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

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
Том 4 (43)

Київ
2016

УДК 551.49

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:
Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. – 2016. – Т. 4 (43). – 109 с.
HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:
The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskyi. – 2016. – Vol. 4(43). – 109 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
(19 грудня 2016 р., протокол № 5)

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

Онищук В.В.
Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло»…….…….... **6**

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Ободовський О.Г., Лук'янець О.І., Коноваленко О.С., Корнієнко В.О.
Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу…….. **25**

Гопченко Є.Д., Кирилюк О.С.
Порівняльний аналіз результатів статистичної обробки часових рядів максимального стоку весняного водопілля на території Приазов'я ……..……. **32**

Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Коноваленко О.С.
Гідроморфологічна оцінка екологічного стану річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)…….…..… **38**

Кожем'якін Д. В., Чорноморець Ю. О.
Характеристика паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики ……. **53**

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Хільчевський В.К., Курило С.М.
Хімічний склад атмосферних опадів на території України та його антропогенна складова ……..... **63**

Федоненко О. В., Ананьєва Т. В., Ніколенко Ю. В.
Екологічна оцінка якості води ріки Мокра Сура за гідрохімічними показниками…….. **74**

Данильченко О.С.
Екологічна оцінка якості води річок Сумської області……. **82**

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Винарчук О.О.
Характеристика господарської діяльності в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла……. **89**

ОГЛЯД

Ободовський О.Г., Рахматулліна Е.Р., Тимуляк Л.М.
Коротка історія розвитку та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України …… **94**

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія"……..…… **107**

C O N T E N T S

THE GENERAL METHODS ASPEGTS OF SNVESTIGATION

Onischuk V.
Solving the system of Navier-Stokes equations for estimation of dynamic equilibrium system "flow-channel"…..…….. **6**

HYDROLOGY. WATER RESOURSES

Obodovskiy O., Lukianets O., Konovalenko О., Korniienko V.
The average annual water flow of rivers Ukrainian Carpathians and especially its territorial distribution..……..……...…. **25**

Gopchenko E. D., Kirilyuk O. S.
Comparative analysis of the results of statistical processing of time series of maximum runoff for spring floods on the territory of Azov region ……..……... **32**

Obodovskyi Iu.O., Khilchevskyi V.K., Obodovskyi O.G., Konovalenko O.S.
Hydromorphological assessment of the ecological state of the rivers of upper Tisza basin (within Ukraine)…… **38**

Kozhemyakin D. V., Chornomorets Yu. O.
Characteristic of floods on the Dniester River gauging station Zalischyky……..…… **53**

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Khilchevsky V, Kurilo S.
Chemical composition of precipitation in Ukraine and its anthropogenic component..... **63**

Fedonenko O.V., Ananieva T.V., Nikolenko J. V.
Ecological estimation of water quality on hydrochemical indexes in Mokra Sura river…….. **74**

Danylchenko O.S.
Ecological evaluation water quality of rivers Sumy region…….. **82**

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

Vinarchuk O. O.
Characteristic of water use and water removal in pools of the rivers Sula, Psyol and the Vorskla …… **89**

REVIEW

Obodovskyy O.G., Rakhmatullina E.R.,Tymulyak L.M.
The brief history of development and current state of small hydroenergetics on the lowland river of Ukraine…….. **94**

The presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»……..…..… **107**

УДК 627.142:536.143

Онищук В.В.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ НАВ'Є-СТОКСА ДЛЯ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНОЇ РІВНОВАГИ СИСТЕМИ «ПОТІК - РУСЛО»

Ключові слова: *гідродинамічна система «потік-русло», динамічна рівновага системи, руслоформувальна витрата води і транспортувальних наносів, рівняння Нав'є-Стокса, явище меандрування, соліноїдальна траєкторія руху, ядро водотоку.*

Актуальність проблеми. Рівняння Нав'є-Стокса – це система диференційних рівнянь у частинних похідних, що описують рух і теплопередачу в'язкої ньютонівської рідини. Рівняння Нав'є-Стокса [1-3] являються одними з найважливіших у гідродинаміці й застосовуються в математичному моделюванні багатьох природних явищ і технічних задач. Зазвичай система рівнянь складається з рівняння руху рідини або субстанції, рівняння збереження енергії, маси і імпульсу сили та рівняння неперервності рідини, які є неповними для точного розв'язування як плоских, так і просторових задач гідродинаміки. Варто відмітити, що на сьогоднішній день детальне розв'язування цих рівнянь знайдені в обмеженій кількості і лише для деяких технічних задач (пристроїв), апроксимованими числовими методами.

Русловий потік це складна відкрита адаптивно-дисипативна гідродинамічна система «потік-русло» (ГДС$_{п-р}$), яка наділена властивістю самоорганізації, саморегулювання і самозбереження при розвитку процесів руслоформування. З метою розв'язання цих рівнянь для оцінки гідроморфологічного стану ГДС$_{п-р}$ пропонується замкнена система, яка наведена у наступному вигляді:

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}\cdot\nabla)\vec{\upsilon} + \nu\Delta\vec{\upsilon} - \frac{1}{\rho'}\nabla p + \left(\varsigma + \frac{\nu}{3}\right)\delta_i \nabla div\,\vec{\upsilon}\,;\cdot \qquad (1)$$

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} = \nu\Delta\vec{\upsilon} - \frac{1}{\rho'}\nabla p + \nabla\vec{\upsilon}' \;; \qquad (2)$$

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}'\cdot\nabla)\vec{\upsilon}' + \nu\Delta\vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p + \varsigma_\Delta \delta_i \nabla divh \;; \qquad (3)$$

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}'\cdot\nabla)\vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p \;; \qquad (4)$$

$$* \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial B}{\partial t} \pm \frac{\partial q_s}{\partial t} \;; \qquad (5)$$

$$* \quad \frac{\partial \delta_x^{0,5}}{\partial t} = \Delta h \frac{\partial h^2}{\partial t} \;; \qquad (6)$$

$$* \quad \frac{\partial \delta_y^{1,5}}{\partial t} = 0{,}5(0{,}5S_{c.x} / 2\pi B)\frac{\partial h^2}{\partial t} \ ; \qquad \textbf{(7)}$$

$$* \quad \frac{\partial \delta_z^{2}}{\partial t} = 0{,}5\Delta H_n \frac{\partial h^2}{\partial t} \ ; \qquad \textbf{(8)}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \ ; \qquad \textbf{(9)}$$

$$* \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = (2gI_0)^{0,5} \lambda_3^{-0.5} \frac{\partial B \partial h^{1,5}}{\partial t} \ ; \qquad \textbf{(10)}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \ ; \qquad \textbf{(11)}$$

$$* \quad \frac{\partial h^{0,5}}{\partial t} = \Delta H_n \ , \qquad \textbf{(12)}$$

де ∇ - оператор Гамільтона; Δ - оператор Лапласа; $\rho'_{\text{сер.зв}} = (\sum \text{P}_\text{i} \ \rho_\text{i}) / 100$ (де P_i – забезпеченість відповідного елемента потоку, %; ρ_i – середня щільність фракцій завислих наносів та густина відповідного об'єму рідини) або за формулою $\rho' = \rho g(1 - s) + \rho_s s$ (де s – каламутність водного потоку), – щільність субстрату (вода разом з транспортувальними наносами), Т/м^3; P - сумарний градієнт тиску (градієнти гідростатичного і гідродинамічного тисків сповільненої течії, а також градієнт тиску атмосферного повітря по поверхні водного потоку, тобто вітер), кгс/м^2; ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м^2/с; ζ - «друга» (об'ємна) в'язкість водного потоку, яка придбана після його стискання стоячою хвилею; кг/м·с; g – прискорення сили земного тяжіння, м/с^2; B і h - відповідно середні величини ширини русла поверху потоку і його глибини, м; Δh – приростання глибини потоку в результаті дії стоячої хвилі на русловий потік, м; ΔH_n - приростання відмітки перекату в результаті дії стоячої хвилі на русловий потік, м; $\omega = Bh$ – площа живого перерізу руслового потоку, м^2; δ_i - величина переміщення структурних елементів водного потоку (мезовирів) по координатах x, y і z, м; $\delta_{\Delta.i}$ - величина переміщення структурних елементів водного потоку у придонній області (мікровирів) по координатах x, y і z, м; I_0 - поздовжній гідравлічний похил; I_n - поперечний гідравлічний похил; $\lambda_з$ - коефіцієнт загального гідравлічного тертя; Q – витрата води, м^3/с; $q_{s.i}$ –компонентна витрати транспортувальних наносів, кг/м^3; υ – середня швидкість руслового потоку, м/с.

В аналіз розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса до теперішнього часу входило коректне рішення задачі Коші, оскільки можливість стійкого рішення у значній мірі залежить від рівня турбулентності потоку при великих числах Рейнольдса. Наведені вище рівняння складають замкнену систему для природних умов руслового потоку, які пропонується розв'язувати для режиму початкового спаду руслоформувального паводку або весняної повені: рівняння (1) описує рух рідини в координатах x, y і z; рівняння (2) стосується стабілізації режиму турбулентності руслового потоку ("заморожена" турбулентність) в координатах x, y і z; рівняння (3) оцінює рівень турбулентності рідини у придонній області потоку в координатах x, y і z; рівняння (4) стосується стабілізації режиму тиску в придонній області руслового потоку ("заморожений" конвенційний рух субстрату) в координатах x, y і z; рівняння (5) - це неперервність руслових процесів (баланс

субстрату, який характерний для стану динамічної рівноваги системи); рівняння (6) описує переміщення структурних елементів потоку в умовах його стискання по осі *x*; рівняння (7) характеризує переміщення структурних елементів потоку в умовах його стискання по осі *y*; рівняння (8) оцінює переміщення структурних елементів потоку в умовах його стискання по осі *z*; рівняння 9) характеризує руслові деформації у поздовжньому розрізі (оцінює поздовжню стійкість водотоку); рівняння (10) відповідає пропускній здатності русла; рівняння (11) визначає поперечну стійкість русла на ділянці річки; рівняння (12) характеризує поздовжню стійкість русла по коритах перекатів.

У даному випадку при розв'язанні наведеної вище системи рівнянь слід відійти від рекомендацій Ландау Л.Д. і Ліфшиця Е.М. стосовно можливого спрощення рівнянь в умовах дії сили стискання рідини [4, с.73], оскільки першопричина меандрування річки пов'язана з дією стоячої хвилі відбувається спочатку у центральному струмені потоку, а лише потім змінами самого русла під впливом градієнтів тисків складових внутрішніх і зовнішніх масових сил [5].

Аналіз попередніх досліджень. На сьогоднішній день не існує аналітичного розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є–Стокса для коректних задач гідроаеромеханіки, які могли б бути використані в багатьох суміжних областях знань про навколишній матеріальний світ. Ці рівняння уже відомі майже 200 років, які пройшли широке випробування при вирішенні багатьох задач з ламінарним режимом течії, але находяться за зоною досяжності для турбулентного потоку ньютонівської рідини при високих числах Рейнольдса ⌈1-3]. Головна проблема розв'язування цих рівнянь навіть не так в кількості до них додаткових, а в самому підході щодо стабілізації рівня турбулентності у межах прояву властивості самоорганізації гідродинамічної системи «потік-русло» ($ГДС_{п-р}$), а потім шляхом їх сумісного розгляду виокремлення агентів збурення, цебто тиску в різних його величинах і наслідках прояву у вигляді змін форм суцільного середовища. Наведені вище рівняння (2 і 4) є універсальними для оцінки морфологічного стану будь-яких відкритих і закритих динамічних систем. Оскільки вони за своєю конструкцією характеризують процеси самозбереження з метою досягти мінімуму дисипації енергії. При проходженні русло формувальної витрати води і транспортувальних наносів цей стан відповідає динамічній рівновазі системи, а потік в цих умовах приймає соліноїдальну (гвинтову) траєкторію руху, який наближений до ламінарного режиму в автомодельній області гідравлічного опору по відношенню до діючих на нього зовнішніх і внутрішніх масових сил ⌈5-7].

Методика досліджень. Динамічна рівновага $ГДС_{п-р}$ приурочена до проходження руслоформувальної витрати води і транспортувальних наносів. При відсутності незворотних руслових деформацій проходження таких витрат, як правило, спостерігається у межах руслових бровок. При розгляді рівнянь руху Нав'є–Стокса належить розвести дію силових факторів на їх індивідуальний рівень функціонування зі збереженням динамічної рівноваги системи і їх послідовну оцінку за умовами виконання конкретної задачі. З методичної точки зору це можна досягти шляхом стабілізації режиму турбулентності субстрату за допомогою додаткового рівняння і шляхом їх сумісного розв'язку відповідне виокремлення агентів збурення, цебто тиску і його наслідку діяльності у вигляді змін форм суцільного середовища. Цей підхід, який можна назвати "замороженою" турбулентністю належить використовувати як для руслового потоку, так і для його придонної області. Бажаний результат досягається шляхом використання універсальних рівнянь (2 і 4). У цьому контексті також слід зауважити, що у даній постановці задач розглядається безперервно-дискретний характер розвитку руслових деформацій (руслових процесів), що пояснюється використанням рівняння (5).

Виклад основного матеріалу. У розкритому форматі, з урахуванням формалізованої складової поздовжнього стискання руслового потоку, рівняння (1) Нав'є - Стокса приймає наступний вигляд [1-3]:

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}\right) = -\rho'\left(\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\right)\right] + \\ + \rho'\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\delta_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\right]; \quad \textbf{(13)}$$

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_y}{\partial t}\right) = -\rho'\left(\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} + \frac{\partial \upsilon_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\right)\right] + \\ + \rho'\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\delta_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\right]; \quad \textbf{(14)}$$

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial t}\right) = -\rho'\left(\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)\right] + \\ + \rho'\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\delta_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right], \quad \textbf{(15)}$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, кг/м·сек; ζ - "друга" (об'ємна) в'язкість потоку, яка придбана після його стискання; кг/м·сек. Цей параметр характеризується тим, що транспортувальні наноси центрального струмінню у складі мезовирів переміщуються до віртуально-реального опуклого берега на фоні зародження й подальшого розвитку поперечної циркуляції. Під впливом початкової дії стоячої хвилі переміщення структурних елементів потоку переходить від плоского до соліноїдального (формування перекатів на фоні гвинтового руху субстрату (вода і транспортувальні наноси) вздовж річки). Цебто спостерігається відповідний прояв явища мандрування річки [5]. Таким чином, маємо три рівняння руху рідини для умов просторового транспортування наносів і відповідного розвитку явища меандрування річки.

У розкритій формі рівняння (2) виглядить наступним чином:

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\right)\right] - \frac{\partial p_x}{\partial x} + \rho'\frac{\partial U'_x}{\partial x} \quad \textbf{(16)}$$

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_y}{\partial t}\right) = \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} + \frac{\partial \upsilon_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\right)\right] - \frac{\partial p_y}{\partial y} + \rho'\frac{\partial U'_y}{\partial y}; \quad \textbf{(17)}$$

$$\rho'\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial t}\right) = \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)\right] - \frac{\partial p_z}{\partial z} + \rho'\frac{\partial U'_z}{\partial z}. \quad \textbf{(18)}$$

Маємо три рівняння стабілізації режиму турбулентності руслового потоку.

Дальше виконуємо сумісне розв'язування отриманих вище рівнянь шляхом послідовних підстановок рівнянь (16-18) у рівняння (13-15), що дає можливість отримати розрахункові рівняння

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\delta_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\right)=0; \quad \textbf{(19)}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\delta_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\right)=0; \quad \textbf{(20)}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\delta_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)=0, \quad \textbf{(21)}$$

де $\zeta_з = \zeta + 0{,}333\mu$ – загальна величина в'язкості субстрату.

