має значно кращий гідравлічний зв'язок із Дунаєм, в пункті спостережень (с. Нова Некрасівка) у 2014 р. дорівнювала 767 мг/дм^3 (у 2013 р. – 794 мг/дм^3). Середня величина ХСК у 2014 р. майже не змінилась у порівнянні з минулим роком і склала 55 мг/дм^3 (перевищення допустимої величини у 3,7 раз), однак середньорічна величина БСК при цьому суттєво зменшилась (у 1,7 раз). Також зменшились кольоровість води та середньорічні значення вмісту завислих речовин, марганцю, фенолів.

Значно вищою є мінералізація води біля м. Болград, куди впадає згадана вище р. Великий Ялпуг (Болградський питний водозбір) – у 2014 р. вона склала 1053 мг/дм^3, а у 2013 р. становила 957 мг/дм^3. Збільшення на 10 % середньорічної величини мінералізації води у цьому пункті спостереження ймовірно пов'язано зі зменшенням об'єму наповнення озера у 2014 р.

Рис.2. **Схема розміщення пунктів відбору проб води на оз. Катлабух**

Контроль якості води в озері-водосховищі Катлабух проводився у двох пунктах спостереження: насосна станція - 2 (НС-2) Суворовської зрошувальної системи (ЗС) (1) та головна насосна станція (ГНС) Кірова (2), рис. 2. Багаторічний хід середньорічних величин мінералізації води в оз. Катлабух (НС-2) показаний на рис.3. Так, у 2014 р. середньорічні значення мінералізації води в озері в обох пунктах спостереження суттєво не змінились у порівнянні з минулим роком і становили: 1975мг/дм^3 – у першому пункті спостереження, 1639мг/дм^3 – у другому. Другий пункт спостереження (ГНС Кірова) знаходиться у південно-східній частині озера, на невеликій відстані від підвідного каналу Желявський (7,2 км), тому водообмін у цій частині озера кращий, ніж у вершині.

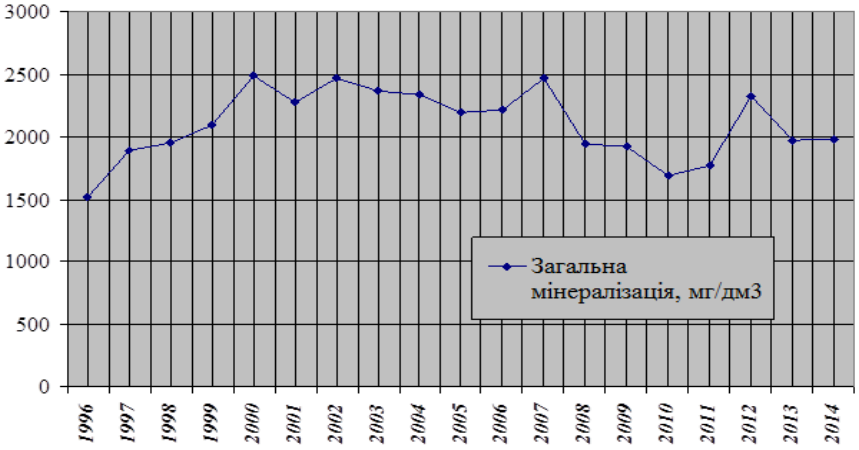


Рис. 3. **Багаторічний хід середньорічних величин мінералізації води, оз. Катлабух (НС-2) у 1996 – 2014 рр.**

Середньорічна величина ХСК у 2014 р. склала 90 мг/дм^3 (перевищення допустимої величини у 6 раз); середньорічна величина БСК$_{20}$ дорівнювала 11 мг/дм^3 (це майже у 4 рази перевищує норматив якості води за СанПіН 4630-88).

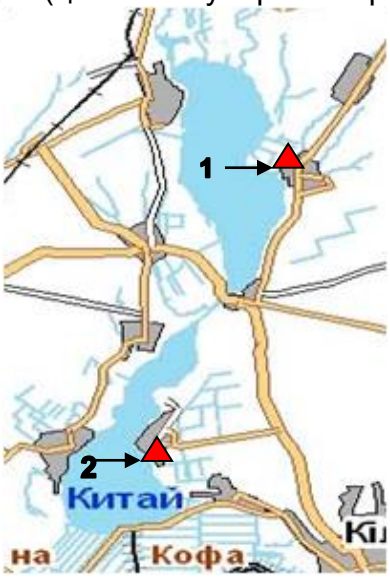


Рис.4. **Схема розміщення пунктів відбору проб води на оз.Китай**

Істотні відмінності в якісному стані води має також видовжене водосховище Китай, яке фактично розділене на два плеса насипом автошляху. Визначення складу та властивостей проб води з озера Китай у 2014 р. було проведено у двох контрольних створах: Червоноярська ГНС (1) та Василівська ГНС (2), рис.4.

Пункт спостереження Василівська ГНС (2) знаходиться у південній частині озера, на невеликій відстані (6,5 км) від підвідного каналу Кофа. Завдяки кращому водообміну у цій частині озера, якість води у цьому контрольному створі краще, ніж у пункті спостереження Червоноярська ГНС (1) майже по всіх показниках. У північній частині озера мінералізація в середньому становить 3883 мг/дм^3, у той час як у південній – 2199 мг/дм^3.

Багаторічний хід середньорічних величин мінералізації води в оз. Китай (Червоноярська ГНС) представлений на рис.5 та свідчить про суттєве її зростання протягом майже 20 років (особливо у період з 2007 р.).

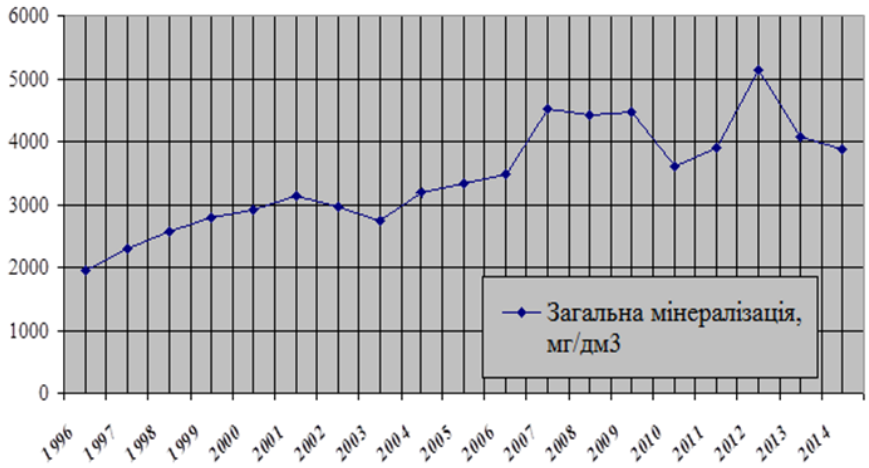


Рис. 5. **Багаторічний хід середньорічних величин мінералізації води, оз. Китай (Червоноярська ГНС) у 1996 – 2014 рр.**

Середньорічна величина ХСК в оз. Китай у пункті спостереження Червоноярська ГНС у 2014 р. склала 134 мг/дм^3 (перевищення допустимої величини у 9 раз); середньорічна величина БСК$_{20}$ дорівнювала 19 мг/дм^3 (перевищення нормативу якості води за СанПіН 4630-88 у 6 раз). Влітку та восени спостерігалось «цвітіння води».

Протягом двох останніх років озеро Китай внаслідок низьких рівнів води в р. Дунай не було наповнено до НПР (1,5 м БС). У 2012 р. і максимальна відмітка рівня води в озері становила 1,0 м (у червні), мінімальна – 0,43 м (в листопаді). В жовтні

– грудні відмітки рівня води в озері були нижче РМО (0,6 м). Внаслідок надто низьких рівнів води в озері, високих температур і інтенсивного випаровування води збільшилось забруднення розчиненими мінеральними і органічними речовинами.

Згідно з програмою моніторингу лабораторія ДБУВР контролює якість води річок, що впадають в озера: Ялпуг та Карасулак, Єніка та Великий Катлабух. У 2014 році якість води в р. Ялпуг у порівнянні з минулим роком погіршала по більшості показників – збільшились середньорічні величини ХСК, вмісту завислих речовин, азоту амонійного, нітратів, нітритів, заліза. Середньорічна величина мінералізації води зросла у порівнянні з 2013 роком на 537 мг/дм^3 і склала 3258 мг/дм^3. У порівнянні з 2013 р. середньорічна величина мінералізації води в річці Карасулак у 2014 р. збільшилась на 627 мг/дм^3 і становила 3987 мг/дм^3 (у 2013 р. - 3360 мг/дм^3). Також збільшились у порівнянні з 2013 р. середньорічні величини показників: азоту амонійного (в 2,4 рази), загального фосфору, ХСК (в 1,3 рази), БСК, фенолів. Середнє за рік значення мінералізації води в річці Єніка склало 7834 мг/дм^3 (у 2013 р. – 5624 мг/дм^3). Якість води в річці різко погіршилась по всіх показниках – середня величина мінералізації та вміст завислих речовин збільшились у 1,4 рази, вміст азоту амонійного та нітратів – у 2,4 рази, величина $БСК_{20}$ – у 3 рази, концентрація марганцю – 7 разів. Таке значне погіршення якості води може бути пов'язано з додатковим забрудненням – річка протікає по двох населених пунктах. Середнє значення мінералізації води в р. Великий Катлабух у 2014 р. склало 4239 мг/дм^3. Для узагальненої оцінки стану поверхневих вод та для виявлення можливих тенденцій у зміні їх якості здійснена оцінка рівня забрудненості згідно значення коефіцієнта забрудненості (КНД 211.1.1.106-2003, додаток 1, п. 2.1) для кожного водного об'єкта (табл. 1).

Таблиця 1. **Значення КЗ та рівень забрудненості поверхневих вод**

Водний об'єкт	Значення КЗ за роками							Рівень забрудненості вод у 2014 р.
	2008	*2009*	*2010*	*2011*	*2012*	*2013*	*2014*	
р. Дунай	1,10	1,08	1,09	1,08	1,09	1,07	1,04	Слабко забруд.
оз. Ялпуг	1,52	1,40	1,42	1,52	1,76	1,60	1,46	Слабко забруд.
оз. Кугурлуй	1,43	1,40	1,35	1,49	1,54	1,39	1,41	Слабко забруд.
оз. Кагул	2,08	2,04	1,77	1,85	2,20	2,04	2,19	Слабко забруд.
оз. Катлабух	2,53	2,57	2,24	2,40	2,98	2,44	2,20	Слабко забруд.
р. Ялпуг	3,00	2,80	2,63	3,04	3,87	2,35	2,74	Помірно забруд
оз. Китай	3,71	3,43	3,09	3,91	5,03	4,40	3,59	Помірно забруд
р. Карасулак	2,58	4,37	3,22	3,66	3,17	2,75	3,10	Помірно забруд
р. В. Катлабух	-	-	4,71	3,23	2,90	3,70	2,91	Помірно забруд
р. Єніка	3,03	3,33	3,67	3,18	3,88	3,69	5,71	Брудні

У 2014 р. за рівнем забрудненості чотири водних об'єкти: р. Дунай, озера Ялпуг-Кугурлуй, Кагул, Катлабух – можна віднести до категорії «слабко забруднені», п'ять водних об'єктів: оз. Китай, малі річки Ялпуг, Карасулак, Єніка, В. Катлабух – до категорії «помірно забруднені». Найгірша якість води спостерігалась в р.Єніка. У порівнянні з 2013 р. рівень забрудненості п'яти водних об'єктів (р. Дунай, озера Ялпуг-Кугурлуй, Катлабух, Китай, річка Великий Катлабух) у 2014 р. зменшився або суттєво не змінився. Стан озера Кагул та трьох малих річок Ялпуг, Карасулак, Єніка погіршився. Найбільш суттєво погіршилась якість води в р. Єніка – за вмістом забруднюючих речовин вода у цьому пункті спостереження відноситься до «брудних».

Висновок. Підсумовуючи отримані результати за період з 1996 по 2014 рр., можна зробити висновок, що якість води в усіх озерах значно погіршилась на 15,5%. Якість води в озерах Катлабух, Китай та у всіх малих річках за вмістом компонентів сольового складу належить до класу «солонуватих» вод. Головною проблемою цих водних об'єктів є не тільки високий рівень мінералізації води (перевищення нормативів якості води до 8 раз), а й надмірне забруднення органічними речовинами (перевищення нормативів якості води до 11 раз) та біогенними речовинами (сполуками азоту та фосфору). Ці проблеми є найважливішими, як для самої річки Дунай, так і для всіх водних об'єктів басейну. Від промислових джерел забруднення в річку потрапляє 134 тис. т органічних речовин, переважно зі стічними водами хімічної, паперової та харчової промисловості. Високі концентрації біогенних елементів в умовах непроточних мілководних придунайських озер, в умовах доброго прогрівання води, спричиняють інтенсивний розвиток водоростей та вищих форм рослинного життя (самозабруднення вод органічними речовинами); спричиняють небажане порушення балансу організмів, що існують у воді, погіршення стану водних об'єктів, їх замулення та природне старіння.

Як і у випадку із забрудненням органічними речовинами, головною причиною забруднення поверхневих вод сполуками азоту та фосфору є недостатній рівень очистки стічних вод, що надходять від комунальних, промислових та сільськогосподарських точкових джерел, та з поверхневим стоком. Важливою причиною незадовільної якості води в озерах можна вважати низькі рівні води на протязі останніх років та неможливість заповнити озеро до НПР. Зрозуміло, що помітно поліпшити якість води без примусової її подачі з Дунаю неможливо. За оцінкою Дунайської гідрометобсерваторії (ДГМО) в останній час виникли загрози, пов'язані з активним відмиранням Кислицького рукава. Саме цей рукав української частини р. Дунай забезпечує водообмін з озерами Катлабух та Китай. За прогнозом ДГМО без проведення спеціальних гідротехнічних робіт середня витрата води у рукаві зменшиться до 91,0 – 65,0 $м^3/с$ у 2020 р., у 2030 р. – до 65,0 - 32,5 $м^3/с$. Враховуючи існуючий стан озер Китай та Катлабух, вкрай важливо невідкладно розробити конкретну програму дій по оздоровленню цих озер, за участю всіх зацікавлених сторін (науковців, водокористувачів, органів влади, населення).

Загалом стає питання щодо розробки на державному та регіональному, а можливо і міжнародному рівні комплексної програми щодо оздоровлення всього басейну Придунайського регіону з метою створення ряду природоохоронних заходів та соціальних умов, направлених на наближення виконання вимог Європейської Водної Рамкової Директиви.

Список літератури

1. *Гребінь В.В.* Водний фонд України*:* штучні водойми – водосховища і ставки / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. .Сташук, О.В. Чунарьов, О.Є. Ярошевич. – К.: «Інтерперес ЛТД», 2014. – 164 с **2**. *Вишневський В.І.* Річки і водойми України. Стан і використання / В.І. Вишневський. – К.: Віпол, 2000. – 376 с **3**. *Гопченко Є.Д.* Современные проблемы, связанные с эксплуатицией Придунайских озер-водохранилищ / Е.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Н.С. Кічук // Причорноморський екологічний бюлетень. - Вип.2. - 2011. - С.35 -41 **4**. *Методика* екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. - К.: СИМВОЛ-Т, 1998.-28с. **5**. *Сніжко С.І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І.Сніжко. - К.: Ніка - Центр, 2001.-264 с.

Формування гідрохімічного режиму та оцінка якості води у Придунайських озерах
Кічук Н.С., Шакірзанова Ж.Р., Медведєва Ю.С., Курілова І.В.

В роботі розглянуті питання оцінки якості води Придунайських озер за комплексом гідрохімічних показників, визначенні коефіцієнта забруднення, оцінці якості води в водотоках, що

впадають в озера. Отримані результати щодо високої мінералізації та ступеня забруднення вод потребують пошуку шляхів вирішення проблем подальшого функціонування та режиму експлуатації водойм.

Ключові слова: *мінералізація води, режим експлуатації, коефіцієнт забруднення, нормативні документи, ймовірність перевищення.*

Формирование гидрохимического режима и оценка качества воды в Придунайских озерах

Кичук Н.С., Шакирзанова Ж.Р., Медведева Ю.С., Курилова И.В.

В работе рассмотрены вопросы оценки качества воды Придунайских озер по комплексу гидрохимических показателей, определении коэффициента загрязнения, оценке качества воды в водотоках, впадающих в озера. Полученные результаты по высокой минерализации и степени загрязнения вод требуют поиска путей решения проблем дальнейшего функционирования и режима эксплуатации водоемов

Ключевые слова: *минерализация воды, режим эксплуатации, коэффициент загрязнения, нормативные документы, вероятность превышения.*

Formation of hydrochemical regime and water quality assessment in Danubian lakes

Kichuk N.S., Shakirzanova ZH. R., Medvedeva Y.S., Kurilova I.V.

Introduction. Freshwater floodplain lakes are located in the lower flows of the Danube in the Odessa region. They stretch from north to south and abut the Danube floodplain. The largest of them are Yalpug, Kugurluy, Cahul, Katlabuh, Kitay. During the transformation of lakes into reservoirs a number of flood control structures were created on the channels to connect the reservoirs to the Danube. Water quality in the Danube river is influenced by natural and anthropogenic factors. Because of significant anthropogenic impact water quality in water bodies in the Danube region has deteriorated so far.

Purpose. The paper deals with matters of water quality assessment on a range of hydrochemical indicators, pollution coefficient determination, water quality assessment in streams flowing into the lakes.

Methods. For generalized assessment of surface water and to identify possible trends in changing their quality the assessment of the level of pollution using the pollution koefficient (which is a generalized indicator of the water pollution level) is realized. To assess water quality observations data and laboratory measurements of the Danubian basin water resources office (for the period 1996-2014) are taken as sources.

Results. The obtained results of surface water quality assessment declared that the quality of water in all the lakes deteriorated for the period from 1996 to 2014. The pollution level of surface water area is classified as "slightly polluted", "moderately polluted" and "dirty." Water quality in lakes and rivers in small components for salt content belongs to a class of "brackish" water. The main problem of these water bodies is not only high salinity water, but excessive pollution caused by organic nutrients (nitrogen and phosphorus compounds). The low water level of the Danube river can also be considered as an important reason of poor water quality in lakes nowadays and the inability to fill the lakes until the normal water level.

Conclusion. The obtained results of high salinity and the water pollution degree need to find solutions to the problems of further functioning of reservoir exploitation regime.

Keywords: *water mineralization, exploitation regime, pollution coefficient, regulations, the probability of exceeding.*

Надійшла до редколегії 05.10.2016

УДК 556.012 + 556.522

Забокрицька М. Р.[1], Хільчевський В. К.[2]
[1] Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки (м. Луцьк)
[2] Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВОДНІ ОБ'ЄКТИ ЛУЦЬКА: ГІДРОГРАФІЯ, ЛОКАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ, ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Ключові слова: *річки,Стир, Сапалаївка, Омеляник, Жидувка*

Вступ. Як показують дослідження, основні зміни, що пов'язані з водними об'єктами урбанізованих територій, стосуються гідроморфологічних трансформацій (зміна річкового русла, переміщення у підземний колектор малих річок тощо) та якості води, коли міські річки через надмірне антропогенне навантаження на трансформованому водозборі та недостатню культуру технології водовідведення можуть перетворюватися у колектори дощових стічних вод [7, 14, 19, 21, 23].

В той же час, містяни завжди проявляють стурбованість гідроекологічним станом малих річок, які були свідками багатьох подій в історії міста. Наприклад, електронна петиція киян до Київської міської ради «Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха…» , в якій висловлено глибоку ztурбованість гідроекологічним станом легендарної річки Либідь, набрала у 2015 р. понад 10 тис. підписів, необхідних для її розгляду міською владою. В результаті, Київська міська рада прийняла рішення – з метою відновлення екосистеми річки Либідь вважати за доцільне організувати інвестиційний конкурс щодо впровадження проекту ревіталізації річки Либідь та ініціювати розроблення цільової програми з благоустрою та екологічного оздоровлення басейну річки [1].

Поки в Києві збираються оголошувати конкурс з проектування благоустрою легендарної малої річки, у Луцьку у 2013-2014 рр. було здійснено благоустрій з елементами ревіталізації (відновлення) р. Сапалаївка (правої притоки р. Стир) на ділянці протягом 0,5 км у центральній частині міста спільно органами міської влади та бізнесовими структурами (район «Сіті-парку»). Фактично, це перший приклад реалізації подібного проекту в Україні.

Крім того, рішенням виконкому Луцької міськради від 24.05.2013 р. «Про заходи для запобігання погіршенню якості поверхневих вод» було встановлено пункти щоквартального локального моніторингу якості води на р. Сапалаївка, а також на річках Омеляник та Жидувка. Виконання робіт з моніторингу покладено на комунальне підприємство «Луцькводоканал» [15].

Метою даної роботи є характеристика стану гідрографічної мережі м. Луцька, оцінка хімічного складу та якості води водних об'єктів.

Гідрографія та моніторинг якості річкових вод.

Гідрографічна мережа міста. Гідрографічну мережу на території Луцька – обласного центру Волинської області (площа міста – 42 км^2, населення на 2016 р. – 217,5 тис. осіб) безпосередньо формують річка Стир, яка слугує певною віссю міста, та її невеликі притоки – Сапалаївка, Омеляник, Жидувка (рис. 1). На території міста знаходиться гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Теремнівські ставки» (на р. Сапалаївка) та загальнозоологічний заказник місцевого значення

«Гнідавське болото» (на лівобережній заплаві Стиру), що має гідрологічний зв'язок з річкою.

За межами міської смуги Луцька знаходиться р. Чорногузка - найбільша ліва притока Стира в цьому регіоні (довжина - 49 км, площа водозабору – 527 км^2), на якість води якої впливають стічні води луцького підприємства – Гнідавського цукрового заводу, який скидає у Чорногузку виробничі стічні води після очищення на локальних очисних спорудах.

У минулому уздовж правобережної заплави Стиру, в межах нинішнього Центрального парку культури та відпочинку і поза ним, протікала р. Глушець (або, як дехто вважає, це було друге русло Стиру), яка «зникла» у 1926 р., коли на цьому місці почали виконувати гідротехнічні та осушувальні роботи. В цей час почалося зведення протиповеневої дамби і прокладання автомагістралі, про що сьогодні нагадує лише однойменна назва вулиці вздовж парку – Глушецька.

Рис. 1. **Картосхема гідрографії території м. Луцьк *(картосхема – авторська розробка М. Р. Забокрицької, В. К. Хільчевського, А. В. Пилипюка)***

Треба відзначити, що колись Стир був судноплавним, а Луцьк був річковим портом. Судноплавство на річці розпочалося ще до Другої світової війни (1939-1945 рр.), здійснювалося на відтинку від Берестечка до гирла Стиру. Річкова пристань у Луцьку була на правому березі в районі впадіння р. Сапалаївка. На Стиру підтримувався судновий фарватер. У 1950-і рр., наприклад, існував пасажирський маршрут на річковому катері: Луцьк – Пінськ (Білорусь). Але розвиток автомобільного транспорту витіснив річкові перевезення. Зокрема, пасажирські перевезення по Стиру припинилися у 1974 р., а вантажні – у 1996 р. [9].

Ці приклади показують, наскільки цінними є матеріали з дослідження гідрографії будь-якого міста та його околиць. Оскільки з плином часу місто, розвиваючись та зростаючи, трансформує природні ландшафти та водні об'єкти, що призводить навіть до зникнення деяких з них.

Слід відзначити, що різні аспекти гідрографії міста Луцька висвітлювалися у роботах В.О. Фесюка [16, 17], Я. О. Мольчака та ін. [10], М. М. Ганущак [5], С. С. Кутового [8].

Річка Стир – права притока Прип'яті, бере початок на Волинській височині недалеко від села Пониква Бродівського району Львівської області. Стир протікає Львівською, Волинською і Рівненською областями (територія Волинської височини та Поліської низовини), після чого перетинає межу з Брестською областю Білорусі, де двома рукавами впадає у Прип'ять (басейн Дніпра) [24].

Довжина річки – 494 км, з них 70 км на території Білорусі, площа водозбірного басейну – 13 100 км², з них 493 км² на території Білорусі. Протяжність Стиру на території: Волинської області – 175 км; Луцького району Волинської області – 38 км; м. Луцька – близько 11, 2 км (табл. 1).

Згідно класифікації річок за площею водозбору за Водним кодексом України 1995 р. (малі річки – до 2 тис. км^2; середні – 2-50 тис. км^2; великі – понад 50 тис. км^2) Стир належить до середніх річок [3].

В той же час, Водна рамкова директива Європейського Союзу (ВРД 2000/60/ЄС), положення якої наразі імплементуються у водогосподарську практику в Україні у зв'язку з підписанням Угоди про асоціацію між Україною та ЄС у 2014 р., має зовсім іншу типологію річок за площею водозбору: малі – 10-100 км^2; середні – 100-1000 км^2; великі – 1,0-10 тис. км^2; дуже великі річки – понад 10 тис. км^2 [2] . Таким чином, за європейськими критеріями згідно ВРД ЄС р. Стир належить до дуже великих річок.

Виконані подібні дослідження гідрографічної мережі басейну р. Західний Буг в межах Львівської та Волинської областей за типологією ВРД ЄС показали наявність на даній території однієї дуже великої річки (власне, сам Західний Буг) та трьох великих річок – Полтва, Рата та Луга [22].

Таблиця 1. **Морфометричні характеристики річок, що протікають територією м. Луцька**

Назва річки (п – права; л – ліва притока головної річки)	Головна річка	Площа водозбору, км^2	Довжина, км	Протяжність по території м. Луцька, км	Середня витрата води річки, м^3/с
Стир (п)	Прип'ять	13100	494	11,2	49,5 (30,8*)
Сапалаївка (п)	Стир	39,2	12,4	8,3	0,25
Омеляник (л)	Стир	40	12,6	3,5	0,18
Жидувка (л)	Стир	9,5	4	4	0,03

Примітка ******* – витрата води на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк

Русло Стира звивисте, місцями каналізоване, в нижній течії розгалужене. Ширина: у верхів'ї – 2-10 м, у пониззі 30-50 м. Глибина: на плесах – 2,0-3,5 м, на перекатах – 0,5-1,5 м. Швидкість течії становить 0,2-0,5 м/с. Дно річки переважно рівне, на плесах – мулисто-піщане; на окремих перекатах – нерівне, кам'янисте.

Підйом рівня води весняної повені припадає на першу декаду березня і проходить інтенсивно. Найвищий рівень води у річці при високій повені досягає 3,8-4,5 м над умовним рівнем водомірного посту Луцьк, який діє з 1923 р. Абсолютний максимум рівня води (5,15 м) було відзначено 7-8 квітня 1932 р.

Загальна тривалість весняної повені становить 50-90 днів. Літньо-осіння межень на Стиру триває протягом травня-листопада, а зимова – протягом грудня-лютого. Льодохід триває 2-10 днів.

Найбільш багатоводною річка буває навесні (в цей час проходить 50-70 % стоку від річного). На літньо-осінню межень припадає 10-15 %, а на зимову – 15-30 % річного стоку.

Середньорічна витрата води в районі Луцька становить 30,8 м³/с, у гирлі – 49,5 м³/с. Максимальний стік весняної повені (10 % забезпеченістю) в районі Луцька сягає 391 м³/с, мінімальна середньомісячна витрата води (97 % забезпеченістю) становить 7,21 м³/с [11].

Хімічний склад води р. Стир гідрокарбонатно-кальцієвий з мінералізацією, що змінюється за сезонами: від 371,0 мг/дм^3 під час весняної повені – до 502, 6 мг/дм^3 у зимову межень (табл. 2). Вміст біогенних речовин у річковій воді знаходиться у межах зонального фону (табл. 3). В цілому, такий природний хімічний склад води р. Стир вказує на можливість її використання (якщо виникне потреба) як джерела господарсько-питного водопостачання за умови контролю вмісту специфічних забруднювальних речовин [18, 20]. Але наразі вода р. Стир у господарсько-питному водопостачанні Луцька не задіяна, оскільки для цього використовуються підземні води.