Таким чином, отримуємо наступні три рівняння, які відповідають стабільному станові гідродинамічної системи «потік-русло», тобто зберігаються умови абсолютної автомодельності опору русла у квадратичній області при дії зовнішніх і внутрішніх масових сил без впливу критеріїв Рейнольдса, Фруда, Томсона і Вебера у режимі досягнутого рівня турбулентності потоку: При вирішені поставлених задач досягнутий рівень турбулентності руслового потоку визначається проходженням руслоформувальних витрат води і транспортувальних наносів, що відповідає динамічній рівновазі ГДС$_{п\text{-}р}$.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки поздовжньої стійкості ділянки річки. Для вирішення поставленої задачі відібрано із загальної кількості рівнянь наступних п'ять:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)=0; \quad \textbf{(22)}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)=0; \quad \textbf{(23)}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)=0; \quad \textbf{(24)}$$

$$* \ \frac{\partial \omega}{\partial t}=\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}; \quad \textbf{(25)}$$

$$*. \ \frac{\partial Q}{\partial t}=(2gI_0)^{0,5}\lambda_з^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}. \quad \textbf{(26)}$$

Спочатку підставляємо рівняння (25) у (22), яке у диференційній формі має вигляд

$$\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{dV}{dx}+\left(\frac{\partial \omega}{\partial t}-\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}\right)\frac{dQ}{dx}=0,$$

В інтегрувальній формі дане рівняння виглядить наступним чином.

$$\int_0^{V_{д.р}}\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{dV}{dx}+\int_0^{Q_{д.р}}\left(\frac{\partial \omega}{\partial t}-\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}\right)\frac{dQ}{dx}=0.$$

Після інтегрування, при меженних/крайових умовах від *0* до $V_{\partial.p}$ і від *0* до $Q_{\partial.p}$ з даного рівняння отримуємо наступний вираз:

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0.$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язування рівнянь по координатах *y* і *z*, з яких маємо вирази

$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p} - \omega_{\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0;$$
$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} = 0.$$

З цих виразів отримуємо формули для визначення середнього гідравлічного поздовжнього похилу і прирощення площі живого перерізу потоку при стані динамічної рівноваги системи

$$I_{0.\partial.p} = \frac{U'_{x.\partial.p} + V^2{}_{x.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p}}{\rho' g Q_{\partial.p}}; \qquad \textbf{(27)}$$

$$\Delta\omega_{\partial.p} = \rho' g I_0 Q_{\partial.p} - U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p}; \qquad \textbf{(28)}$$

Дальше рівняння (26) підставляємо у рівняння (22), звідки отримуємо рівняння у диференційній формі наступного вигляду:

$$\cdot\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{dV}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial t}\frac{dQ}{dx} - \frac{(2gI_0)^{0,5}}{\lambda_з^{0,5}}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}\frac{dQ}{dx} = 0.$$

Після інтегрування, при меженних умовах від *0* до $V_{\partial.p}$ і від *0* до $Q_{\partial.p}$ отримуємо вираз

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p} - Q_{\partial.p} = 0.$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язування рівнянь по координатах *y* і *z*, з яких маємо вирази

$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial,p} - Q_{\partial.p} + 1{,}77 I_0{}^{0,5}\lambda_з{}^{-0,5} B h_{\partial.p}{}^{2,5} = 0;$$
$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} + 1{,}77 I_0{}^{0,5}\lambda_з{}^{-0,5} h^{2,5}{}_{\partial.p} = 0.$$

З другого виразу отримуємо формулу для визначення прирощення витрати води на тлі її припливу з ґрунтових вод або відтоку з частини периметру русла в підземний фільтраційний стік та з третього виразу прирощення глибини потоку та значення коефіцієнта гідравлічного тертя

$$\Delta Q_{\partial.p} = 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial,p} - V^2{}_{y.\partial.p} - U'_{y.\partial.p} + 1{,}77 I_0{}^{0,5}\lambda_з{}^{-0,5} B h^{2,5}{}_{\partial.p}. \qquad \textbf{(29)}$$

$$\Delta h_{\partial.p} = \left(\frac{U'_{z.\partial.p} + V^2{}_{z.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p}}{1{,}77 I_0{}^{0,5}\lambda_з{}^{-0,5}}\right)^{0,4}. \qquad \textbf{(30)}$$

$$\frac{1}{\lambda_з{}^{0,5}} = \frac{U'_{z.\partial.p} + V^2{}_{z.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p}}{1{,}77 I_0{}^{0,5} h^{2,5}{}_{\partial.p}}. \qquad \textbf{(31)}$$

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки інтенсивності розвитку явища меандрування. Явище меандрування, як відомо, є найважливішою властивістю відкритих самоорганізуючих систем. Це явище характеризує гідроморфологічний стан русла на самому високому структурному рівні самоорганізації гідродинамічної системи «потік-русло» від витоку до гирла річки.

Для вирішення цієї задачі підлягає для розв'язування наступна система рівнянь:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)=0; \quad \textbf{(32)}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)=0; \quad \textbf{(33)}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)=0; \quad \textbf{(34)}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t}=\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}; \quad \textbf{(35)}$$

$$* \quad \frac{\partial Q}{\partial t}=(2gI_0)^{0,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}; \quad \textbf{(36)}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t}=\rho' g I_n\frac{\partial \upsilon}{\partial t}; \quad \textbf{(37)}$$

На початку підставляються рівняння (36) у (35), що дає можливість отримати рівняння наступного вигляду:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t}-1{,}41\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}=0.$$

Дальше отримане рівняння додаємо до рівнянь (32-34).

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)+\frac{\partial \omega}{\partial t}-1{,}41\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}=0;$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)+\frac{\partial \omega}{\partial t}-1{,}41\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}=0;$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)+\frac{\partial \omega}{\partial t}-1{,}41\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial B\partial h^{1,5}}{\partial t}=0.$$

Після диференціювання і інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від *0* до $V_{\partial.p}$, $0/\omega_{\partial.p}$, $0/B_{\partial.p}$, $0/h_{\partial.p}$, отримуємо вирази

$$-U'_{x.\partial.p}-V^2{}_{x.\partial.p}+0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p}+0{,}56\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}Bh_{\partial.p}{}^{2,5}=0;$$

$$-U'_{y.\partial.p}-V^2{}_{y/\partial.p}+0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p}-\omega_{\partial.p}+0{,}56\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}Bh_{\partial.p}{}^{2,5}=0;$$

$$-U'_{z.\partial.p}-V^2{}_{z.\partial.p}+0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p}+0{,}56\rho'(gI_0)^{1,5}\lambda_3^{-0.5}h_{\partial.p}{}^{2,5}=0.$$

З другого виразу отримуємо формулу для визначення прирощення ширини потоку $B_{д.р}$ посередині звивини при стані динамічної рівноваги системи

$$\Delta B_{д.р} = \frac{U'_{y.д.р} + V^2{}_{y/д.р} - 0{,}333\zeta_з \delta_y V^3{}_{y.д.р} + \Delta\omega_{д.р}}{0{,}56\rho'(gI_0)^{1{,}5}\lambda_з^{-0.5} h_{д.р}{}^{2{,}5}}. \qquad \textbf{(38)}$$

Наступним етапом вирішення цієї задачі є підстановка рівняння (36) у (31-33), які в інтегральній формі мають вигляд

$$\int_0^{V_{д.р}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{dV}{dx} + \int_0^{\upsilon}\left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t}\right]\frac{dV}{dx} = 0;$$

$$\int_0^{V_{д.р}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)\right]\frac{dV}{dy} + \int_0^{\upsilon}\left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t}\right]\frac{dV}{dy} = 0;$$

$$\int_0^{V_{д.р}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)\right]\frac{dV}{dz} + \int_0^{\upsilon}\left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t}\right]\frac{dV}{dz} = 0.$$

В результаті інтегрування даних рівнянь у межах від *0* до $V_{д.р}$, отримуємо вирази

$$-U'_{x.д.р} - V^2{}_{x.д.р} + 0{,}333\zeta_з \delta_x V^3{}_{x.д.р} + + \rho' g I_n V_{.д.р} = 0;$$

$$-U'_{y.д.р} - V^2{}_{y.д.р} + 0{,}333\zeta_з \delta_y V^3{}_{y.д.р} - \omega_{д.р} + \rho' g I_n V_{.д.р} = 0;$$

$$-U'_{z.д.р} - V^2{}_{z.д.р} + 0{,}333\zeta_з \delta_z V^3{}_{z.д.р} = 0.$$

З другого виразу визначаємо поперечний похил потоку посередині звивини

$$I_{п.д.р} = \frac{U'_{y.д.р} + V^2{}_{y.д.р} - 0{,}333\zeta_з \delta_y V^3{}_{y.д.р} + \Delta\omega_{д.р}}{\rho' g V_{.д.р}}. \qquad \textbf{(39)}$$

Для визначення компонент швидкості потоку при динамічній рівновазі ГДС$_{п\text{-}р}$ скористаємось рівняннями (32-34). Інтегральні рівняння по координатах *x, y* і *z* мають наступний вигляд:

$$\int_0^{V_{д.р}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{dV}{dx} = 0;$$

$$\int_0^{V} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)\right]\frac{dV}{dy} = 0;$$

$$\int_0^{V_{д.р}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)\right]\frac{dV}{dx} = 0.$$

Після інтегрування першого рівняння, при меженних умовах від *0* до $V_{д.р}$ отримуємо

$$-U'_{x.д.р} - V^2{}_{x.д.р} + 0{,}333\zeta_з \delta_x V^3{}_{x.д.р} = 0.$$

В результаті спрощення даного виразу маємо

$$V^2{}_{д.р.x}(0{,}333\zeta_з \delta_x V_{x.д.р} - 1) - U'_{x.д.р} = 0,$$

з якого можна визначити компоненту швидкості потоку по координаті *x*

$$V_{x.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_x}. \quad \textbf{(40)}$$

Для двох інших компонент швидкості отримуємо аналогічні формули

$$V_{y.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_y}; \quad \textbf{(41)}$$

$$V_{z.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_z}. \quad \textbf{(42)}$$

Таким чином, середня швидкість переміщення субстанції визначається за формулою

$$V_{\partial.p} = \left[\left(\frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_x}\right)^2 + \left(\frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_y}\right)^2 + \left(\frac{1}{0{,}333\zeta_з\delta_x}\right)^2\right]^{0{,}5}. \quad \textbf{(43)}$$

Розв'язування системи рівнянь (32-37) для ряду створів моніторингової мережі або для окремих звивин дасть змогу охарактеризувати інтенсивність розвитку явища мандрування та оцінити загальну стійкість русла. Отримані результати можна також використати для оцінки гідроморфологічного стану русло-заплавного комплексу, що дасть змогу розробити необхідні управлінські рішення для збереження та покращення стійкості русла з дотриманням положень Водної Рамкової Директиви ЄС (ВРД ЄС) [8].

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки характеристик розвитку руслових деформацій. Руслові деформації є по сутті проявом руслових процесів (самовимощення дна русла, турбулізація водних мас, мандрування річки, кавітація і суфозія активного шару ґрунтової поверхні у придонній області руслового потоку), формування морфологічних і гідравлічних структур, формування електромагнітних полів на контактах елементів системи з різними енергетичними потенціалами (наявності градієнта континуального тиску)). Загальні деформації відбуваються як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах. Горизонтальна площина, яка домірна рівню bankfull sage і середній відмітці між рівноцінними бровками русла на досліджуваній ділянці річки є найбільш характерною щодо розвитку планових деформацій. Вертикальна площина, яка співпадає з динамічною віссю центрального струмінню є найбільш характерною щодо розвитку деформацій русла вздовж водотоку (формування перевалів (перекатів), формування різномасштабних стрічкових гряд, боковиків і осередків, розпад водотоку на рукави). Оскільки від поведінки центрального струмінню залежить інтенсивність прояву явища мандрування і, відповідно, амплітуда горизонтальних деформацій у межах русло-заплавного комплексу [5]. Центроструменеве руслоформування визначає у повній мірі рельєф русла. Таким чином, на фоні деформації центрального струмінню відбувається меандрування річки як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах. Як правило, починаючи з верхів'я гірських річок у вертикальній площині формується поріжно-водоспадне русло, а нижче за течією серії осередків і перекатів на фоні прояву явища мандрування або явища блукання (дейгиш) русла. Отже є досить актуальним розробити метод аналітичного рішення,

відмічених вище проблемних питань, на основі розв'язування системи рівнянь Нав'є - Стокса.

Для вирішення поставленої задачі відібрано наступних шість рівнянь:

$$* \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial B}{\partial t} \pm \frac{\partial q_s}{\partial t} \; ; \tag{45}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \; ; \tag{46}$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \; ; \tag{47}$$

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} \delta_x \right) = 0 ; \tag{48}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} \delta_y \right) = 0 ; \tag{49}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_z}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_z}{\partial y} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} \delta_z \right) = 0 . \tag{50}$$

Рішення даних рівнянь починається з підстановки рівняння (45) у (48-50) в результаті чого, після диференціювання, отримуємо рівняння у наступній інтегральній формі:

$$\int_0^{V_{з.п}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dV}{dx} + \int_0^{Q_{д.р}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} \mp \int_0^{q_s} \frac{\partial q_s}{\partial t} \frac{dq_s}{dx} = 0 ;$$

$$\int_0^{V_{з.п}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} \delta_y \right) \right] \frac{dV}{dy} + \int_0^{Q_{д.р}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dy} - \int_0^{h_{д.р}} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{dh}{dy} - \int_0^{B_{д.р}} \frac{\partial B}{\partial t} \frac{dB}{dy} \mp \int_0^{q_s} \frac{\partial q_s}{\partial t} \frac{dq_s}{dy} = 0 ;$$

$$\int_0^{V_{з.п}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} \delta_z \right) \right] \frac{dV}{dy} - \int_0^{h_{д.р}} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{dh}{dz} \mp \int_0^{q_s} \frac{\partial q_s}{\partial t} \frac{dq_s}{dz} = 0 .$$

Після інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від *0* до $V_{д.р}$, від *0* до $Q_{д.р}$, від *0* до $h_{д.р}$, від *0* до $B_{д.р}$ і від *0* до $q_{s.д.р}$, отримуємо вирази

$$-U'_{x.д.р} - V^2{}_{x.д.р} + 0{,}333 \zeta_з \delta_x V^3{}_{x.д.р} \pm q_{x.рф} - Q_{д.р} = 0 ;$$

$$-U'_{y.д.р} - V^2{}_{y.д.р} + 0{,}333 \zeta_з \delta_y V^3{}_{y.д.р} - Q_{д.р} + h_{д.р} + B_{д.р} \pm q_{y.рф} = 0 ;$$

$$-U'_{z.д.р} - V^2{}_{z.д.р} + 0{,}333 \zeta_з \delta_z V^3{}_{z.д.р} + h_{д.р} \pm q_{z.рф} = 0 ,$$

з яких можна визначити компоненти витрат наносів за наступними формулами:

$$\pm q_{x.рф} = U'_{x.д.р} + V^2{}_{x.д.р} - 0{,}333 \zeta_з \delta_x V^3{}_{x.д.р} + Q_{д.р} ; \tag{51}$$

$$\pm q_{y.рф} = U'_{y.д.р} + V^2{}_{y.д.р} - 0{,}333 \zeta_з \delta_y V^3{}_{y.д.р} + Q_{д.р} - h_{д.р} - B_{д.р} ; \tag{52}$$

$$\pm q_{z.рф} = U'_{z.д.р} + V^2{}_{z.д.р} - 0{,}333 \zeta_з \delta_z V^3{}_{z.д.р} - h_{д.р} . \tag{53}$$

Загальна витрата транспортувальних наносів визначається арифметичною сумою компонент

$$G_{\partial.p} = q_{x.\partial.p} + q_{y.\partial.p} + q_{z.\partial.p}. \qquad \textbf{(54)}$$

Витрата наносів циркуляційного переносу $q_{y.p\phi}$ характеризує інтенсивність розвитку явища мандрування річки і складається, в залежності від криволінійності ділянки у конкретному створі, з відповідної долі дрібних донних рухомих та завислих наносів. Для того, щоб оцінити місцеві горизонтальні деформації в конкретному створі і, відповідно, долю витрати завислих наносів при поперечному переносі, необхідно розв'язувати додаткове інтегральне рівняння по координаті *y,* яке враховує закономірність розподілу місцевих осереднених швидкостей потоку по ряду вертикалей від одного берега до другого. Таким чином, витрати донних рухомих і завислих наносів розділяться. Транзитні наноси, які проходять через перекітні зони, слід оцінювати по величині компоненти q_x.

Дальше підставляємо рівняння (46) у (48), яке в інтегральній формі має вигляд

$$\int_0^{V_{\partial.p}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\varsigma_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dV}{dx} + \int_0^{Q_{\partial.p}} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dx} = 0.$$

Після інтегрування, при меженних/крайових умовах від *0* до $V_{\partial.p}$ і від *0* до $Q_{\partial.p}$, для даного рівняння отримуємо наступний вираз:

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\varsigma_з \delta_x V^3{}_{x.\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0.$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язування рівнянь по координатах *y* і *z*, з яких маємо вирази

$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\varsigma_з \delta_y V^3{}_{y.\partial.p} - \omega_{\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0;$$
$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\varsigma_з \delta_z V^3{}_{z.\partial.p} = 0.$$

З цих виразів отримуємо формули для визначення середнього гідравлічного похилу і прирощення площі живого перерізу потоку при стані динамічної рівноваги системи

$$I_{0.\partial.p} = \frac{U'_{x.\partial.p} + V^2{}_{x.\partial.p} - 0{,}333\varsigma_з \delta_x V^3{}_{x.\partial.p}}{\rho' g Q_{\partial.p}}; \qquad \textbf{(55)}$$

$$\Delta\omega_{\partial.p} = \rho' g I_0 Q_{\partial.p} - U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\varsigma_з \delta_y V^3{}_{y.\partial.p}; \qquad \textbf{(56)}$$

Наступним етапом вирішення цієї задачі є підстановка рівняння (47) у (48-50), які в інтегральній формі мають вигляд

$$\int_0^{V_{\partial.p}} \left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} \delta_x \right) \right] \frac{dV}{dx} + \int_0^{\upsilon} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \right] \frac{dV}{dt} = 0;$$
$$\int_0^{V_{\partial.p}} \left[\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} \delta_y \right) \right] \frac{dV}{dy} + \int_0^{\upsilon} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \right] \frac{dV}{dt} = 0;$$
$$\int_0^{V_{\partial.p}} \left[\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \upsilon_z \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} \delta_z \right) \right] \frac{dV}{dz} + \int_0^{\upsilon} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \right] \frac{dV}{dt} = 0.$$

В результаті інтегрування даних рівнянь у межах від *0* до $V_{\partial.p}$, отримуємо вирази

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p} = 0;$$
$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p} - \omega_{\partial.p} + \rho' g I_n V_{y.\partial.p} = 0;$$
$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} = 0.$$

З другого виразу визначаємо поперечний похил потоку субстанції посередині звивини

$$I_{n.\partial.p} = \frac{U'_{y.\partial.p} + V^2{}_{y.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p} + \Delta\omega_{\partial.p}}{\rho' g V_{\partial.p}}. \qquad \textbf{(57)}$$

Оцінка додаткових розрахункових характеристик. Поздовжню стійкість русла на перекатах можна оцінити шляхом сумісного розв'язування рівнянь (9 і 12) які показані в інтегральному вигляді

$$\int_0^{Q_{\partial.p}} \left(\Delta H_n{}^2 \frac{\partial B}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dy} = 0.$$

Після інтегрування у межах від *0* до $Q_{\partial.p}$ отримуємо

$$-\Delta H_n{}^2 B_{\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0,$$

звідки визначаємо ΔH_n

$$\Delta H_{n.\partial.p} = \left(\frac{\rho' g I_0 Q_{\partial.p}}{B_{\partial.p}} \right)^{0,5}. \qquad \textbf{(58)}$$

І насамкінець, виконуємо диференціювання та інтегрування рівнянь (6-8), у межах від *0* до $\delta_{\partial.p}$ і від *0* до $h_{\partial.p}$, після чого, отримуємо

$$-0{,}666\delta^{1,5}{}_{x\partial.p} + 0{,}333\Delta h h^3{}_{\partial.p} = 0;$$
$$-0{,}4\delta^{2,5}{}_{y_{\partial.p}} + 0{,}04(S_{c.x}/B)h^3{}_{\partial.p} = 0;$$
$$-0{,}333\delta^3{}_{z\partial.p} + 0{,}166\Delta H_n h^3{}_{\partial.p} = 0.$$

Наведені вирази дають змогу визначити величини переміщення структурних елементів системи за наступними формулами:

$$\delta_{x\partial.p} = \left(0{,}5\Delta h h^3{}_{\partial.p}\right)^{0,667}; \qquad \textbf{(59)}$$

$$\delta_{y_{\partial.p}} = \left(0{,}1(S_{c.x}/B)h^3{}_{\partial.p}\right)^{0,4}; \qquad \textbf{(60)}$$

$$\delta_{z\partial.p} = \left(0{,}5\Delta H_n h^3{}_{\partial.p}\right)^{0,333}. \qquad \textbf{(61)}$$

Для визначення "другої" (об'ємної) в'язкості водного потоку, яка придбана після його стискання, рекомендується скористатися емпіричною залежністю, яка наведена в монографії Л. Седова [1]

$$\varsigma_з = \varsigma + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \frac{2}{3}\mu + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \mu\,, \qquad \textbf{(62)}$$

де λ_0 – коефіцієнт Ламе, який залежить від модуля пружності рідини або твердого тіла і моменту інерції у поперечному вимірі, що визначає жорсткість об'єкта *EI*. Сила стискання (градієнт тиску) водного потоку викликає стоячу хвилю у вертикальній площині і зміщення мезовирів під впливом поперечного градієнту тиску в горизонтальній площині по синусоїдальній траєкторії (у межах русло-заплавного комплексу). Взаємодія стоячої хвилі з поперечною циркуляцією формує стійку соліноїдальну структуру потоку (гвинтовий рух води і транспортувальних наносів). В точках переходу напрямку поперечної циркуляції виникають перекати. Для річкового потоку жорсткість не має прояву, оскільки вода практично не сприймає нормальні напруження, а тільки дотичні, які виникають при її русі. Формулу (62) для руслового потоку можна записати у наступному вигляді:

$$\varsigma_з = 2\pi h_{сер} + \mu\,, \qquad \textbf{(63)}$$

де $2\pi h_{сер}$ – віртуальна висота стоячої хвилі у водному середовищі, яка трансформується в процес нарощування висоти перекатів.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки характеристик придонної області руслового потоку. Дослідженнями турбулентності руслових потоків переймалися багато вітчизняних і зарубіжних вчених. Суттєві вклади у розвиток теоретичного обґрунтування турбулентності водотоків належать А.Н. Колмогорову [9], Б.А. Фідману [10], І.К. Нікітіну [11], А. Б .Клавену [12] В.С. Боровкову [13] та іншим вченим.

Турбулентність (коливання) як явище – це природний двигун самоорганізації відкритих і закритих динамічних систем, зокрема ГДС$_{п\text{-}р}$. Турбулізація (активізація) водних мас відбувається у придонній області, яка розділяє русловий потік від підруслового фільтраційного потоку. Товщина придонної області δ_n домірна орієнтовно подвоєній абсолютній висоті виступів шорсткості дна русла ≈ $2\Delta_{сер.зв}$. Ця область перебуває під впливом тиску водних мас по глибині потоку. Чим більша глибина руслового потоку, тим вищий рівень активності явища турбулентності водних мас у придонній області. В самому русловому потоці, при зміні рівня турбулентності водних мас (рівня генерації мікровирів – елементів турбулентності), відбувається структурна перебудова потоку, що характеризує рівень формування мезовирів. Формування мікровирів також відбувається в області підруслового потоку, що забезпечує динамічну рівновагу нейтрального шару. Це положення необхідно додатково підтвердити експериментами. Два потоки з різними енергетичними потенціалами розмежовуються нейтральним шаром [7].

Для вирішення поставленої задачі відібрано два із наведених вище основних рівнянь

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}'\nabla)\vec{\upsilon}' + \nu\Delta\vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p + \varsigma_\Delta \delta_\Delta . \nabla div h\ ; \qquad \textbf{(64)}$$

$$* \quad \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}'\nabla)\vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p\,. \qquad \textbf{(65)}$$

Розкрите рівняння (64) разом з (65) у трьохвимірному просторі мають наступний вигляд:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_{x.\Delta}\frac{\partial U'_x}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.x}\frac{\partial h}{\partial x}\right) - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_x}{\partial x} + ;$$
$$+ \frac{\partial U'_x}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_x}{\partial x} \quad \textbf{(66)}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_{y.\Delta}\frac{\partial U'_y}{\partial y}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.y}\frac{\partial h}{\partial y}\right) - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_y}{\partial y} + ;$$
$$+ \frac{\partial U'_y}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} + \rho U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_y}{\partial y} \quad \textbf{(67)}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_z}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_z}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_{z.\Delta}\frac{\partial U'_y}{\partial z}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.z}\frac{\partial h}{\partial z}\right) - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_z}{\partial z} + .$$
$$+ \frac{\partial U'_y}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_z}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_z}{\partial y} + U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p_z}{\partial z} \quad \textbf{(68)}$$

Рівняння (65) включено у дану систему з метою стабілізації рівня турбулентності у придонній області, який залежить від зміни тиску. Після відповідних скорочень отримуємо наступні розрахункові рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.x}\frac{\partial U'_x}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x}\left[\zeta_\Delta \delta_{\Delta.x}\frac{\partial h}{\partial x}\right] = 0; \quad \textbf{(69)}$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.y}\frac{\partial U'_y}{\partial y}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\zeta_\Delta \delta_{\Delta.y}\frac{\partial h}{\partial y}\right] = 0.; \quad \textbf{(70)}$$

$$\frac{\partial}{\partial я}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.z}\frac{\partial U'_z}{\partial z}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\zeta_\Delta \delta_{\Delta.z}\frac{\partial h}{\partial z}\right] = 0. \quad \textbf{(71)}$$

Отримані рівняння являють собою однорідну стаціонарну систему.

Після диференціювання і інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від *0* до $U'_{\Delta\partial.p}$ і від *0* до $h_{\partial.\,p}$ отримуємо наступні вирази:

$$-0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + 0{,}222.\nu\delta_{\Delta.x}U'^3_{\Delta.x.\partial.p} - 0{,}333.\zeta_\Delta.\delta_{\Delta.x}h^3_{\Delta.x.\partial.p} = 0;.$$
$$-0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + 0{,}222.\nu\delta_{\Delta.y}U'^3_{\Delta.y.\partial.p} - 0{,}333.\zeta_\Delta\delta_{\Delta.y}h^3_{\Delta.y.\partial.p} = 0;$$
$$-0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + 0{,}222..\nu\delta_{\Delta.z}U'^3_{\Delta.z.\partial.p} - 0{,}333.\zeta_\Delta\delta_{\Delta.z}h^3_{\Delta.z.\partial.p} - = 0.$$

З цих виразів отримані наступні розрахункові формули для визначення величин пульсації субстрату по координатах *x, y* і *z*:

$$U'_{\Delta.x.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333.\zeta_\Delta\delta_{x.\Delta}h^3_{\partial.p}}{0{,}222.\nu\delta_{.x.\Delta} - 0{,}333.\nu}\right)^{0{,}333}; \quad \textbf{(72)}$$

$$U'_{\Delta.y.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333.\zeta_\Delta\delta_{y.\Delta}h^3_{\partial.p}}{222.\nu\delta_{y.\Delta} - 0{,}333.\nu}\right)^{0{,}333}. \quad \textbf{(73)}$$

$$U'_{\Delta.я.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{z.\Delta} h^3_{\partial.p}}{{,}222.\nu\delta_{z.\Delta.} - 0{,}333.\nu} \right)^{0{,}333}. \qquad \textbf{(74)}$$

де $\zeta_{.\Delta} = \zeta_з + 0{,}333\nu = 2\pi h + \mu + 0{,}333\nu$ – загальна в'язкість субстрату у придонній області руслового потоку; $\delta_{\Delta.x} = \delta_{\Delta.y} = \delta_{\Delta.z}$ - товщина придонної області по координаті *x, y* і *z*, яку рекомендується назначати домірною подвоєній висоті виступів абсолютної шорсткості дна русла як по тальвегу, так і по ширині морфоструктур $2\Delta_{сер.зв}$. Товщина придонної області потоку δ_Δ може бути як досить малою, так і значною, в залежності від рельєфу поверхні дна русла, сформованого під впливом природних і антропогенних чинників,

Аналізуючи наведені вище формули (72-74) видно, що при дії стоячої хвилі від навантаження водних мас проти течії у придонній області потоку інтенсивність швидкості пульсації субстрату різко збільшується у порівнянні з відсутністю дії такої сили. Цей аргумент є досить сильним стосовно забезпечення природного стану річок і недопущення на них будь-якого спрямлення звивин (меандр). Оскільки при цьому буде спостерігатись значний транзит наносів за довжиною річки (порушуватись при цьому динамічна рівноваги системи). Як видно з цих формул швидкість пульсації однозначно залежить від глибини руслового потоку (прояв ефекту континуального навантаження і відповідно аналогічної реакції алювіальної основи).

Для визначення компонент гідродинамічного тиску у придонній області використовуємо рівняння (64), яке наведено у розкритому вигляді

$$\frac{\partial U'_x}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_x}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\nu \left(\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_{x.\Delta} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.x} \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x}; \qquad \textbf{(75)}$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu \left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_{y.\Delta} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.y} \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y}; \qquad \textbf{(76)}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z \frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu \left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_x}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_{z.\Delta} \frac{\partial U'_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_\Delta \delta_{\Delta.z} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_z}{\partial z}, \qquad \textbf{(77)}$$

які після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до $U'_{\partial.p}$, $0/p_{\partial.p}$ і від *0* до $h_{\partial.p}$ та при початковій умові збереження стану динамічної рівноваги системи $U'_{./t} = 0$ при $U'_{\partial.p}$.

$$U'^2_{\Delta.x.\partial.p} - 0{,}333..\nu U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + 0{,}222..\nu.\delta_{x.\Delta} U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + (1/\rho')p_{x.\partial.p} - 0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{x.\Delta} h^3_{\partial.p} = 0;$$
$$U'^2_{\Delta.y.\partial.p} - 0{,}333..\nu U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + 0{,}222..\nu.\delta_{x.y} U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + (1/\rho')p_{y.\partial.p} - 0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{y.\Delta} h^3_{\partial.p} = 0;$$
$$U'^2_{\Delta.z.\partial.p} - 0{,}333..\nu U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + 0{,}222..\nu.\delta_{z.\Delta} U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + (1/\rho')p_{z.\partial.p} - 0{,}333.\varsigma_{.\Delta} \delta_{z.\Delta} h_{\partial.p} = 0,$$

з яких отримуємо розрахункові формули

$$p_{\Delta.x.\partial.p} = (0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.x.\partial.p} - U'^2_{\Delta.x.\partial.p} - 0{,}222.\nu.\delta_{x.\Delta} U'^3_{\Delta.x.\partial.p} + 0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{x.\Delta} h^3_{\partial.p})\rho'; \qquad \textbf{(78)}$$

$$p_{\Delta.y.\partial.p} = (0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.y.\partial.p} - U'^2_{\Delta.y.\partial.p} - 0{,}222..\nu.\delta_{y.\Delta} U'^3_{\Delta.y.\partial.p} + 0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{y.\Delta} h^3_{\partial.p})\rho'; \qquad \textbf{(79)}$$

$$p_{\Delta.y.\partial.p} = (0{,}333.\nu U'^3_{\Delta.z.\partial.p} - U'^2_{\Delta.z.\partial.p} - 0{,}222.\nu.\delta_{z.\Delta} U'^3_{\Delta.z.\partial.p} + 0{,}333.\varsigma_\Delta \delta_{z.\Delta} h_{\partial.p})\rho'. \qquad \textbf{(80)}$$

Приклад розрахунку основних характеристик руслового потоку для гідрологічного поста Сірет – Сторожинець. *Вихідні дані для розрахунків.* Для розв'язування замкненої системи рівнянь необхідно знати наступні характеристики: значення руслоформувальної витрати води $Q_{рф}$ = 189 м^3/с, середньозважену крупність поверхневого шару дна русла (самовимощення) $D_{сер.зв}$ = 60 мм, яка домірна середньозваженій абсолютній висоті виступів шорсткості дна русла на досліджуваній ділянці $\Delta_{сер.зв}$, середню ширину русла у межах бровок $B_б$ = 45 м та середню глибину руслового потоку $h_{рф}$ = 2,0 м, а також поздовжній похил на однорідній за морфологією ділянці річки між п'ятьма перекатами I_0 = 0.0013. Розрахунками необхідно підтвердити значення наступних основних характеристик руслового потоку – середню швидкість течії $V_{д.р}$ = 2,10 м/с.