Таблиця 2. **Середні багаторічні концентрації головних іонів та мінералізація води р. Стир – м. Луцьк, мг/дм^3 [6]**

Сезон	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	Мінералізація
Весняна повінь	224	32,2	22,5	68,7	11,5	12,1	371,0
Літньо-осіння межень	253	29,9	20,9	71,2	14,7	13,5	403,2
Зимова межень	304	34,8	39,7	91,9	17,9	14,3	502,6

Таблиця 3. **Середні багаторічні концентрації загального заліза, біогенних речовин (мінерального фосфору, кремнію, сполук азоту) та значення біхроматної окиснюваності (БО) у воді р. Стир – м. Луцьк, мг/дм^3 [6]**

Сезон	$Fe_{заг.}$	$P_{мін.}$	Si	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	БО
Весняна повінь	0,03	0,048	3,1	0,034	0,006	0,78	12.4
Літньо-осіння межень	0,04	0,054	3,3	0,021	0,005	0,95	17,8
Зимова межень	0,06	0,074	5,7	0,067	0,011	0,80	13,3

Річка Сапалаївка – права притока Стиру, протікає по території Луцького району Волинської області та м. Луцька. Має довжину 12,4 км (в межах Луцька – 8,3 км), площу басейну – 39,2 км^2.

Сапалаївка бере початок на північно-східній околиці с. Струмівка Луцького району. Протікає північними околицями цього села, а далі – через м. Луцьк. Впадає у р. Стир на 302 км від її гирла у північно-західній частині обласного центру.

У верхній течії долина Сапалаївки місцями заболочена, її заплава, шириною 100 м, стелиться через горбисту місцевість. Русло слабозвивисте, його ширина становить близько 2 м, долини – 1 км. Береги низькі, дно часто замулене. Падіння річки – 2,25 м/км. Витрати води коливаються в межах 0,04-0,4 м^3/сек, залежно від сезону року [10].

Теремнівські ставки споруджено на р. Сапалаївка при вході річки на територію Луцька (район Теремно). Це два ставки загальною площею 5,91 га, які відіграють важливу роль у регулюванні гідрологічного режиму річки (зрізання піку весняної повені чи дощових паводків та забезпечення стоку у меженний період року). У 1993

р. цим ставкам надано статус гідрологічної пам'ятки природи місцевого значення «Теремнівські ставки».

Нижче за течією у межах *Парку культури й відпочинку імені 900-річчя Луцька* у руслі річки також утворено декоративний ставок. Водойми перебувають у віданні міського КП «Зелене господарство».

На території м. Луцька русло Сапалаївки розчищено, каналізовано (спрямлено). В центральній частині (на відтинку близько 0,5 км) в районі комплексу «Сіті-парк» прибережну територію річки благоустроєно (з елементами ревіталізації) (рис. 2). Таким чином, було реалізовано міський проект «Благоустрій р. Сапалаївка від вул. Потапова до вул. Клима Савура», яким опікувався відділ екології Луцької міської ради [12, 13].

Рис. 2. **Гідроекологічні дослідження на благоустроєній (ревіталізованій) ділянці р. Сапалаївка у м. Луцьку проводить доцент М. Р. Забокрицька, 2016 р.**

На річці трапляються критичні паводки. Так, 30 липня 2013 р. в результаті зливи рівень води у Сапалаївці піднявся на 2-3 метри на різних ділянках, затопивши при цьому Луцьку дитячу залізницю «Юність», міст на вулиці Ярощука, утворивши тимчасове «озеро» між навчально-лабораторним корпусом № 2 (факультети – біологічний; географічний; психології) Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки та Луцької школи № 9 [4].

Згідно даних локального моніторингу, який здійснює комунальне підприємство «Луцькводоканал», за хімічним складом вода у р. Сапалаївка є гідрокарбонатно-кальцієвою з мінералізацією 365-395 мг/дм^3. Незадовільна якість води у річці проявляється через перевищення нормативів ГДК, встановлених діючими «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (затверджених Мінохорони здоров'я СРСР у 1988 р.) для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування (СанПин № 4630-88). Стабільне перевищення ГДК характерно для таких показників: завислі речовини

- перевищення ГДК у середньому у 4-5 разів; хімічне споживання кисню (ХСК) – у 2-2,5 рази; вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) – у 1,5-2 рази; заліза – у 4-5 разів (табл. 4).

Таблиця 4. **Якість води р. Сапалаївка в пунктах локального моніторингу (за даними КП «Луцькводоканал», 2015 р., мг/дм^3)***

№ з/п	Назва показника	Пункти локального моніторингу якості води			ГДК за СанПин № 4630-88
		водойма Теремно	парк ім. 900-річчя Луцька	вул. Набережна	
1.	Завислі речовини	27 -147 / 74	24-165 / 67	28-155 / 63	15
2.	ХСК (мгО/дм^3)	40-120 / 63	38-129 / 74	34-92 / 74	30
3.	Cl^-	7,1-25 / 15	17-25 / 20	18-43 / 30	350
4.	SO_4^{2-}	15-48 / 31	15-44 / 30	20-40 / 34	500
5.	Мінералізація	280-721 / 365	280-618 / 371	290-402 / 395	1000
6.	PO_4^{3-}	0,1-0,4 / 0,2	0,1-0,4 / 0,15	0,1-0,9 / 0,2	3,5
7.	NH_4^+	0,17-5,12 / 0,2	0,1-3,9 / 2,3	0,2-4,0 / 3	2,6
8.	NO_2^-	0,01-1,4 / 0,1	0,01-1,1 / 0,1	0,01-1,5 / 0,1	3,3
9.	NO_3^-	0,9-2,8 / 1,8	1,2-2,0 / 1,5	0,8-3,9 / 2,6	40
10.	Нафтопродукти	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0,3
11.	СПАР	0,1-0,18 / 0,13	0,2-0,45 / 0,28	0,1-0,85 / 0,38	0,2
12.	Fe (заг.)	0,5-3,5 / 1,3	0,9-1,8 / 1,3	0,4-2,7 / 1,6	0,3
13.	Cr	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0,05
14.	Zn	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1,0
15.	Ni	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0,4

***Примітка*:** * – над рискою: мінімальні та максимальні значення; під рискою: середнє значення.

Нафтопродуктів та важких металів (хрому, цинку та нікелю) у річковій воді не виявлено. Проблема якості води Сапалаївки є характерною для малих річок, що протікають містом – це забруднення побутовим сміттям на окремих ділянках, дощовими стічними водами та незаконно «врізаними» скидами господарсько-побутових стічних вод.

Річка Омеляник – ліва притока Стиру, протікає по території Луцького району Волинської області та м. Луцька. Має довжину близько 12,6 км (в межах Луцька – 3,5 км), площу басейну – близько 40 км^2.

Починається річка Омеляник на східній околиці села Антонівка Луцького району Волинської області, прямуючи далі на схід, перетинає приміське село Великий Омеляник Луцького району, на території Луцька перетинає вулиці Володимирську, Ковельську, Чернишевського, Зарічну і впадає в центрі міста (в районі вулиці Шевченка) в річку Стир.

Середня витрата води – 0,18 м^3/с. Річище прямолінійне, місцями штучно спрямлене.

У 1980-і рр. у межах міста на р. Омеляник було збудовано каскад з 5-ти ставків для розведення риби. Зараз, у зв'язку з втратою рибогосподарського значення, вони не експлуатуються. Береги річки використовуються для рекреації.

Згідно даних локального моніторингу, який здійснює комунальне підприємство «Луцькводоканал», за хімічним складом вода у р. Омеляник є гідрокарбонатно-кальцієвою з мінералізацією 509-550 мг/дм^3. Незадовільна якість води у річці проявляється через перевищення нормативів ГДК, встановлених діючими «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (затверджених Мінохорони здоров'я СРСР у 1988 р.) для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування (СанПин № 4630-88). Стабільне перевищення ГДК характерно для таких показників: завислі речовини - перевищення ГДК у середньому у 3,5-6 разів; хімічне споживання кисню (ХСК) – у 1,5-4,5 рази; вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) – у 1,5-2,5 рази; заліза – у 1,5-16 разів (табл. 5).

Таблиця 5. **Якість води р. Омеляник в пунктах локального моніторингу (за даними КП «Луцькводоканал», 2015 мг/дм^3)***

№ з/п	Назва показника	Пункти локального моніторингу якості води			ГДК за СанПин № 4630-88
		вул. Воло-димирська	вул. Ковельська	вул. Зарічна	
1.	Завислі речовини	24-76 52	32-135 92	43-66 56	15
2.	ХСК (мгО/дм^3)	48-170 86	39-370 128	30-100 51	30
3.	Cl^-	18-25 21	18-25 21	18-32 24	350
4.	SO_4^{2-}	24-46 26	21-46 29	21-45 30	500
5.	Мінералізація	296-730 509	230-1020 534	320-710 550	1000
6.	PO_4^{3-}	0,7-1,3 1,1	0,3-1,3 0,8	0,3-1,6 0,9	3,5
7.	NH_4^+	0,4-4,8 1,5	0,4-4,6 1,6	1,3-4,4 1,6	2,6
8.	NO_2^-	0,1-1,5 0,4	0,01-1,4 0,8	0,12-1,4 0,6	3,3
9.	NO_3^-	1,2-3,0 1,9	1,4-1,9 1,3	1,5-3,2 2,3	40
10.	Нафтопродукти	0 0	0 0	0 0	0,3
11.	СПАР	0,2-0,8 0,4	0,24-0,96 0,5	0,12-0,42 0,3	0,2
12.	Fe (заг.)	0,2-6,4 2,5	0,7-12,2 5,2	0,6-2,0 1,6	0,3
13.	Cr	0 0	0 0	0 0	0,05
14.	Zn	0 0	0 0	0 0	1,0
15.	Ni	0 0	0 0	0 0	0,4

Примітка. * - над рискою: мінімальні та максимальні значення; під рискою: середнє значення.

Нафтопродуктів та важких металів (хрому, цинку та нікелю) у річковій воді не виявлено. Проблема якості води р. Омеляник така ж, як і в р. Сапалаївка: забруднення побутовим сміттям на окремих ділянках, дощовими стічними водами та незаконно «врізаними» скидами господарсько-побутових стічних вод.

Річка Жидувка - ліва притока Стиру, протікає по території м. Луцька, має довжину близько 4 км, площу басейну – 9,5 км^2.

Починається р. Жидувка західніше вулиці Львівської, протікає поруч з колишнім Луцьким підшипниковим заводом, майже паралельно вулицям Боженка та Мамсурова, далі перетинає вулицю Потебні і впадає в р. Стир.

Середня витрата води – 0,03 м^3/с.

Згідно даних локального моніторингу, який здійснює комунальне підприємство «Луцькводоканал», за хімічним складом вода у р. Жидувка є гідрокарбонатно-кальцієвою з мінералізацією 462-545 мг/дм^3. Незадовільна якість води у річці проявляється через перевищення нормативів ГДК, встановлених діючими «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (затверджених Мінохорони здоров'я СРСР у 1988 р.) для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування (СанПин № 4630-88). Стабільне перевищення ГДК характерно для таких показників: завислі речовини - перевищення ГДК у середньому у 4-6 разів; хімічне споживання кисню (ХСК) – у 4,5-5,5 разів; вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) – у 1,5-2,5 рази; заліза – у 1,5 рази (табл. 6). Нафтопродуктів та важких металів (хрому, цинку та нікелю) у річковій воді не виявлено.

Таблиця 6. **Значення показників локального моніторингу якості води р. Жидувка (за даними «Луцькводоканал», 2015 р., мг/дм^3)***

№ з/п	Назва показника	Пункти локального моніторингу якості води		ГДК за СанПин № 4630-88
		вул. Станіславського	вул. Потебні	
1.	Завислі речовини	50-83 63	43-143 87,3	15
2.	ХСК (мгО/дм^3)	46-254 142	40-240 163	30
3.	Cl^-	14,2-3,9 30,2	17,7-35,4 30,1	350
4.	SO_4^{2-}	40-47 44	16-49 37	500
5.	Мінералізація	201-941 462	320-821 545	1000
6.	PO_4^{3-}	0,1-0,7 0,3	0,1-0,4 0,2	3,5
7.	NH_4^+	1,0-4,6 0,9	0,1-5,5 0,8	2,6
8.	NO_2^-	0,01-1,5 0,1	0,01-1,5 0,1	3,3
9.	NO_3^-	1,6-5,7 2,9	1,3-4,4 1,8	40
10.	Нафтопродукти	0 0	0 0	0,3
11.	СПАР	0,1-0,4 0,2	0,3-0,7 0,3	0,2
12.	Fe (заг.)	0,4-3,0 1,4	0,8-6,1 3,8	0,3
13.	Cr	0 0	0 0	0,05
14.	Zn	0 0	0 0	1,0
15.	Ni	0 0	0 0	0,4

Примітка.* - над рискою: мінімальні та максимальні значення; під рискою: середнє значення.

Проблема з якістю води р. Жидувка, значно складніша, ніж в інших малих луцьких річках – Сапалаївці та Омелянику. В Жидувку скидаються дощові стічні води з проммайданчику «СКФ Україна» (колишній Луцький підшипниковий завод), тим самим живлячи річку, але й забруднюючи її, при цьому. В цілому, річка повністю каналізована, стік річки слабкий: влітку вона може пересихати, взимку (за сильних морозів) – перемерзати.

Гнідáвське болото – загальнозоологічний заказник місцевого значення на лівобережжі Стиру. Розташований у межах Луцького району Волинської області та міста Луцька (між селом Рованці, мікрорайоном Гнідава і центральною частиною Луцька). Створений з метою збереження частини заболоченої лівобережної заплави р. Стир. Тут зростає велика кількість рідкісних рослин, знаходяться місця гніздування водоплавних птахів.

Площа болотного масиву 116,6 га. Статус заказника надано в 1995 р. Перебуває у віданні управління житлово-комунального господарства міської ради Луцька та Боратинської сільської ради Луцького району Волинської області.

Гнідавський болотний масив гідрологічно зв'язаний з р. Стир системою каналів, що вимагає, на нашу думку, організації більш детальних гідрологічних та гідрохімічних досліджень.

Водопостачання та водовідведення м. Луцька.

Водопостачання. Для водопостачання міста Луцька використовуються підземні води водоносного горизонту у відкладах турон-селонського ярусу (55 артезіанських свердловин), які після певної водопідготовки (знезалізнення та знезараження хлоруванням) на комунальному підприємстві «Луцькводоканал» (цех насосних та очисних споруд водопроводу) подаються лучанам. Водопостачання місту в останні роки становить близько 16 млн. м^3/рік. Установлена виробнича потужність луцького водопроводу 82 тис. м^3/добу. У табл. 7 наведено показники якості питної води, що подається мешканцям та іншим користувачам у м. Луцьку насосними станціями Дубнівського, Омелянівського та Гнідавського водогонів. Питна вода досить високої якості з мінералізацією близько 398-472 мг/дм^3, за всіма показниками відповідає нормативам Державних санітарних правил і норм (ДСанПіН) 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені Міністерством охорони здоров’я України 12.05.2010 р. (наказ № 400).

Водовідведення. Основний вплив Луцька на якість води р. Стир – це скид близько 16 млн. м^3/рік (42 тис. м^3/добу) господарсько-побутових та промислових стічних вод після очищення на очисних спорудах каналізації комунального підприємства «Луцькводоканал» (цех насосних та очисних споруд каналізації), розташованих нижче міста на правому березі Стиру поблизу с. Липляни Ківерцівського району Волинської області. Установлена виробнича потужність очисних споруд 120 тис. м^3/добу.

Водовідведення дощових стічних вод з території міста відбувається за допомогою дощової каналізації у найближчі водні об’єкти (зрештою у р. Стир) без очищення і без обліку, що безперечно впливає на якість річкової води [4, 10, 17, 18].

У табл. 8 наведено хімічний склад стічних вод, що надходять для очищення на очисні споруди каналізації м. Луцька, а табл. 9 – хімічний склад стічних вод після очищення, які скидаються у р. Стир. При порівнянні даних табл. 8 (вхід) і табл. 9 (вихід) видно, що очисні споруди каналізації м. Луцька працюють задовільно. Так, кількість завислих речовин в очищених стічних водах зменшується у 59 разів, значення $БСК_5$ – у 32 рази, значення ХСК – у 23 рази.

Таблиця 7. **Якість питної води, що подається користувачам з різних водогонів м. Луцька (за даними КП «Луцькводоканал», 2016 р.)**

№ з/п	Назва показника	Одиниця виміру	ГДК за ДСанПіН 2.2.4-171-10	Дубнівсь-кий водогін	Омеля-нівський водогін	Гнідавсь-кий водогін
1.	Запах при 20^0 С	бали	не більше 2	0	0	0
2.	Запах при 60^0 С	бали	не більше 2	0	0	0
3.	Присмак	бали	не більше 2	0	0	0
4.	Забарвленість	градуси	не більше 20 (35)	7	6	6
5.	Каламутність	мг/дм^3	не більше 1,5 (2)	0,6	0,32	0,51
6.	pH	Одиниці pH	6,5-8,5	7,1	7,21	7,32
7.	Загальна жорсткість	ммоль/дм^3	не більше 7,00 (10,0)	7,9	7,1	7,1
8.	SO_4^{2-}	мг/дм^3	не більше 250 (500)	40,4	18,3	36,5
9.	Cl^-	мг/дм^3	не більше 250 (350)	23,0	13,0	25,0
10.	Мінералізація	мг/дм^3	не більше 1000	471,8	398,8	414,4
11.	Cl-залишковий вільний	мг/дм^3	0,3-0,5	0,3	0,3	0,3
12.	NH_4^+	мг/дм^3	не більше 0,5 (2,6)	0,06	0,05	0,07
13.	Ортофосфати	мг/дм^3	не більше 3,5	0,083	0,074	0,075
14.	Fe (заг.)	мг/дм^3	не більше 0,20 (1,0)	<0,1	<0,1	0,11
15.	Mn	мг/дм^3	не більше 0,005	0,017	0,03	0,021
16.	Cu	мг/дм^3	не більше 1,0	0,031	0,018	0,042
17.	Zn	мг/дм^3	не більше 1,0	0	0	0
18.	Al	мг/дм^3	не більше 0,20 (0,50)	0	0	0

Таблиця 8. **Хімічний склад стічних вод, що надходять на очисні споруди каналізації м. Луцька (в районі с. Липляни – за даними КП «Луцькводоканал», 2016 р.), мг/дм^3**

№ з/п	Назва показника	Концентрація показника
1.	Завислі речовини	829
2.	БСК$_5$ (мгО$_2$/дм^3)	456
3.	ХСК (мгО/дм^3)	830
4.	Cl^-	99
5.	SO_4^{2-}	59
6.	Мінералізація	840
7.	PO_4^{3-}	11,2
8.	NH_4^+	42,3
9.	NO_2^-	0,12
10	NO_3^-	0,5
11.	Нафтопродукти	0,2
12.	СПАР	2,5
13.	Fe (заг.)	3,0
14.	Cr^{6+}	0
15.	Zn	0
16.	Ni	0
17.	Cu	0,031
18.	Mn	0,034

Таблиця 9. **Хімічний склад стічних вод, що скидаються у р. Стир після очищення на очисних спорудах каналізації м. Луцька (в районі с. Липляни – за даними КП «Луцькводоканал», 2016 р.), мг/дм^3**

№ з/п	Назва показника	Концентрація показника	ГДК показника
1.	Завислі речовини	13,9	15
2.	$БСК_5$ ($мгO_2/дм^3$)	14,2	15
3.	ХСК ($мгO/дм^3$)	36	80
4.	Cl^-	65,4	300
5.	SO_4^{2-}	46,9	100
6.	Мінералізація	581,5	1000
7.	PO_4^{3-}	6,75	7,7
8.	NH_4^+	14,05	15,3
9.	NO_2^-	0,3	1,57
10	NO_3^-	10,7	40
11.	Нафтопродукти	0,1	0,4
12.	СПАР	0,46	0,5
13.	Fe (заг.)	0,64	0,7
14.	Cr^{6+}	0	0,004
15.	Zn	0	0,017
16.	Ni	0	0,018
17.	Cu	0,024	0,034
18.	Mn	0,024	0,035

Висновки. Виконані дослідження водних об’єктів на території міста Луцька засвідчили наступне.

1. Гідрографічну мережу м. Луцька формує річкова мережа р. Стир з його притоками - малими річками Сапалаївка, Омеляник та Жидувка.

2. У складі гідрографічної мережі привертають також до себе увагу такі об’єкти: гідрологічний пам’ятка природи місцевого значення «Теремнівські ставки», що регулюють гідрологічний режим р. Сапалаївка; загальнозоологічний заказник місцевого значення «Гнідавське болото», яке має гідрологічний зв’язок зі Стиром.

3. За європейськими критеріями стосовно площі водозбору згідно ВРД ЄС/2000 р. Стир належить до дуже великих річок.

4. Склад води р. Стир гідрокарбонатно-кальцієвий з мінералізацією, що змінюється за сезонами: від 371,0 мг/дм^3 під час весняної повені – до 503 мг/дм^3 у зимову межень (багаторічні дані для поста гідрометслужби р. Стир – м. Луцьк).

5. Стир не задіяний у господарсько-питному водопостачанні м. Луцька, оскільки є достатньо потужностей свердловин на артезіанські води. В той же час, за необхідності, за якістю води Стир може бути джерелом водопостачання міста.

6. Органи влади у м. Луцьку приділяють увагу стану малих річок на території міста. Згідно рішення міськради діє система локального моніторингу якості води малих річок, що знаходиться у віданні КП «Луцькводоканал». Здійснено благоустрій р. Сапалаївка у центральній частині міста на ділянці довжиною близько 0,5 км.

7. В той же час, дані локального моніторингу якості води малих річок засвідчують значне перевищення ГДК за такими показниками як завислі речовини, ХСК, вміст СПАР та заліза, що вказує на невідповідність нормативам СанПин № 4630-88.

8. Водопостачання м. Луцька здійснюється підземними водами високої якості.

9. Очисні споруди каналізації за даними лабораторних аналізів КП «Луцькводоканал» задовільно справляються з очищенням стічних вод, що надходять з міста.

Список літератури

1. Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха / Електронна петиція киян до Київської міської ради від 05.11.2015 р. та відповідь Київського міського голови В. Кличка від 22.03.2016 р. [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу: https://petition.kievcity.gov.ua/petition/?pid=376. **2.** Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. – К., 2006. – 240 с. **3.** Водний кодекс України [Електронний ресурс]. – 1995. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80. **4.** В центрі Луцька через сильну зливу розлилася річка Сапалаївка [Електронний ресурс] – 2013 – Режим доступу: http://www.volynpost.com/news/17906-v-centri-lucka--potop-foto. **5.** *Ганущак М. М.* Сучасний гідрохімічний режим річки Стир в умовах антропогенного навантаження (на прикладі м. Луцьк) [Електронний ресурс] / М. М. Ганущак, Н .А. Тарасюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Том 2 (29). – С. 54-63. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_2_8. **6.** *Горєв Л. М.* Гідрохімія України / Л .М. Горєв, В. І. Пелешенко, В .К. Хільчевський. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с. **7.** Забокрицька М. Р. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу / М. Р. Забокрицька, В. К. Хільчевський, А. П. Манченко. К.: Ніка-Центр, 2006. – 184 с. **8.** *Кутовий С .С.* Польова практика з гідрології / С.С. Кутовий. – Луцьк. – 2015. – 56 с. **9.** Луцьк судноплавний [Електронний ресурс] – 2013 – Режим доступу: http://www.volynpost.com/articles/311-luck-sudnoplavnyj-abo-de-zhyve-styrovyj-neptun. **10.** *Мольчак Я. О.* Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк, О. Ф. Картава. – Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2003. – С. 68-76. **11.** Мольчак Я. О. Річки Волині / Я. О. Мольчак, Р. В. Мігас. – Луцьк: Надстир'я, 1999. – 174 с. **12.** *Ничая О. О.* Геоекологічна реабілітація річок міста Луцька (на прикладі р. Сапалаївка) / О. О. Ничая, М. М. Мельнійчук, Н. А. Тарасюк // Стан та перспективи інноваційно-інвестиційного розвитку міста Луцька: зб. наук. праць за матеріалами II наук.-практ. конф. – Луцьк: Східноєвропейський нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. – С. 98-102. **13.** Оновлена Сапалаївка у Луцьку [Електронний ресурс] – 2014 – Режим доступу: http://www.volynnews.com/ news/society/yak-sotsialno-vidpovidalnyy-biznes-rozvyvaye-lutsk/. **14.** *Осадчий В. І.* Вплив урбанізованих територій на хімічний склад поверневих вод басейну Дніпра [Електронний ресурс] / В. І. Осадчий, Н. М. Осадча, Н. М. Мостова. – 2011. Режим доступу: http://www.uhmi.org. ua/pub/np/250/21_Mostova.pdf. **15.** Про заходи для запобігання погіршенню якості поверхневих вод. – Рішення виконкому Луцької міськради від 24.05.2013 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://document.ua/pro-zahodi-dlja-zapobigannja-pogirshennyu-jakosti-poverhnevi-doc150005.html. **16.** *Фесюк В. О.* Водогосподарський комплекс м. Луцька – модель сучасного водокористування міст України: Автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія. – Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – К., 2002. – 18 с. **17.** *Фесюк В. О.* Конструктивно-географічні засади формування і розвитку великих урбоекосистем північно-західної України: Автореф. дис. доктора геогр. наук: 11.00.11 – конструктивна географія і раціонального використання природних ресурсів. – Львівський нац. ун-т ім. Івана Франка – Львів – 2008. – 32 с. **18.** *Хільчевський В. К.* Водопостачання і водовідведення: Гідроекологічні аспекти. – К.: ВПЦ «Київський університет», 1999. – 319 с. **19.** *Хільчевський В. К.* Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу / В. К. Хільчевський, Р. Л. Кравчинський, О. В. Чунарьов. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 180 с. **20.** *Хільчевський В. К.* Основи гідрохімії / В. К. Хільчевський, В. І. Осадчий, С. М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 180 с. **21.** *Хільчевський В. К.* Про вплив м. Львова на стік хімічних речовин та якість поверхневих вод Західного Бугу / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрицька // Матеріали наук.-практ. конф. 2-го Міжнарод. водного форуму «Аква-Україна-2004». – К., 2004. – С. 101-103. **22.** *Хільчевський В К.* Оцінка гідрографічної мережі району річкового басейну Вісли (Західного Бугу та Сану) на території України згідно типології Водної рамкової директиви ЄС [Електронний ресурс] / В. К. Хільчевський, В. В. Гребінь, М. Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія,– 2016. – Том 1(40). С. 32-44. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_1_4. **23.** *Шіпка М. З.* Оцінка якості води р. Полтва та її приток [Електронний ресурс] / М. З. Шіпка // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія,– 2013. – Том 3(30). С. 82-44. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_3_12. **24.**

Kowalczuk I. Hydrologiczne i hydroekologiczne problemy Ukrainskiego Polesia / I. Kowalczuk, W. Chilczewski // Acta Agrophysica. - 2002. - № 68. – S. 73-88. - Reżim dostępu: https://www.infona.pl//resource/bwmeta1.element.agro-article-f18c9de1-f0d4-4a0c-8e6f-6af949629c4.

Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення

Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К.

Виконано аналіз гідрографічної мережі на території м. Луцька. Наведено гідрологічну та гідрохімічну характеристику р. Стир та його приток – малих річок Сапалаївка, Омеляник та Жидувка. Охарактеризовано якість питної води у м. Луцьк.

***Ключові слова:** річки, Стир, Сапалаївка, Омеляник, Жидувка*

Водные объекты Луцка: гидрография, локальный мониторинг, водоснабжение и водоотведение

Забокрицкая М.Р., Хильчевский В.К.

Выполнен анализ гидрографической сети на территории г. Луцка. Приведена гидрологическая и гидрохимическая характеристика р. Стыр и его приток – малых рек Сапалаевка, Омелянник и Жидувка. Охарактеризовано качество питьевой воды в г. Луцк.

***Ключевые слова:** реки, Стыр, Сапалаевка, Омелянник, Жидувка*

Water bodies of Lutsk: hydrography, local monitoring, water supply and water disposal

M. Zabokrytska, V. Khilchevsky

Was made the analysis of hydrographic network in the city Lutsk. Hydrological and hydrochemical characteristics of Styr river and its tributaries – mall rivers Sapalayivka, Omelyanyk and Zhyduvka was presented. It has been characterized quality of drinking water in the city Lutsk.

***Keywords**: rivers, Styr, Sapalayivka, Omelyanyk, Zhyduvka*

Надійшла до редколегії 12.09.2016

УДК: 502.51 (285) (477.41)

Прокопук М.С., Погорєлова Ю.В.