Хід розрахунку основних характеристик системи «потік-русло» для досліджуваної ділянки річки. При визначенні основних характеристик ГДСп-р рекомендується використати наступні фізичні величини: значення віртуальної густини субстрату ρ' = 1150 кг/м^3 або 1,15 Т/м^3; значення коефіцієнта динамічної в'язкості μ = 0,131 кг/м·с (відповідає середній температурі води 10^{o}С) і значення коефіцієнта кінематичної в'язкості ν = 131 м^2/с. За наведеними вище даними коефіцієнт об'ємної в'язкості $\varsigma = 2\pi h_{сер} + \mu$ = 12,69 кг/м·с. Дальше визначаємо величини переміщення субстрату в елементах системи при Δh = 0,01 м (величина Δh визначається підбором) – $\delta_{x.д.р}$ = 0,117 м, $\delta_{y.д.р}$ = 3,40 м (при довжині річки по прямій між трьома перекатами $S_{с.х}$ ≈ 1200 м), $\delta_{z.д.р}$ = 0,69 м (при $\Delta H_п$ = 0,12 м, яке визначене за формулою (58)). Наступним кроком є визначення компонент швидкості переміщення субстрату на перекаті - $V_{x.д.р}$ = 2,02 м/с, $V_{y.д.р}$ = 0,069 м/с, $V_{z.д.р}$ = 0,34 м/с, $V_{сер}$ = 2,05 м/с. Компоненти середньої швидкості пульсації субстрату у придонній області потоку за розрахунками складають - $U'_{x.д.р} = U'_{y.д.р} = U'_{z.д.р}$ = 0,717 м/с і $U'_{д.р}$ = 1,24 м/с. Дані компоненти обраховані при загальній в'язкості субстрату у придонній області $\zeta_\Delta = \zeta_{з.р.п}$ + 0,333ν = 56,32 кг/м·с і при товщині придонної області $\delta_{\Delta.x} = \delta_{\Delta.y} = \delta_{\Delta.z}$ = 0,1 м. Компоненти тиску у придонній області складають - $p_{\Delta.x.д.р} = p_{\Delta.y.д.р} = p_{\Delta.z.д.р}$ = 30 кгс/м^2 і $p_{\Delta.д.р}$ = 52 кгс/м^2 або 0,51 Па (0,005 атм).

За допомогою обчислених вище характеристик можна знайти решту основних: I_0 = 0,00032, $\omega_{д.р}$= 0,04 м^2 (прирощення площі поперечного перерізу потоку посередині звивини, що вказує на наявність розвинутого меандрування річки), $I_п$ = 0,04/$B_з$ = 0,00068 (похил поверхні потоку посередині звивини річки, визначений при $\omega_{д.р}$= 0,04 м^2 і при $B_з = B_{д.р} + \Delta B$ = 45+13,76 = 58,76 м). Прирощення глибини потоку по динамічній вісі посередині звивини за формулою (30) складає 1,26 м, що відповідає максимальній глибині потоку по тальвегу посередині звивини під час проходження руслоформувальної витрати води $h_{макс}$ = 2 + 1,26 = 3,26 м. Загальна витрата транспортувальних наносів при розвинутому меандруванні річки складає $G_{д.р} = q_{x.д.р} + q_{y.д.р} + q_{z.д.р}$ = 191+117 – 0,41 = 308 кг/с, а витрата транзитних наносів при цьому дорівнює G_s = 191 кг/с.

Для оцінки характеристик ядра потоку, яке знаходиться всередині макровира, використаємо рівняння

$$\frac{\partial \upsilon}{\partial t} = Fa\frac{\partial S}{\partial t}, \qquad \textbf{(81)}$$

де $F = \rho' g W_м$ – сила гравітації субстрату при стаціонарному гідравлічному режимі на довжині двох звивин (меандри), кгм/с^2; ρ'g- питома густина води може складати, 1150 кг/м^3; $W_м = \omega_{д.р} \times S_{с.х}(S_з/L)$ = 90×1200×1,6 = 172800 – об'єм води на довжині двох

звивин, м^3; S – контур ядра потоку; $a = (\delta_{y.д.p} / \delta_{x.д.p})$ g = (3,40/0,117)·9,81 = 285 – прискорення структурного елемента субстрату під впливом поперечної циркуляції, м/с ^{2}. Після диференціювання і інтегрування рівняння (81), при меженних умовах від *0* до $V'_{д.p}$ і від *0* до $S_{д.p}$ отримуємо вираз

$$-V_{д.p} - FaS_{д.p} = 0,$$

звідки маємо:

$$S_{д.p} = \frac{V_{д.p}}{Fa}. \qquad \textbf{(82)}$$

З цієї формули отримуємо $S_{д.p}$ = 2,17/(1,15×172800×285) = 3,83×10^{-08} м, а діаметр ядра буде домірним 6,1×10^{-09} м. Отже, на досліджуваній ділянці річки ядро в потоці виражене досить слабо. Коефіцієнт парної кореляції величин переміщення субстракту за межами цього ядра дорівнює $r_{yx} = \delta_{д.p.y} \times \delta_{д.p.x} / (\delta^2_{д.p.y} \times \delta^2_{д.p.x})$ = 0. Це означає, що дана система перебуває в динамічній рівновазі.

Висновки. На основі вищевикладеного матеріалу можна зробити наступні наукові узагальнення:

1. В періоди проходження руслоформувальних паводків або весняних повеней відбувається стискання потоку при якому відбуваються переміщення структурних елементів потоку, що призводить до поступового викривлення центрального струмління у вигляді синусоїдальної кривої, а потім це призводить, на фоні розвинутої поперечної циркуляції, до формування гвинтової течії. У цьому контексті слід зауважити, що стояча хвиля виникає в результаті градієнту тиску на всю глибину потоку на ділянці річки. При дії хвилі проти течії виникає прояв явища мандрування або переміщення антидюн або осередків (антигряд), які призводять до блукання русла. Віддаль між перекатами по прямій лінії має орієнтовно складати 1200 м При дії градієнту тиску за течією маємо переміщення гряд або розгалуження русла на рукави.

2. На основі визначених величин основних характеристик потоку – $Q_{p.ф}$, $V_{д.p}$, $G_{pф}$, $\omega_{pф}$, $B_{д.p}$, $h_{д.p}$ - є можливість виконати прогноз розвитку руслових деформацій та оцінити гідроморфодинамічний стан ГДС $_{п\text{-}р}$.

3. При значній зміні величин $\omega_{д.p}$ *і* $B_{д.p}/h_{д.p}$ це вказує на розвиток незворотних руслових деформацій русла, а також на зміну рівня властивості самоорганізації системи і, відповідно, терміну повернення її до попереднього стану або наближеного до динамічної рівноваги.

4. Отримані результати розрахунків підтверджують про реальність розвитку явища мандрування річки, що дозволяє при виконанні моніторингових спостережень за розвитком руслових процесів визначати у відповідному часовому зрізі гідроморфологічний стан ділянки річки. У якості вихідної інформації необхідно лише мати планове положення ділянки річки і поперечні профілі русла у відповідних річкових гідроморфологічних створах та розрахункові характеристики шару самовимощення дна русла, що дасть можливість скласти належну систему рівнянь та виконати за ними необхідні аналітичні розрахунки, а також здійснити верифікацію отриманих результатів.

5. Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса дозволяє у повній мірі оцінити стан динамічної рівноваги системи «потік-русло». Наведені вище розв'язки актуальних задач підтверджують можливість широкого використання цієї системи рівнянь для вирішення цілого ряду задач гідроаеромеханіки.

Список літератури

1. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды / Л.И. Седов. -Т.1. - М. Наука, 1983.- 528 с. **2.** *Дмитревский В.И.* Гидромеханика / В.И. Дмитревский. – М.: Изд-во «Морской транспорт», 1962. - 296 с. **3.** *Войткунский Я.И.* Гидромеханика. / Я.И. Войткунский, Ю.И. Фаддеев, К.К. Федяевский Ученик. – 2-е узд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с. **4.** *Ландау Л.Д.* Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц - М.: Наука.- Т.VI, 1988.- 736с. **5.** *Онищук В.В.* Принципові властивості відкритих динамічних систем у контексті еволюції руслових процесів: інваріантність, ергодичність, меандрування / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія., 2006. – Т.10. – С.9-20. **6.** *Онищук В.В.* Принципи функціонування відкритих динамічних систем та їх роль при регулюванні русел річок / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.- К.: ВГП Обрії, - 2012.- Т.1(26). - С. 19-27. **7.** *Онищук В.В.* Принципи функціонування відкритих динамічних систем та їх роль при регулюванні русел річок / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.- К.: ВГП Обрії, - 2012.- Т.1(26). - С. 19-27. **8.** *Водна Рамкова Директива* ЄС 2000/60/ЄС : основні терміни та їх визначення / [підгот.: Алієв К. та ін.]. – Вид. офіц. – К., 2006. – 240 с. **9.** *Колмогоров А.Н.* Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А.Н. Колмогоров // ДАН СССР.-Т.30.-№4, 1941. **10.** *Фидман Б.А.* Об уравнениях гидромеханики для многокомпонентной турбулентной среды / Б.А. Фидман // Изд. СО АН СССР, ОТН, №2,вып.1,1965. **11.** *Никитин И.К.* Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. / И.К. Никитин - Киев: Изд-во АН УССР,1968. – 120 с. **12.** *Клавен А.Б.* Исследование структуры турбулентного потока / А.Б. Клавен //Тр. ГГИ, 1986. – Вып.136. – С. 65-76. **13.** *Боровков В.С.* Русловые процессы и динамика речных наносов на урбанизованных территориях / В.С. Боровков. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 286 с.

Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло»

Онищук В.В.

На основі аналітичного розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є-Стокса виконана оцінка гідроморфологічного стану річкового русла при динамічній рівновазі системи «потік-русло». Для рівняння руху сповільненої течії запропоновано додаткове рівняння, яке стабілізує досягнутий рівень турбулентності руслового потоку. Аналогічна процедура запропонована для оцінки характеристик придонної області. За допомогою системи з дванадцяти рівнянь оцінені основні характеристики поздовжньої стійкості потоку, розвитку явища меандрування, розвитку горизонтальних і вертикальних руслових деформацій, транспортувальної здатності водотоку та придонної області руслового потоку. За отриманими розрахунковими формулами оцінено гідроморфологічний стан ділянки мандруючої річки в районі гідрологічного поста Сірет – Сторожинець (Чернівецька область). Установлено, що гідродинамічний тиск субстрату у придонній області наближений до глибокого вакууму, що вказує на наявність нейтрального шару між двома енергетичними потоками з різко відмінними потенціалами. На межі руслового і підруслового (фільтраційного) потоків має місце динамічна рівновага взаємного масообміну між водою і повітрям у вигляді продукування мікровирів і антимікровирів на фоні дії ефекту ежекції.

Ключові слова: *гідродинамічна система «потік-русло», динамічна рівновага системи, руслоформувальна витрата води і транспортувальних наносів, рівняння Нав'є-Стокса, явище меандрування, соліноїдальна траєкторія руху, ядро водотоку.*

Решение системы уравнений Навье-Стокса для оценки динамического равновесия системы «поток-русло»

Онищук В.В.

На основе аналитического решения замкнутой системы уравнений Навье-Стокса выполнена оценка гидроморфологического состояния речного русла при динамическом равновесии системы «поток-русло». Для уравнения движения замедленного течения предложено дополнительное уравнение, которое стабилизирует достигнутый уровень турбулентности руслового потока. Аналогичная процедура предложена для оценки характеристик придонной области. С помощью системы с двенадцати уравнений оценены основные характеристики продольной устойчивости потока, развития явления меандрування, развития горизонтальных и вертикальных русловых деформаций, транспортирующей способности водотока и придонной области руслового потока. По полученным расчетным формулам дана оценка гидроморфологического состояние участка меандрирующей реки в районе гидрологического поста Сирет - Сторожинец (Черновицкая область). Установлено, что гидродинамическое давление

субстрата в придонной области приближенно к глубокому вакууму, что указывает на наличие нейтрального слоя между двумя энергетическими потоками с резко отличными потенциалами. На границе руслового и подруслового (фильтрационного) потоков имеет место динамическое равновесие взаимного массообмена между водой и воздухом в виде выработки микровихрей и антимикровихрей на фоне действия эффекта эжекции.

Ключевые слова: *гидродинамическая система «поток-русло», динамическое равновесие системы, руслоформирующий расход воды и транспортировочных наносов, уравнения Навье-Стокса, явление меандрувания, солиноидальная траектория движения, ядро водотока.*

Solving the system of Navier-Stokes equations for estimation of dynamic equilibrium system "flow-channel"

Onischuk V.

Based on the analytical solution of closed system of Navier-Stokes hydromorphological condition the estimation of river channel with dynamic equilibrium system "flow-channel." To slow traffic flow equation proposed additional equation that the current level stabilizes turbulent channel flow. The same procedure proposed for assessing the characteristics of the bottom area. With the system of equations estimated twelve main characteristics of longitudinal stability flux of phenomena meandruvannya, development of horizontal and vertical channel deformations of shipping capacity of the watercourse and the bottom area of the channel flow. According to the calculation formula assessed hydromorphological state area traveling near the river Siret hydrological post - Storozhynets (Chernivtsi region). Established that the hydrodynamic pressure in the bottom substrate area close to deep vacuum, which indicates the presence of a neutral layer between two energy flows dramatically different potentials. At the edge of the channel and filtration flows is a dynamic equilibrium relative mass exchange between water and air in the form of production and mikrovyriv antymikrovyriv action against the background effect ejection. It is established that the phenomenon meandruvannya characteristic slow flow resulting in compression of structured spatial stream. The action of the deformation of the standing wave in the shallows and channels gyros towards low energy dissipation. As for the bottom area, it is characteristic of significant influence pryvantazhennya thicker bottom channel flow. Established that hdrodynamichnyy pressure in the bottom substrate area close to deep vacuum, which indicates the presence of a neutral layer between two energy flows dramatically different potentials. At the edge of the channel and soil filtration flows is a dynamic equilibrium relative mass exchange between water and air in the form of production and mikrovyriv antymikrovyriv action against the background effect ejection.

Keywords: *hydrodynamic system of "flow-channel" dynamic equilibrium system, channel bed water flow channels, equation Navier-Stokes, phenomenon meandruvannya, solinoyidalna trajectory, the core stream.*

Надійшла до редколегії 07.11.2016

УДК 556.5.06

Ободовський О.Г., Лук'янець О.І., Коноваленко О.С., Корнієнко В.О.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

СЕРЕДНІЙ РІЧНИЙ ВОДНИЙ СТІК РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО ТЕРІТОРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ

***Ключові слова**: річковий басейн; річки Українських Карпат; аналітичні функції ГІС; модуль стоку; карта стоку води.*

Вступ. При проведенні комплексних гідрологічних досліджень з метою вивчення водного режиму окремих річок чи річкової системи, для гідрологічних розрахунків та прогнозів, при будівельному та гідротехнічному проектуванні широко використовуються карти річкового стоку, які дають не тільки уяву про закономірності розподілу стоку води річок досліджуваної території, а й кількісні показники його просторової мінливості. Особливо актуальними такі карти стають, коли необхідно виконати завдання знаходження стоку води з невивчених в гідрологічному відношенні річкових басейнів.

Основною ціллю роботи є розробка детальної сучасної карти середнього річного стоку води Карпатського регіону України (басейни Тиси, Пруту, Дністра), його узагальнення для оцінки гідроенергетичного потенціалу річок Українських Карпат.

Огляд попередніх досліджень. Загалом, в різні часи багато вчених приділяли увагу картуванню норм стоку річок. Відомі роботи Б.Д.Зайкова, Д.І Кочеріна, А.В.Огієвського, Д.Л. Соколовскького, які вперше сконструювали карти стоку для території бувшого Радянського союзу. Цей напрямок продовжили й українські вчені Вишневський П.Ф., Дрозд Н.Й., Железняк Й.А., Крижановська А.Б., Кубишкін Г.Н., Лисенко К.А., Мокляк В.І., Чиппінг Г.О., Швець Г.І., які користуючись методичними наробками своїх колег, розробили карти норм стоку для України, а також для річок Карпатського регіону [6]. Особливої уваги потребують карти стоку, які були розроблені вченими Українського гідрометеорологічного інституту. Для національного атласу України була підготовлена карта середнього багаторічного стоку, яка включає період спостереження з 1950 по 2000 рр. [21].

З появою геоінформаційних систем, які дозволяють виконувати різні види інтерполяцій, питання розробки підходів до карт стоку на платформі ГІС набуває актуального значення. Українські вчені-гідрологи, використовуючи методи геопросторового аналізу, створювали карти стоку в ГІС як для всієї території України, так і для окремих річкових басейнів [3, 7, 27]. Неодноразово питання картографування стокових характеристик методами геоінформаційного аналізу висвітлюється в роботах й зарубіжних вчених [1, 2, 8, 9, 15, 20].

На сьогоднішній день широко представлені карти стоку багатьох країн світу.

Методичні підходи до побудови карт стоку води. Особливість картографування гідрологічних характеристик полягає в тому, що зображені на карті значення відносять не до точки вимірювання (як при картографуванні кліматичних характеристик), а до всього водозбору у цілому [16, 19]. Це обумовлено тим, що витрата води, яка виміряна на гідрологічному посту, представляє собою

осереднений стік зі всього річкового басейну. Для побудови карт необхідно виключити вплив площі водозбору, і представити норму водного стоку у вигляді шарів або модулів , тобто величин приведених до одиниці площі, які відносять до умовних точок – центрів тяжіння водозбору і, таким чином, відображають середні умови їх формування [9-11, 14, 17, 22]. Картографування гідрологічних характеристик, які не залежать від розмірів площі водозбору, базується на припущенні плавних змін їх по території у відповідності з розподілом кліматичних (опади, випаровування) та інших фізико-географічних факторів. Тобто, просторовий розподіл багаторічного водного стоку обумовлюється певними закономірностями, зокрема, широтною зональністю та висотною поясністю. При цьому середні значення стоку, що обираються для аналізу, повинні бути репрезентативними. Такою величиною може бути норма стоку, і побудова карти може проводитися безпосередньо за даними спостережень за стоком води річок досліджуваної території. Для одержання стійкої величини норми стоку $\bar{Q}_n$ необхідно мати ряд певної довжини (n), що включає періоди високої й низької водності. Для порівняння точності визначення норми стоку води різних річок уводиться поняття відносного значення середнього квадратичного відхилення σ_n , яке виражене у відсотках:

$$\sigma_n = \pm 100 \cdot C_v / n^{0.5}, \qquad (1)$$

де C_v – коефіцієнт варіації ряду річних середніх значень стоку за n років.

При побудові карти не враховуються стокові дані з малих за площею басейнів, середній річний стік з яких значною мірою визначається азональними факторами. Не залучаються також матеріали гідрометричних спостережень по великих річках, які, як правило, протікають у декількох географічних зонах. Норми стоку з таких річкових басейнів слугують лише для контролю надійності побудови карти [9]. Контрольними є також й карти просторових норм кількості опадів та випаровування для з'ясування збереження водно-балансових співвідношень у річкових басейнах і точності визначення норм стоку.

У гірських районах просторовий розподіл стоку проводиться з урахуванням рельєфу, при цьому будуються ряд залежностей норми водного стоку від висоти водозборів, нахилів та інших морфометрічних і гідрографічних показників.

Вихідні дані та оцінка точності визначення норми стоку. Вихідними даними для побудови карти слугували витрати води річок Українських Карпат з понад 90 гідрологічних постів в межах України та з 27 постів сусідніх басейнів, що межують з досліджуваною територією (Словаччина, Угорщина, Румунія Польща), які були перераховані в модулі стоку. У 89 % від задіяних для побудови карти гідрологічних постів мають період спостережень від 50 до 68, інші – від 28 до 35 років.

За формулою (1) для порівняння точності визначення норми стоку води річок обчислено відносні значення середньоквадратичної похибки σ_n (%), аналіз яких показав. що вони змінюються в переважній більшості від ±2,6 до ±5%, а у середньому для всієї території Українських Карпат становлять ±4,2 %, що відповідає абсолютним відхиленням ±0,85 л/с·км^2. Найбільші їх значення (до ±7,9%) притаманні для гідрологічних постів на річках, які мають досить короткий ряд спостережень за стоком. Коефіцієнти варіації C_v значень стоку по території Українських Карпат змінюються від 0,18 до 0,52.

Залежності норм річного водного стоку Карпатських річок від середньої висоти їх водозборів та між середньою висотою і середнім їх нахилом значимі, коефіцієнти кореляції становлять r = 0,78÷0,92. Загалом спостерігається чітке зростання модулів середньорічного стоку води річок зі зростанням середніх висот їх водозборів і, чим вище розташовані водозбори, тим більше їх середні нахили. Кожний басейн має свої особливості стокової потужності та інтенсивності. При одній і тій же середній

висоті з водозборів в басейні Тиси утворюються найбільші модулі стоку, в басейні Пруту та Сірету – найменші, а водозбори Дністра займають серединне положення. Різниці між модулями стоку води на певній висоті для річок досліджуваних басейнів становлять приблизно 5 л/с·км^2. Щодо зв'язку між середньою висотою водозборів Карпатських річок та середнім їх нахилом, то в басейні Тиси на всіх висотах спостерігаються найбільші середні нахили водозборів у порівнянні з басейнами Пруту і Сірету та правобережних приток Дністра.

Побудова карти середніх багаторічних модулів стоку води та оцінка її достовірності. Необхідною умовою для побудови карти стоку за допомогою аналітичних функцій ГІС є аналіз всієї існуючої гідрологічної та картографічної інформації оскільки важливою є щільність і рівномірність розподілення точок та підготовка необхідних даних для створення основи електронної карти. Необхідність залучення ГІС [1, 5, 12, 13, 23, 24] пояснюється високою точністю отриманих результатів та оперативністю у вирішенні ряду гідрологічних задач. У роботі було використано програмне забезпечення ArcGIS10, який є найпоширенішим програмним продуктом для реалізації подібних задач [1, 5] та її метод інтерполяції «Natural neighbor» [24]. На основі обраного методу інтерполяції створюються ізолінії модулів стоку води за допомогою функції - Contour. Ця функція дозволяє створювати ізолінії для всього набору даних, а інтервал значень модулів стоку між ними задає відстань між ізолініями.

Отримана карта є актуальною та найбільш детальною й сучасною для річок Карпатського регіону (рис. 1).

За результатами аналізу побудованої карти середньорічних модулів стоку води Карпатських річок здійснена оцінка її достовірності.

*З*алежність між фактичними їх значеннями в гідрометричних створах та знятими з карти має тісний зв’язок, коефіцієнт кореляції склав r = 0,993. Причому, лінія зв’язку співпадає з лінією рівних значень. У 92% випадків відхилення розрахованих і картографованих значень середньорічних модулів стоку води знаходяться в межах відносних похибок розрахунку норм стоку річок. Треба відмітити, що перевірявся середній річний стік не тільки за даними задіяних для картування гідрологічних постів, а й за тими, які не бралися для побудови карти (короткі ряди спостережень, малі водозбори).

Аналіз просторового розподілу картографованих норм річкового стоку Українських Карпат у загальному повторює розподіл по його території опадів, що свідчить про збереження водно-балансових співвідношень річкових басейнів при побудові карти. Найменша кількість опадів спостерігається у низовинах і передгір’ї (650-900 мм). З висотою кількість опадів переважно зростає до 1800 мм. Проте така закономірність порушується особливістю розташування гірських масивів і захищеністю окремих районів від вологих повітряних потоків.

Максимальна за рік кількість опадів випадає в центральній частині гір, а також на вершинах гірських масивів. Для Українських Карпат характерні райони з постійними орографічними максимумами та мінімумами опадів [4, 17, 25-26]. У басейні Тиси виділяють в гірській частині наступні максимуми – верхів’я водозборів річок Косовської, Тересви, Тереблі (1200-1600 мм); верхів’я водозборів річок Боржави та частково Ріки (1000-1200 мм); верхів’я водозборів річок Латориці та Ужа (1000-1200 мм). Гірські вершини басейну Тиси понад 1000 м абс. отримують 1400-1700 мм. Райони з максимумами опадів нерівнозначні за величинами та площами охоплення.Орографічний мінімум знаходиться у верхів’ях Тиси (900-1000 мм), завдяки тому, що ця територія частково захищена горами від вологих повітряних потоків із південного заходу.

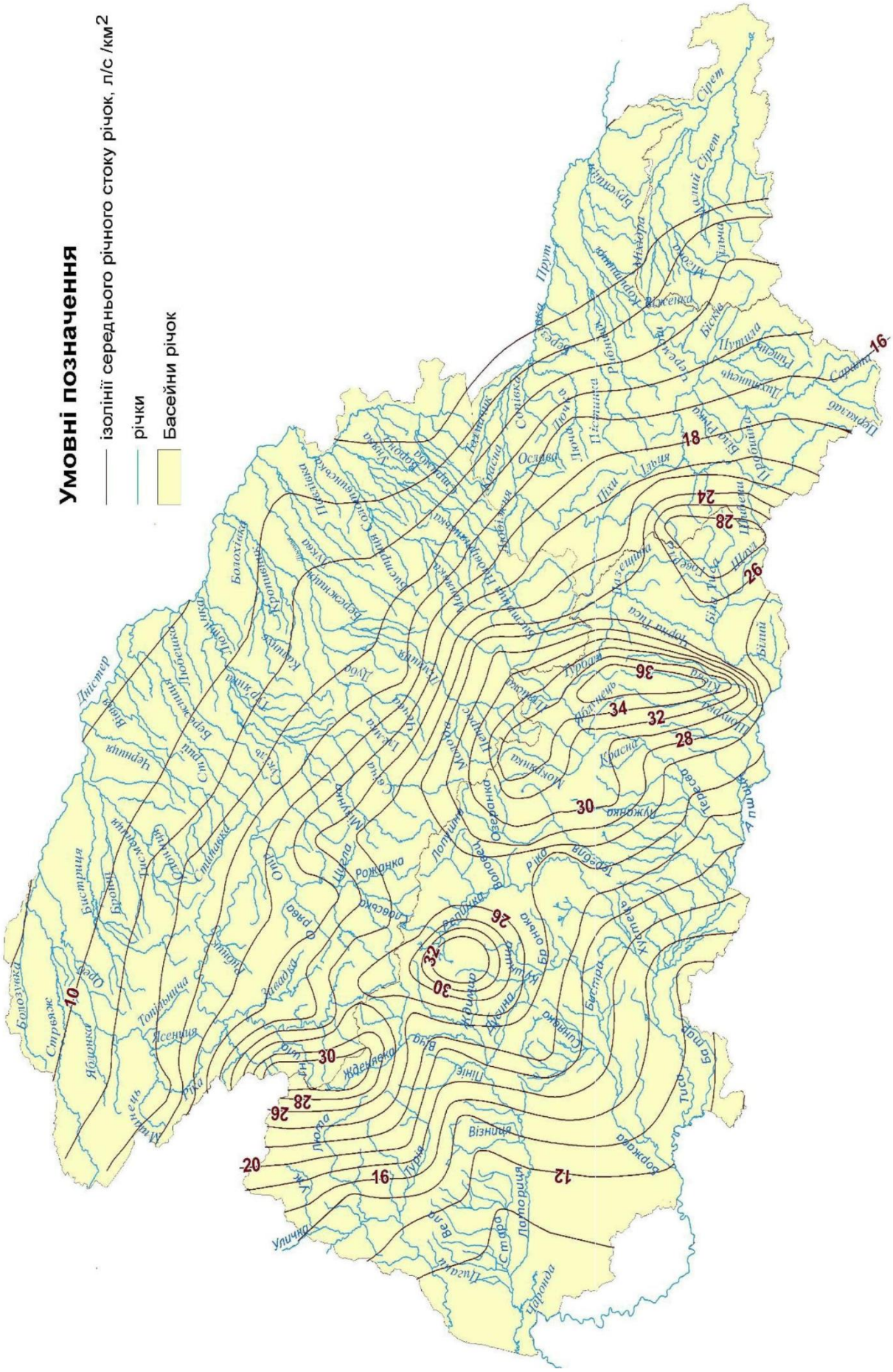


Рис. 1. **Карта середніх річних модулів стоку води річок Українських Карпат**

Натомість, в гірської частині правобережжя Дністра орографічними максимумами є міжріччя річок Стрия та Опору, верхів'я Свічі, середні частини водозборів Лімниці та Бистриці (950-1100 мм). В гірській частині басейну Пруту найбільші річні кількості опадів спостерігаються у верхів'ях Пруту, частково Черемошу (900-1100 мм), найменші – у верхів'ях Чорного та Білого Черемошу, Путили (750-850 мм). Тут гірські вершини понад 1000 м БС і опади випадають в кількостях 1100-1300 мм.

Аналіз просторового розподілу середнього річного стоку води по основних річкових басейнах Українських Карпат показав, що річки досліджуваної території є найбільш багатоводними в Україні. Середній багаторічний стік води в басейні Тиси змінюється по території в діапазоні від 10 до 38 л/с·км^2, в басейні Правобережжя Дністра – від 8 до 32 л/с·км^2 і басейнах Пруту та Сірету – від 6 до 26 л/с·км^2.

Найбільші середні річні модулі стоку води в басейні Тиси спостерігаються в верхів'ях річок Косовської, Тересви, Тереблі – 32-38 л/с·км^2. Ще два осередки підвищеного водного стоку в басейні Тиси розташовані у верхів'ях річок Ріки, Боржави та Латориці, частково Ужа і складають відповідно 30-32 л/с·км^2 та 28-30 л/с·км^2. Тут середні річні модулі стоку води зменшується внаслідок зменшення зволоження цієї території. З тієї ж причини стік води на крайньому сході басейну Тиси (у її верхів'ях) також дещо знижений – 25-28 л/с·км^2. Це обумовлено тим, що ця територія частково захищена горами від вологих повітряних потоків із південного заходу. Що стосується басейну Дністра, то найбільш багатоводні водозбори верхів'їв річок Опору, Свічі, Лімниці та Бистриці мають середньорічні модулі стоку в межах – 25-32 л/с·км^2. Басейни Пруту та Сірету, де опадів випадає менше, ніж у басейнах Тиси та Дністра, характеризуються меншим річковим стоком з максимальними його показниками- 15-25 л/с·км^2 у верхів'ях річок Пруту та Черемошу.

Річковий стік на південно-західному схилі Українських Карпат (басейн Тиси) більший, ніж на північно-східному схилі (басейни Дністра, Пруту та Сірету). Тут й водозбори з підвищеним стоком займають більші площі. Так, якщо взяти величину модуля стоку 15 л/с·км^2 і більше, то в басейні Тиси його можна спостерігати не тільки у середньо- та низькогір'ї, а й у передгір'ях. Площі територій з таким водним стоком займають майже 80% басейну Тиси. В басейні Правобережжя Дністра площі з модулями стоку води 15 л/с·км^2 і більше складають 52%, в басейні Пруту, Сірету – 32%.

Водозбори з середніми річними модулями стоку води 20-40 л/с·км^2 мають багаторічну варіацію в середньому 20-30% від норми, а з модулями менше 20 л/с·км^2 вона поступово збільшується до 40-50%. Річковий стік 1%-ої ймовірності перевищення більший середніх їх річних значень переважно у 2,0-2,5 рази [18].

Висновки. Карта середніх багаторічних модулів стоку води річок Українських Карпат, що представлена у роботі, побудована за даних спостережень за стоком води на гідрологічних постах на річках Українських Карпат та сусідніх басейнів, що межують з досліджуваною територією, за період від початку спостережень до 2012 р. включно. Близько 90% постів мають періоди спостережень від 50 до 68 років, тому вихідні значення норм річного стоку для побудови карти є стійкими з відносними середньоквадратичними похибками в середньому ±4,2%.

Для створення карти використано програмне забезпечення ArcGIS, яке є найпоширенішим програмним продуктом для реалізації подібних задач та характеризується високою точністю отриманих результатів.

Аналіз побудованої карти показав, що отримані особливості територіальної мінливості стокових значень у основних річкових басейнах Українських Карпат (Тиси, Правобережжя Дністра, Пруту та Сірету) добре відповідають умовам їх

формування – водно-балансовим співвідношенням та ступеню зволоженості водозборів, їх середньої висоті та нахилам. Це свідчить про достовірність просторового узагальнення середньорічних модулів стоку води річок Українських Карпат. Тому розроблена детальна карта розподілу стоку води може бути використана у наукових і практичних цілях - при оцінці водних ресурсів окремих басейнів або цілих районів Українських Карпат, навіть невивчених в гідрологічному відношенні. Вона може також застосовуватись при встановленні закономірностей розподілу потенційного річкового стоку та в розрахунках гідроенергетичного потенціалу окремих річок.