Інститут еволюційної екології НАН України, Київ

ВМІСТ БІОГЕННИХ РЕЧОВИН У ВОДОЙМАХ МІСТА КИЄВА

***Ключові слова:** біогенні речовини, водойми, м. Київ, антропогенне навантаження, гідрохімічний аналіз*

Вступ. Київ – великий урбокомплекс, де природні екосистеми зазнають значного тиску з боку людини. Відчутний антропогенний вплив помітний і в гідротопах, якими так багате місто (сьогодні в його межах існує понад 400 об'єктів водного фонду [2]). Більшість сучасних водойм Києва розташовані в межах лівобережних районів міста і за походженням є залишками заплавного комплексу р. Дніпро. Територія Правобережжя Києва з гідрографічної точки зору є вододільно-яружною, більшість водойм тут – озера та ставки, утворені внаслідок природного чи штучного загачування струмкових долин [10]. Сьогодні міські водойми є не тільки улюбленими об'єктами рекреації городян, але й, час від часу, стихійної риболовлі. Це робить актуальними усесторонні гідрохімічні дослідження на водоймах міста та аналіз їхнього екологічного стану.

Особливо актуальним бачиться вивчення вмісту біогенних речовин у водоймах міста, адже вони відносяться до переліку найважливіших показників якості води та провідних чинників процесу антропогенного евтрофування поверхневих вод [3, 5, 11].

Метою роботи було визначення вмісту біогенних речовин (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}) у водоймах міста Києва.

Матеріали та методи досліджень. Гідрохімічні дослідження води на вміст біогенів проводилися колориметричним методом з використанням приладу DR/890 Colorimeter (проби відбирались протягом 2013–2015 років у літній період – липень–серпень, з приповерхневих шарів водойм). Загалом було обстежено 52 міські водойми, відібрано 21 серію (лівий берег Дніпра) та 31 серію (правий берег) гідрохімічних проб та проаналізовано їх на вміст азоту нітритного (NO_2^-), азоту нітратного (NO_3^-), азоту амонійного (NH_4^+), сполук фосфору (PO_4^{3-}). Відбір проб та визначення класів якості води здійснювались за загальноприйнятими методиками [7, 9]. Отримані результати порівнювались з показниками гранично-допустимих концентрацій (далі ГДК) для водойм як рибогосподарського, так і культурно-побутового і рекреаційного призначення [8].

Результати досліджень і їх обговорення. Вміст основних біогенних речовин у водоймах міста Києва представлений у таблиці 1. Результати аналізу відібраних проб показали, що показники біогенних сполук у водоймах міста коливаються у широких межах, подекуди набуваючи значних величин.

Щодо крайніх проявів значень вмісту біогенів, то найбруднішими за вмістом NO_2^- були водойми Оболонського та Дарницького районів. Так, значення азоту нітритного у Міському ставу, що в Пущі Водиці, становили 1,011 мгN/дм³, що в 50 разів перевищує ГДК для водойм рибогосподарського призначення (0,02 мгN/дм³). В озері Гарячка, що в Дарницькому районі, їх значення (0,33 мгN/дм³) перевищували зазначені ГДК у 16 разів. Незначні перевищення норм рибогосподарських ГДК відмічені також для Феофаніївського ставу №3, Святошинського ставу №14 та каналу вздовж вул. Меліоративна. Перевищення норм ГДК для водойм культурно-побутового та рекреаційного використання (1,0 мгN/дм³) на обстежених водоймах міста не спостерігалося.

Перевищенням норм ГДК для водойм рибогосподарського призначення за вмістом азоту нітратного відзначалося лише у двох водоймах – Феофаніївському ставі №3 та озері Гарячка (9,7 та 35,0 мгN/дм³ відповідно при граничнодопустимій концентрації 9,1 мгN/дм³); вміст азоту нітратного в оз. Гарячка також перевищував у 3,5 рази норми ГДК культурно-побутового використання (10,15 мгN/дм³). Решта ж обстежених водойм міста за вмістом нітратів є придатним для рекреаційного використання.

Вміст азоту амонійного у досліджених водоймах не показав перевищень норм ГДК, визначених для водойм рибогосподарського (0,39 мгN/дм³) та культурно-побутового (2,0 мгN/дм³) використання, за виключенням озер Гарячки та Заплавного (Дарницький район), де рибогосподарські нормативи були дещо перевищені.

Найгірша ситуація у водоймах міста відзначається за вмістом фосфатів. Так, в десяти із дванадцяти досліджених озер Дарницького району відзначаються підвищеним вмістом фосфатів і є непридатними для рибництва: в озерах Нижній Тельбін, Корольок, Прірва, Жандарка, Гарячка значення цих показників більш ніж у 10 разів і перевищують існуючі норми ГДК (0,2 мгP/дм³). Непридатними для рибництва за вмістом фосфатів можна вважати Феофанівський став №3, Галерну затоку у Голосіївському, озер системи «Опечень», Вербне, Міський став, Карачун, Блакитне в Оболонському, Бабине, Тельбін — в Дніпровському, Святошинський став №14 в Святошинському районах міста. Норми ГДК для культурно-побутового використання за показниками вмісту PO_4^{3-} (1,4 мгP/дм³) на досліджених водоймах міста за три останні роки були дещо перевищені у воді восьми озер (Йорданське, Вербне, Синє, Бабине, Тельбін, Жандарка, Гарячка, Алмазне, Радунка).

Таблиця 1. **Усереднені дані вмісту біогенних речовин у водоймах м. Києва**

№ п/п	Водойма	NO_2^-, мгN/ дм³	NO_3^-, мгN/ дм³	NH_4^+, мгN/ дм³	PO_4^{3-}, мгP/ дм³
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Голосіївський район м. Києва					
1	Феофанівський став №1 (верхній)	0,000	1,8	0,01	0,10
2	Феофанівський став №2	0,009	1,9	0,01	0,13
3	Феофанівський став №3	0,040	9,7	0,01	0,29
4	Феофанівський став №4	0,008	4,3	0,01	0,24
5	Феофанівський став №5	0,011	1,0	0,01	0,13
6	ЛЗ «Жуків острів», водойма №1 (50°20’32.5" N, 30°34’19.6" E)	0,008	1,9	0,01	0,26
7	ЛЗ «Жуків острів», водойма №2 (50°20’31.9" N, 30°34’07.6" E)	0,001	1,0	0,32	0,06
8	Галерна затока	0,010	0,0	0,01	1,43
Оболонський район м. Києва					
9	затока Верблюд	0,004	1,9	0,13	0,00
10	оз. Редькіне	0,006	0,7	0,04	0,00
11	оз. Біле	0,005	0,5	0,01	0,00
12	оз.Мінське	0,013	2,2	0,03	0,00
13	оз. Опечень	0,023	5,0	0,04	0,00
14	оз. Андріївське	0,009	1,0	0,02	1,37
15	оз. Кирилівське	0,018	2,5	0,03	0,20
16	оз. Йорданське	0,012	2,0	0,04	2,75
17	оз. Вербне	0,009	2,4	0,01	2,23
18	Міський став	1,011	0,0	0,01	1,11
19	оз. Гаращиха	0,014	1,6	0,01	1,38
20	оз. Карачун	0,006	0,0	0,01	0,78
21	Сапсаїв став	0,011	0,4	0,02	0,00
22	оз. Блакитне	0,018	0,0	0,01	0,51
Подільський район м. Києва					
23	оз. Синє	0,016	2,2	0,10	1,77
Дніпровський район м. Києва					
24	оз. Бабине	0,006	0,5	0,01	1,78
25	Труханів о-в, водойма №1 (50°28'11.8"N, 30°32'30.6"E)	0,002	1,1	0,04	0,00
26	Труханів о-в, водойма №2 (50°28'15.7" N, 30°32'27.7" E)	0,013	0,6	0,40	0,17
27	оз. Тельбін	0,009	2,4	0,05	2,75
Святошинський район м. Києва					
28	Святошинський став №14	0,041	0,0	0,17	0,57
29	Святошинський став №15	0,004	0,5	0,01	0,00
30	Святошинський став №16	0,014	2,8	0,01	0,23
31	ставок на вул. Булгакова,90	0,000	3,6	0,48	0,00
Дарницький район м. Києва					
32	оз. Лебедине	0,021	2,1	0,11	0,92
33	оз. Позняки	0,006	1,5	0,15	0,00
34	оз. Тягле	0,023	1,2	0,01	1,56
35	оз. Срібний Кіл	0,010	0,8	0,01	0,99
36	оз. Небреж	0,002	1,9	0,01	0,00
37	оз. Заплавне	0,010	2,4	0,55	0,52
38	оз. Нижній Тельбін	0,019	3,6	0,12	2,54
39	оз. Корольок	0,004	1,1	0,01	2,75
40	оз. Прірва	0,014	1,4	0,01	2,75

Продовження табл.1

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
41	оз. Сонячне	0,004	0,2	0,01	0,28
42	оз. Жандарка	0,016	0,0	0,07	2,13
43	оз. Гарячка	0,330	35,0	0,77	2,75
Деснянський район м. Києва					
44	оз. Алмазне	0,001	0,4	0,01	1,91
45	канал вздовж вул. Меліоративна	0,066	0,6	0,01	0,00
46	канал вздовж вул. Закревського	0,012	1,9	0,13	0,00
47	оз. Гнилуша	0,006	1,0	0,01	1,20
48	оз. Радунка	0,014	2,4	0,01	2,40
49	оз. в урочищі Городище	0,004	1,7	0,01	0,00
50	затока Доманя	0,001	0,8	0,01	0,67
51	парк Дружби народів, водойма №1 (50°28'15.7"N 30°32'27.7"E)	0,003	0,7	0,12	0,00
52	парк Дружби народів, водойма №2 (50°30'69.3"N 30°32'72.4"E)	0,002	0,5	0,26	0,00

На основі екологічної класифікації якості поверхневих вод [7], усі досліджені водойми були розподілені за класами та категоріями якості вод (табл. 2).

Таблиця 2. **Екологічна класифікація якості води у водоймах м. Києва**

№ п/п	Водойма	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}
1	*2*	*3*		*5*	*6*
Голосіївський район м. Києва					
1	Феофаніївський став №1 (верхній)	1	6	1	4
2	Феофаніївський став №2	3	6	1	5
3	Феофаніївський став №3	5	7	1	6
4	Феофаніївський став №4	3	7	1	6
5	Феофаніївський став №5	4	5	1	5
6	ЛЗ "Жуків острів", №1	3	6	1	6
7	ЛЗ "Жуків, острів", №2	1	5	3	3
8	Галерна затока	3	1	1	7
Оболонський район м. Києва					
9	затока Верблюд	2	6	2	1
10	оз. Редькіне	3	4	1	1
11	оз. Біле	2	3	1	1
12	оз. Мінське	4	6	1	1
13	оз. Опечень	5	7	1	1
14	оз. Андріївське	3	5	1	7
15	оз. Кирилівське	4	6	1	5
16	оз. Йорданське	4	6	1	7
17	оз. Вербне	3	6	1	7
18	Міський став	7	1	1	7
19	оз. Гаращиха	4	6	1	7
20	оз. Карачун	3	1	1	7
21	Сапсаїв став	4	3	1	1
22	оз. Блакитне	4	1	1	7
Подільський район м. Києва					
23	оз. Синє	4	6	2	7

Продовження табл.2

1	*2*	*3*		*5*	*6*
Дніпровський район м. Києва					
24	оз. Бабине	3	3	1	7
25	Труханів о-в, №1	2	6	1	1
26	Труханів о-в, №2	4	4	4	5
27	оз. Тельбін	3	6	1	7
Святошинський район м. Києва					
28	Святошинський став №14	5	1	2	7
29	Святошинський став №15	2	3	1	1
30	Святошинський став №16	4	7	1	6
31	ставок вул. Булгакова,90	1	7	4	1
Дарницький район м. Києва					
32	оз. Лебедине	5	6	2	7
33	оз. Позняки	3	6	2	1
34	оз. Тягле	5	6	1	7
35	оз. Срібний кіл	3	5	1	7
36	оз. Небреж	2	6	1	1
37	оз. Заплавне	3	6	5	7
38	оз. Нижній Тельбін	4	7	2	7
39	оз. Корольок	2	6	1	7
40	оз. Прірва	4	6	1	7
41	оз. Сонячне	2	2	1	6
42	оз. Жандарка	4	1	1	7
43	оз. Гарячка	7	7	5	7
Деснянський район м. Києва					
44	оз. Алмазне	1	3	1	7
45	канал вздовж вул. Меліоративна	6	4	1	1
46	канал вздовж вул. Закревського	4	6	2	1
47	оз. Гнилуша	3	5	1	7
48	оз. Радунка	4	6	1	7
49	оз. в урочищі Городище	2	6	1	1
50	затока Доманя	1	5	1	7
51	парк Дружби народів, №1	2	4	2	1
52	парк Дружби народів, №2	2	3	3	1

Примітка.

* *Умовні позначення за класами якості води та трофо-сапробіологічними критеріями:*

1	*I клас - відмінна, 1 категорія – дуже чиста; оліготрофні, β – олігосапробні водойми*
2	*II клас - добра, 2 категорія – чиста; мезотрофні, α - олігосапробні*
3	*II клас - добра, 3 категорія – досить чиста; мезотрофні, β' – мезосапробні*
4	*III клас - посередня, 4 категорія – слабко забруднена; евтрофні, β" – мезосапробні*
5	*III клас - посередня , 5 категорія – помірно забруднені; ев-політрофні, α' – мезосапробні*
6	*IV клас - погана, 6 категорія – брудна; політрофних α"– мезосапробні водойми*
7	*V клас – дуже погана, 7 категорія – дуже брудна; гіпертрофні, полісапробні водойми*

Жодна із досліджених водойм міста за показниками вмісту біогенних речовин не може розглядатися як така, що характеризується водою високої якості.

Лише 13% досліджених водойм вирізнялися водою хорошої якості: озера

Редькіно, Біле, Сапсаїв став (Оболонський р-н), Святошинський став №15 (Святошинський р-н) та водойми парку «Дружби народів», де вода за вмістом усіх типів біогенів класифікується як «добра» чи «посередня».

70% водойм, охоплених гідрохімічним аналізом, хоча б за одним показником класифікувалися як такі, де якість води «погана» чи «дуже погана». Найгіршою якістю води, за даними наших досліджень, відзначаються ставки парку Феофанія (Голосіївський р-н), водойми системи «Опечень», Міський став в Пущі-Водиці та оз. Гаращиха (Оболонський р-н), більшість водойм Дарницького р-ну та озера Гнилуша, Радунка, затока Доманя, що у Деснянському районі, де води за вмістом біогенів оцінюються як «брудні» та «дуже брудні». Зазвичай, це водойми, що розташовані в межах великих промислових районів, об'їзних доріг та житлових масивів.

Сприятливою екологічна ситуація може вважатися лише за вмістом азоту амонійного (якість води за концентраціями даної сполуки у досліджених водоймах міста не опускалася нижче «посередньої, слабко забрудненої»).

Найгіршою є ситуація на водоймах міста за показниками вмісту сполук неорганічного фосфору. Лише 1/3 із досліджених водойм за значеннями PO_4^{3-} у воді характеризувалася водою високої якості, проте половина (48%) досліджених водойм за вмістом фосфатів характеризуються як «брудні», гіпертрофні, полісапробні водойми з дуже низькою якістю води.

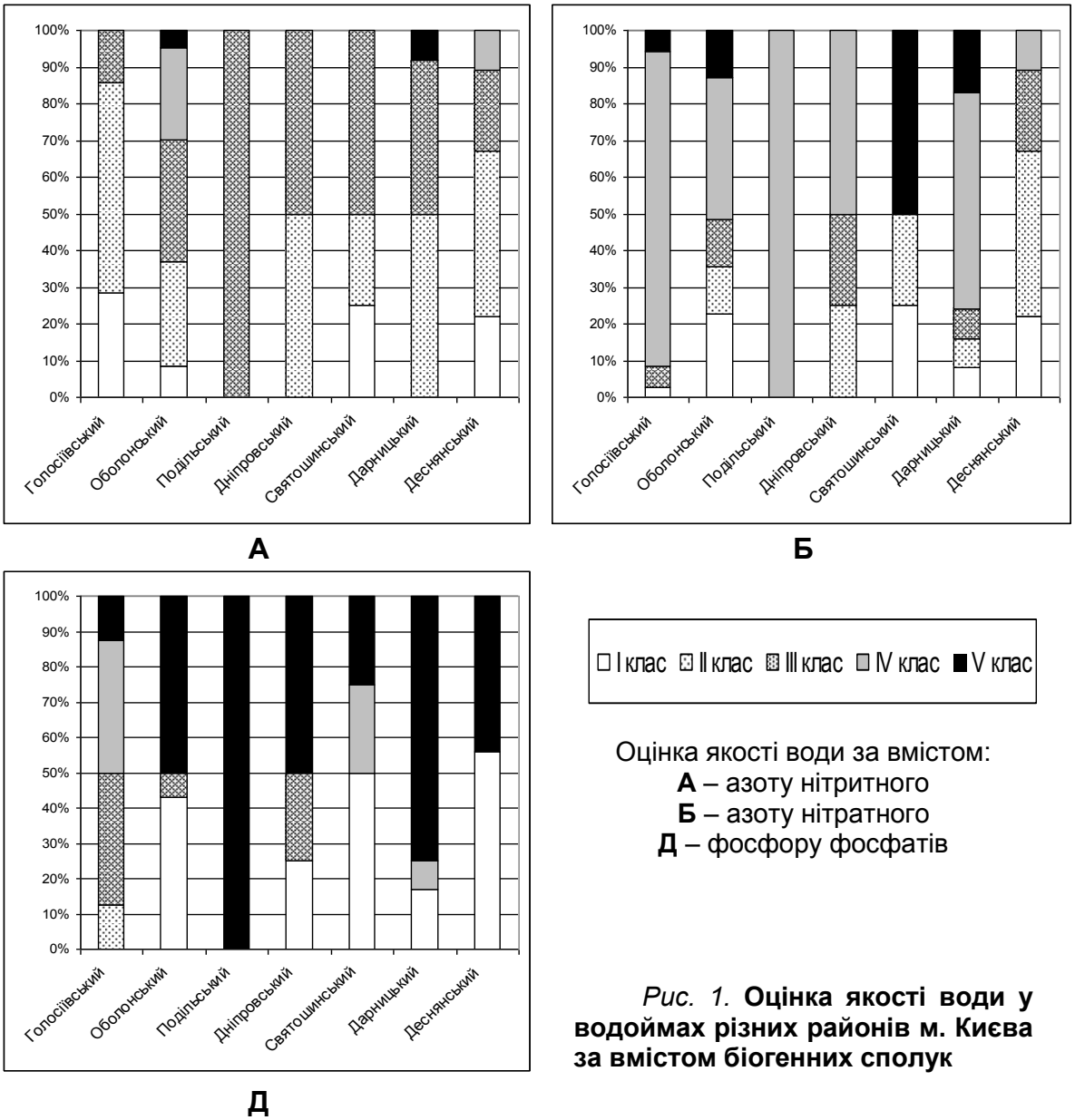
Щодо вмісту нітритів, то лише 4% досліджених водойм характеризуються як «дуже брудні», гіпертрофні, полісапробні водойми з дуже низькою якістю води, 11% – як «брудні», 27% – як водойми з посередньою якістю, 58% – водойм є «чистими». За вмістом нітратів 13% досліджених водойм характеризуються як «дуже брудні», більше половини (54%) – як «брудні», лише четверту частину водойм можна віднести до «чистих».

Найкращими показниками якості води вирізнялися водойми Голосіївського, Святошинського та Деснянського районів. Найгіршими – Оболонського та Дарницького (рис. 1). За вмістом нітритів, нітратів та фосфатів відповідно 75%, 12,5%, 12,5% досліджених водойм Голосіївського району відносяться до перших класів якості води. Щодо водойм Оболонського району, то до «чистих» чи «досить чистих» водойм відноситься 43% за вмістом нітритів, 36% – за вмістом нітратів, 43% – фосфатів. Половина із досліджених водойм Дніпровського районує міста є досить чистими за вмістом нітритів, чверть – за вмістом нітратів і чверть – фосфатів. У Святошинському районі 50% всіх досліджених водойм є водоймами перших класів якості води. У Дарницькому 50% водойм є досить чистими щодо нітритів, та лише 16% та 17% щодо вмісту нітратів та фосфатів відповідно. 67% водойм Деснянського району за вмістом нітритів можна охарактеризувати як «дуже чисті, чисті чи досить чисті», 22% – як такі щодо вмісту нітратів та 56% – за вмістом фосфатів.

Висновки. Аналіз вмісту основних біогенних сполук у поверхневих водах м. Києва показав ознаки антропогенного евтрофування у більшості досліджених водойм. Жодна із досліджених водойм за показниками вмісту комплексу біогенних речовин не може розглядатися як така, що характеризується водою високої якості. Сприятливою екологічна ситуація на водоймах міста може вважатися лише за вмістом азоту амонійного (якість води за концентраціями даної сполуки у досліджених водоймах міста не опускалася нижче «посередньої, слабко забрудненої»).

Лише 13% досліджених водойм вирізнялися водою хорошої якості (озера Редькіно, Біле, Сапсаїв став (Оболонський р-н), Святошинський став №15 (Святошинський р-н) та водойми парку «Дружби народів» (Деснянський р-н), де вода за вмістом біогенів класифікується як «добра» чи «посередня».

70% досліджених водойм хоча б за одним показником класифікувалися як такі, де якість води «погана» чи «дуже погана». Найнижчою якістю води, за даними наших досліджень, відзначаються водойми системи «Опечень», Міський став в Пущі-Водиці та оз. Гарашиха (Оболонський р-н), більшість водойм Дарницького р-ну та озера Гнилуша, Радунка, затока Доманя (Деснянський р-н), де води за вмістом біогенів оцінюються як «брудні» та «дуже брудні».



Оцінка якості води за вмістом:
А – азоту нітритного
Б – азоту нітратного
Д – фосфору фосфатів

Рис. 1. **Оцінка якості води у водоймах різних районів м. Києва за вмістом біогенних сполук**

Найгіршими показниками якості води вирізнялися водойми Оболонського та Дарницького районів міста. Найкращими – водойми Голосіївського, Святошинського та Деснянського районів.

Список літератури

1. *Авраменко Н.І.* Сезонна мінливість біогенних речовин у річці Ворскла / Н.І. Авраменко // Вісн. Полт. держ. аграрн. акад. – 2014. – №1. – С.115–120. **2.** *Введення в експлуатацію* об'єктів соціальної сфери в Україні за 2005 рік. Експрес-доповідь Державного комітету статистики України 1 березня 2006 року № 64. Офіційний сайт Держкомстат

України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/. **3.** *Гончар О.М.* Режим біогенних речовин у поверхневих водах басейну Дністра / О.М. Гончар, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т. 1, Вип.26. – С.76–83. **4.** *Грюк І.* Вміст сполук нітрогену у воді малих річок, як показник рівня антропогенного навантаження / І. Грюк, І. Суходольська // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2012. – Вип.60. – С.227–238. **5.** *Эвтрофикация,* стратегия, окружающая среда, технологии [Електронный ресурс]. – Режим доступу: www. prestobalticsea.ua / **6.** *Методи гідроекологічних досліджень* поверхневих вод // О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дьяченко та ін.; під ред. В.Д. Романенка. – К. : ЛОГОС, 2006. – 408 с. **7.** *Методика екологічної оцінки* якості поверхневих вод за відповідними категоріями // В.Д. Романюк, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, А.В. Яцик та ін. – К : Символ-Т., 1998. – 28 с. **8.** *Клименко М.О.* Порівняльний аналіз нормативів якості води поверхневих вод / М.О. Клименко, Н.М. Возюк, К.Ю. Вербицька // Наук. доп. НУБіП. – 2012. – 8(30) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2012_1/12kmo.pdf **9.** *Руководство* по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений // под ред. к.б.н. В.А. Абакумова – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с. **10.** Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика озер і ставків території м. Києва / В.К. Хільчевський, О.В. Бойко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2001. – Т. 2. – С. 529–535. **11.** Хільчевський В.К. Основи гідрохімії / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.

Вміст біогенних речовин у водоймах міста Києва

Прокопук М.С., Погорєлова Ю.В.

Здійснено екологічну та гідрохімічну оцінку стану водойм міста Києва за показниками вмісту основних біогенних речовин (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}), проаналізовано ступінь трофності водойм згідно класів та категорій якості поверхневих вод. Відмічено, що вміст основних біогенних речовин у поверхневих водах м. Києва показав ознаки антропогенного евтрофування у більшості досліджених водоймах. Жодна із досліджених водойм не може розглядатися як водойма з водою високої якості.

Ключові слова: *біогенні речовини, водойми, м. Київ, антропогенне навантаження, гідрохімічний аналіз.*

Содержание биогенных веществ в водоемах города Киева

Прокопук М.С., Погорелова Ю.В.

Осуществлено экологическую и гидрохимическую оценку состояния водоемов города Киева по показателям содержания основных биогенных веществ (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}), проанализирована степень трофности водоемов согласно классов и категорий качества поверхностных вод. Отмечено, что содержание основных биогенных веществ в поверхностных водах г. Киева показал признаки антропогенного эвтрофирования в большинстве исследованных водоемах. Ни одна из исследованных водоемов не может рассматриваться как водоем с водой высокого качества.

Ключевые слова: *биогенные вещества, водоемы, г. Киев, антропогенная нагрузка, гидрохимический анализ.*

Nutrient content in water objects of Kiev

Prokopuk M.S., Pohorelova Y.V.

Environmental and hydrochemical assessment of the Kyiv water bodies state according to the indicators of main nutrients content (NO^{2-}, NO^{3-}, NH^{4+}, PO_4^{3-}) have been conducted. The degree of water objects trophic level according to the classes and categories of surface water quality have been analyzed. The analysis of selected samples have showed that the indicators of biogenic compounds in water bodies of the city varies widely sometimes to acquire large values, exceeding the norms of the maximum permissible concentrations for the fishery and cultural-household purpose. The worst situation in the reservoirs of the city concerning excess of these standards maximum permissible concentrations has been noted according to the content of phosphates, more than half of the surveyed water bodies are unsuitable for fish farming.

It has been noted that the content of basic nutrients in the surface waters of Kyiv has showed the indication of anthropogenic eutrophication in majority of studied water bodies. As water object with high water quality cannot be considered none of the studied water bodies. The favorable ecological situation on water bodies of the city can be considered only on the content of ammonia nitrogen (the quality of water according to the content of the concentrations of the compound in the surveyed water bodies of city did not

fall below the "mediocre, slightly polluted").

It has been established that only 13% of the investigated water bodies were distinguished by good quality water (Redkino Lake, Bile Lake, and the Sapsai Pond (Obolonskiy district), the Svyatoshinskiy Pond №15 (Svyatoshinskiy district) and waters of the Park of "Druzhbu narodiv" (Desnyanskiy district), where the water's nutrient content is categorized as "good" or "mediocre". 70% of the studied reservoirs, at least one indicator were classified as those where the water quality is "bad" or "very bad".

The worst situation is in the reservoirs of the city in terms of the content of inorganic phosphorus compounds. Only 1/3 of the studied water bodies of the values of PO_4^{3-} in water are characterized by high quality water, however, half (48%) of the studied water bodies on the content of phosphates are characterized as "dirty", hypertrophic, polysaprobic reservoirs with very low water quality.

As for the content of nitrites, only 4% of the investigated reservoirs are characterized as "very dirty" hypertrophic, polysaprobic reservoirs with very low water quality, 11% - as "dirty", 27% - as the reservoir of mediocre quality, 58% - water is "clean" The content of nitrates is 13% of the investigated reservoirs are characterized as "very dirty", more than half (54%) - as "dirty", only a quarter of the water bodies can be classified as "clean".

The worst water quality is in the water bodies of Obolonskyi and Darnitskiy districts. The best water quality is in the water bodies of Goloseevskyi, Sviatoshynskyi and Desnyanskiy districts. The lowest quality is marked in city water bodies of system "Opechen", the Miskyi Stav in the Pushcha-Vodicya and Harashchiha Lake (Obolonskyi district), the most of reservoirs of Darnytskyi district and Gnilusha Lake, Radunka Lake, the Domanya Gulf (Desnyanskiy district), where water containing nutrients are rated as "dirty" and "very dirty".