Список літератури

1. *Djokic D.* DEM Preprocessing for Efficient Watershed Delination/ESRI. / D. Djokic, Ye Zichuan. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap676/p676.htm. **2.** *Global Data Explorer* / U.S. Geological Survey [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/. **3.** *Коноваленко О.С.* Просторовий розподіл максимального стоку води весняного водопілля річок басейну Стир / О.С. Коноваленко, В.О. Дутко, Є.В. Василенко – Наук. зб. «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія». – 2012. – Т. 1(26). – С. 69-75. **4.** *Olga Lukianets.* Spatial, temporal and forecast evaluation of rivers' streamflow of Upper Tisa drainage basin under the conditions of climate change / Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi - Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, No. 71(1). – Kaunas, KTU. – 2015. – P.36-46. **5.** *Андрианов В.* Чрезвычайные ГИС / В. Андрианов // ArcView – Современные геоинформационные технологии. Чрезвычайные Ситуации. – 2003. – №3. **6**. *Вишневський П.Ф.* Гідрологічні розрахунки для річок України. / П.Ф. Вишневський, Н.Й. Дрозд, Й.А. Желєзняк, А.Б. Крижановська, Г.Н. Кубишкін, К.А. Лисенко, В.І. Мокляк, Г.О. Чиппінг, Г.І. Швець – К.: Вид-во Академії наук Української РСР. – 1962. – 261 с. **7.** *Горбачова Л.О.* Просторове узагальнення норм річного стоку води / Л.О. Горбачова // Наук. зб. «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія». – 2010. – Т. 18. – С. 107-112. **8.** *Денисова Ю.И.* Построение прогнозной модели зоны затопления средствами ГИС-технологий. / Ю.И. Денисова, А.А. Перевощиков. – Вестник Удмуртского университета. – Вып. 1. – 2009. – С.171-178. **9.** *Догановский А.М.* Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии). / А.М. Догановский, В.Г. Орлов. – Учебное пособие. – СПб.: изд-во РГГМУ. – 2011. – 315 с. **10.** *Загальна гідрологія*. Підручник / С.С. Левківський, В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський та ін. – К.: Фітосоціоцентр. – 2000. – 264 с. **11.** *Загальна гідрологія*: Підручник. / за ред. В.К. Хільчевського і О.Г. Ободовського. – К.: ВПЦ «Київський університет». – 2008. – 399 с. **12.** *Іщук О.О.* Просторовий аналіз і моделювання в ГІС / О.О. Іщук, М.М. Коржнев, О.Є. Кошляков / за ред. акад. Д.М. Гродзинського. – Київ: Вид. КНУ. – 2001. – 252 с. **13.** *Кащавцева А.Ю.* Моделирование речных бассейнов средствами Arc GIS 9.3. / А.Ю. Кащавцева, В.Д. Шипулин. – Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского. – Серия «География». – Том 24(63). – 2011. – С.85-93. **14.** *Клибышев К.П.* Гидрологические расчеты. / К.П. Клибышев, И.Ф. Горошков. – Л.: Гидрометиздат. – 1970. – 460 с. **15.** *Комлев А.М.* Закономерности формирования и методы расчётов речного стока / А.М. Комлев. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та. – 2002. – 163 с. **16.** *Линслей Р.К.* Прикладная гидрология. / Р.К. Линслей, М.А. Колер, Д.Л.Х. Паулюс. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1962. – 758 с. **17.** *Лук'янець О. І.* Оцінки взаємозв'язку елементів водного балансу в сучасних умовах та впливу кліматичних змін на річковий стік в Закарпатській області / О.І. Лук'янець, В.О. Балабух. – Матеріли шостої всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології». – Дніпропетровськ, 20-22 травня 2014 р. – С. 187-190. **18.** *Лук'янець О.І.* Аналіз просторового розподілу та мінливості середнього річного стоку води річок Українських Карпат / О.І. Лук'янець, О.С. Коноваленко. – Збірник праць XII з'їзду Українського географічного товариства «Українська географія: сучасні виклики». – К: Прінт-Сервіс. – 2016. – Том II. – С. 175-177. **19.** *Лучшева А.А.* Практическая гидрология / А.А. Лучшева. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1976. – 440 с. **20.** *Мельникова Т.Н.* Норма годового стока рек северо-западного Кавказа и особенности ее территориального распределения / Т.Н. Мельникова.

– Материалы шестой Международной конференции. – Том первый. – Северо-Кавказский государственный технический университет, Ставрополь. – 2004. – 177 с. **21.** *Національний атлас України.* Карти № 4-6 у розділі 8 «Поверхневі води та водні ресурси» / Б.Є. Патон, А.П. Шпак, Л.Г. Руденко та ін. -. К.: Державне науково-виробниче підприємство «Картографія». – 2007. – 440 с. **22.** *Определение расчетных гидрологических характеристик* СНиП 2.01.14-83. – М.: Государственный комитет СССР по делам строительства. – 1983. – 97 с. **23.** *Основы геоинформа*тики: Кн.1: учеб. пособие для студентов вузов / сост. Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. Центр «Академия». – 2004. – 352 с. **24.** *Половко А.М.* Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – «БХВ-Петербург», Санкт-Петербург. – 2004. – 320 с. **25.** *Соседко М.Н.* Особенности пространственной структуры полей осадков на территории Украинских Карпат / М.Н. Соседко // Тр.УкрНИГМИ. – 1980. - Вып. 180. – С. 81-85. **26.** *Сусідко М.М.* Карпати – найбільш паводконебезпечний регіон України / М.М. Сусідко // Матеріали міжнародної конференції “Гори та люди”. – 2002, Рахів. – Том 2. – С. 158-161. **27.** *Шевчук С.А.* Уточнення гідрографічних характеристик річок з використанням методів ДЗЗ. / С.А. Шевчук, В.І. Вишневський, П.О. Бабій. – Вісник геодезії та картографії. – № 5 (92)–2014. – С.29-32.

Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу

Ободовський О.Г., Лук’янець О.І., Коноваленко О.С., Корнієнко В.О.

В статті розглядаються методичні підходи щодо картографування річкового стоку води та представлено просторовий розподіл середнього багаторічного водного стоку річок Українських Карпат у вигляді карти, створеної за допомогою аналітичних функцій ГІС. Проводиться оцінка точності визначення значень норм стоку в гідрологічних створах річок Українських Карпат з врахуванням збільшення періоду спостережень за стоком (дані по 2012 р.) та його варіації. Аналізується достовірність побудованої карти середньорічних модулів стоку води та їх територіальна мінливість по основним басейнам Українських Карпат.

***Ключові слова**: річковий басейн, річки Українських Карпат, аналітичні функції ГІС, модуль стоку, карта стоку води.*

Средний годовой водный сток рек Украинских Карпат и особенности его территориального распределения

Ободовський О.Г., Лукьянец О.И., Коноваленко О.С., Корниенко В.А.

В статье рассматриваются методические подходы к картографирования речного стока воды и представлено пространственное распределение среднего многолетнего водного стока рек Украинских Карпат в виде карты, созданной с помощью аналитических функций ГИС. Проводится оценка точности определения значений норм стока в гидрологических створах рек Украинских Карпат с учетом увеличения периода наблюдений за стоком (данные по 2012 г.) и его вариации. Анализируется достоверность построенной карты среднегодовых модулей стока воды и их территориальная изменчивость по основным бассейнам Украинских Карпат

***Ключевые слова:** речной бассейн, реки Украинских Карпат, аналитические функции ГИС, модуль стока, карта стока воды.*

The average annual water flow of rivers Ukrainian Carpathians and especially its territorial distribution

Obodovskiy O., Lukianets O., Konovalenko О., Korniienko V.

The main objective of the work - the development of modern detailed map of average annual water flow of the Carpathian region of Ukraine (Tisza, Prut, Dniester and Siret), its generalization to assess hydropower potential of the rivers of the Ukrainian Carpathians. The article deals with methodological approaches for mapping of river water flow. Presented by the spatial distribution of the average years of runoff water Ukrainian Carpathians in the form of maps created with GIS analysis functions. Map of average annual modules water flow rivers of the Ukrainian Carpathians built according to the observations of runoff water in hydrological posts on the rivers of the Ukrainian Carpathians and adjacent basins bordering the study area (over 90 hydrological stations in Ukraine and 27 hydrological stations in Slovakia, Hungary, Romania, Poland) for the period from the beginning of observations to 2012 inclusive. About 90% of stations have observation period of 50 to 68 years, so the output values of annual runoff rules for mapping are stable with relative mean square errors of ± 4,2%.

Analysis maps showed that the spatial distribution features derived water runoff in major river basins of the Ukrainian Carpathians (Tisza, Dniester, Prut and Siret) well fulfill the conditions of their formation. First and foremost, water-balance ratio and the degree of moisture catchment, their average height and tilt. This indicates the reliability of spatial generalization of average water flow of rivers modules Ukrainian Carpathians.

Developed detailed map of the distribution of water flow can be used in scientific and practical purposes when assessing individual pools of water or entire regions of Ukrainian Carpathians, even unexplored in hydrological terms..

Keywords: *river basin, rivers Ukrainian Carpathians, GIS analytical functions, modules flow, water flow map.*

Надійшла до редколегії 11.10.2016

УДК 556.166

Гопченко Є.Д., Кирилюк О.С.
Одеський державний екологічний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАСОВИХ РЯДІВ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ПРИАЗОВ'Я

Ключові слова: *максимальні витрати води, розподіл Гумбеля, Пірсона, трипараметричний гама-розподіл.*

Вступ. У гідрологічній практиці досить широко використовуються аналітичні функції розподілу для опису гідрометеорологічних явищ, зокрема, розподіл Гауса, біноміальний розподіл Пирсона III типу, трипараметричний гама–розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля та ін. Застосовуються вони для вирішення задач прогнозування і розрахунку різної ймовірності перевищення стоку води річок. Серед них слід виділити закон розподілу крайніх членів вибірки – розподіл Гумбеля та розподіл Пірсона III типу, які наразі успішно використовуються в Україні й за кордоном.

Мета, вихідні матеріали. З метою визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок з використанням різних кривих забезпеченостей використовувалися дані з 31 гідрологічного поста на річках у межах Приазов'я з площами водозборів від 144 км^2 (р. Малий Утлюк – с. Золота Долина) до 5780 км^2 (р. Міус – р.п. Матвіїв курган) та періодами спостережень від 6 (р. Ольхівка – х. Ковальов) до 84 років (р. Берда – с. Осипенко).

Методика дослідження. Розрахункові характеристики кривих забезпеченостей визначались для широкого діапазону ймовірностей. З властивостей кривої біноміального розподілу Пірсону III типу можна відзначити наступне: вона обмежена нижньою, але не обмежена верхньою межею, тобто при $x \to \infty$ крива асимптотично наближається до осі абсцис. Спирається вона на три статистичних параметри – математичне сподівання m_x (для вибіркових даних – середнє арифметичне значення), коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s.

На рис. 1 і 2 схематично наведені криві біноміального розподілу Пірсона III типу і трипараметричного гама–розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля [1].

Модульні коефіцієнти $k_p = x_i / \bar{x}$ визначаються за виразом:

$$k_p = \left(1 + Cv\Phi_p, Cs\right), \qquad \textbf{(1)}$$

де Φ_p – нормовані відхилення ординат біноміальної кривої розподілу від середини.

Крива трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля

представляє собою більш загальний випадок розподілу порівняно з попереднім і задовольняє стоковим рядам за будь-яких співвідношень між C_s і C_v. Така властивість трипараметричного гама-розподілу виключає область від'ємних значень x_p при екстраполяції емпіричних кривих забезпеченості в нижній частині, причому

$$x_p = \overline{x} * k_p . \qquad \textbf{(2)}$$

Модульні коефіцієнти k_p визначаються в залежності від заданої ймовірності перревищення $P_{\%}$, C_v та співвідношення C_s/C_v.

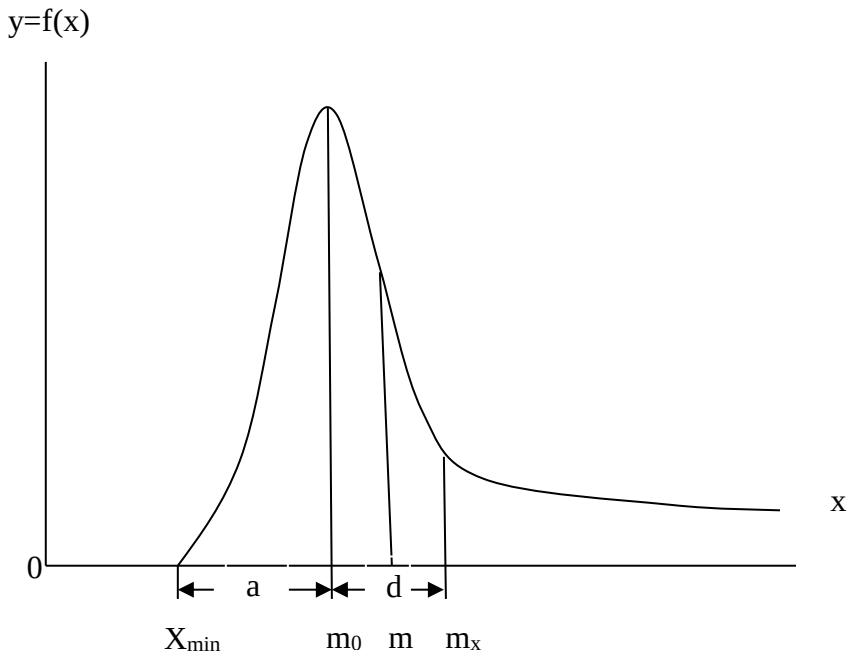


Рис.1. **Крива біноміального розподілу Пирсону III типу (з додатною асиметрією)**

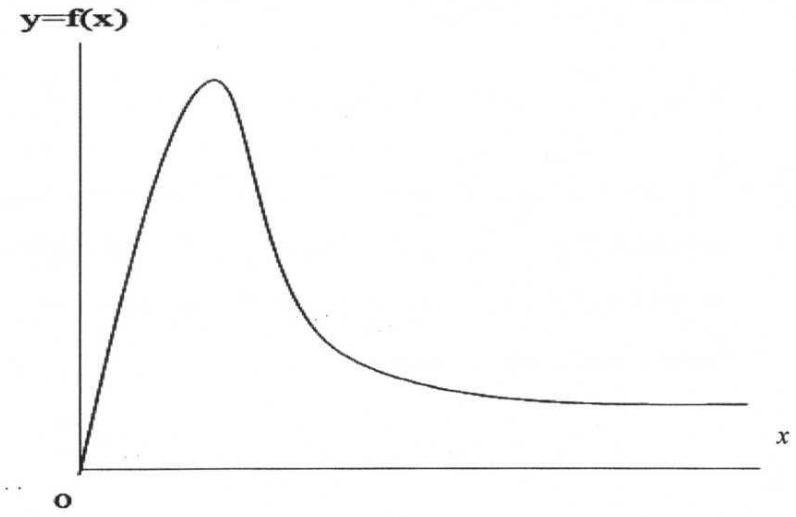


Рис. 2. **Крива трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького і М.Ф.Менкеля**

Розподіл Гумбеля [2] розроблявся для випадків, коли в якості випадкової величини розглядаються екстремальні характеристики гідрометеорологічного режиму. Функція забезпеченостей Гумбеля $f(x)$ визначається за виразом:

$$f(x)=\alpha\exp\{-\alpha(x-q)-\exp[-\alpha(x-y)]\}, \quad (3)$$

де y – безрозмірна величина, пов'язана з x виразом

$$y=\alpha(x-q), \quad (4)$$

а q - мода випадкової величини X.

Результати дослідження. Аналізуючи результати статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля на території Приазов'я було розраховано ординати кривих забезпеченостей за методами моментів, найбільшої правдоподібності та за розподілом Гумбеля. На рис. 3-5 надаються порівняльні залежності розподілу Гумбеля, біноміальної кривої Пірсона III типу та трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля максимальних витрат води весняного водопілля для забезпеченості P=1%

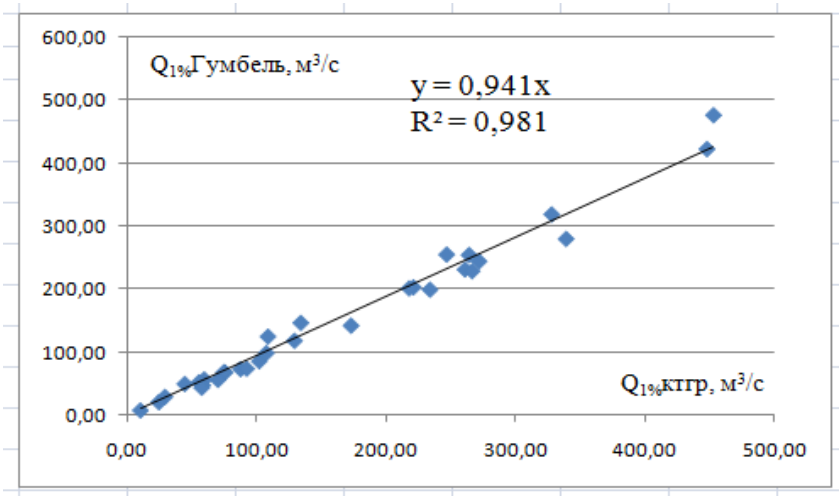


Рис. 3. **Порівняння максимального стоку води весняного водопілля на річках території Приазов'я 1%-ої ймовірності перевищення за кривими розподілу Гумбеля та трипараметричного гама–розподілу С.Н.Крицького та М.Ф.Менкеля**

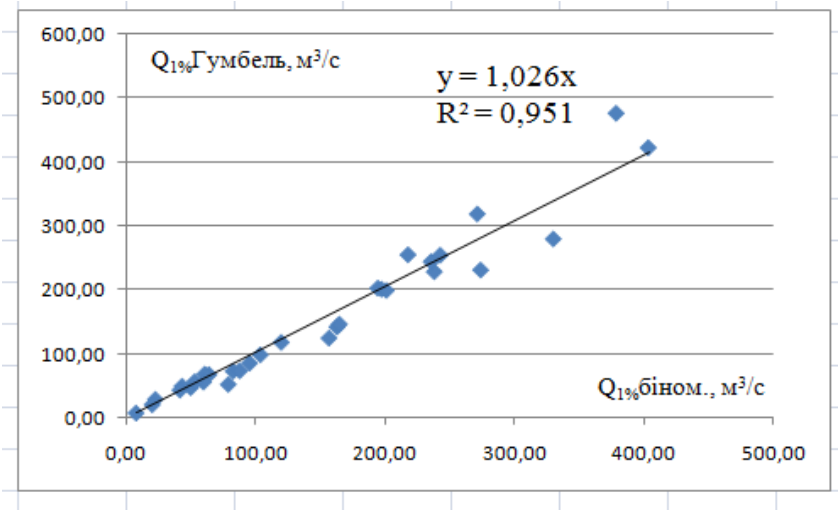


Рис. 4. . **Порівняння максимального стоку води весняного водопілля на річках території Приазов'я 1%-ої ймовірності перевищення за кривими розподілу Гумбеля відносно біноміальної кривої**

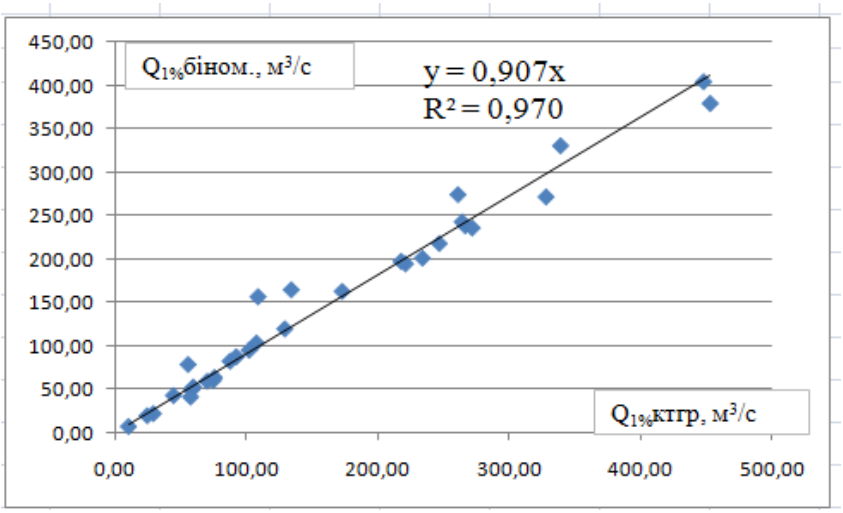


Рис.5. **Порівняння максимального стоку води весняного водопілля на річках території Приазов'я 1%-ої ймовірності перевищення за біноміальною кривою розподілу відносно трипараметричного гама–розподілу С.Н.Крицького та М.Ф.Менкеля**

Розбіжності у максимальному стоці води весняного водопілля на річках території Приазов'я 1%-ої ймовірності за кривою Гумбеля та трипараметричного гама–розподілу (див. рис. 3) становить 6%, за біноміальною кривою та кривою трипараметричного гама-розподілу (див. рис. 5) – 9%, а за кривою Гумбеля та біноміальною кривою практично співпадають (див. рис. 4).

В табл. 1 наведено коефіцієнти регресії (k) і кореляції (r) залежностей, побудованих за розрахованими величинами максимальних витрат води в діапазоні забезпеченостей від 1% до 95% (на прикладі р. Кальміус – смт Приморське).

Таблиця 1. **Коефіцієнти регресії і кореляції в залежностях між різними кривими розподілів максимального стоку води весняного водопілля в діапазоні забезпеченостей від 1% до 95% на річках Приазов'я (на прикладі р. Кальміус – смт Приморське)**

Забезпеченості P,%	Крива Гумбеля – біноміальна крива Пірсона III типу		Крива Гумбеля-трипараметричний гама–розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля.		Біноміальна крива Пірсона III типу - трипараметричний гама–розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля.	
	k	r	k	r	k	r
1	1.03	0.97	0.94	0.99	0.91	0.98
3	1.29	0.99	1.24	0.99	0.96	0.99
5	1.10	1.0	1.10	0.99	0.96	1.0
10	1.13	0.99	1.12	0.97	0.99	0.98
50	0.86	0.90	0.80	0.87	0.99	0.98
75	0,86	0,81	0,79	0,76	1,04	0,97
95	Зв'язок відсутній					
Середнє при P≤10%	1.14	0.99	1.10	0.99	0.96	0.99

В середньому при P≤10% коефіцієнти регресії k становлять 1,14 у взаємозв'язку між кривими розподілу Гумбеля і біноміального Пірсона III типу; k =1,10 у взаємозв'язку між кривими Гумбеля і трипараметричного рівняння С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля) та k=0,96 у взаємозв'язку між розподілом біноміального Пірсона III типу і трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля). Таким чином, при визначені ймовірнісних характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль з рівною мірою можна застосовувати теоретичні розподіли трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля, Гумбеля та біноміального розподілу Пірсона III типу.

На рис. 6 представлено порівняльний аналіз кривих забезпеченостей, розрахованих за різними методами (р. Кальмиус - Приморське), якого видно, що у верхній частині криві більш менш однакові, в середній частині навіть збігаються, а в нижній різняться, причому біноміальна крива та крива Гумбеля переходять у від'ємну частину кривої забезпеченості (після 95% забезпеченості).

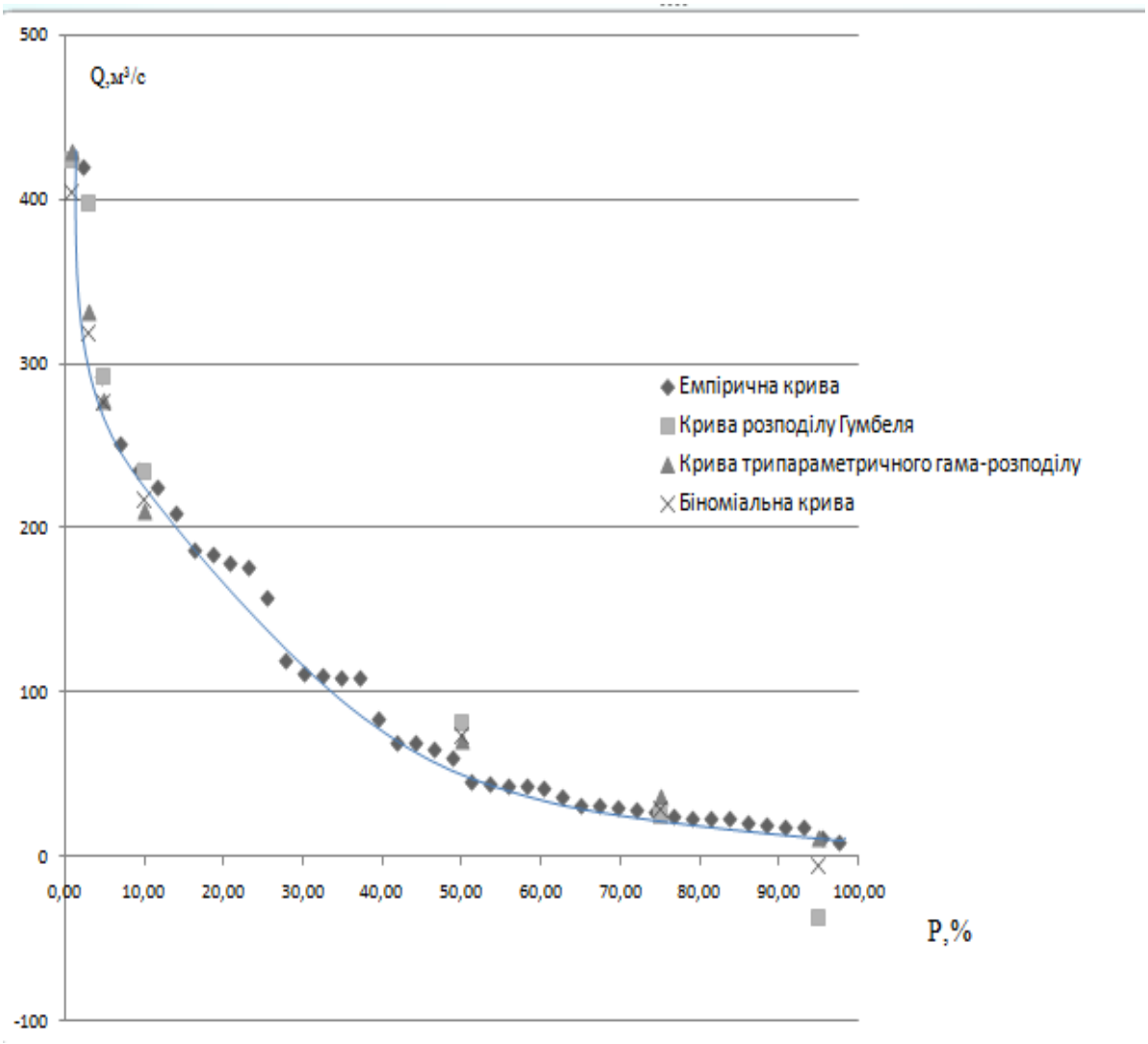


Рис.6. **Криві забезпеченостей максимального стоку води весняного водопілля, що побудовані за різними методами на прикладі р. Кальміус - смт Приморське**

Висновки. На основі виконаного аналізу можна зробити висновок, що при забезпеченостях $P < 10\%$ різні аналітичні криві розподілу максимального стоку води весняного водопілля на річках Приазов'я мають розбіжності на рівні точності вихідної інформації. Коефіцієнти варіації Cv, розрахованих за різними методами, в середньому за методом моментів мають менші значення, а тому для річок Приазов'я відповідно з рекомендаціями СНіП 2.01.14-83 рекомендується визначення Cv за методом найбільшої правдоподібності.

Список літератури

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14-83). - Л.: Гидрометеоиздат. – 1984. – 447 с. ***2.*** *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А.В. Сикан. – СПб: ГГИ. – 2007. – 278 с.

Порівняльний аналіз результатів статистичної обробки часових рядів максимального стоку весняного водопілля на території Приазов'я

Гопченко Є.Д., Кирилюк О.С.

Проведено порівняльний аналіз результатів статистичної обробки часових рядів максимального стоку весняного водопілля на річках Приазов'я з розрахунком кривих розподілу в діапазоні забезпеченостей від 1% до 95% за трьома методами – за методами моментів, найбільшої правдоподібності та за розподілом Гумбеля. На основі цього аналізу при забезпеченостях P < 10% різні криві розподілу мають розбіжності на рівні точності вихідної інформації.

Ключові слова: *максимальні витрати води, розподіл Гумбеля, Пірсона, трипараметричний гама-розподіл.*

Сравнительный анализ результатов статистической обработки временных рядов максимального стока весеннего половодья на территории Приазовья

Гопченко Е.Д., Кирилюк О.С.

Проведен сравнительный анализ результатов статистической обработки временных рядов максимального стока весеннего половодья на реках Приазовья с расчетом кривых распределения в диапазоне обеспеченностей от 1% до 95% по трем методам - методи моментов, наибольшего правдоподобия и по распределению Гумбеля. На основе этого анализа при обеспеченности P <10% различные кривые распределения имеют расхождения на уровне точности исходной информации.

Ключевые слова: *максимальные расходы воды, распределение Гумбеля, Пирсона, трехпараметрическое гамма-распределение.*

Comparative analysis of the results of statistical processing of time series of maximum runoff for spring floods on the territory of Azov region

Gopchenko E. D., Kirilyuk O. S.

Used curves for the comparative analysis in three techniques.The calculation of maximum runoff using different curves obespechennosti.Based on the analysis probabilities P<10% different distribution curves have on level accuracy of the source information.

In hydrological practice is widely used statistical methods, including Gaussian distribution, binomial distribution Pearson type III and three-parameter gamma distribution S.M. Krytskoho and M.F. Menkelya. They are applied for solving forecasting and calculating probabilities of various runoff excess. Among them we should highlight the extreme division members Humbelya sampling and distribution of Pearson type III, which is currently successfully used in practice in hydrological forecasting in Ukraine and abroad.

The problem of calculating the maximum flow is one of the most important both in practical and scientific relations. The practical significance of it is reliable justification size holes hydraulic structures, erected on the rivers, assessing potential flood zones during the passage of floods or spring floods of varying probability of exceeding and others. Therefore, it becomes clear and scientific importance of the formation of the maximum flow in rivers and temporary streams. If we take into account that systematic measurement flow performed not in all streams, before the theory is the task not only study of general patterns of rain and floods and spring floods, but also develop on the results of these studies of settlement procedures and methods in the maximum flow of unexplored rivers .

Today in calculating the maximum rainfall floods runoff in Ukraine still has used regulatory framework SNIP 2.01.14-83, since the adoption of which has been more than 30 years, what certainly had an effect on certain basic parameters.

Keywords: *the maximum expenses of water, distribution Gumbel, Pearson, three-parameter gamma distribution.*

Надійшла до редколегії 28.10.2016

УДК 551.49

Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Коноваленко О.С.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ГІДРОМОРФОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧОК ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНІ БАСЕЙНУ ТИСИ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Ключові слова: *ідентифікація, типологія, водний масив, гідроморфологічний стан, гідроморфологічна оцінка,типи русел*

Вступ. Актуальність даної теми полягає в необхідності встановлення загального екологічного стану кожного водного масиву річки. Оцінка гідроморфологічного стану водних масивів є складовою частиною оцінки стану поверхневих вод. Гідроморфологічні зміни, а саме зміни морфологічних характеристик русел та заплав під впливом споруд протипаводкового комплексу є головними водно-екологічних проблем річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України). Також слід відмітити, що актуальним питанням, що дає змогу намітити низку практичних рішень для збереження або відновлення загального екологічного стану річкових масивів даного басейну є поєднання гідрологічного режиму, гідроморфологічної оцінки та проявів руслових процесів для комплексної оцінки річкових водних об'єктів річок басейну верхньої Тиси (в межах України).