Keywords: *nutrients, water bodies, Kyiv city, anthropogenic pressure, hydrochemical analysis.*

Надійшла до редколегії 21.07.2016

УДК: 551.515:551.58

Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М.
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ

ВПЛИВ БЛОКУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВТОРЮВАНІСТЬ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ АНОМАЛЬНИХ УМОВ ПОГОДИ В УКРАЇНІ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ

Ключові слова: *блокувальні процеси в тропосфері, аномалія температури повітря, сильна спека, сильний мороз, атмосферна посуха*

Вступ. Зростання повторюваності та інтенсивності аномальних і небезпечних явищ погоди, що відмічається на нашій планеті протягом останніх десятиріч, значною мірою зумовлено зміною атмосферної циркуляції і, перш за все, зростанням її меридіональної складової. До основних форм меридіональної циркуляції атмосфери належить блокування західного перенесення повітряних мас, повторюваність та тривалість якого суттєво зростає у позатропічних широтах Північної півкулі [2, 3, 9, 13, 15, 17, 21]. Блокувальні процеси впливають на погоду і клімат значних територій, формуючи не лише їх термічний режим, режим зволоження, вітру, а й повторюваність аномальних та небезпечних явищ погоди. Характер цих явищ, їх повторюваність та інтенсивність залежить від локалізації блокувального антициклону і заблокованого циклону відносно цієї території, сезону року та повторюваності цих процесів. Виявлення регіонів де відмічається найбільший вплив блокувальних процесів на погоду і клімат та оцінка його зміни є актуальним завданням сучасної метеорології і дозволяє дослідити причинно-наслідкові механізми регіональних особливостей зміни клімату, а отримані залежності є підгрунттям для розробки методів прогнозування термічних аномалій з різною завчасністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потужні великомасштабні та квазістаціонарні блокувальні хвилі в тропосфері привертають увагу учених уже не один десяток років. Основними напрямками досліджень є виявлення причин тривалого існування стаціонарної хвильової структури, блокування західного перенесення повітряних мас, чинників, що сприяють збереженню цих процесів тривалий час та їх розпаду, а також наслідкам до яких призводять блокувальні процеси в тропосфері [1, 5-8, 15, 18, 20, 21]. Отримані знання використовують для розробки методик прогнозування цих процесів та аномальних погодних умов з різною завчасністю. При цьому моделювання умов збереження і руйнування блокування є найбільш успішним [5-8]. Протягом останніх десятиліть увага до блокувальних процесів зросла в усьому світі, що пов'язано із збільшенням кількості випадків аномальних явищ погоди, які зумовлюють ці процеси та зміною атмосферної циркуляції Значному прогресу у дослідженні блокувальних процесів сприяли також поява архівів об'єктивного аналізу та реаналізу, розвиток чисельних моделей та ансамблевих методів прогнозування [3, 15].

В Україні основні зусилля науковців направлені, насамперед, на вивчення механізмів виникнення блокувальних процесів, окремих випадків блокування та аномальних явищ погоди, що зумовлюють ці процеси в регіонах країни.

Досліджується також вплив блокування на режим зволоження, термічний режим територій, вміст озону в атмосфері [4, 10-12, 14, 19]. Однак така інформація є лише для окремих регіонів України та окремих сезонів. Вона стосується переважно аналізу окремих випадків блокування або опису умов формування деяких випадків аномальних та небезпечних явищ погоди, зумовлених цим процесом, що спостерігались в окремих регіонах України. Результати досліджень важко узагальнити, оскільки немає чіткого загальновизнаного визначення блокування, результати досліджень ґрунтуються на різних методологічних підходах, використовують неоднакові критерії та дані, стосуються різних явищ погоди та регіонів. Крім того отримані результати характерні для різних часових проміжків та для окремих сезонів року і не відображають тих змін, що стались протягом останніх десятиліть. Виникає потреба провести комплексний аналіз впливу блокувальних процесів на погодні умови України, в основі якого лежали б однакові методологічні підходи, критерії, тривалий період спостережень, що дозволило б отримати достовірну інформацію для усієї території країни та встановити як варіює цей вплив протягом року. Особливої ваги набувають результати отримані у сучасний кліматичний період, які дозволили б виявити механізми зміни кліматичних умов в Україні та їхні регіональні особливості.

Метою досліджень є оцінка впливу блокування західного перенесення повітряних мас у нижній та середній тропосфері на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди, пов’язаних з температурою повітря в Україні та виявлення їх сезонних і регіональних особливостей.

Об’єктом дослідження є блокування західного перенесення повітряних мас у нижній та середній тропосфері (500гПа та 700гПа) та території Євроатлантичного сектору північної півкулі. яке зумовлювало додатні та від’ємні аномалії температури, сильні спеку, мороз, атмосферну посуху в Україні у період 1979-2010рр.

Для досягнення поставленої мети у роботі були вирішені наступні завдання:

– встановлено вплив блокувальних процесів тропосфери на величину додатних і від’ємних аномалій температури повітря, повторюваність сильної спеки, морозу, атмосферної посухи в усіх областях України та виявлено сезонні особливості цього впливу;

– виявлено регіони України де вплив блокувальних процесів на формування аномальних явищ погоди є найбільш значимим;

– встановлено особливості впливу блокувальних процесів нижньої і середньої тропосфери на формування аномальних явищ погоди в Україні як у цілому протягом року, так і в окремі сезони.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження блокувальних процесів проводили за щоденними даними висоти геопотенціалу 500 та 700 гПа реаналізу ERA-Interim ECMWF у вузлах регулярної сітки з кроком 1,5° у період 1979-2010 рр. Блокування у кожній точці сітки ідентифікували за умови, коли додатні аномалії лапласіану геопотенціалу перевищують граничне значення (стандартне відхилення геопотенціалу на рівні 500 та 700гПа) і зберігаються 5 днів і більше. Відбирали випадки, коли такі умови спостерігались над територією України. У кожній точці регулярної сітки обчислювали кількість днів з таким процесом за місяць, сезон та рік, отримані результати узагальнювали для кожної області країни.

Для виявлення впливу повторюваності блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди, пов’язаних з температурою повітря в Україні для кожної області визначали середнє за сезон та рік значення добової аномалії максимальної та мінімальної температури повітря, кількість днів зі спекою (Тмакс ≥ 25°С), сильним морозом (Тмін ≤- 20°С) та

атмосферною посухою. Аномалії обчислювали як відхилення значень температури від багаторічного середнього за період 1981-2010 рр. За коефіцієнтом кореляції Пірсона (*r)* визначали залежність величини аномалії температури повітря та кількості днів зі спекою, сильним морозом і атмосферною посухою від сумарної повторюваності тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу у нижній (АТ 700) та середній (АТ 500) тропосфері. Оцінку залежності проводили як для кожного сезону, так і в цілому за рік для усіх областей України. Визначали особливості прояву блокування нижньої та середньої тропосфери в Україні.

Отримані результати. Проведений аналіз впливу блокувальних процесів у Євроатлантичному сектору північної півкулі на погодні умови в Україні, показав, що наявність при цьому значних аномалій геопотенціалу в середній і нижній тропосфері над територією України суттєво впливає на її термічний режим впродовж усього року. Встановлено, що блокувальні процеси впливають на величину аномалії максимальної та мінімальної приземної температури повітря, кількість днів та максимальну тривалість періоду зі спекою, сильним морозом, атмосферною посухою в країні. Цей вплив має сезонні особливості і по різному проявляється в регіонах України (рис.1-5).

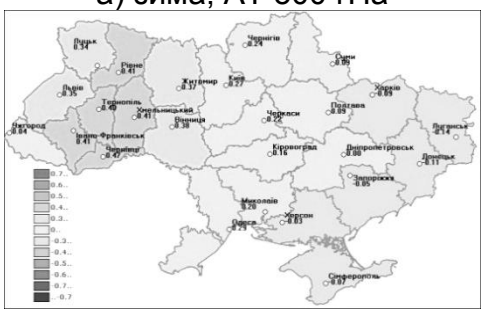
Як показали дослідження, наявність тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу в нижній та середній тропосфері в Україні суттєво впливає (r=0,40-0,80) на величину аномалії максимальної місячної температури повітря у пунктах спостережень. При цьому найбільш вразливими є південні та південно-східні області України, особливо Запорізька, Донецька, Луганська та АР Крим, де місячні аномалії максимальної температури повітря можуть сягати 4°С і вище. Із просуванням на північний захід вплив блокування зменшується, особливо при наявності процесів у нижній тропосфері.

Найбільше впливають блокувальні процеси на величину додатних аномалій максимальної температури повітря влітку. Цей вплив відмічається на всій території України і найбільш виражений (r=0,79-0,88) у східних, північно-східних та центральних областях країни. Значний вплив, хоча дещо менший (r=0,50 – 0,56), на додатну аномалію максимальної температури у цих регіонах мають блокувальні процеси і восени. У цей період вони формують додатну аномалію максимальної температури не лише на сході країни, а й на заході (рис. 1). Взимку та навесні цей вплив вдвічі менший (r=0,35-0,47), ніж влітку та восени і проявляється переважно на заході країни. Найбільш вразливими є Чернівецька, Івано-Франківська, Хмельницька, Тернопільська та Рівненська області, де відмічаються найбільші додатні аномалії максимальної температури – 5°С і вище. При цьому взимку на сході країни блокувальні процеси можуть сприяти формуванню значних (-4°С і нижче) від'ємних аномалій максимальної за місяць температури повітря (рис.1).

Дослідження показали, що блокувальні процеси суттєво впливають не лише на величину додатної аномалії середньої максимальної за місяць температури повітря в Україні, а й на кількість днів та максимальну тривалість періодів зі спекою (Тмакс ≥25°С). Найбільше цей вплив (r=0,45-0,52) впродовж усього року проявляється на сході країни, особливо у Донецькій та Луганській областях (рис. 2).

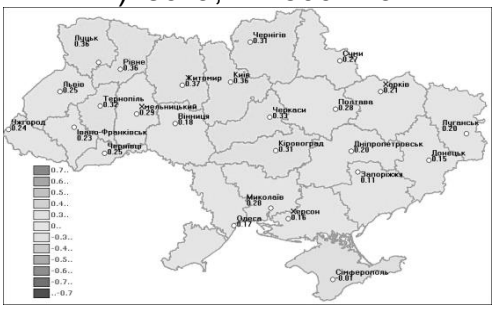
Навесні кількість днів та максимальна тривалість періоду зі спекою в Україні залежить від тривалої додатної аномалії геопотенціалу в середній тропосфері, а у східних і центральних областях – і в нижній тропосфері. Влітку ці процеси приводять до збільшення кількості днів зі спекою у північних, центральних та східних областях, а восени – на півдні України (рис.2).

а) зима, АТ 500 гПа



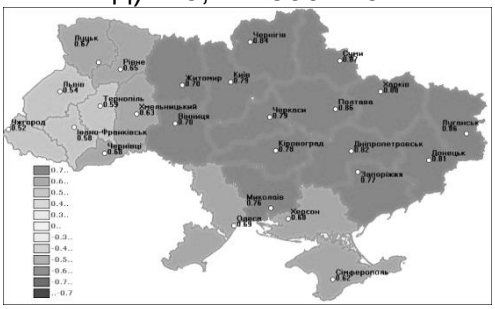
б)зима, АТ 700 гПа

в)весна, АТ 500 гПа

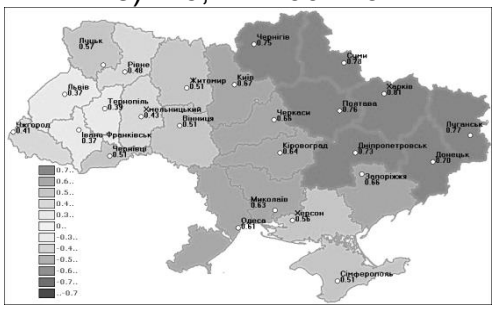


г)весна, АТ 700 гПа

д)літо, АТ 500 гПа



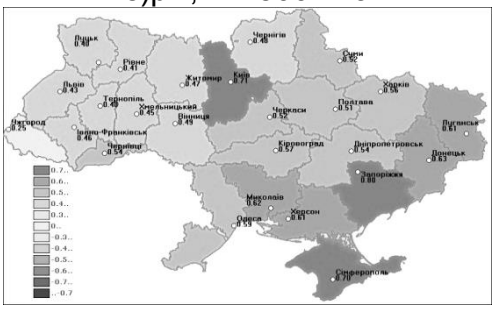
е)літо, АТ 700 гПа



є)осінь, АТ 500 гПа

ж)осінь, АТ 700 гПа

з)рік, АТ 500 гПа

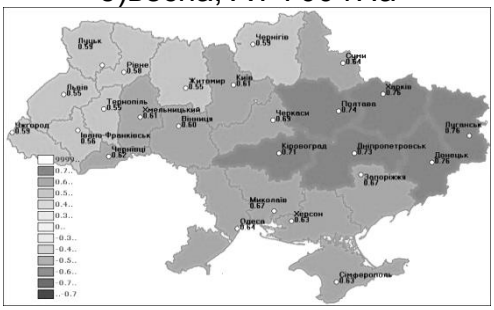


і)рік, АТ 700 гПа

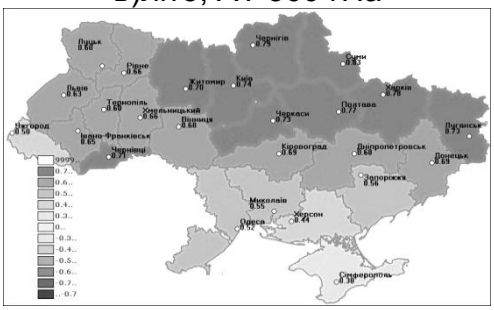
Рис. 1. **Залежність (r) величини аномалії максимальної за місяць температури повітря в Україні від сумарної повторюваності тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу у нижній (АТ700) та середній (АТ 500) тропосфері**

а)весна , АТ 500 гПа

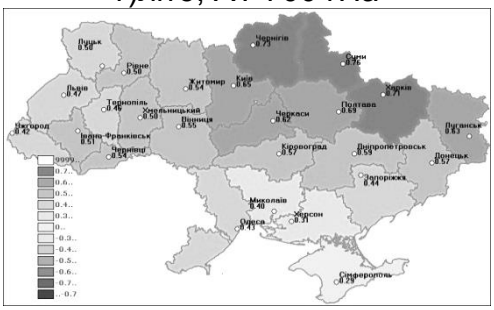
б)весна, АТ 700 гПа



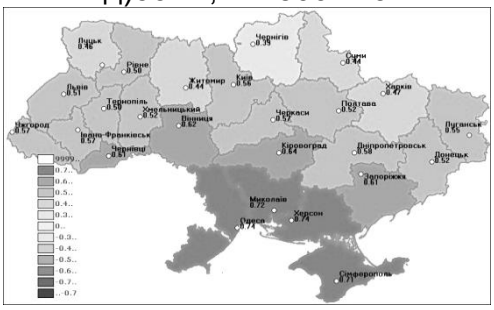
в)літо, АТ 500 гПа



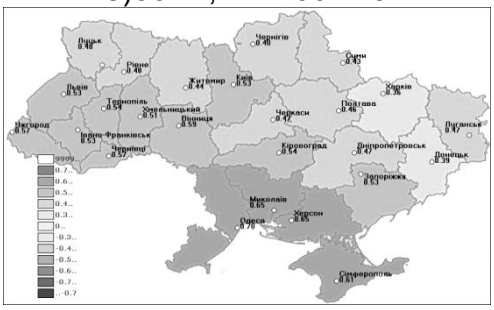
г)літо, АТ 700 гПа



д)осінь, АТ 500 гПа



е)осінь, АТ 700 гПа



є)рік, АТ 500 гПа

ж)рік, АТ 700 гПа

Рис. 2. **Залежність (*r*) кількості днів зі спекою (Тмакс≥ 25°С) від повторюваності тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу у нижній (АТ700) та середній (АТ500) тропосфері в Україні**

Блокувальні процеси формують в Україні аномалії не лише максимальної, а й мінімальної температури повітря (рис.3).

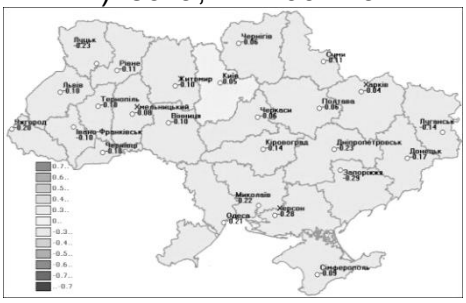
Впродовж року блокування західного перенесення повітряних мас зумовлює збільшення величини додатних аномалій мінімальної за місяць температури повітря у східних та південних областях України (рис. 3). Найбільше цей вплив проявляється, в Донецькій області та АР Крим, особливо за наявності блокування усередній тропосфері (r =0,52 та r =0,37, відповідно). Влітку тривалі додатні аномалії геопотенціалу в середній та нижній тропосфері формують додатні аномалі ї мінімальної температури у північних, північно-східних та центральних областях

а) зима, АТ 500 гПа

б)зима, АТ 700 гПа

в)весна, АТ 500 гПа

г)весна, АТ 700 гПа



д)літо, АТ 500 гПа

е)літо, АТ 700 гПа

є)осінь, АТ 500 гПа

ж)осінь, АТ 700 гПа

з)рік, АТ 500 гПа

і)рік, АТ 700 гПа

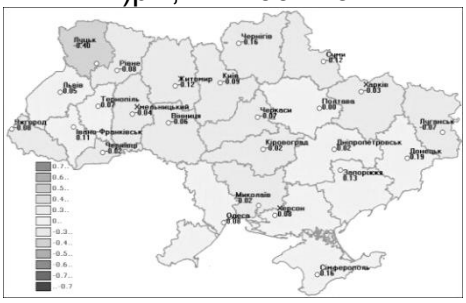


Рис. 3. **Залежність величини аномалії мінімальної місячної температури повітря в Україні від повторюваності тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу у нижній (АТ700) та середній (АТ 500) тропосфері**

країни. Навесні та восени цей процес приводить до збільшення величини від'ємних аномалій мінімальної температури повітря майже на всій території країни і, особливо, у східних, центральних та південних областях. Взимку наявність тривалих додатних аномалій геопотенціалу в тропосфері приводить до формування додатної аномалії мінімальної температури на заході країни і від'ємної – на сході та півдні.

Блокування в атмосфері належать до одних із головних чинників, що сприяють формуванню сильних морозів. Тривалі додатні аномалії геопотенціалу в середній та нижній тропосфері приводять до збільшення числа днів та тривалості періоду з сильним морозом (Тмін ≤ -20°С) у південних, центральних, східних областях України та на Закарпатті і до зменшення їх кількості на заході країни (табл.1). Ці тенденції найкраще проявляються взимку та весною. Проте восени вплив блокувальних процесів не значний.

Таблиця 1. **Залежність (r) кількості днів з сильним морозом (Тмін ≤-20°С) в Україні від повторюваності тривалих (більше 5 днів) аномалій геопотенціалу у нижній (700гПа) та середній (500гПа) тропосфері при блокувальних процесах**

Область	Сезон						Рік	
	зима		весна		осінь			
	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа
АР Крим	0,18	0,13			0,06	0,05	**0,29**	**0,44**
Волинська	-0,16	-0,17	-0,26	**-0,30**	0,17	0,12	0,05	0,10
Вінницька	-**0,30**	-0,21		-0,12	0,04	-0,09	0,11	0,16
Дніпропетровська	0,05	-0,08	0,26	0,23	0,00	0,03	0,09	0,24
Донецька	-0,07	-0,09			-0,05	-0,05	0,05	0,18
Житомирська	-0,24	-**0,26**	0,10	0,17	0,02	0,05	0,15	0,23
Закарпатська	0,11	0,06	0,00	0,10	-0,07	-0,18	0,**38**	**0,43**
Запорізька	0,00	-0,07	0,19	0,19	0,03	0,01	0,03	0,28
Київська	-0,22	-0,24	-0,07	-0,09	-0,03	-0,03	0,22	0,29
Кіровоградська	-0,07	-0,10	**0,42**	**0,49**	0,03	0.12	0.18	**0.33**
Луганська	0,11	0,01	0,10	0,17	-0,08	-0,10	0,20	0,25
Львівська	-0,20	-0,24	-0,15	-0,15	-0,08	-0,14	-0,02	0,12
Миколаївська	0,04	-0,02					0,23	**0,36**
Одеська	-0,11	-0,11					0,17	**0,30**
Полтавська	0,11	-0,06			-0,01	0,03	0,19	0,21
Рівненська	-0,14	-0,27	-0,21	-0,26			0,03	0,15
Сумська	-0,07	-0,22	0,07	**0,30**	-0,13	-0,14	0,19	0,23
Тернопільська	-0,25	**-0,31**	-0,15	-0,16			-0,10	0,14
Харківська	0,11	-0,07	-0,20	0,05	0,02	-0,08	0,16	0,25
Херсонська	0,16	0,07		0,18			-0,02	**0,34**
Хмельницька	-0,26	**-0,33**	-0,04	-0,15	0,10	0,12	0,04	0,20
Черкаська	-0,08	-0,19	-**0,36**	-0,28	0,07	0,10	0,07	**0,32**
Чернівецька	-0,24	**-0,33**	0,02	0,27	-0,06	-0,14	-0,11	0,24
Чернігівська	-0,12	-**0,34**	0,18	**0,52**	-0,12	-0,14	0,19	0,20
Івано-Франківська	-0,21	-0,24	-0,02	0,04	-0,06	-0,17	-0,16	0,10

Блокувальні процеси належать до основних синоптичних процесів, що формують тривалі посухи в Україні у теплий період. При тривалих додатних аномаліях геопотенціалу в тропосфері у східних, південних та центральних областях країни збільшується кількість посушливих днів, коли при відсутності опадів. максимальна температура повітря за добу більше 25 °С, а середня відносна

вологість менше 50%. Зростає і максимальна тривалість періоду з атмосферною засухою. Впродовж року ці процеси найбільше проявляються влітку та навесні (табл.2). При цьому влітку визначальним для формування посухи є наявність блокування у середній тропосфері, а весною – у нижній. Восени ці процеси значно менше впливають на повторюваність посух, за винятком АР Крим та Миколаївської області (табл.2).

Таблиця 2. **Залежність (r) кількості днів з атмосферною посухою (Тмакс ≥ 25°С і U ≤50%) на південному сході Україні від повторюваності тривалих аномалій геопотенціалу у нижній (700гПа) та середній (500гПа) тропосфері**

Область	Сезон						Рік	
	весна		літо		осінь			
	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа	700гПа	500гПа
АР Крим	-0.11	-0.18	**0.49**	**0.49**	**0.40**	**0.32**	0.23	**0.48**
Одеська	**0.56**	**0.49**	0.03	0.23			0.23	**0.37**
Миколаївська	-0.12	-0.20	**0.30**	**0.39**	**-0.32**	-0.29	0.24	**0.36**
Херсонська			0.27	**0.33**			**0.39**	**0.41**
Дніпропетровська	**0.50**	**0.48**	0.26	0.21	0.13	0.16	**0.36**	**0.35**
Запорізька			0.19	0.27			**0.35**	**0.43**
Кіровоградська	**0.39**	**0.36**	-0.02	0.10			0.11	0.27
Полтавська	-0.04	-0.15	-0.11	0.05			0.13	0.25
Донецька	**0.57**	**0.62**	0.28	**0.37**	-0.01	-0.08	0.34	**0.49**
Луганська	0.29	0.25	**0.52**	**0.57**	-0.01	0.01	**0.45**	**0.52**
Харківська	0.04	-0.08	**0.35**	**0.37**	0.05	-0.05	**0.46**	**0.45**

Висновки та перспектива подальшого дослідження. Таким чином, блокувальні процеси що зберігаються більше 5 днів на території України, суттєво впливають на її термічний режим впродовж усього року, зокрема на величину аномалії максимальної та мінімальної приземної температури повітря, кількість днів та максимальну тривалість періоду зі спекою, сильним морозом, атмосферною посухою. Цей вплив найбільше проявляється влітку, особливо у південних та східних областях країни. При цьому на величину термічних аномалій, їх повторюваність та тривалість більше впливають блокувальні процеси у середній тропосфері, ніж у нижній.

Перспектива подальшого дослідження полягає у дослідженні впливу блокувальних процесів на режим зволоження та вітру в Україні, оцінці внеску блокувальних процесів у повторюваність та інтенсивність аномальних та небезпечних явищ погоди, його регіональних та сезонних особливостей, зміни в сучасний кліматичний період; дослідженні умов формування і руйнування блокувальних процесів, оцінка їх масштабу та просторової локалізації, розробка методик прогнозу з різною завчасністю.

Список літератури

1.*Антоненко В.С.* Інтегральні переноси різних видів енергії під час блокування атмосферних процесів / В.С. Антоненко, Л.В. Недострелова // Український гідрометеорологічний журнал : наук. журн. – 2014. – N 14. – С. 68-78. **2.** *Базалєєва Ю.О* Міжрічна мінливість повторюваності, тривалості та інтенсивності блокуючих процесів на території першого природно-синоптичного регіону. / Ю.О. Базалєєва, В.О. Балабух // Шевченківська весна – 2014: Матеріали XII Міжнар. наук. міждисциплінар. конф. студ., аспірантів та молодих вчених / Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – К.: Прінт-Сервіс, 2014. – Ч. 3: Географія, вип. 12. – С.75-77. **3.** *Блокинги* в Северном полушарии и Евро-Атлантическом

регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам / И.И. [М.Г. Мохов, ,М.Р. Акперов, Прокофьева и др.]; Изд. РАН. Физика атмосферы и океана, 2011. **4.** *Волеваха В.А.* Аналіз блокуючих процесів на Україні / В.А. Волеваха, И.В. Кошеленко // Труды УкрНИГМИ. – 1969. – вып.83. – С.50-60. **5.** *Ефимов В.А.* О физике антициклогенеза современной климатической эпохи / В.А. Ефимов, Г.П. Ивус // Труды УкрНИГМИ. – 2002. – Вып.250. – С.78–91**.** ***6.*** *Ивус Г.П.* Физика антициклогенеза. Монография. / Г.П. Ивус В.А. Ефимов – К.: КНТ, 2005. – 207 с. **7.** *К вопросу о влиянии теплового баланса* подстилающей поверхности на формирование блокирования / В.А. Ефимов, Г.П. Ивус, Н.М. Мищенко // Культура народов Причерноморья. — 2006. — № 85. — С. 46-50. — Бібліогр.: 8 назв. — рос. **8.** *Моделирование процессов* устойчивого гребневого блокирования атмосферного влагооборота над Атлантико – Европейским сектором в современных циркуляционных условиях / Г.П. Ивус, О.Н. Грушевский // Культура народов Причерноморья. — 2004. — № 56, Т. 2. — С. 12-15. — Бібліогр.: 7 назв. — рос. **9.** *Мохов И.И.* Блокинги и тенденции их изменения / И.И. Мохов, В.К. Пєтухов // Доклады РАН. – 1997. – Т.337. – №5. – С. 687-689. **10.** *Нажмудінова О.М.* Східні процеси над Європейським сектором / О.М. Нажмудінова // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2010. – вип.10. – С. 128-134. **11.** .*Синоптические процессы* в июле 2002г. на территории Днепропетровской области / К.В. Веклич, В.А. Ефимов // Культура народов Причерноморья. — 2005. — № 57, Т. 2. — С. 7-10. — Бібліогр.: 4 назв. — рос. **12.** *Тучина У.А.* Статистическое исследование блокирования западного переноса,оказывающего влияние на погоду Украины / У.А. Тучина // Тр. Инст.вычислит. технологий Сиб.акад.наук. – 2005. – С.107-111. **13.** *Хохлов В.Н.* Повторяемость блокирующих ситуаций над Европой в начале 21-го века / В.Н. Хохлов, А.В. Романова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – Вип. 49. – С. 82-87. **14.** *Черенкова Е.А.* Анализ опасных атмосферных засух 1972 и 2010 гг. и макроциркуляционных условий их формирования на территории Европейской части России / Е.А. Черенкова, Н.К. Кононова // Труды ГГО. - 2012. - № 565. - С. 165-187. **15.** *Шакина Н.П.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и их прогнозирования / Н.П. Шакина, А.Р. Иванова // Метеорология и гидрология. – 2010. – №11. – С.5-18. **16.** *Шакина Н.П..* Блокирование: условия лета 2010 года в контексте современных знаний / Н.П. Шакина, А.Р Иванова, Б.А. Бирман // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года / под ред. Н.П. Шакиной. М.: Триада Лтд, 2011. С. 6-22. **17.** *Barriopedro D.* Solar modulation of Northern Hemisphere winter blocking/ D. Barriopedro, R. Garia-Herrera and R. Huth - J.Geophys.Res.,2008, vol.118, D14118,doi;10.1029/2008JD009789. **18.** *Lindzen R. S.* Stationary planetary waves, blocking, and interannual variability / R. Lindzen // Geophysics Academic Press. – 1986. – № 29 . – P. 251–276. **19.** *Semenova I.G.* Regional atmospheric blocking in the drought periods in Ukraine / I.G. Semenova // Journal of Earth Science and Engineering. – 2013. – V. 3 (5). – P. 341-348. **20.** *Tibaldi S.* and Molteni F. On operational predictability of blocking / *S. Tibaldi* and F. Molteni // Tellus. – 1990. – vol.42A, pp.343-365. **21**. *Wiedenmann J.M.* The Climatology of bloking anticyclones for the Northern and Souther Hemisphere. Block intensity as a diagnostic / J.M. Wiedenmann, A.R. Jupo, I.I. Mokhov, and E.A. Tikhonova. – J.Climate, 2002. vol.15,№12, pp.3459-3472.

Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря

Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М.

Проведено оцінку впливу блокування західного переносу повітряних мас у нижній і середній тропосфері в Євроатлантичному секторі північної півкулі на повторюваність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря: величину аномалії мінімальної, максимальної температури повітря, повторюваність сильної спеки та морозу, атмосферних посух. Виявлено регіони країни де найбільше проявляється вплив блокувальних процесів для кожного з цих явищ та його сезонні особливості. Встановлено, що на величину термічних аномалій в Україні, їх повторюваність та тривалість більше впливають блокувальні процеси у середній тропосфері, ніж у нижній

Ключові слова: *блокувальні процеси в тропосфері, аномалія температури повітря, сильна спека, сильний мороз, атмосферна посуха*

Влияние блокирующих процессов на повторяемость и интенсивность аномальных условий погоды в Украине, связанных с температурой воздуха.

Балабух В.А., Базалеев Ю.А., Ягодинец С.М.

Проведена оценка влияния блокирования западного переноса воздушных масс в нижней и средней тропосфере Евроатлантического сектора северного полушария на повторяемость аномальных условий погоды в Украине, связанных с температурой воздуха: величину аномалий минимальной, максимальной температуры воздуха, повторяемость сильной жары и мороза, атмосферных засух. Выявлено регионы где наиболее проявляется влияние блокирующих процессов на эти явления и их сезонные особенности. Установлено, что на величину термических аномалий в Украине, их повторяемость и продолжительность значительнее влияют блокирующие процессы в средней тропосфере, чем в нижней

Ключевые слова: *блокирующие процессы в тропосфере, аномалия температуры воздуха, сильная жара, сильный мороз, атмосферная засуха*

The Impact of blocking on frequency and intensity of the weather temperature anomalies in Ukraine

Balabukh V., Bazalieieva I., Yagodinets S.

The impact of blocking in the lower and middle troposphere in the Euro-Atlantic sector of the Northern Hemisphere at the recurrence of abnormal weather conditions in Ukraine, which related to the air temperature, has been established in this study. Found that the value of anomaly maximum and minimum surface air temperature, a number of days with heat and its maximum duration, extreme cold, atmospheric drought are dependent on blocking processes. Is revealed the regions of the country where those effects are the most evident.

Found that blocking processes form the most anomalies of maximal and minimum temperature of air in the south and south-east areas of Ukraine, especially in Zaporizhzhya, Donetsk, Luhansk regions and AR Crimea. In these areas, the monthly anomalies of maximal air temperature can arrive at 4°C and higher. With advancement on a north-west influence of blocking diminishes, especially if processes are observed only in the lower troposphere. The biggest influence of blocking at the size of the anomaly of maximal temperature is marked in summer and autumn, and minimum - in winter and spring.

In Ukraine, the number of days and maximal duration of periods with a heat (Тмакс ≥25°C) also depend on the protracted positive anomaly of geopotential in the middle troposphere. In summer they substantially grow in north, central and east areas, and in autumn - on the south of Ukraine.

The protracted positive anomalies of geopotential in middle and lower troposphere likewise lead to an increase in the number of days and duration of periods with a frost (Тмін ≤ -20°C) in the south, central, east areas of Ukraine and in Transcarpathian region. But, in the west areas, these processes lead to opposite events. These trends are especially noticeable in the winter and spring.

At the protracted positive anomalies of geopotential in troposphere the amount of droughty days increases in the east, south and central areas of country. The droughty day means that maximum temperature of air for twenty-four hours equal 25 °C and more, without precipitation and middle relative humidity less than 50%. Maximal duration of periods with an atmospheric drought also grows. During a year these processes are most noticeable in summer and in spring. Herewith, the presence of blocking in the middle troposphere is crucial for the formation of the drought in summer, but in spring the block should be in the lower troposphere.

Keywords: *blocking in troposphere, temperature anomaly, strong heat, frost, atmospheric drought.*

Надійшла до редколегії 08.09.2016

УДК 551.582; УДК 551.58.001.57;551.58.001.18+551.509.3

Краковська С.В. [1]***, Паламарчук Л.В.*** [2]***, Шпиталь Т.М.***[1]
[1]*Український гідрометеорологічний інститут, м.Київ*
[2]*Київський національный університет імені Тараса Шевченка, м.Київ*

ЕЛЕКТРОННІ БАЗИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У ВИЗНАЧЕННІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Ключові слова: *верифікація даних, електронні бази, регіональні чисельні моделі, ансамбль моделей, спеціалізовані кліматичні показники*

Вступ. Кліматичні показники, що описують радіаційний, термічний, вітровий режим, особливості зволоження та інше, мають широке прикладне застосування у різних галузях господарської діяльності. Традиційно спеціалізовані кліматичні параметри, що необхідні для вирішення конкретної прикладної задачі, отримували на основі статистичного аналізу метеорологічних спостережень з використанням відповідних методик та перевірки достовірності отриманих результатів. Набір *відповідних* поставленій задачі кліматичних параметрів, методика їх отримання і оцінки на сьогодні набули вигляду стандартних і можуть використовуватися для проведення розрахунків у будь-якому регіоні [1].

Розвиток сучасних кліматичних досліджень базується на використанні електронних баз даних та глобальних і регіональних кліматичних моделей, які дозволяють отримувати стандартні, а на їх основі спеціалізовані кліматичні показники. Дослідження регіональних змін клімату, що проводяться авторами [2-9], підтверджують можливість використання результатів моделювання та електронних баз даних як для отримання стандартних, так і спеціалізованих показників, що використовуються для вирішення багатьох прикладних задач у кліматології. Метою запропонованої роботи є узагальнення методичних підходів до використання та оцінювання таких ресурсів. Чисельні дослідження, що проводилися на основі електронних баз даних та моделювання, показали, що *перевагою* пропонованого підходу є можливість розрахунку та *прогнозування стандартних та спеціалізованих* показників н*а періоди*, які визначаються можливостями чисельного моделювання.

Розглянемо *можливості* розрахунків та *оцінки кліматичних показників, отриманих* на основі використання електронних баз даних E-Obs [10] та CRU [11], окремої регіональної модемі REMO та ансамблю з 10-ти регіональних моделей Європейського проекту FP-6 ENSEMBLES [12]. Як приклад такого підходу, представлено розрахунок *спеціалізованих показників* термічного режиму та тривалості опалювального сезону в Україні та її окремих регіонів. Подібний спосіб отримання спеціалізованих кліматичних показників можливий і для інших прикладних кліматичних задач.

Методичні підходи та оцінка баз даних. Прикладна кліматологія використовує переважно дані метеорологічної мережі, після введення відповідних поправок, технічного контролю та первинної статистичної обробки. Використання електронних баз даних може значно спростити статистичну обробку та розрахунки кліматичних параметрів і деякою мірою сприяти уніфікації методики їх отримання для подальшого аналізу. Крім того, що електронні бази можуть безпосередньо використовуватися для отримання поточних спеціалізованих кліматичних

показників, їх можна також використовувати і для верифікації прогностичних показників, отриманих у чисельному моделюванні.

Використання баз даних, інтерпольованих у вузли розрахункової сітки (наприклад, база даних E-Obs), показало, що існують помилки та погрішності, не дивлячись на те, що вони створені на основі максимуму доступної метеорологічної інформації, а методи інтерполяції відібрано після ретельної оцінки безлічі альтернатив [9, 10]. Тому, перед використанням інтерпольованих, або іншим чином отриманих наборів даних для розрахунку кліматичних показників у певному регіоні, обов'язковою є їх *верифікація.* Така процедура необхідна для оцінки потенційних помилок. Отримавши їх, користувачі зможуть врахувати точність результатів, переваги та недоліки бази даних для використання у своїх дослідженнях. Відомо, що більшість помилок в інтерпольованих даних пов'язані, насамперед, з точністю даних спостережень [7 – 10]. Типовими джерелами помилок є неточні координати та висоти станцій, помилки в даних вимірювань або неоднорідність часового ряду спостережень станцій. Друге джерело помилок – обмеження (погрішності) методу інтерполяції. Точність інтерполяції прямо залежить від щільності метеорологічної мережі. Також зрозуміло, що для метеорологічних показників з великою мінливістю (наприклад, опади) і районів зі складним ландшафтом (зокрема, гірським), інтерполяція найскладніша і тут помилки ймовірніші та, зрештою, неминучі.

Як приклад аналізу достовірності електронних баз даних нижче наведемо результати оцінки баз Світового кліматичного центру (CRU) та Європейської бази даних - E-Obs [10, 11]. Верифікація даних E-Obs і CRU, проведена авторами в [5, 7, 9], вказала на ступінь їх точності та можливість використання в Україні. Так систематична похибка середньомісячної температури повітря даних E-Obs відносно даних метеорологічної мережі дорівнює для E-Obs $\bar{\delta} \pm \sigma = 0{,}1 \pm 0{,}3℃$ (діапазон змін від $\bar{\delta}_{\text{мін}} = -1{,}0℃$ до $\bar{\delta}_{\text{макс}} = 1{,}5℃$); для CRU $\bar{\delta} \pm \sigma = 0{,}2 \pm 0{,}5℃$ (від $\bar{\delta}_{\text{мін}} = -1{,}0℃$ до $\bar{\delta}_{\text{макс}} = 1{,}9℃$. Тобто, обидва набори даних дещо завищують *T* в розрахунках для всієї території України, але за даними E-Obs величина похибки менша.

Для кількості опадів аналогічні похибки для даних E-Obs дорівнюють $\bar{\delta} \pm \sigma = -2{,}7 \pm 4{,}5$ мм/міс ($f = -5{,}2\%$), діапазон від $\bar{\delta}_{\text{мін}} = -20{,}2$ мм/міс ($-25{,}2$ %) до $\bar{\delta}_{\text{макс}} = 7{,}3$ мм/міс ($+18{,}9$ %); для CRU $\bar{\delta} \pm \sigma = -1{,}4 \pm 6{,}0$ мм/міс ($f = -0{,}8$ %), діапазон від $\bar{\delta}_{\text{мін}} = -32{,}0$ мм/міс ($-34{,}7$ %) до $\bar{\delta}_{\text{макс}} = 8{,}5$ мм/міс ($+20{,}5$ %). За величиною систематичної помилки поле опадів краще репрезентують дані CRU; за мірою мінливості, менших σ і амплітуди між крайніми значеннями помилок, вище якість даних E-Obs. У цілому обидва набори даних дещо занижують значення кількості опадів для території України.

Як міра достовірності даних електронних баз розраховувалися кореляційні зв'язки між такими даними та даними спостережень метеорологічної мережі. Було отримано високі значення коефіцієнту кореляції між даними пар «E-Obs – Метеомережа» і «CRU – Метеомережа», що є показником того, що даними E-Obs та CRU також вірно представлено мінливість кліматичних характеристик за територією України та їх річний хід [9].

Отримані в [5, 7, 9] результати вказують на задовільний ступінь достовірності обох баз даних у їх порівнянні з даними спостережень метеорологічної мережі України для різних часових та просторових масштабів осереднення. Загалом, зважаючи на результати аналізу в [9], усі спеціалізовані показники, що розраховуються тільки на основі даних про приземну температуру повітря, матимуть вищу точність, ніж ті, що потребують урахування характеристик вологості повітря, сум опадів та ін. Кожна з баз даних має певні переваги та недоліки, але все ж

точнішими та зручнішими для подальших розрахунків та аналізу визнається Європейська база даних (E-Obs), тому що її дані мають однаковий з чисельними моделями крок розрахункової сітки у 25 км.

Розрахунки та прогноз кліматичних показників у сучасних дослідженнях базуються також на використанні глобальних та регіональних кліматичних моделей (РКМ) [3, 4, 6]. Необхідність отримання інформації високої часової та просторової роздільності породжує потребу прогностичних інструментів з таким же високим просторово-часовим розподілом. Задовольняють подібні вимоги дані, які можна отримати, використовуючи саме регіональні кліматичні моделі.

Для визначення та прогнозування кліматичних показників можна використовувати як одну модель, так і ансамбль РКМ [3, 4]. Але як вже зазначалось вище, перед проведенням розрахунків доцільно оцінювати точність отриманих результатів, тестуючи їх на даних за сучасний період (2001-2010 рр.) наявних, наприклад, в базі E-Obs.

Прикладом використання однієї моделі може бути РКМ REMO, розроблена в Інституті Макса-Планка (Гамбург, Німеччина). Ця модель була багаторазово успішно перевірена у моделюванні сучасного клімату практично у всіх Європейських країнах, використовувалася як одна з базових моделей для побудови сценаріїв кліматичних змін у країнах Східної Європи у двох Європейських проектах FP-6 CECILIA (http://www.cecilia-eu.org/) та CLAVIER (http://www.clavier-eu.org/). Крім цього, регіональна модель REMO визначена як оптимальна для прогнозу можливих змін регіонального клімату України у XXI ст. на основі проведених досліджень в УкрГМІ у відділах фізики атмосфери та чисельних гідрометеорологічних досліджень [2, 5, 7].

Дані чисельного моделювання як і бази електронних даних, також потребують тестування та встановлення величин погрішностей для кожного досліджуваного регіону.

У [5, 7] наводяться результати верифікації даних моделювання, отриманих за допомогою REMO для території України. Показано, що модельні середньомісячні температури добре узгоджуються з даними, отриманими на метеорологічній мережі (коефіцієнт кореляції - 0,992). Визначено регіони, де в окремі періоди року можуть спостерігатися відхилення середньомісячних значень у діапазоні від -0,5^{0}С до 2,6^{0}С. Середньомісячні суми опадів також задовільно узгоджуються як за абсолютними значеннями, так і за річним розподілом з даними метеорологічної мережі (коефіцієнт кореляції становить 0,8). Встановлено регіони (гірські) та періоди часу (вересень) коли похибка моделювання може розглядатися як систематична.

Досвід використання результатів моделювання REMO для прогнозу регіонального клімату показує, що точність результатів у значній мірі залежить від масштабів просторового та часового осереднення результатів моделювання. Похибки зменшуються при збільшенні просторових та часових масштабів розрахунків [5, 7].

Використання регіональних чисельних моделей показало, що при необхідності отримання показників для окремих географічних пунктів, або для коротких періодів осереднення краще використовувати ансамбль регіональних кліматичних моделей (РКМ) [2]. Застосування ансамблю з РКМ замість однієї, навіть «найуспішнішої» моделі, дає можливість, по-перше, визначення не тільки одного детермінованого значення, але і найвірогіднішого діапазону можливих проекцій, наприклад, температури повітря, яке визначається за стандартним відхиленням (довірчим інтервалом) відповідної метеорологічної величини за ансамблем з декількох РКМ. По-друге, відомо, що для кожної індивідуальної моделі притаманні певні систематичні помилки, які мають випадковий розподіл щодо істинного значення,

тому усереднення за більшим числом РКМ повинно приводити до певного вирівнювання та показувати точніші результати [8, 10].

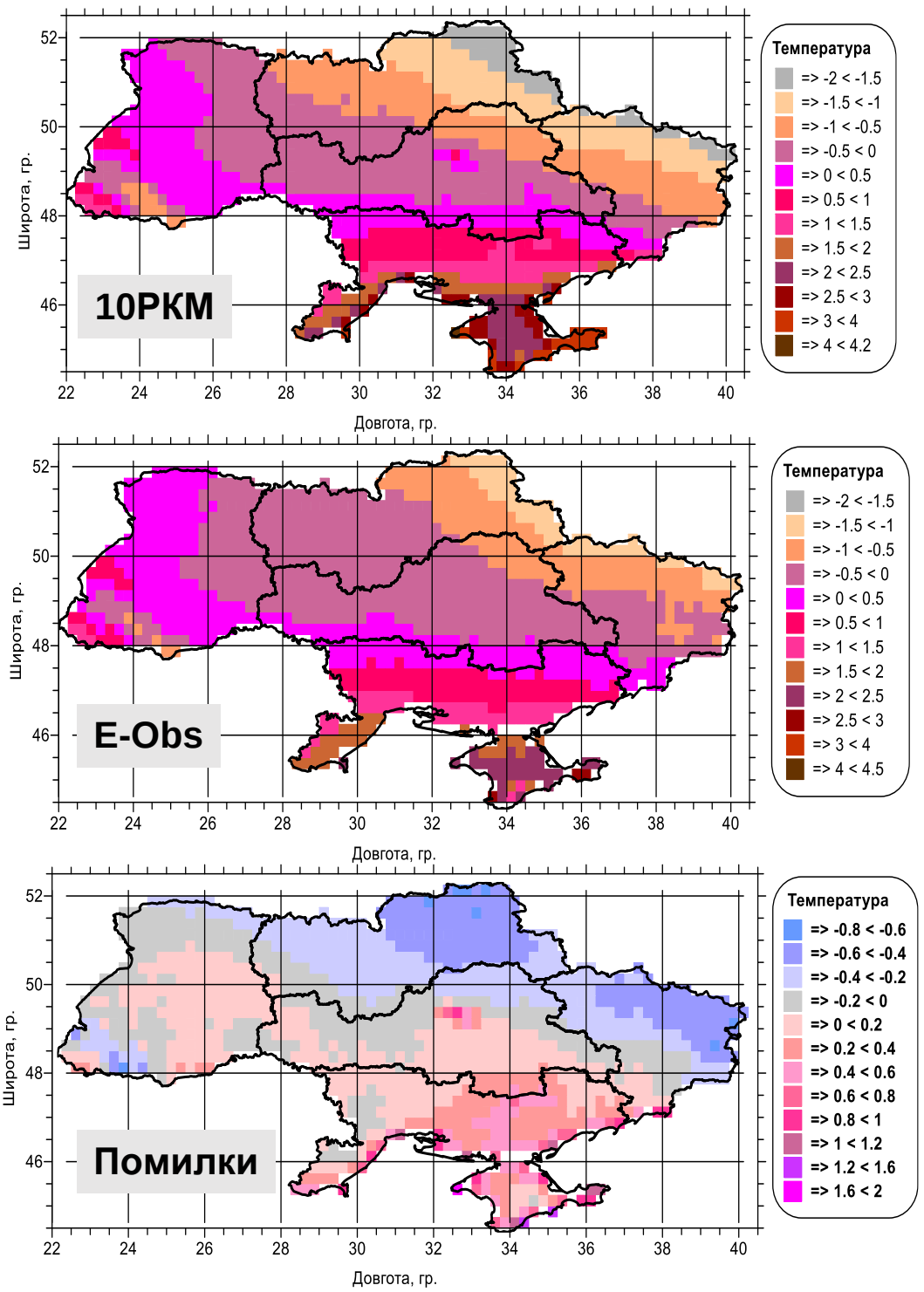
Для встановлення оптимального ансамблю РКМ при визначенні та прогнозуванні приземної температури повітря аналізувались дані 14 РКМ з Європейського проекту ENSEMBLES. На етапі верифікації результатів моделювання кожної моделі, чотири з них були відкинуті як такі, що для території України показували незадовільні результати [&&]. При формуванні ансамблю РКМ, було застосовано метод перевірки проекцій і такий підхід був використаний вперше в Україні та для території України. Методика, по суті, є перевіркою проекції ансамблів РКМ на сучасному (1991-2010 рр.) періоді. Для цього за даними ансамблів моделей визначаються проекції зміни метеорологічної величини, у даному випадку температури повітря, у сучасний період по відношенню до стандартного (1961-1990 рр.). Отримані величини (зміни) додаються до фактичних значень стандартного періоду і, отримані по суті прогнозовані ансамблями РКМ значення, порівнюються із фактичними даними сучасного періоду. Запропонований підхід дозволив значно зменшити саме систематичні помилки окремих моделей, що складають ансамбль.

В даному дослідженні для розрахунків спеціалізованих кліматичних показників, а саме значень середньої температури опалювального періоду та його тривалості для території України використовувалася як РКМ REMO, так і такий самий оптимальний ансамбль з 10 РКМ, що було визначено і застосовано для середніх місячних, сезонних та річних температур повітря в [3]. Зауважимо, що в даній роботі під «опалювальним періодом» розуміються дні року, коли середня добова температура повітря менша за 8^0С, а дати настання та закінчення такого періоду не визначалися. Вочевидь, похолодання з середньою добовою температурою повітря нижчою за 8^0С можуть деколи траплятися навесні і після дати її стійкого переходу, але так само ймовірні й потепління восени після настання традиційно визначеного опалювального періоду. Тому визначення саме кількості днів та їх середньої температури як характеристик опалювального періоду не окремого року, а за кліматичний період на нашу думку є цілком виправданим спрощенням.

Зазначені спеціалізовані кліматичні показники визначалися за усередненими за 10 років річними розподілами добових температур для кожної РКМ окремо, за якими розраховували ансамблеве середнє для всієї території в кожному вузлі розрахункової сітки 25х25 км (близько 1200 вузлів для України). За отриманими територіальними розподілами показників їх також усереднювали за регіонами та для території України в цілому.

Отримані результати. Результати тестування величин середньої температури опалювального періоду та його тривалості для території України, що визначені за ансамблем 10 РКМ та окремо для РКМ REMO, представлено на рис. 1-4. Отримані модельні дані порівнюються з аналогічними, що розраховані з використанням бази даних E-Obs, які в даному випадку приймалися як еталонні.

Структура просторового розподілу середніх значень температури опалювального періоду (див. рис.1) подібна в обох варіантах розрахунків: простягання ізотерм з північного заходу на південний схід, північніше 48 паралелі і, практично, зональний розподіл температури на півдні, що вказує на можливе зменшення впливу циркуляційного фактору на формування термічного режиму у південних областях території України у сучасний період. Розрахунки, отримані за ансамблем з 10 РКМ, дещо занижують значення середніх температур опалювального періоду для півночі та сходу України, а також в гірських районах, і дають завищені значення, ніж дані E-Obs, для півдня України. Як результат такого



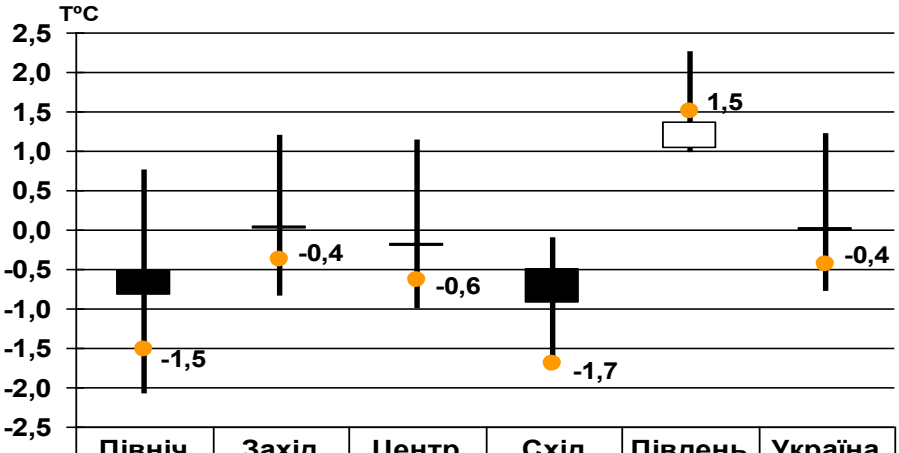
-0.8 – -0.6	0.7% (*8*)	**-0.6 – -0.4**	13.2% (*153*)	**-0.4 – -0.2**	19.4%(*224*)
-0.2 – 0	24.7% (*286*)	**0 – 0.2**	27.2% (*315*)	**0.2 – 0.4**	8.0% (*92*)
0.4 – 0.6	3.8% (*44*)	**0.6 – 0.8**	1.2% (*14*)	**0.8 – 1,0**	1.0% (*12*)
1,0 – 1.2	0.5% (*6*)	**1.2 – 1.6**	0.2% (*2*)	**1.6 – 2,0**	0.1% (*1*)

Рис. 1. **Середні температури опалювального періоду у 2001-2010 рр. отримані за даними 10 РКМ та E-Obs і різниці (помилка) між ними. Під рисунком наведено кількість вузлів у градаціях різниць у відносних та абсолютних одиницях. Усереднена помилка становить – -0,06^{0}C**

розподілу, збільшується горизонтальний температурний градієнт, що очевидно див. рис.1 (верхнє зображення), де вужчі смуги градацій та їх частіші зміни у порівнянні з полем температури, отриманим за даними E-Obs. Та загальна закономірність просторового розподілу поля температури в обох розрахунках зберігається.

Розраховані абсолютні значення різниці температур між двома наборами даних в середньому не перевищують -0,06^{0}C, що становить приблизно половину значення похибки вимірювання цієї величини. Більше, ніж на половині території (51,9% вузлів розрахункової сітки) помилки потрапляють в інтервал значень різниць -0,2 ÷ 0,2 ^{0}C, і майже на 80% (79,3%) вони в інтервалі -0,4 ÷ 0,4 ^{0}C, що вказує на незначну відмінність ансамблевих даних від стандартних.

При задовільних результатах тестування ансамблю моделей, у незначній кількості точок розрахункової сітки (<1%) переважно вздовж узбережжя Чорного моря різниці середніх температур опалювального періоду перевищують 1,0 ^{0}C. Тому необхідно враховувати просторову зміну різниць значень та значимі відхилення від стандарту середньої температури опалювального періоду, особливо при визначенні цієї величини для конкретної точки (наприклад, обласного центру).



	Північ	Захід	Центр	Схід	Південь	Україна
EOBS	-0,5	0,0	-0,2	-0,5	1,0	0,0
Max_10	0,8	1,2	1,1	-0,1	2,3	1,2
Min_10	-2,1	-0,8	-1,0	-1,7	1,0	-0,8
REMO	-1,5	-0,4	-0,6	-1,7	1,5	-0,4
ENS_10RCM	-0,8	0,0	-0,2	-0,9	1,4	0,0

Рис.2. **Середня температура опалювального періоду для окремих регіонів, отримана на базі даних E-Obs, REMO та ансамблю 10 РКМ**

Порівняння значень, отриманих однією моделлю (REMO) та ансамблем 10 РКМ (див. рис.2), підтверджує висновок про те, що ансамбль моделей зменшує систематичні помилки окремих моделей. При збереженні загальних закономірностей поля середніх температур опалювального періоду, результати, отримані REMO, зберігаючи однакові тенденції та просторові зміни, мають більші різниці значень з даними E-Obs, ніж ансамблеві. Очевидною перевагою ансамблю 10 РКМ є можливість встановлення інтервалів, в межах яких змінюється середнє значення досліджуваної величини.

Найбільші діапазони можливих коливань середньої температури відмічаються у регіонах (північ) зі значними різницями між модельними даними, особливо REMO та даними E-Obs. Можна припустити, що у цих регіонах існує вища ймовірність

систематичних похибок окремих регіональних моделей.

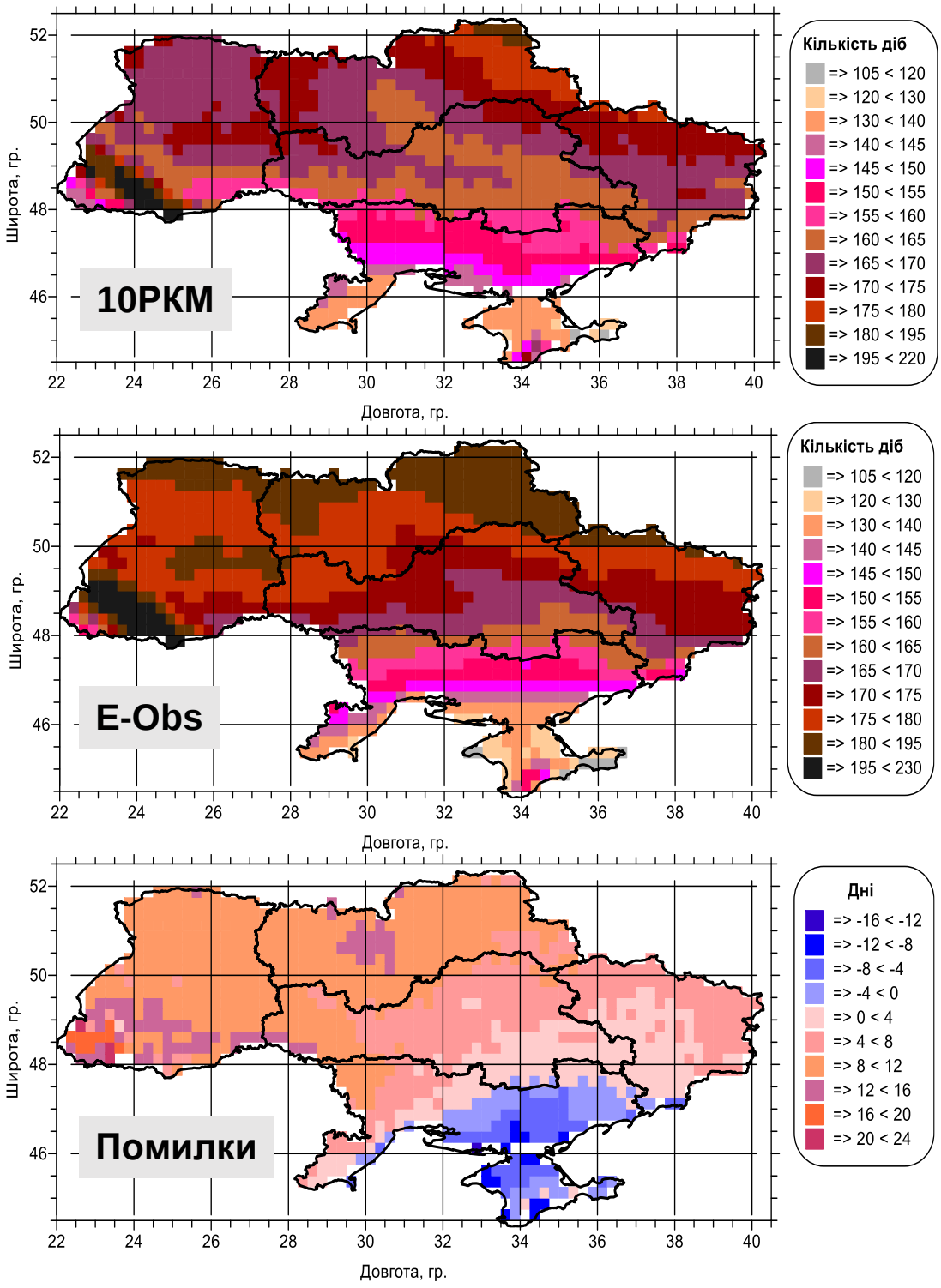
Результати розрахунків тривалості опалювального періоду за ансамблем з 10 РКМ та їх порівняння з результатами, отриманими на базі даних E-Obs, представлені на рис.3. Як вже вказувалося вище, встановлення тривалості опалювального періоду потребує визначення дат переходу середніх добових температур через значення 8^0С, що методично і технічно є складною задачею [1, 7] і може вносити додаткові неточності як при використанні однієї моделі, так і ансамблю моделей. Ансамблеві розрахунки тривалості опалювального періоду показують дещо завищені значення майже по всій території України, з усередненим значенням +6 днів. Максимальні перевищення отримано для північного та західного регіонів України, де різниці перевищують 8, 12, а в Закарпатті і 16 днів. Для більшості центральних та східних областей різниці не перевищують 8 днів. У південному регіоні отримано помилки обох знаків, що в цілому привело до найкращого результату 10РКМ саме на півдні країни (рис.4). На 81,7% територій країни помилки ансамблю 10РКМ попадають у градації різниць від 0 до +12 діб. Для деяких областей півдня України та у Криму (11,2% території) модельні розрахунки показують коротший опалювальний сезон від 0 до -12 діб, що, перш за все, пояснюється завищенням значень температури повітря для цього регіону як в REMO, так і в ансамблі 10 РКМ (див. рис.2).

Проведене усереднення тривалості опалювального періоду для значних за площею регіонів (рис.4) показало, що за ансамблевими розрахунками отримані більші різниці з даними E-Obs, ніж для тих самих регіонів за даними REMO. Усереднені ансамблеві значення завищують тривалість опалювального періоду максимально на заході (12 діб), а в середньому по країні – на 7 діб. Отримані значення для REMO (+1 день в цілому для України) для даного показника ближчі до еталону, ніж ансамблеве середнє. Тому прогнозовані значення цієї величини як для окремого пункту, так і осереднені по регіону, повинні тестуватися на достовірність, особливо при використанні ансамблю РКМ.

Наведені вище та отримані у попередніх дослідженнях результати [2-6] показують, що при розрахунках кліматичних показників на основі метеорологічних величин з малою просторовою та часовою варіабельністю вищу точність мають ансамблеві усереднення, наприклад, середня температура опалювального періоду (див. рис.1, рис. 3). Тоді як в розрахунках показників, що потребують для визначення декількох послідовних ітерацій, точнішими можуть бути результати, отримані однією моделлю (рис. 4). В обох випадках верифікація отриманих результатів обов’язкова, бо дає можливість при прогнозуванні кліматичних показників врахувати власне величину похибки та її просторові зміни.

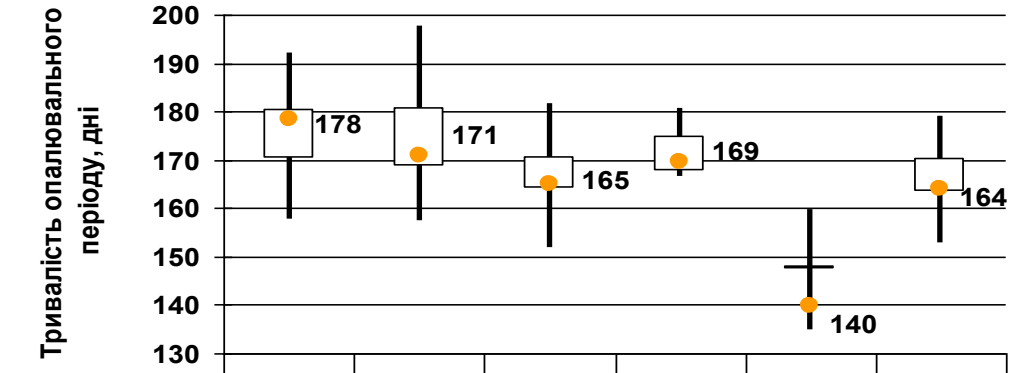
Висновки. Результати верифікації електронних баз даних CRU та E-Obs показали задовільну точність визначених на їх основі стандартних кліматичних показників. Відмічається їх просторово-часова узгодженість з кліматичними показниками, отриманими на основі даних гідрометеорологічної мережі. При моделюванні та оцінці результатів розрахунків перевага надається даним бази E-Obs, що інтерпольовані у вузли такої самої розрахункової сітки, що й РКМ.

Оцінка точності визначення спеціалізованих кліматичних показників при використанні однієї моделі (REMO) та ансамблю з 10 РКМ не дала однозначної відповіді щодо переваг використання ансамблю: середні температури опалювального періоду з вищою точністю визначалися ансамблем моделей, в той час, як його тривалість краще змодельована в REMO. Але це й зрозуміло, оскільки в досить великому ансамблі може бути модель, що краще представляє ту, чи іншу



-16 – -12	0.1% (*1*)	**-12 – -8**	1.2% (*14*)	**-8 – -4**	4.4% (*51*)
-4 – 0	5.6% (*64*)	**0 – 4**	16.1% (*185*)	**4 – 8**	25.3% (*291*)
8 – 12	40.3% (*464*)	**12 – 16**	6.1% (*70*)	**16 – 20**	0.8% (*9*)
20 – 24	0.3% (*3*)				

Рис.3. **Тривалість опалювального періоду у 2001-2010 рр., отримана на даних 10 РКМ і E-Obs та різниці між ними. Під рисунком наведено кількість вузлів у градаціях різниць у відносних та абсолютних одиницях. Усереднена помилка становить – +6 днів**



	Північ	Захід	Центр	Схід	Південь	Україна
EOBS	170	169	164	168	147	163
Max_10	192	198	182	181	160	179
Min_10	158	158	152	167	135	153
REMO	178	171	165	169	140	164
ENS_10RCM	180	181	170	175	148	170

Рис. 4. **Тривалість опалювального періоду для окремих регіонів, отримана на базі даних E-Obs, REMO та ансамблю 10 РКМ**

характеристику на певній території та в певні проміжки часу. Тому одним з висновків даного дослідження є те, що доцільність застосування чи то однієї конкретної моделі, чи то ансамблю РКМ має визначатися виходячи з мети дослідження, наявних ресурсів та допустимих помилок для кожної конкретної задачі. Якщо необхідним є визначення не однієї, а декількох характеристик на досить великій території як Україна, то перевага має надаватися все ж ансамблям, в які будуть включені у тому числі й найуспішніші моделі для кожного показника, а результат буде складатися з усередненого значення з довірчим інтервалом.

Таким чином, необхідні додаткові дослідження точності визначення спеціалізованих кліматичних показників, але очевидною є можливість використання для цієї мети електронних баз даних, регіональних кліматичних моделей та ансамблю таких моделей.

Список літератури

1. *Будівельна кліматологія*. ДСТУ Б В.1.1-27:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. **2.** *Гнатюк Н.В.* Характеристики отопительного периода в Украине до середины XXI века по региональной климатической модели REMO/ Материалы научной конференции ”Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменения климата” / Н.В. Гнатюк, С.В. Краковская, Т.Н. Шпиталь, Л.В. Паламарчук, Минск, 2015, с. 210-212. **3.** *Краковська С.В.* Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в XXI столітті / С.В. Краковская, Н.В. Гнатюк, Т.Н. Шпиталь, Л.В. Паламарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. -№268, 2016 (у друці). **4**. *Краковська С.В.* Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в XXI ст. / С.В. Краковська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедеменко, Г.О Дюкель., Н.В. Гнатюк // Геофизический журнал. – № 6, Т. 33, 2011. -С.68-81. **5.** *Краковська С.В.* Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-90 рр. / С.В. Краковська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедеменко, Г.О Дюкель., Н.В. Гнатюк // Наук. праці УкрНДГМІ. - №257, 2008. - С. 42-60. **6.**

Паламарчук Л.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу поля опадів в Україні за контрольний період 1961-1990 рр. / Л.В. Паламарчук, С.В. Краковська, , І.П. Шедеменко, Г.О Дюкель., Н.В. Гнатюк // Наук. праці УкрНДГМІ. - №258, 2009. – С. 69-84. **7.** *Скриник О.А.* До проблеми визначення дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через фіксоване значення / О.А Скриник., О.Я Скриник. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. – Вип. 255. – С.41-55. **8.** *Шедеменко І.П.* Верифікація даних Європейської бази E-Obs приземної температури повітря та кількості опадів у адміністративних областях України / І.П. Шедеменко, С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк // Наук. праці УкрНДГМІ №262, 2012. – С.36-48. **9.** Haylock, M.R. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys. Res (Atmospheres), / M.R Haylock,., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201. **10.** *Krakovska S*. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine / S. Krakovska, N. Gnatiuk, T. Shpytal, I. Shedemenko // Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX (Brussels, Belgium), 2013. **11**. *Mitchell T.D.* A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100) / T.D. Mitchell, T.R. Carter, P.D. Jones et al.// Tyndall Centre Working Paper No.55, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 2004. **12.** http://ensembles-eu.metoffice.com

Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників

Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.М.

Розглянуто методичні підходи до оцінювання точності електронних баз даних та результатів, отриманих при використанні регіональних чисельних моделей для визначення спеціалізованих кліматичних показників. Верифікація електронних баз даних показала їх задовільну точність і можливість використання для розрахунків кліматичних показників та тестування результатів чисельного моделювання. Проведена оцінка точності визначення тривалості та середньої температури опалювального періоду для усієї території України та її окремих регіонів з використанням моделі REMO та ансамблю з 10 регіональних кліматичних моделей (РКМ). Встановлено величину похибок, їх ймовірність у різних інтервалах значень та просторовий розподіл при використанні однієї моделі та ансамблю 10 РКМ. Показано, що припущення про вищу точність розрахунків ансамблем моделей у порівнянні з окремою РКМ справджується не для всіх спеціалізованих кліматичних показників. Тому перевірка точності на фактичних даних (верифікація) перед застосуванням для визначення прогностичних кліматичних показників безумовно необхідна та обов'язкова.

Ключові слова: *верифікація даних; електронні бази; регіональні чисельні моделі; ансамбль моделей; спеціалізовані кліматичні показники.*

Электронные базы метеорологических данных и результаты численного моделирования в определении специализированных климатических показателей

Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.Н.

Рассмотрены методические подходы к оцениванию точности электронных баз данных и результатов, полученных при использовании региональных численных моделей, для определения специализированных климатических показателей. Верификация электронных баз данных показала их удовлетворительную точность и возможность использования при расчете климатических показателей и тестирования результатов численного моделирования. Проведена оценка точности расчета длительности и средней температуры отопительного периода для всей территории Украины, а также для отдельных ее регионов с использованием модели REMO и ансамбля из 10 региональных климатических моделей (РКМ). Показано, что предположение о более высокой точности расчетов в ансамбле моделей по сравнению с отдельной РКМ действительно не для всех специализированных показателей. Поэтому проверка точности на фактических данных (верификация) перед тем, как определять прогностические климатические индексы, определенно требуется и настоятельно рекомендуется.

Ключевые слова: *верификация данных; электронные базы; региональные численные модели; ансамбль моделей; специализированные климатические показатели.*

Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices

Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., T.N. Shpytal

Methodical approaches to the estimation accuracy of electronic databases and results obtained using regional numerical models in definition of special climatic indicators are presented. Verification of electronic databases showed their satisfactory accuracy and acceptability for climate indices calculations and for tests of the numerical simulation results. The accuracy is evaluated for the duration and the average temperature of the heating period in Ukraine and in its separate regions based on the REMO model data and on the ensemble of 10 regional climate models (RCMs). It is shown that the assumption of a higher accuracy of the calculations in the ensemble of models in comparison with separate RCM could be not really the case for some specialized climate indices. Therefore, check the accuracy of used datasets (verification) before to determine prognostic climate indices, is definitely required and highly recommended.

Keywords: *verification of the data; electronic databases; regional numerical models; ensemble of models; special climatic indices.*

Надійшла до редколегії 12.09.2016

УДК 551.586

Шевченко О.Г.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БІОКЛІМАТИЧНИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ ОЦІНКИ КОМФОРТНОСТІ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА В ТЕПЛИЙ ПЕРІОД

Ключові слова: *біокліматичні індекси, урбанізоване середовище, біоклімат, тепловий комфорт.*

Вступ. Погода та клімат може здійснювати суттєвий вплив не лише на окремі галузі господарства, а також визначати комфортність (або дискомфортність) для проживання окремих територій нашої планети та, відповідно, впливати на самопочуття людей, на розселення людства, розвиток рекреації та туризму на певних територіях.

В контексті розгляду впливу клімату на людських організм ключовим є термін «біоклімат» – що являє собою сукупність характеристик клімату, які визначають його комплексний вплив на організм людини на певній території. З метою оцінки особливостей біоклімату найчастіше використовують комплексні показники, що називаються біокліматичними індексами (БІ). БІ характеризують особливості теплової структури середовища і є опосередкованим індикатором стану теплового поля, що оточує людину.

В умовах глобальної зміни клімату, що проявляється перш за все в зростанні температури повітря, в жарких кліматах та в регіонах з помірним кліматом в теплий період року зростає кількість днів з тепловим стресом. Крім того, у великих містах мікрокліматичні особливості призводять до локального підвищення температури в їх центральній частині – виникнення явища острову тепла і тому мешканці міст зазнають ще сильнішого теплового стресу порівняно з мешканцями прилеглих сільських територій. Саме тому оцінка біоклімату великих міст в теплий період останнім часом привертає до себе увагу багатьох дослідників. Адже, достовірні результати дослідження частоти прояву днів з тепловим стресом є підґрунтям для розробки та впровадження заходів адаптації до спеки.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є здійснення порівняльного аналізу різних біокліматичних індексів з метою визначення найбільш оптимального

для оцінки комфортності урбанізованого середовища в теплий період.

Виклад основного матеріалу. Біокліматичні індекси тісно пов'язані з поняттям теплового комфорту, оскільки клімат та погода впливають перш за все, на термічний стан організму, а його функціональна діяльність значною мірою залежить від умов теплообміну з оточуючим середовищем. Досягнення теплового комфорту організму людини залежить від трьох груп чинників – фізіологічного стану організму, умов оточуючого середовища та одягу з відповідною термоізоляцією.

Вплив фізіологічного стану організму на тепловий комфорт перш за все проявляється через теплопродукцію організму та процес терморегуляції. Теплопродукція залежить від фізичного навантаження та збільшується з ростом м'язової активності. За повного спокою теплопродукція підтримується на найнижчому рівні і відповідає значенню «основного обміну», який приблизно дорівнює 80 Вт. Величина надлишку чи дефіциту тепла в організмі людини вказує на відхилення теплообміну людського організму з оточуючим середовищем від оптимального фізіологічного стану.

Серед умов оточуючого середовища найважливішу роль у формуванні тепловідчуття людини відіграють температура та вологість повітря, швидкість вітру, сонячна радіація та ін.

Людина використовує одяг для підтримання умов теплового комфорту. Теплозахисні властивості одягу залежать від природи волокон та кількості газу, що міститься між волокнами. Теплоізоляційні властивості одягу оцінюють на основі вимірювань дифузії тепла в одязі, в одиницях КЛО (від англ. clothes – одяг). Тепловий комфорт одягу можна визначити шляхом додавання теплових опорів окремих складових одягу.

Крім вище описаних трьох груп чинників, на тепловий комфорт можуть впливати деякі інші – стать та вік людини, місце проживання, відмінності в культурі та національних особливостях, стан здоров'я індивідуума, ступінь акліматизації, сезон року та ін.

Значний інтерес до проблеми впливу метеорологічних параметрів на людину призвів до виникнення великої кількості БІ, що ґрунтуються на різних підходах до оцінки чинників, що визначають стан теплового комфорту. Проте, на теренах колишнього Радянського Союзу, сьогодні, як і кілька десятиліть тому, активно використовуються найпростіші БІ індекси, що запропоновані багато років тому та враховують лише метеорологічні параметри, або метеорологічні параметри та частково – теплоізоляційні властивості одягу. Найбільш поширеними з них є група індексів ефективних температур, зокрема – ефективна температура (ЕТ). Сутність цього індексу ґрунтується на тому, що однакове тепловідчуття може бути за різноманітних поєднань метеорологічних елементів.

В біокліматичному індексі «Еквівалентно-ефективна температура» (ЕЕТ) враховується вплив на тепловідчуття людини трьох метеорологічних параметрів – температури та вологості повітря і швидкості вітру. Теоретичні розрахунки ЕЕТ проводяться для «напіводягненої» (роздягнутої до поясу) людини за різними формулами. Однією з найпоширеніших є формула А. Міссенарда:

$$EET = 37°C - (37°C - T)/(0{,}68 - 0{,}0014\, f + (1/(1{,}76 + 1{,}4\, V^{0{,}75}) - 0{,}29\, T\,(1 - f/100))$$

де *f*, T, V – відповідно вологість та температура повітря і швидкість вітру.

Оскільки тепловідчуття одягнутої та оголеної людини за одних і тих же метеорологічних умов є різним, І.В.Бутьєвою для аналітичної оцінки тепловідчуття одягнутої людини була запропонована формула нормальної еквівалентно-

ефективної температури (НЕЕТ):

$$НЕЕТ=0,8\times ЕЕТ+7°C$$

Усі вищеописані індекси ефективних температур мають значний недолік – в них не враховується тепловідчуття людини за рахунок нагрівання тіла при надходженні сонячної радіації, що є дуже важливим в літній період, таким чином їх використання має обмежуватися лише розрахунком тепловідчуття для людини, що перебуває на затінених територіях. Хоча, звісно, в реальних умовах людина досить часто потрапляє під вплив сонячної радіації, тому, наприклад, якщо використовувати дані БІ для характеристики біоклімату певної території, відразу є зрозумілим, що така оцінка не буде об'єктивною. Саме з метою мінімізації вищезазначених недоліків, була розроблена радіаційно-еквіваленто-ефективна температура (РЕЕТ), яка враховує вплив на тепловідчуття людини чотирьох метеорологічних елементів – температури та вологості повітря, швидкості вітру та сонячної радіації. РЕЕТ може бути розрахована за емпіричною формулою Є. Г. Головіної та В. І. Русанова [3]:

$$РЕЕТ = 125\ lg\ (1+0,02T+0,001\ (T – 8)(f – 60) – 0,045\ (33 – T)\ \sqrt{V} + 1,129\beta)$$

де $\beta=\varepsilon(1–\alpha)$ – поглинута поверхнею тіла сонячна радіація в кВт/м^2, $\alpha=0,11$ – альбедо шкіри, ε – інтенсивність сонячної радіації, f, T, V – відповідно вологість та температура повітря і швидкість вітру.

Або за наближеним співвідношенням І.В. Бутьєвої:

$$РЕЕТ = НЕЕТ + 6,2°C$$

Ще одним поширеним на теренах колишнього Радянського Союзу БІ є біологічно-активна температура (БАТ). В літературі зазначається, що БАТ враховує вплив комплексу температури повітря, відносної вологості, швидкості вітру, сумарної сонячної радіації, та довгохвильової радіації від підстильної поверхні, атмосфери та всіх оточуючих предметів (стін будівель, зелених насаджень, водойм, тощо) на людину [2]. Розрахувати БАТ можна за наступними формулами:

$$БАТ=100lg\ [1+0,02T + 0,001\ (T – 8)(f – 60) – 0,045(33 – T)\sqrt{V} + 0,185\ \beta] +9°$$

де f, T, V – відповідно вологість та температура повітря і швидкість вітру, $\beta=\varepsilon(1 – \alpha)$ – поглинута поверхнею тіла сонячна радіація в кВт/м^2, α – альбедо шкіри, ε – інтенсивність сонячної радіації [1],

або*:* $$БАТ = 9°C + 0,8\ НЕЕТ$$ [3].

Розглянувши, існуючі формули для розрахунку БАТ можливість врахування довгохвильової радіації цим БІ, викликає значні сумніви, адже, в жодній формулі для його розрахунку не використовується інформація про довгохвильову радіацію.

Отже, вищеописані біокліматичні індекси, хоча й переважно дуже прості у розрахунках, але мають суттєвий недолік – із трьох груп чинників, що впливають на тепловідчуття людини, вони враховують лише окремі чинники навколишнього середовища, а деякі з них враховують ще й теплоізоляційні властивості одягу, але ніяк не враховується фізіологія людини (вони не мають жодного зв'язку з рівнянням теплового балансу людини). Таким чином, ці індекси не дають змоги отримати об'єктивні оцінки тепловідчуття людини за певних поєднань метеорологічних

параметрів і, відповідно, належним чином оцінити біоклімат території.

Фізіологічно-еквівалентна температура. Протягом останніх кількох десятиліть в усьому світі для біокліматичних оцінок використовують БІ, що ґрунтуються на енергетичному балансі людського організму. Серед європейських вчених на сьогоднішній день одним з найпопулярніших БІ є фізіологічно-еквівалентна температура (ФЕТ) (Physiological Equivalent Temperature – PET) запропонований P. Hoppe [7]. H. Lee та ін. [8] зазначають, що на за допомогою даного БІ здійснено оцінки біоклімату в різних куточках нашої планети. С.В. Ткачук [4], провівши аналітичний огляд БІ також дійшов до висновку, що ФЕТ є дуже вдалим універсальним біокліматичним індексом, адже, в ньому враховано повне рівняння теплового балансу, температура внутрішніх органів, інтенсивність потовиділення, вологість шкіри та вплив метеорологічних параметрів. Індекс може використовуватися для будь-якого клімату і, як для середньостатистичної людини, так і для кожного окремого індивідуума. Свідченням переваг та універсальності ФЕТ, є не лише його значне поширення серед науковців-метеорологів, а також те, що Директива Німецької асоціації інженерів (*Verein Deutscher Ingenieure (VDI) – нім.*) № 3787, частина II «Методи біокліматичної оцінки клімату для людини та якості повітря для міського та регіонального планування, частина I: клімат» (VDI, 1998), рекомендує використання ФЕТ для оцінки термальних компонентів різних кліматів.

ФЕТ – відповідає температурі повітря, яка необхідна для відтворення в типовому приміщенні у середньостатистичної людини таких же значень температури шкіри та внутрішніх органів, що і в умовах, в яких вона перебуває. За типові умови в приміщенні беруться наступні: середня радіаційна температура дорівнює температурі повітря, швидкість вітру – 0,1 м/с, парціальний тиск водяної пари – 12 гПа (що приблизно дорівнює відносній вологості 50 % за температури повітря 20,0°С) [7]. Одиницями вимірювання ФЕТ є °С, що робить даний індекс дуже зручним для використання. Комфортним умовах відповідають значення ФЕТ в межах 18,1–23,0°С.

Основою для розрахунків фізіологічно-еквівалентної температури є Мюнхенська модель енергетичного балансу людини (Munich energy balance model for individuals – MEMI). Модель MEMI базується на рівнянні енергетичного балансу тіла людини:

$$M+W+R+C+E_D+E_{Re}+E_{Sw}+S=0$$

де M – швидкість обміну речовин (метаболізм), W – енергія, що утворюється за рахунок фізичної роботи, R – випромінювання тіла, C – конвективний потік тепла, E_D – латентні потоки тепла для випаровування води, з шкіри, E_{Re} – це сума потоків тепла для нагрівання та зволоження повітря, яке вдихається, E_{Sw} – потік тепла для випаровування поту, S – це потік тепла для підтримання температури (охолодження або нагрівання) тіла. Окремі члени цього рівняння мають позитивний знак, якщо вони призводять до надходження енергії до тіла або негативний – якщо енергія тілом втрачається (M – завжди позитивна, W, E_D та E_{Sw} – завжди негативні). Одиниці вимірювання потоків тепла – вати.

Важливими є також термо-фізіологічні параметри: тепловий опір одягу (в одиницях Кло) та активність людини (у Вт).

Розрахунок ФЕТ включає в себе наступні кроки:

- розрахунок теплового режиму тіла (за MEMI) для заданої комбінації метеорологічних параметрів;
- введення розрахованих значень середньої температури шкіри та внутрішньої

температури тіла в модель MEMI та вирішення системи рівнянь енергетичного балансу людини, для температури повітря за наступних параметрів V=0,1 м/с, VP=12 гПа та $T_{с.р.}=T_{пов}$.

Температура та вологість повітря і швидкість вітру є загальновідомими метеорологічними величинами, спостереження за якими проводяться на усіх метеорологічних станціях світу, а от середня радіаційна температура є менш вживаним параметром і потребує деякого пояснення, адже цей параметр є одним з найважливіших для розрахунків енергетичного балансу людського тіла влітку під час сонячної погоди, особливо в межах забудованого міського середовища.

Для розрахунків $T_{с.р.}$ важлива не лише інформація про енергетичні потоки території, а й про властивості та розміри випромінюючих поверхонь, а також фактор відкритого неба (*ФВН*). Середня радіаційна температура варіюється від точки до точки, а також в одній і тій же точці змінюється залежно від положення тіла людини. Радіаційні потоки суттєво відрізняються у відкритому просторі, порівняно з ситуацією у приміщенні і за сонячної погоди $T_{с.р.}$ може бути більш ніж на 30°C вищою, ніж температура повітря, в той час як у приміщенні – вони приблизно однакові [5].

Існує багато способів визначити або розрахувати середню радіаційну температуру. У 1992 р. автором ФЕТ P. Норре був запропонований порівняно нескладний метод розрахунку середньої радіаційної температури, що набув значного поширення при розрахунку біокліматичних індексів у міському середовищі [6]. За P. Норре середня радіаційна температура у відповідності з законом Стефана-Больцмана може бути розрахована за наступною формулою:

$$\mathrm{T_{с.р.}} = \sqrt[4]{\frac{K^*_{abs}+L^*_{abs}}{\varepsilon_{\mathrm{p}} \times \sigma}} - 273,15.$$

K^*_{abs} – це сума потоків короткохвильової радіації від тривимірного середовища, що поглинається організмом еталонної людини, L^*_{abs} – це сума потоків довгохвильової радіації від тривимірного середовища, що поглинається організмом еталонної людини, ε_p – коефіцієнт довгохвильового випромінювання, σ – стала Стефана-Больцмана.

На думку N. Contor та J. Unger [5] усі існуючі методи розрахунку $T_{с.р.}$ можуть бути класифіковані на дві групи: I група методів – методи, що ґрунтуються на вимірюванні усіх потоків випромінювання в середовищі для якого розраховується $T_{с.р.}$. та II група – методи, що ґрунтуються на моделюванні радіаційного середовища з використанням комп'ютерів та відповідного програмного забезпечення (RayMan, Envi-Met та SOLWEIG). Крім того, варто відмітити, що такі моделі як RayMan та Envi-Met, дають можливість не лише змоделювати значення $T_{с.р.}$, а також відразу отримати значення деяких біокліматичних індексів, включно з ФЕТ.

Для розрахунку біокліматичних індексів, що можуть використовуватися для оцінки комфортності урбанізованого середовища, та подальшого їх порівняльного аналізу, в даній роботі були використані дані спостережень на метеорологічній станції Київ о 12:00 год за 1 червня – 31 серпня 2005–2014 рр. Була розрахована ЕЕТ (за формулою А. Міссенарда), НЕЕТ (за формулою І. В. Бутьєвої), РЕЕТ (за формулою І. В. Бутьєвої), БАТ та ФЕТ. Для моделювання останньої – була використана модель RayMan (версія 2.0).

В біокліматології для оцінки впливу клімату на людський організм інколи можуть використовуватися усереднені значення біокліматичного індексу. Проте, оскільки різні біокліматичні індекси мають різні одиниці вимірювання, різну кількість

градацій для визначення комфортності/дискомфортності середовища та інші відмінності, то лише числове вираження біокліматичного індексу не завжди є показовим і тим більше числові значення різних БІ не можуть порівнюватися між собою. Найчастіше отримані значення БІ за якийсь період відносять до певної градації (наприклад, комфортної погоди, погоди з тепловим стресом, тощо) і розраховують повторюваність днів, що належать до цієї градації за обраний часовий відрізок. Нами для порівняння обраних БІ в даній роботі був використаний саме такий підхід. Як вже згадувалося вище, різні індекси мають різну кількість градацій, проте, для порівняння, отримані нами значення кожного БІ ділилися лише на три градації – комфортна погода, усі значення індексу, які вище – належали до теплового стресу (без розподілу на слабкий тепловий стрес, сильний і т.д.), а всі значення, що нижче комфортної погоди належали до градації «холодового стресу».

Як свідчать отримані результати, за індексом ЕЕТ спостерігаються досить значні розбіжності з індексом ФЕТ (що був взятий у якості еталонного). Якщо аналізувати значення ЕЕТ та ФЕТ за кожен день, то простежується закономірність – в більшості випадків, в дні, коли за ЕЕТ фіксується холодовий стрес, за ФЕТ – комфортна погода, в дні коли за ЕЕТ – комфорт, за ФЕТ – вже тепловий стрес. В окремі дні навіть за ЕЕТ відмічався холодовий стрес, а за ФЕТ – вже тепловий. Слід зазначити, що за ЕЕТ спостерігається значно більше днів з холодовим стресом, ніж за ФЕТ, а за тепловим стресом – навпаки.

Неспівпадіння повторюваності комфортної погоди в окремі місяці за цими двома БІ становить до 37 %, а середнє значення – 15,0 %. Що є закономірним, адже, еквівалентно-ефективна температура використовується для оцінки тепловідчуття напіводягнутої людини. Недосконалість ЕЕТ, як біокліматичного індексу підтверджується й результатами біокліматичних досліджень інших вчених. Наприклад, за даними Андреєва С.С. [1], за коефіцієнтом інформативності (КІНФ), який може бути оцінений від 2 до 5 балів (де 5 – це найбільш інформативний показник, а 2 відповідно – найменш), еквівалентно-ефективна температура оцінюється в 3 бали.

Коефіцієнт інформативності НЕЕТ також є низьким і теж становить 3 бали [1]. Як і в випадку з ЕЕТ, за нормально-еквівалентно-ефективною температурою повторюваність днів з комфортною погодою, тепловим та холодовим стресом за досліджуваний період суттєво відрізняється від аналогічних за ФЕТ (табл. 1). Неспівпадіння повторюваності комфортної погоди в окремі місяці за цими двома БІ становить до 51 %, а середнє значення – 25,0 %. Крім того, варто відмітити, що в усі місяці (за виключенням червня 2009 р.) повторюваність днів з комфортною погодою вища за НЕЕТ, ніж за ФЕТ – тобто, ті дні, що за ФЕТ належать до днів з тепловим чи холодовим стресом за НЕЕТ класифікуються як комфортні. Повторюваність днів з тепловим стресом була вищою за ФЕТ (що є закономірним, адже, в НЕЕТ не враховується нагрівання людського тіла за рахунок надходження сонячної радіації, що є важливим чинником для формування теплового балансу людського тіла в теплий період року), різниця повторюваності днів з тепловим стресом за даними БІ в середньому становила понад 30 %, а в окремі місяці сягала 50 %.

Результати розрахунків повторюваності днів з холодовим стресом за БАТ суттєво відрізняються не лише від ФЕТ, але й від розглянутих раніше БІ – за БАТ за досліджувані 10 років календарного літа в Києві не було зафіксовано жодного дня з холодовим стресом. Відмінності в повторюваності комфортної погоди за БАТ та ФЕТ в середньому становлять 13,4 %, проте, в окремі місяці сягають понад 35 %.

Таблиця 1 **Повторюваність (%) комфортної погоди, холодового та теплового стресу протягом календарного літа 2005-2014 рр. в м. Києві за різними БІ**

		Червень			Липень			Серпень		
Рік	БІ	Хол. стрес	комф	Тепл. стрес	Хол. стрес	комф	Тепл. стрес	Хол. стрес	комф	Тепл. стрес
2005	**НЕЕТ**	46,7	46,7	6,7	0,0	48,4	51,6	3,2	64,5	32,3
	БАТ	0,00	10,00	90,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
	РЕЕТ	10,0	43,3	46,7	0,0	3,2	96,8	0,0	9,7	90,3
	ФЕТ	**20,0**	**33,3**	**46,7**	**0,0**	**3,2**	**96,8**	**0,0**	**12,9**	**87,1**
2006	**НЕЕТ**	43,3	30,0	26,7	12,9	35,5	51,6	9,7	51,6	38,7
	БАТ	0,00	20,00	80,00	0,00	0,00	100,00	0,00	6,45	93,55
	РЕЕТ	20,0	29,0	51,0	3,2	9,7	87,1	9,7	9,7	80,6
	ФЕТ	**23,3**	**26,7**	**50,0**	**6,5**	**22,6**	**71,0**	**9,7**	**12,9**	**77,4**
2007	**НЕЕТ**	13,3	53,3	33,3	12,9	25,8	61,3	6,5	38,7	54,8
	БАТ	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
	РЕЕТ	6,7	16,7	76,7	0,0	19,4	80,6	0,0	19,4	80,6
	ФЕТ	**10,0**	**13,3**	**76,7**	**6,5**	**16,1**	**77,4**	**0,0**	**19,4**	**80,6**
2008	**НЕЕТ**	6,7	70,0	23,3	3,2	61,3	35,5	12,9	29,0	58,1
	БАТ	0,00	0,00	100,00	0,00	3,23	96,77	0,00	6,45	93,55
	РЕЕТ	0,0	30,0	70,0	3,2	16,1	80,6	6,5	9,7	83,9
	ФЕТ	**0,0**	**26,7**	**73,3**	**3,2**	**19,4**	**77,4**	**9,7**	**12,9**	**77,4**
2009	**НЕЕТ**	26,7	16,7	56,7	3,2	58,1	38,7	3,2	64,5	32,3
	БАТ	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	3,23	96,77
	РЕЕТ	3,2	23,3	73,4	0,0	12,9	87,1	3,2	22,6	74,2
	ФЕТ	**10,0**	**16,7**	**73,3**	**0,0**	**16,1**	**83,9**	**3,2**	**38,7**	**58,1**
2010	**НЕЕТ**	3,3	41,9	54,7	3,2	12,9	83,9	6,5	25,8	67,7
	БАТ	0,00	0,00	100,00	0,00	3,23	96,77	0,00	3,23	96,77
	РЕЕТ	0,0	3,3	96,7	3,2	0,0	96,8	3,2	6,5	90,3
	ФЕТ	**0,0**	**10,0**	**90,0**	**3,2**	**0,0**	**96,8**	**6,5**	**9,7**	**83,9**
2011	**НЕЕТ**	16,7	30,0	53,3	3,2	35,5	61,3	9,7	61,3	29,0
	БАТ	0,00	6,67	93,33	0,00	0,00	100,00	0,00	3,23	96,77
	РЕЕТ	6,7	13,3	80,0	0,0	16,1	83,9	3,2	16,1	80,6
	ФЕТ	**6,7**	**13,3**	**80,0**	**0,0**	**16,1**	**83,9**	**6,5**	**22,6**	**71,0**
2012	**НЕЕТ**	13,3	40,0	46,7	0,0	38,7	61,3	25,8	35,5	38,7
	БАТ	0,00	3,33	96,67	0,00	0,00	100,00	0,00	9,68	90,32
	РЕЕТ	6,7	30,0	63,3	0,0	6,5	93,5	9,7	19,4	71,0
	ФЕТ	**13,3**	**20,0**	**66,7**	**0,0**	**9,7**	**90,3**	**12,9**	**19,4**	**67,7**
2013	**НЕЕТ**	0,0	40,0	60,0	6,5	54,8	38,7	19,4	29,0	51,6
	БАТ	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	9,68	90,32
	РЕЕТ	0,0	3,3	96,7	3,2	9,7	87,1	9,7	16,1	74,2
	ФЕТ	**0,0**	**6,7**	**93,3**	**6,5**	**12,9**	**80,6**	**12,9**	**12,9**	**74,2**
2014	**НЕЕТ**	33,3	56,7	10,0	0,0	29,0	71,0	16,1	25,8	58,1
	БАТ	0,00	6,67	93,33	0,00	0,00	100,00	0,00	3,23	96,77
	РЕЕТ	6,7	46,7	46,7	0,0	0,0	100,0	3,2	19,4	77,4
	ФЕТ	**16,7**	**36,7**	**46,7**	**0,0**	**3,2**	**96,8**	**9,7**	**16,1**	**74,2**

За біологічно-активною температурою протягом досліджуваного періоду в половині досліджуваних місяців кожен день був з тепловим стресом, а в решті місяців повторюваність днів з тепловим стресом сягала 80 % і вище. Проаналізувавши результати розрахунків за БАТ можна зробити висновок, що за цим БІ результати біокліматичної оцінки зміщені в бік теплового стресу. Варто відмітити, що БАТ, як і два попередніх БІ, також характеризується низьким коефіцієнтом інформативності – 3 [1].

Радіаційно-еквівалентна температура за коефіцієнтом інформативності оцінюється 5 балами (максимальна оцінками за цим показником) і як вже зазначалося вище, серед ефективних температур це єдиний індекс, що враховує вплив сонячної радіації на людський організм. Відмінності повторюваності комфортної погоди в різні літні місяці між РЕЕТ та ФЕТ є значно нижчими, ніж для вищерозглянутих БІ і в середньому за досліджуваний період становили – 4,3 %. Причому для 22 з 30 розглянутих місяців різниця не перевищувала 3,3 %, проте, кілька разів відхилення сягали 10 % і навіть 16,1 %. Повторюваність днів з тепловим стресом є вищою за ФЕТ, хоча ці відмінності є незначними – в середньому 3,2 %, в більшості місяців перевищення становлять всього кілька відсотків та мають різний знак, проте, двічі за досліджуваний період зафіксовані різниці близько 16 %. Для половини з досліджуваних місяців повторюваність днів з холодовим стресом повністю співпадає, максимальне відхилення, що становило 10 %, спостерігалося двічі.

Те, що оцінки біоклімату, отримані за РЕЕТ є значно точнішими, порівняно з тими, що отримані з використанням БАТ, які розраховані за тими ж вихідними даними свідчить, що при розробці даного БІ поправочні коефіцієнти, що використовуються у формулі були підібрані більш точно або градації для визначення теплового впливу середовища на людину визначалися більш ретельно і об’єктивніше відображають її тепловідчуття. А наявність невеликих відмінностей в оцінках впливу навколишнього середовища на тепловідчуття людини в окремі дні за РЕЕТ, порівняно з ФЕТ, може бути спричинена, неврахуванням інформації про радіаційні особливості середовища, що виражається середньою радіаційною температурою і враховується при розрахунках ФЕТ.

Хмарність є одним з важливих метеорологічних параметрів, що впливає на надходження сонячної радіації до людського тіла, на формування радіаційного середовища навколо людини та її тепловідчуття. Розрахований коефіцієнт кореляції між кількістю хмар та значенням РЕЕТ за досліджуваний період є статистично значимим за критерієм Фішера при рівні значимості p=0,005 (кореляція проводилася для вибірки з 920 значень) і становить -0,49, що вказує на наявність оберненого зв’язку між даним метеорологічним параметром та БІ, який реалізується, очевид, через температуру та вологість повітря (які враховуються при розрахунку ФЕТ та значення яких залежать від хмарності). З рис. 1 чітко видно, що в дні з високою хмарністю майже завжди відбувається зниження значень обох БІ. Крім того, як видно з даного графіку, за однакових умов середовища, для ФЕТ характерна більша мінливість (діапазон значень), ніж для РЕЕТ.

На рис. 2 представлено діапазони коливань досліджуваних БІ за 2005–2014 рр. для Києва. Як видно з рис. 2 для ФЕТ протягом усього досліджуваного періоду властива більша мінливість значень – 35,5°С, а отже і інформативна значимість. В той час як діапазон коливань БАТ майже вдвічі менший – 18,6°С, для РЕЕТ та НЕЕТ він становить 24,2 та 23,3°С – відповідно.

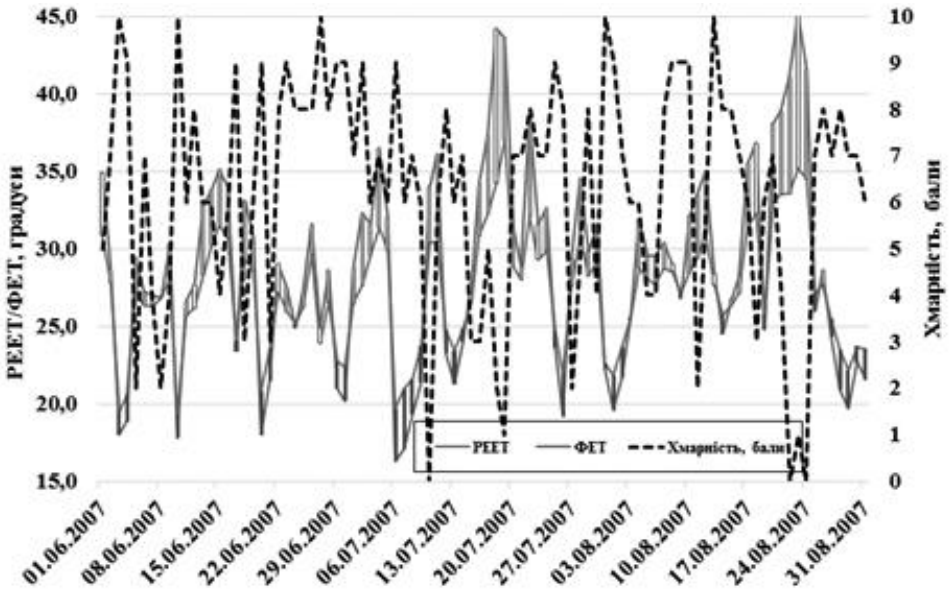


Рис. 1. **Графік ходу значень ФЕТ, PEET та хмарності за 1 червня–31 серпня 2007 р.**

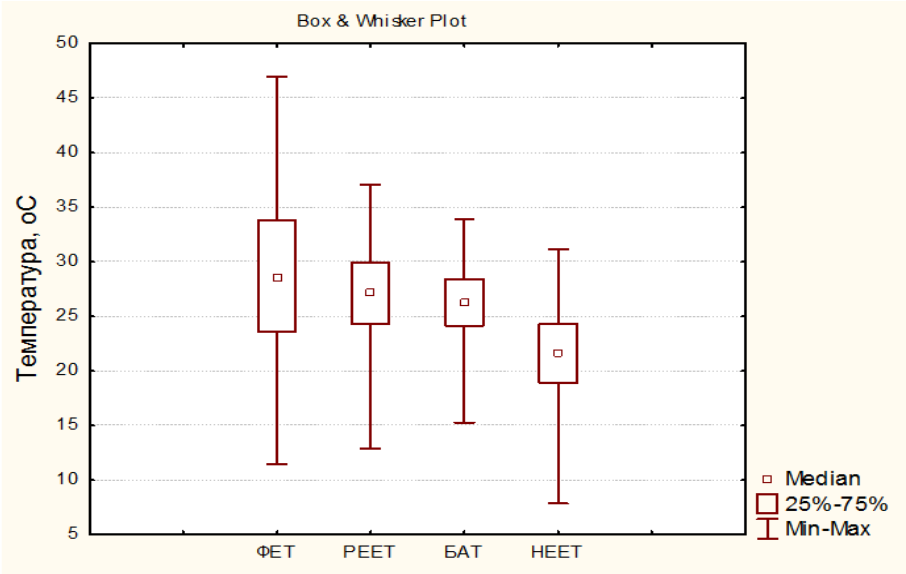


Рис. 2. **Медіанні значення та діапазони коливань HEET, БАТ, PEET та ФЕТ за 1.06.2005 – 31.08.2014 рр. для м. Києва**

Висновки. Проведений порівняний аналіз біокліматичних індексів EET, HEET, PEET, БАТ та ФЕТ, свідчить про суттєві переваги останнього. Адже, по-перше, при його розрахунках враховується повне рівняння теплового балансу людини і всі групи параметрів, що впливають на тепловідчуття людини, по-друге, врахування метеорологічних чинників, включає врахування сонячної радіації, що надходить до тіла людини, а також середньої радіаційної температури, по-третє, для ФЕТ властива більша мінливість значень, а отже і інформативна значимість, порівняно з іншими розглянутими БІ. Незважаючи на простоту розрахунків EET, HEET та БАТ – ці індекси краще не застосовувати для оцінки біоклімату в теплий період – результати розрахунків свідчать про значні відхилення оцінок біоклімату здійснених

з їх використанням, від оцінок здійснених за ФЕТ. Результати оцінки біоклімату, отримані з використанням індексу PEET є ближчими до результатів отриманих за ФЕТ. Проте, зважаючи на те, що в ЕЕТ, НЕЕТ, РЕЕТ та БАТ не враховується середня радіаційна температура, що є дуже важливою для оцінки тепловідчуття людини в літній період в складному урбанізованому середовищі, дані БІ не можуть використовуватися для його біокліматичної оцінки.

Список літератури

1. *Андреев С.С.* Климатический ресурс и комфортность территории Южного Федерального округа России. / *С.С. Андреев* // Автореферат на соискание ученой степени доктора наук. – СПб, 2010. – 37 с. **2.** *Врублевська О.О.* Прикладна кліматологія: Конспект лекцій / *О.О. Врублевська, Г.П. Катеруша*. – Дніпропетровськ: Економіка, 2005. – 131 с. **3.** *Головина Е.Г.* Некоторые вопросы биометорологии: учебное пособие / *Е.Г. Головина, В.И. Русанов*. – СПб.: изд. РГГМИ, 1993. – 90 с. **4.***Ткачук С. В.* Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности / *С.В. Ткачук* // Труды Гидрометцентра России, 2012. – Вып. 347. – 194–214 с. **5.** *Contor N.* The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature / *N. Contor, J. Unger //* Central European Journal of Geosciences. – 2011. – 3 (1). – P. 90–100. **6.** *Hoppe P.* A new method to determine the mean radiant temperature outdoors / P. Hoppe // Wetter und Leben. – 1992. – v. 44. – no.1–3. – P. 147–151. **7.** *Hoppe P.* The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment / P. Hoppe // International Journal of Biometeorology. – May 1999. – V. 43. – P. 71–75. **8.** *Lee H.* Modification of Human-Biometeorologically Significant Radiant Flux Densities by Shading as Local Method to Mitigate Heat Stress in Summer within Urban Street Canyons / *H. Lee, J. Holst, H. Mayer* // Advances in meteorology. – 2013. – http://dx.doi.org/10.1155/2013/312572.

Порівняльний аналіз біокліматичних індексів для оцінки комфортності урбанізованого середовища в теплий період

Шевченко О.Г.

В статті розглянуто основні підходи до оцінки біоклімату територій з використанням біокліматичних індексів. Проаналізовано переваги та недоліки біокліматичних індексів, що найчастіше використовуються на території України. Здійснено порівняльний аналіз цих індексів з фізіологічно-еквівалентною температурою та проаналізовано можливість їх використання для біокліматичної оцінки урбанізованого середовища в теплий період.

Ключові слова: *біокліматичні індекси, урбанізоване середовище, біоклімат, тепловий комфорт.*

Сравнительный анализ биоклиматических индексов для оценки комфортности урбанизированной среды в теплый период

Шевченко О.Г.

В статье рассмотрены основные подходы к оценке биоклимата территорий с использованием биоклиматических индексов. Проанализированы преимущества и недостатки биоклиматических индексов, которые чаще всего используются на территории Украины. Выполнен сравнительный анализ этих индексов с физиологически-эквивалентной температурой и проанализировано возможность их использования для биоклиматической оценки урбанизированной среды в теплый период.

Ключевые слова: *биоклиматические индексы, урбанизированная среда, биоклимат, тепловой комфорт.*

Comparative analysis of bioclimatic indices for estimation of comfort in urban areas in warm period

Shevchenko O. G.

The article describes the main approaches to the evaluation of areas bioclimate using bioclimatic indices. It analyzes the advantages and disadvantages of bioclimatic indices which are the most common in Ukraine. The article shows the results of comparative analysis of these indices with physiological equivalent temperature (PET) and analyzes the possibility of their use for the bioclimatic assessment of urban environment in the warm period. This analysis indicates the significant advantages of the

physiologically equivalent temperature. Because, firstly, in its calculations the full equation of human energy balance and all parameters affecting on the human comfort are taken into account. Secondly, consideration of meteorological factors include consideration of solar radiation which arrives to the human body and mean radiant temperature. Thirdly, PET has more variability of values and hence the higher information importance compared to other considered bioclimatic indices. Despite the simplicity of the calculations of the effective temperature and biologically active temperature it is better not to apply them for the evaluation of bioclimate in a warm period - because the calculation results show significant deviations of bioclimate estimates made by using them (except radiation-equivalent-effective temperature) from the estimates which were made with the help of PET. Additionally, the calculation of these indices does not include mean radiant temperature, which is important for assessment of human comfort during the summer in the complex urban environment, so this bioclimatic indices cannot be used for its bioclimatic assessment.

Keywords: *bioclimatic indices, urban areas, bioclimate, thermal comfort.*

Надійшла до редколегії 10.10.2016

УДК 551.508.4:551.542

***Білаш В.І.*[1]*, Пясецька С.І.*[2]**
[1] - Лабораторія повірки приладів атмосферного тиску ЦТО УкрГМЦ
[2] - Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ І РОЗРАХУНОК ІНТЕРВАЛУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В МЕТРОЛОГІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

Ключові слова: барометри, поняття невизначеності вимірювання, розрахунок інтервалу невизначеності

Вступ. Керуючись настановами кабінету Міністрів України, Державна гідрометеорологічна служба України поступово впроваджує міжнародні стандарти якості, зокрема, повірка приладів атмосферного тиску змінюється на їх калібрування, згідно з ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006. Цей стандарт встановлює загальні вимоги до компетентності у випробуванні та калібруванні таких приладів і поширюється на усі організації, які здійснюють такі випробування у державі [2].

Об'єкт, предмет та мета роботи. *Об'єктом роботи* є сучасні прилади вимірювання атмосферного тиску та методика їх калібрування. *Предметом* дослідження є сучасний стан повірки приладів атмосферного тиску та встановлення міжнародних норм їх калібрування. *Мета* роботи полягає в розробці основних положень методики калібрування приладів атмосферного тиску, згідно вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006.

Стаття складається з чотирьох розділів, у яких подано основні теоретичні та практичні положення, щодо розрахунку невизначеності вимірювань приладами атмосферного тиску: розділ *І. Загальні міжнародні принципи у вимірюванні фізичних величин і вимоги до устаткування лабораторії повірки/ калібрування приладів атмосферного тиску; розділ* II*. «Невизначеність вимірювань»; розділ III. «Розрахункові формули у невизначеності вимірювань»; розділ IV.« Приклад практичного розрахунку інтервалу невизначеності (або довірчого інтервалу) для барометричних вимірювань.*

Огляд стану проблеми. На метеостанціях України, які підпорядковані Українсь - кому Гідрометеорологічному Центру (УкрГМЦ), вимірювання атмосферного тиску - здійснюється за допомогою ртутних барометрів, анероїдів та сучасних електронних барометрів. Всі ці прилади, за сучасною термінологією, називаються Засобами Вимірювальної Техніки (надалі - ЗВТ). У ртутних, найстаріших ЗВТ, атмосферний тиск визначається як еквівалент висоти ртутного стовпа. У анероїдних ЗВТ коливання атмосферного тиску сприймаються герметичними мембранними барокоробками, з яких відкачено повітря і передаються на стрілку барометра. У електронних ЗВТ вимірювання атмосферного тиску здійснюється особливим датчиком, який створює електричний сигнал, пропорційний атмосферному тиску. Усі ці ЗВТ розраховані, в основному, на вимірювання тиску від 600 до 1100 гПа, але деякі, наприклад, М-110 (морського виконання), мають розширений діапазон: від 5 до 810 мм рт.ст. (або від 6 до1080

гПа). У кожному барометрі під час виготовлення та експлуатації може виникнути інструментальна похибка, яка буде впливати на достовірність результатів вимірювання, тому для забезпечення принципу єдності вимірювань, у метрології здійснюється повірка / калібрування ЗВТ за допомогою еталонів атмосферного тиску. Державний еталон атмосферного тиску знаходиться у Національному науковому центрі - Інститут метрології - у м. Харків. УкрГМЦ здійснює повірку / калібровку ЗВТ атмосферного тиску за допомогою електронних та неелектронних еталонів. Основні повірочні схеми, методика повірки та характеристики еталонів наведено у роботі [1]. У зв'язку із переходом на європейські стандарти та визначення, замість поняття "похибка" вводиться поняття "інтервал невизначеності вимірювання"*.*

І. Загальні міжнародні принципи у вимірюванні фізичних величин і вимоги до устаткування лабораторії повірки/ калібрування приладів атмосферного тиску. *Міжнародна Система величин ISQ*. Вона заснована на багаточисельності сімох основних величин: довжині, масі, часу, електричному струмі, термодинамічній температурі, кількості речовини і силі світла. У цій системі «вимірювання» є процес експериментального отримання одного. або більше значень величини, котрі можуть бути обґрунтовано приписані величині. «Принцип вимірювання» це явище, що лежить в основі вимірювання. «Метод вимірювання» є загальний опис логічної послідовності вимірювання. «Референтна методика вимірювання» - методика вимірювання, прийнята для отримання результатів вимірювання, котрі можуть бути використані для оцінки правильності значень величини, що вимірюється і отриманих іншими методами вимірювання того ж роду, а також для калібрування, або отримання стандартних зразків. «Істинне значення величини» є значення величини, котре відповідає визначенню величини. У концепції «похибки» у опису вимірювання, істинне значення величини розглядається як єдино можливе і на практиці непізнане. Концепція невизначеності визнає, що у дійсності з причин неповного опису величини існує не одне істинне значення величини, а скоріше, навпаки - сукупність істинних значень. Однак ця сукупність значень на практиці залишається невідомою.

У цій же системі ISQ розглядаються такі поняття, як «умови повторюваності вимірювання», «умови відтворення вимірювань» та інші. ISQ надає важливе значення таким поняттям, як «засоби вимірювання», тобто обладнання для виконання вимірювань (у тому числі у поєднанні з кількома одиницями обладнання); «верифікація», тобто повірка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) і надання свідоцтва про повне задоволення усіх вимог; «поправка», тобто компенсація оціненого системою ефекту від вимірювання [5].

Вимоги щодо ідентифікації устаткування. Устаткування для проведення калібрування повинно бути зареєстровано і мати такі відомості: назву виробника, серійний номер, ідентифікацію типу, результати повірки відповідності устаткування, інструкції виробника, щодо застосування устаткування, план обслуговування та повірки, опис пошкоджень та ремонтно - профілактичні роботи [3].

Простежуваність вимірювань. Усе устаткування, яке використовується для проведення калібрування, що має істотний вплив на точність результатів, повинно бути відкалібровано до його введення в експлуатацію. Лабораторія повинна мати програму проведення калібрування свого устаткування. У програмі має бути закладений алгоритм, який забезпечує простежуваність вимірювань для своїх власних еталонів та вимірювальних інструментів, згідно Системи SI за рахунок нерозривного ланцюга калібрування, або зіставлень, що зв'язує їх з відповідними первинними еталонами одиниць SI. Зв'язок з одиницями досягається посиланням

на Національний еталон. Якщо калібрування не може бути точно виконане в одиницях SI .тоді у цих випадках калібрування повинне забезпечити достовірність вимірювань [3]. Згідно з ISQ, метрологічна простежуваність є властивість результату вимірювання, згідно з котрим результат може бути співвіднесено з основою для порівняння [5].

Еталони. За термінологією ISQ, «еталон» є реалізація визначення даної величини з встановленим значенням величини і зв'язаною з нею невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння. У ISQ ж наводяться поняття «міжнародного еталону», тобто визнаного усіма державами; «первинного еталону»; «вторинного еталону», тобто відкаліброваного по первинному; «національному еталону», для використання у господарчій діяльності; «вихідного еталону» для калібрування інших (робочих) еталонів; «робочі еталони» для повірки ЗВТ [5].

Вихідні еталони. Вихідні еталони повинні бути відкалібровані органом, який може забезпечити простежуваність. Вихідні еталони калібрують до та після будь-якого регулювання. Перевірки необхідні для підтримання довіри до статусу вихідних, первинних, або робочих еталонів і проводяться за визначеними процедурами. [3].

Протоколи і свідоцтва про калібрування. Результати кожного калібрування, що проведе в лабораторії, реєструються в протоколах, або свідоцтвах про калібрування. Вони повинні містити всю потрібну замовнику інформацію і основні характеристики, а саме:

- назву та адресу замовника;
- ідентифікацію методу, що використовується;
- опис, стан та недвозначну ідентифікацію приладу, який пройшов калібрування;
- результати калібрування;
- ім’я, посаду та підпис (або особисте тавро) особи, яка затвердила результати калібрування;
- умови (наприклад умови довкілля), за яких проведено калібрування та їх вплив

на результати калібрування;

- невизначеність вимірювання та (або) вказівку на відповідність ідентифікованим

метрологічним характеристикам технічних умов, або окремим їх положенням;

- докази того, що вимірювання простежуються.

Свідоцтво про калібрування повинно містити лише кількісні показники та результати функційного випробування. Зміни у протоколи вимірювань та випробувань, можуть бути внесені тільки у вигляді додаткового документу [3].

II. «Невизначеність вимірювань» У [2] поняття «невизначеності вимірювань» («***H.B***.») розшифровується як «ділянка», або «частина шкали» вимірювань, яка відповідає ожилому розсіянню результатів вимірювань, у якій, за припущенням знаходиться значення величини, що вимірюється. Взагалі, невизначеність вимірювання включає багато компонентів. Деякі з цих компонентів можуть бути оцінені експериментально за статистичним розподілом значень величини в серії вимірювань. Оцінювання невизначеності по типу «***A***» результату одноразового вимірювання можливе тільки шляхом проведення багаторазового попереднього вимірювання за даною методикою. При кількісній оцінці невизначеності вимірювання використовуються такі поняття, як «стандартна невизначеність вимірювання», тобто невизначеність у вигляді стандартного відхилення; «сумарна стандартна невизначеність», тобто стандартна

невизначеність, яку отримують, виходячи з індивідуальної стандартної невизначеністю, пов'язаною з вхідними величинами у моделі вимірювань; «відносна стандартна невизначеність», тобто стандартна невизначеність, поділена на вимірюване значення величини; «розширена невизначеність», тобто сумарна стандартна «***Н.В.***», помножена на коефіцієнт охвату [2].

У «Рекомендації INC-1» (1980 р.) вираз «невизначеність», прийнятий Міжнародним Комітетом по мірам і вагам, допускає, що складові «***Н.В***.» групують у дві категорії типу «***А***» і типу «***В***», з огляду на те, чи були вони оцінені статистичними, або іншими методами. Ці складові об'єднують, щоб отримати дисперсії, згідно з правилами Теорії ймовірності, при чому, складова типу «**В**» також розглядається як дисперсія [5]. Ціль вимірювань у концепції невизначеності - не в тому, щоб знайти істинне значення максимально точно, а в тому, щоб приписати величині, що вимірюється, інтервал обґрунтованих значень, виходячи з припущень, що при вимірюваннях не були допущені помилки. В GUM розглядається «дефініціальна невизначеність», як надмала у порівнянні з іншими складовими невизначеності.

У невизначеності вимірювань, згідно [5], використовуються такі поняття, як «інтервал», який разом з символами [$a; b$] застосовується для набору дійсних чисел «x», для яких:

$$a \le x \le b, \qquad \textbf{(1)}$$

де a, b - дійсні числа і позначають границі інтервалу; «ширина (розмір, довжина) інтервалу» є різниця b-a і позначується як [a; b]. Наприклад, r [4; 2] = 2 - (-4) = 6. «Інтервал охвату», тобто інтервал, який включає сукупність істинних значень вимірювальної величини з заданою ймовірністю. «Довірчий інтервал» - є статистичною оцінкою параметра ймовірного розподілу, границями такого інтервалу є функція від результатів вимірювань. Довірчий інтервал з високою ймовірністю включає невідоме значення параметру [5].

III. Розрахункові формули у невизначеності вимірювань. У теорії невизначеності застосовують такі поняття, як «міра точності»:

$$\frac{1}{\sqrt{2(b^2+\delta^2)}}, \qquad \textbf{(2)}$$

де b, δ - константи.

У якості оцінки невідомої величини використовують «середнє арифметичне»:

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathrm{X}i, \qquad \textbf{(3)}$$

де X_i - числа інтервалу, а різницю $\Delta_1 = X_1 - \overline{\mathrm{X}}$ ...; $\Delta n = X_n - \overline{\mathrm{X}}$ - називають «уявною помилкою». Вибір «X» у якості оцінки для α заснований на тому, що при достатньо великому n рівноточних вимірювань (без систематичної помилки), оцінка X з ймовірністю, близької до одиниці, практично не відрізняється від невідомої величини μ. Оцінка з такою властивістю називається «незміщенною помилкою». Дисперсія цієї оцінки визначається як:

$$\mathrm{D}\,\overline{\mathrm{X}} = \mathrm{E}\,(\overline{\mathrm{X}} - \mu)^2 = \frac{\delta^2}{n} \quad (4). \qquad \textbf{(4)}$$

Досвід показує, що досить часто випадкові похибки підкоряються нормальному закону розподілу. [4]. Застосовуються також такі поняття, як «стандартна невизначеність вимірювання», котра є «***Н.В.***» у вигляді «стандартного відхилення»:

«сумарна стандартна невизначеність», котру отримують, виходячи з індивідуальної стандартної невизначеності, і пов'язану з вхідними величинами у моделі вимірювання; «відносна стандартна невизначеність» - це стандартна невизначеність поділена на абсолютне значення вимірювальної величини; «розширена невизначеність є сумарна стандартна невизначеність помножена на коефіцієнт охвату «***k***», де k >0 [5].

Середнє квадратичне відхилення σ величин $X_1, X_2...X_n$ від α є корінь квадратний з виразу:

$$\frac{(X_1 - a)^2 + (X_2 - a)^2 + ... + (X_n - a)^2}{n} \quad \textbf{(5)}$$

У теорії ймовірності квадратичне відхилення σ випадкової величини ***X*** від її математичного очікування визначається як корінь квадратний з ***DX*** (див. формулу (4)) і називається «стандартним відхиленням» величини ***X***. Для любої випадкової величини ***X*** з математичним очікуванням ***μX*** і квадратичним відхиленням σx ймовірність відхилення ***X*** від ***μ***, при великих значеннях $|k|$, не перевищує $1/k^2$ («нерівність Чебишева»). У випадку нормального закону розподілу, ймовірність при k = 3, дорівнює 0,0027. У вирішені практичних задач теорії ймовірності, де закон розподілу є нормальним, користуються «правилом 3 σ» [4].

Точність «довірчого інтервалу», згаданого у *розділі II*, вимірюється довільним числом α. Ймовірність помилки, що довірчий інтервал не охоплює істинне значення θ не більше α. У багатьох задачах вдається знайти довірчий інтервал, що відповідає лише приблизному значенню довірчого рівня, залежного від числового параметру θ, де $\theta \in \Theta \subseteq R$, де Θ - параметрична множина. Тоді, при фіксованому значені α, (0<α<1) інтервал з межами $\theta_1 = \theta_1 (X_1 ... X_n)$ і $\theta_2 = \theta_2 (X_1 ... X_n)$ і є довірчий інтервал.

Розглянемо наступний приклад. Нехай P_θ є нормальний розподіл із щільністю ймовірності:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \exp - \frac{(X - \Theta)^2}{2\delta^2} \quad \textbf{(6)}$$

де - ∞ < X < + ∞ і σ >0. Для побудови довірчого інтервалу використовується середнє арифметичне (формула(3)). Тоді, для будь-якого t >0, ймовірність того, що шукана величина θ знаходитиметься у довірчому інтервалі складає:

$$P_\theta \{ \overline{X} - \frac{t\delta}{\sqrt{n}} \le \theta \le \overline{X} + \frac{t\delta}{\sqrt{n}} \} \quad \textbf{(7)}$$

IV. ***Приклад практичного розрахунку інтервалу невизначеності (або довірчого інтервалу) для барометричних вимірювань.*** Для розрахунку інтервалу невизначеності було використано стандартне устаткування, яке застосовується при повірці барометрів-анероїдів, а саме: вакуумна камера, насос, робочий еталон-електронний барометр БАР-И. Тут колонка «**G**» поділка шкали анероїда, від 1060 до 820 гПа, для якої було проведено десять вимірювань атмосферного тиску, результати яких наведено у таблиці 1. Числа 1, 2,...10 - номер дослідження; поле під БАР-И - значення тиску, зафіксованого по робочому еталону; поле під БАММ-1- значення тиску зафіксованого за барометром-анероїдом.

Розрахунок розпочинаємо з обчислення середнього значення тиску «**P**», згідно (3), для кожної поділки шкали барометра-анероїда, при цьому маємо припущення, що в еталоні БАР-И досягнуте максимально точне значення тиску, що задавався. За

формулою (5) розраховуємо середнє квадратичне відхилення σ від α, котре у нашому випадку є середнє значення тиску: α = P (гПа). Отримані розрахункові дані наведено у таблиці 2.

Таблиця 1. **Результати експериментів для БАР-И (блок А) та БАММ-1 (блок Б)**

Блок А - БАР-И

Gi / n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1060	1060,3	1060,4	1060,6	1060,4	1059,5	1059,8	1059,1	1059,2	1059,8	1058,2
1040	1040,9	1040,5	1039,9	1040,2	1041,1	1039,8	1040,6	1040,3	1038,1	1037,2
1020	1020,2	1020,4	1020,8	1020,3	1019,9	1020,2	1020,6	1020,0	1021,8	1019,5
1000	1000,6	1000,5	999,7	999,4	1000	999,6	1000,9	1000,6	999,2	998,2
980	980,5	980,7	978,8	980,1	981,0	980,1	979,6	980,6	981,3	979,2
960	959,3	960,8	960,3	959,9	959,2	960,5	960,8	960,6	961,5	959,7
940	939,3	939,2	939,9	939,7	939,9	940,6	939,9	939,8	940,3	939,3
920	920,2	920,2	919,1	920,1	920,7	920,5	920,8	919,8	919,8	919,6
900	900,5	899,9	900,1	899,8	900,9	899,3	900,8	899,1	900,9	898,9
880	880,0	879,4	880,6	880,5	880,1	880,4	880,1	880,6	881,3	879,4
860	860,3	859,6	860,7	859,2	860,7	860,2	860,5	859,3	859,9	858,6
840	840,2	839,7	840,2	840,0	840,4	839,0	840,6	840,3	840,1	839,4
820	819,9	819,7	819,9	820,1	819,9	820,0	819,7	819,9	820,8	821,4

Блок Б - БАММ-1

Gi / n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1060	1059,5	1059,0	1058,5	1058,0	1057,0	1057,5	1056,0	1056,6	1057,5	1057,0
1040	1040,0	1040,0	1038,0	1039,0	1039,2	1038,0	1039,0	1038,2	1038,0	1036,0
1020	1020,0	1020,0	1020,0	1020,0	1019,0	1020,0	1020,0	1019,0	1021,5	1019,0
1000	1001,0	1001,5	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,5	1001,0	999,0	999,0
980	983,0	983,0	981,5	981,0	982,0	981,0	980,0	981,5	982,0	980,0
960	962,0	963,0	962,0	961,5	960,5	962,0	962,0	962,0	963,0	961,0
940	942,5	941,0	942,0	941,5	942,0	942,0	941,5	941,5	943,0	941,5
920	924,0	922,0	921,5	922,0	922,5	922,0	923,0	922,0	922,5	922,0
900	903,0	901,5	902,0	901,5	902,5	901,0	902,0	901,0	903,0	901,0
880	883,0	880,5	882,0	882,0	882,0	881,5	881,5	882,0	883,5	881,0
860	863,0	860,0	862,0	862,0	860,0	862,0	861,5	862,0	861,5	860,0
840	842,0	840,0	841,0	841,0	841,0	840,0	841,0	841,0	841,0	840,0
820	821,0	819,0	820,0	820,0	820,0	820,0	820,0	820,0	821,0	821,5

Таблиця 2 . **Розрахунок квадратичного відхилення «σ» для поділок шкали барометра-анероїда**

P,гПа	1060	1040	1020	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820
σ	0,96	1,09	0,71	0,78	0,33	0,31	0,83	0,62	0,67	0,78	0,95	0,60	0,67

Надалі, за формулою (7) розраховуємо «інтервал невизначеності» (або «довірчий інтервал»), в якому, з заданою ймовірністю, знаходиться істинне значення тиску. У формулу (7) входить коефіцієнт «t». t > 0 і може приймати значення 1, 2, 3, що впливає на точність, а також ширину інтервалу невизначеності. У нашому випадку t = 1. Результати розрахунку наведено у таблиці 3.

Таблиця 3. **Результати розрахунку інтервалу невизначеності для барометра-анероїда БАММ-1**

P, гПа	1060	1040	1020	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820
Інтер-вал	1057,3-1057,9	1038,9-1038,3	1019,6-1020,0	1000,4-1000	981,6-981,4	961,8-962,0	941,5-942,1	922,2-922,6	901,4-901,8	881,6-882,1	851,1-851,5	840,6-841,0	820,1-820,5

Напрямок та мета подальших досліджень. Метою подальших досліджень можуть бути дослідження, які пов‘язані із вирішенням питання одноманітності калібрування еталонних ЗВТ атмосферного тиску: якщо два однакові еталони відкалібровано у різних країнах то різниця в показаннях (тобто похибка) може досягати до 0,3 гПа, що негативно впливає на розрахунок довірчого інтервалу.

Висновки.

1. Невизначеність вимірювання - новий підхід у розрахунках, який має замінити розрахунок похибки і пов‘язаний з еталонами різного класу точності.

2. Концепція невизначеності визнає, що у дійсності з причин неповного опису величини існує не одне істинне значення величини, або - сукупність істинних значень, яка на практиці залишається невідомою.

3. Устаткування для проведення калібрування повинно бути зареєстровано і мати відомості про: назву виробника, серійний номер, ідентифікацію типу, результати повірки відповідності устаткування, інструкції виробника, щодо застосування устаткування, план обслуговування та повірки, опис пошкоджень та ремонтно - профілактичні роботи.

4. Усе устаткування, яке використовується для проведення калібрування, що має істотний вплив на точність результатів, повинно бути відкалібровано до його введення в експлуатацію.

5. Прилад – «еталон» є реалізація визначення даної величини з встановленим значенням величини та пов'язаною з нею невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння. Вихідні еталони повинні бути відкалібровані органом, який може забезпечити простежуваність. Для них застосовують калібрування до та після будь-якого їх регулювання.

6. Результати кожного калібрування, що проведене у лабораторії, реєструються в протоколах, або свідоцтвах про калібрування. Вони повинні містити всю потрібну замовнику інформацію і основні характеристики (назву та адресу замовника; ідентифікацію методу, що використовується; опис, стан та недвозначну ідентифікацію приладу, який пройшов калібрування; результати калібрування; ім’я, посаду та підпис (або особисте тавро) особи, яка затвердила результати калібрування; умови (наприклад умови довкілля), за яких проведено калібрування та їх вплив на результати калібрування; невизначеність вимірювання та (або) вказівку на відповідність ідентифікованим метрологічним характеристикам технічних умов, або окремим їх положенням; докази того, що вимірювання простежуються). Свідоцтво про калібрування повинно містити лише кількісні показники та результати функційного випробування.

7. Поняття «невизначеності вимірювань» розшифровується як «ділянка», або «частина шкали» вимірювань, яка відповідає ожилому розсіянню результатів вимірювань, у якій, за припущенням знаходиться значення величини, що вимірюється. Досить часто випадкові похибки підкоряються нормальному закону розподілу.

8. Метою подальших досліджень повинні бути дослідження, які пов‘язані із вирішенням питання одноманітності калібрування еталонних ЗВТ визначення довірчого інтервалу.

Список літератури

1. *Білаш В.І., Пясецька С.І.* Метрологічне забезпечення приладів атмосферного тиску у гідрометеорологічній службі України / Білаш В.І, Пясецька С.І. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.- 2014. - т. 3(34). - С. 83-89. **2**. *Большая* Российская энциклопедия. -М.:, Научное изд-во «Большая Российская энциклопедия» 2013. - т. 22. **3.** *Загальні* вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO / IEC 17025:2006). - Видання офіційне. - 24 с. **4**. *Математический* Энциклопедический Словарь. Изд.-во «Советская Энциклопедия». - М., - 1988 – 845 с. **5.** *Международный* метрологический словарь. – СПБ. – Изд-во НПО «Профессионал», 2010.

Теоретичні засади і розрахунок інтервалу невизначеності в метрологічному забезпеченні метеорологічних приладів вимірювання атмосферного тиску

Білаш В.І., Пясецька С.І.

Представлена стаття присвячена розробці методики розрахунку інтервалу невизначеності при вимірюванні атмосферного тиску метеорологічними приладами барометрами та барографами. Нова методика повинна замінити застосований раніше розрахунок похибки при повірці атмосферного тиску цими приладами. Необхідність у такій методиці виникла у зв’язку з переходом повірочних лабораторій України цього профілю на міжнародні стандарти. У статті викладено основні положення, необхідні для переходу від повірочних лабораторій до калібровочних. Наведено основні поняття Міжнародної Системи величин ISQ, розшифровуються такі поняття, як «вимірювання», «принципи вимірювання», «істинне значення величини», «умови повторюваності вимірювання», «засоби вимірювання», «верифікація засобів вимірювання», «похибка», «калібрування», «еталон» та інші. Розглядаються поняття «невизначеності вимірювань» типу «А» і «В» і пов’язані з ними середнє арифметичне», «математичне очікування», «дисперсія», «квадратичне відхилення», «стандартне відхилення», «інтервал невизначеності», або «довірчий інтервал». Також наведено розрахункові формули для інтервалу невизначеності, та виділено додаткові поняття, пов‘язані з цим та надано практичний розрахунок інтервалу невизначеності на прикладі повірки стандартного барометра-анероїда БАММ-1, якими оснащено метеостанції України.

Ключові слова: *барометри, поняття невизначеності, розрахунок інтервалу невизначеності*

Теоретические основы и расчет интервала неопределенности в метрологическом обеспечении метеорологических приборов измерения атмосферного давления

Белаш В.И., Пясецкая С.И.

Представленная статья посвящена разработке методики расчета интервала неопределенности при измерении атмосферного давления метеорологическими приборами - барометрами и барографами. Новая методика призвана заменить применявшийся ранее расчет погрешности при поверке атмосферного давления этими приборами. Необходимость в разработке такой методики возникла в связи с переходом поверочных лабораторий Украины этого профиля на мировые стандарты. В статье приведены основные положения, необходимые для перехода от поверочных лабораторий к калибровочным. Приведены основные понятия Международной Системы величин ISQ, расшифровываются такие понятия, как «измерения», «принципы измерения», «истинное значение величины», «условия повторяемости измерений», «средства измерения», «верификация средств измерения», «погрешность», «калибровка», «эталон» и другие. Рассматриваются такие понятия, как «неопределенность измерений» типа «А» и «В» и связанные с ними «средне арифметическое», «дисперсия», «математическое ожидание», «квадратичное отклонение», «стандартное отклонение», «интервал неопределенности», или «доверительный интервал» и другие. Также приведены расчетные

формулы для интервала неопределенности и дополнительные понятия, связанные с ним и приведен практический расчет интервала неопределенности на примере поверки стандартного барометра-анероида БАММ-1, которыми оснащены метеостанции Украины.

Ключевые слова: *барометры, понятие неопределенности, расчет интервала неопределенности.*

Theoretical foundations and calculation of the uncertainty interval in metrological support of meteorological instruments for barometric pressure measurement

Belash V.I., Pyasetska S.I.

The paper is devoted to the development of methods for uncertainty interval calculating during the atmospheric pressure measurement by meteorological devices, such as barometers and barographs. The new method will replace the previously applied calculation of errors in barometric pressure measurement by these instruments. The need for such a procedure has arisen in connection with the transition of testing laboratories in the Ukraine to the international and European standards. The article consists of fourth sections; each of them contains general concepts, necessary to replace testing laboratories in the calibration ones. The first section contains new requirements for testing (calibration) laboratories. The second section reveals the concept of "uncertainty interval" measurements. The third section contains the main concepts of the theory of uncertainty measurement; in the fourth section the formula for uncertainty interval calculating are given and in the for section we give an example of the practical calculation of the uncertainty interval for a particular standard and an aneroid barometer verified by this interval. The article justifies new requirements for output and working standards of atmospheric pressure as well as new rules for certification of aneroid barometers calibration located at meteorological stations in the Ukraine. When calibrating aneroid barometers on electronic standards there raises the question of reasonable minimum and sufficient number of measurements, the choice of accuracy characteristics verification / calibration that is the subject of further research. In subsequent studies presented in this article, the results should also conduct a study comparing instruments for measuring atmospheric pressure calibrated in different countries to explore possibilities to minimize the difference in the testimony. This will reduce the possibility of error in measurement and calculation pursuant to simplify the confidence interval of the results. In addition, if compliance calibration instruments for measuring atmospheric pressure in different countries will simplify their use on other national networks meteorological observations. This article is intended for those working in this field.

Keywords: *barometer, the concept of uncertainty measurement, uncertainty interval calculation.*

Надійшла до редколегії 27.09.2016

ПОРЯДОК ПОДАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДО ПЕРІОДИЧНОГО НАУКОВОГО ЗБІРНИКА “ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ”

з урахуванням вимог нормативних документів ВАК України: Постанови ВАК України за №7-05/1 від 15 січня 2003 р., Наказу ВАК України №63 від 26 січня 2008 р. та Наказу ВАК України № 30 від 24 січня 2009 р.

Науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” запланований до чотирьох випусків на рік. Він є міжвідомчим, готується до видання на базі кафедри гідрології та гідроекології та науково-дослідної лабораторії гідроекології та гідрохімії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а також Комісії з гідрології та гідроекології Українського географічного товариства. Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки»..

Наукова тематика збірника визначена його назвою і є досить широкою. Вона охоплює насамперед такі питання: теоретичні та експериментальні гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні дослідження водних об’єктів; оцінка впливу господарської діяльності на гідрологічний і гідрохімічний режим та якість природних вод; аналіз катастрофічних гідрологічних явищ на водних об’єктах, методи їх прогнозування та попередження; раціональне використання та охорона водних ресурсів, якість питної води; водні меліорації; моніторинг забруднення природних вод; методи спостережень, методи хімічного аналізу природних вод, гідробіологічні аспекти стану природних вод; географічні аспекти гідрологічних досліджень.

Редакційна колегія приймає матеріали та інформацію про діяльність відомих вчених в області гідрології, гідрохімії та гідроекології, які будуть присвячені їх ювілейним датам, матеріали про фахові конференції, що відбулися в Україні і за рубежем, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Редакційна колегія просить звернути увагу авторів статей на Постанову ВАК України “Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України” за №7-05/1 від 15 січня 2003 р. Зокрема, на пункти 3 і 4 цієї Постанови:

“3. Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов’язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: *постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

4. Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт *зарахувати статті*, подані до друку, починаючи *з лютого 2003 р.,* як фахові лише за *умови дотримання вимог до них, викладених у п.3 даної постанови*”.

Відповідно до постанови ВАК України статті повинні мати такі чітко означені в тексті структурні елементи:

Вступ *(постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями)*;

Вихідні передумови (*аналіз останніх досліджень і публікацій)*;

Формулювання цілей статті, постановка завдання;

Виклад основного матеріалу дослідження *з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів*;

Висновки *з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому науковому напрямі;*

Список літератури *(7-10 джерел, в т.ч. інтернет-джерел, оформлених згідно з ДСТУ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації…»).* Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера і використаних сторінок.

Мова публікацій – українська. Можуть бути статті російською та іншими іноземними мовами. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Для одноосібних статей, поданих студентами, аспірантами, здобувачами обов'язковим є відгук наукового керівника.

Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті матеріалів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.

Статті обсягом **5-10 сторінок** (разом із резюме, таблицями, рисунками (рисунки чорно-білі) та списком літератури) необхідно надсилати на адресу редколегії у **електронному вигляді** (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у роздрукованому вигляді у 2-х примірниках (для рецензування), один – із підписами авторів; другий – копія першого без підпису. Шрифт Arial, кегль 12, Word 6-8. Поля всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00.

Подані до збірника рукописи, обсягом **менше 5 сторінок**, а також ті, що не мають відповідної рубрикації, будуть розміщуватись у розділі **"Наукові повідомлення".**

Необхідно мати на увазі, що одиниці вимірювання величин і характеристик у статтях треба наводити згідно системи СІ. Зокрема, концентрацію хімічних компонентів у воді – в **мг/дм^3** (а не в мг/л).

Крім того, до статті додаються відомості про авторів згідно зразка:
Прізвище, ім'я, по батькові;
Науковий ступінь та вчене звання;
Місце роботи;
Посада;
Службова адреса;
Контактний телефон, E-mail.

Зразок оформлення статті (обов'язково ставити УДК, дотримуватися виділення шрифту і абзаців):

УДК 551.49 (кегль 12)

Петренко М.І. ***(кегль 12, напівжирний, нахилений)***
Інститут гідробіології НАН України, м. Київ (кегль 11, нахилений)

ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА (кегль 12, **напівжирний**)

Ключові слова: *не більше 5 слів чи словосполучень (кегль 11, нахилений)*

Далі через інтервал починається текст статті (кегль 12). Усі підписи до рисунків та таблиці виконуються кеглем 11.

Після тексту через інтервал підзаголовок "**Список літератури**" (кегль 11, **напівжирний**), а потім власне список за його наявності (також кегль 11). Список літератури має бути оформлений згідно вимог ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 та вимог ВАК України («Бюлетень ВАК України , № 3 від 2008).

Після "Списку літератури" через інтервал – **анотації** українською, російською і англійською мовами, що додаються за схемою:

1) **назва статті** (кегль 10, **напівжирний)** , ***прізвище та ініціали автора(ів)*** *(кегль 10, **напівжирний, нахилений**);*

2) короткий текст анотації українською, російською та розширений – англійською (2000 знаків без пробілів) (кегль 11, нахилений);

3) ***ключові слова*** *(до 5 слів чи словосполучень), розділених крапкою з комою* (кегль 10, *нахилений)*.

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Науковий збірник

2016 рік

Том 3 (42)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С .О.

Підписано до друку 16.11.2016
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 300 прим. Зам. № 52-014.

Видавництво географічної літератури "Обрії"
Свідоцтво Держкомінформ України
ДК № 23 від 30.03.2000 р.
Київ, вул. Старокиївська, 10
Тел.: (096) 882-30-30
e-mail: vgl_obrii@ukr.net