У країнах Європейського Союзу прийнято єдиний юридичний документ, відповідно до якого здійснюється управління водними ресурсами - Водна Рамкова Директива Європейського Союзу (ВРД ЄС) 2000/60/ЕС [3,6]. Згідно до угоди про асоціацію між Україною та ЄС, Україна взяла на себе зобов'язання забезпечити законодавчу базу для впроваджень положень ВРД. Верховна Рада України прийняла 04.10.2016 Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» [4]. Реалізація положень вищенаведеного закону вимагає розробки Планів управління річковими басейнами з метою досягнення екологічних цілей, визначених для кожного району річкового басейну України. Відповідно, визначення гідроморфологічного стану водних масивів як складової частини встановлення екологічного стану водного масиву поверехневої води набувають важливого значення для району басейну річки Дунай.

Методологічні положення. Першочерговим кроком у планах управління річковими басейнами є ідентифікація та типологія водних масивів. Встановлення (або ідентифікація) водних масивів має дуже важливе значення, бо кількість визначених водних масивів безпосередньо впливає на об'єм заходів з їх збереження чи відтворення. Збільшення їх кількості призведе до зростання витрат на встановлення стану і розроблення плану заходів та його впровадження. Заниження кількості водних масивів може призвести до необ'єктивної оцінки гідроекологічної ситуації в просторово-часовому вимірі.

Ідентифікація та типологія водних масивів проводиться за керівними документами, (стандартами спільної стратегії впровадження ВРД ЄС) [10,13,19,21]. Причиною виділення окремого водного масиву є:

- Зміна категорії поверхневих вод.
- Географічні та гідрографічні відмінності (межі екорегіонів, гідрологічний режим річки).
- Гідроморфологічні зміни.
- Зміна екологічного/хімічного стану (забруднення).
- Наявність природоохоронного статусу території, через яку протікає річка.
- Зміна типу(типології).

Типологія річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) виконувалася за системою В [3] з використанням чотирьох дескрипторів, з числа трьох обов'язкових та одного додаткового, а саме: площі водозбору, середньої висоти водозбору, геології, середнього діаметру наносів [7, 11]. Щодо обов'язкових дескрипторів, то ми дотримувалися тих меж класів, які запропоновані ВРД при використанні системи А [3, 8, 13]. Слід зазначити, що середній діаметр був вибраний у якості додаткового дескриптору для аналізу не тільки типології, а і для оцінки типів русел вказаного водозбору. В залежності типу наносів, його діаметру і висотного положення русел, можна прослідкувати тенденцію до встановлення типів русел в залежності від середнього діаметру наносів.

Для встановлення стану водного масиву необхідно визначати в тому числі і гідроморфологічні елементи, які підтримують біологічні, а саме – гідрологічний режим (кількість та динаміку водного потоку, зв'язок з підземними водами), неперервність течії річкового водного масиву та морфологічні умови. Проте, оцінка будь-якої з вказаних складових розпочинається саме з встановлення категорії поверхневих вод та ідентифікації та типології водних масивів для кожної з категорій поверхневих вод для кожного району річкового басейну.

Визначення гідроморфологічного стану річок проводиться відповідно до єдиного європейського стандарту CEN TC 230/WG 2/TG 5: N53 [17]. Він включає в себе вже існуючі документи, положення публікації, зокрема стандарт CEN 14614 [16], стандарт prEN 14996 та ін [19].

Оскільки польові дослідження по оцінці гідроморфологічного стану водних масивів р.Тиса проводилися в 2009 та 2010 роках, то використовувався попередній стандарт CEN 14614, який не суперечить положенням нового стандарту. Результати цих робіт зараз мають важливе практичне значення [9].

При проведенні ідентифікації поверхневих вод використані положення ВРД та керівні документи її Спільної стратегії впровадження [3, 19, 21].

Як слідує з попередніх досліджень викладених в роботах [5, 10], оцінка гідроморфологічного стану водних масивів річок тісно пов'язана з проявами в них руслових процесів. А одним із заключних і визначальних етапів процесів руслоформування є встановлення типів русел. Тому в даній роботі вперше буде виконана спроба встановлення залежностей гідроморфологічної оцінки екологічного стану водних масивів у відповідності до визначення типів русел.

В основу визначення типів русел для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) покладено класифікацію типів річкових русел за характером руслових переформувань та їх морфологічними проявами [5, 13, 14].

Основні результати досліджень. В рамках досліджень розглядалась ділянка річок верхньої частини Тиси (в межах України). Таке обмеження досліджуваної території пояснюється, перш за все, середніми висотами водозборів, які коливаються в межах від 800 до1200- м БС.

Ідентифікація та типологія. Питання ідентифікації та типології річок басейну верхньої Тиси (в межах України) є без перебільшення актуальним та важливим. Основна частина Верхньої Тиси є транскордонною. На даний час саме ця частина річкового басейну в межах всієї України викликає чи не найбільшу зацікавленість з боку країн ЄС, які розташовані у Дунайському басейні. На рис. 1 представлена ідентифікація водних масивів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) [2, 9, 12]. Необхідною умовою процесу ідентифікаціє є проведення типології, з метою визначення типоспецифічних гідроморфологічних, біологічних та фізико-хімічних умов, які б представляли даний водний масив у первинних референційних умовах.

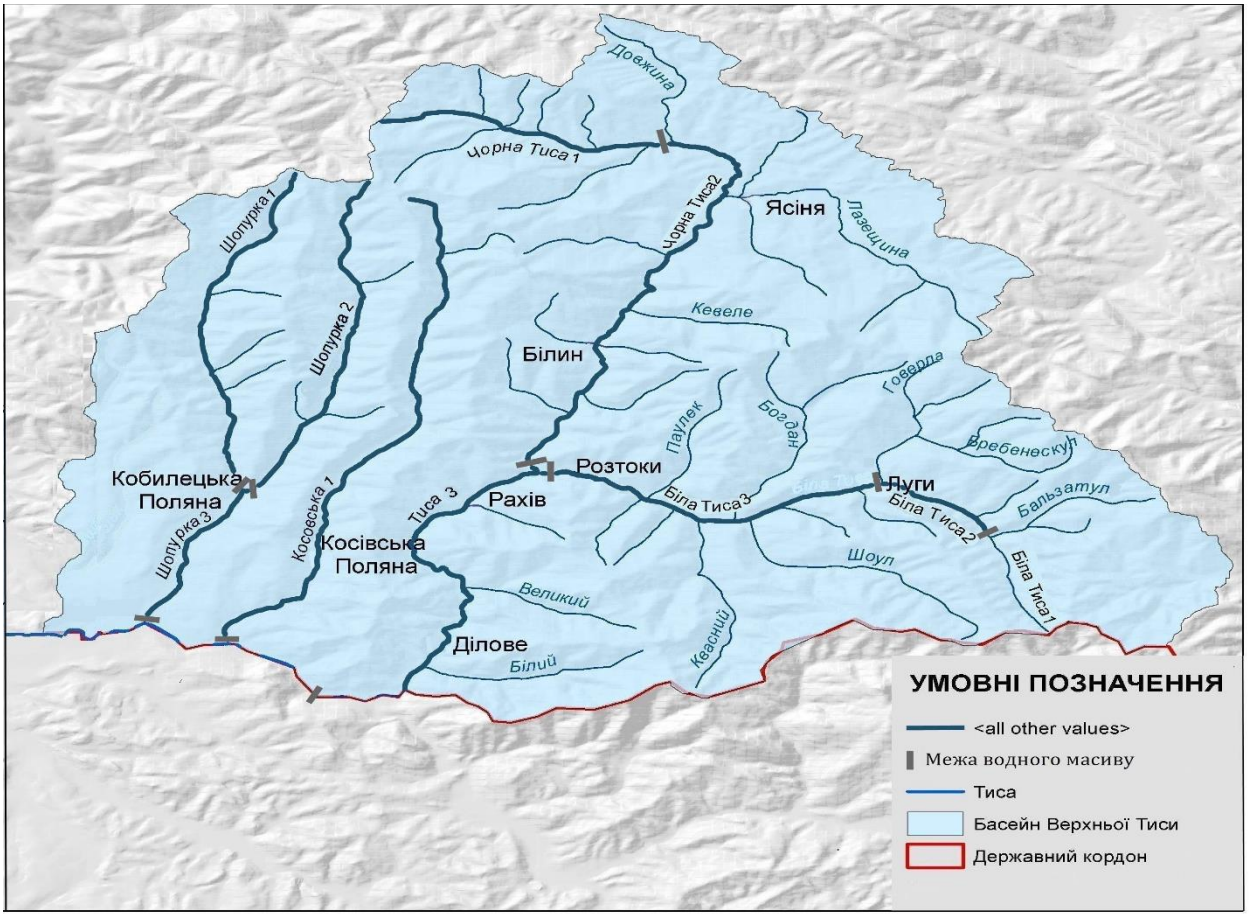


Рис. 1. **Ідентифікація водних масивів для річок верхньої частини Тиси (в межах України)**

Враховуючи вищенаведені положення, на річках верхньої частини Тиси (в межах України) ідентифіковано десять водних масивів (табл.1, рис.2)

При виділенні водних масивів для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) використовувалась інформація про об'єкти природо-заповідного фонду. Розглянуто всього 47 річок в межах досліджуваної території. Основні річки верхньої частини басейну Тиси (в межах України) знаходяться в межах 62 водних масивів. Для річки Чорна Тиса виділяються три водних масиви, для річки Біла Тиса – три (Біла Тиса 1, Біла Тиса 2 та Біла Тиса 3). Натомість для річок Тиса та Косівська Поляна - 2 , на Тисі два водні масиви, а для річки Шопурка - три водних масиви (Шопурка1, Шопурка2, Шопурка3) (табл. 1 та рис.2).

Таблиця 1. **Ідентифікація та типологія водних масивів категорії річки для річок верхньої частини Тиси (в межах України)** [2,13,14,15]

Водний масив	Назва типу річки	Межі водного масиву	Довжина водного масиву, км	№ ДО	Руслові донні наноси	Приклад річок	Об'єкти в зоні ПЗФ
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Чорна Тиса	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Витік - гирло р. Довжина	17	ДО1, ДО2, ДО3, ДО5	Валунні, гальково-валунні	Апшинець,Середній Плецький, Станіслав, Довжина	Довжина
		гирло р. Довжина - злиття з Білою Тисою (с. Розтоки)	33	ДО4, ДО6, ДО7, ДО8	Валунні, гальково-валунні	Стебна, Лазещина, Лопушанка, Свидовець, Тропинець, Кевеле, Тростенець, Красиленка, Білинський, Сітни, Терентин	Лазещина Лопушанка Свидовець Тропинець Кевеле Тростенець Красиленка
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї		50	-	Валунні, гальково-валунні	Чорна Тиса	Чорна Тиса
Біла Тиса	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Витік - гирло р. Бальзатул	8	ДО1, ДО11	Валунні, гальково-валунні	Бальзатул Воскула	-
	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї			-	Гальково-валунні, галькові	Стоговець	
	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Гирло р. Бальзатул - впадіння р. Говерла (с.Говерла)	7	ДО12	Валунні, гальково-валунні	Говерла, Озирни, Бутний, Бербенескул	Говерла Озирни Бутний Бербенескул
	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Впадіння р. Говерла (с. Говерла) - злиття з Чорною Тисою	19	ДО14, ДО16	Валунні, гальково-валунні	Богдан, Гарманескуль, Рогнескуль,Паулек	Богдан Гарманескуль Рогнескуль Паулек

Продовження табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Косівська	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Витік – злиття з Тисою (с. Розтоки)	41	ДО13, ДО15	Валунні, гальково-валунні	Росішка	-
	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї				Гальково-валунні, галькові	Лешул, Бребоя Потік, Шаул, Квасний, Видричка	Квасний
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї		34	ДО9	Валунні, гальково - валунні	Біла Тиса	-
Тиса	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї	Злиття Чорної і Білої Тиси - впадіння р. Вішеу	28	ДО17	Гальково-валунні, галькові	Великий, Білий, Кіен, Сванський	Великий Білий
	Великі річки у Вапнякових породах на середньогір'ї			ДО18, ДО19	Гальково-валунні, галькові	Тиса	Тиса
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї			ДО20	Валунні, гальково - валунні	Косівська	Косівська
Шопурка	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Витік - гирло р. Мала Шопурка	28	ДО21	Валунні, гальково - валунні	Куртянський, Шанта, Довгий	-
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї				Валунні, гальково - валунні	Мала Шопурка	-
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Витік - Гирло р. Середня Ріка	27	ДО22	Валунні, гальково - валунні	Середня	-
		Злиття Малої Шопурки і Сердньої Ріки - впадіння в р. Тиса	16	ДО23	Валунні, гальково - валунні	Шопурка	Шопурка

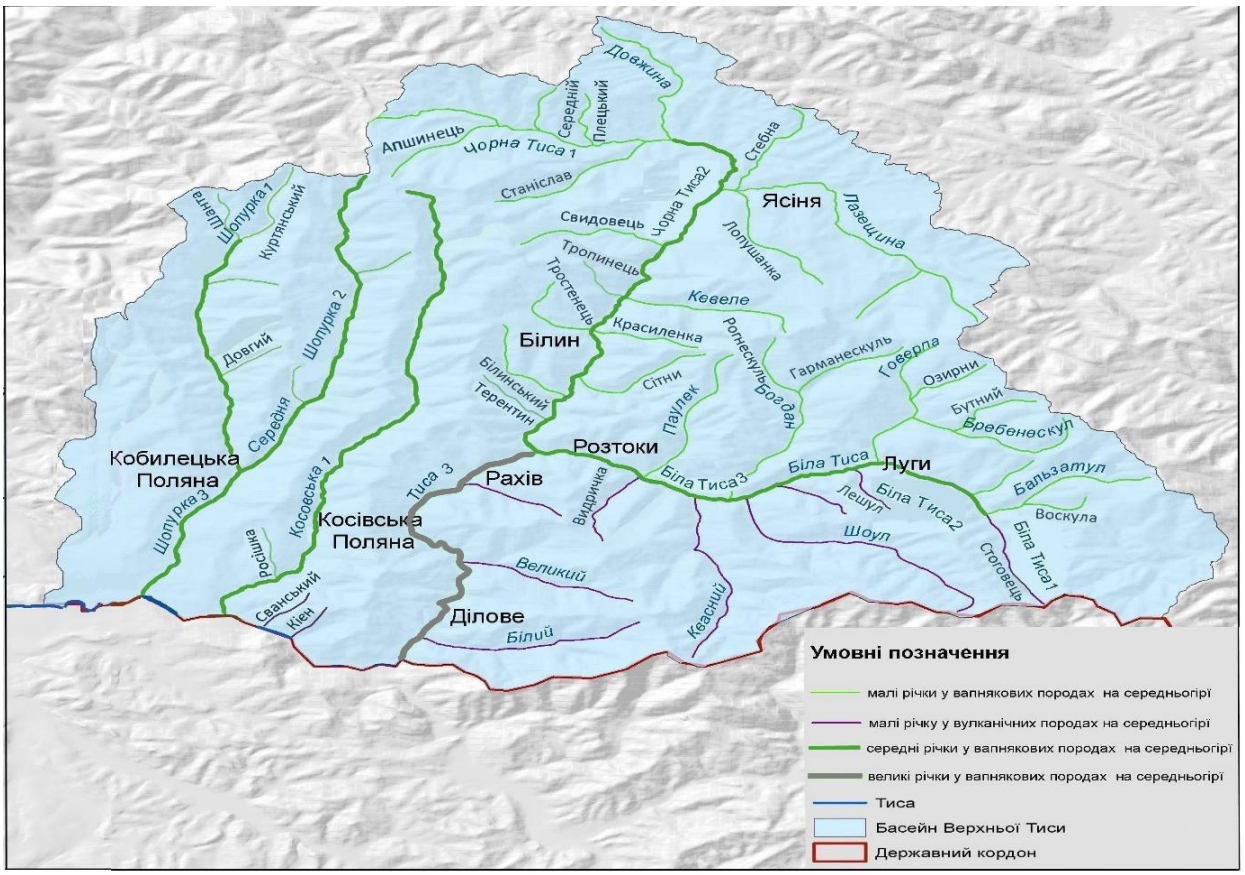


Рис. 2. **Типологія річок верхньої Тиси (в межах України)**

Гідроморфологічна оцінка базується на принципі, за яким найвищий клас (близький до природного) досягається при максимально можливому наближенні сучасних фактичних гідроморфологічних умов до референційних. [16, 17]. Головним джерелом інформації для визначення вказаних умов слугують старі топографічні карти, архівні відомості включаючи історичні, геологічні карти і карти ґрунтів та рослинності; шари геоінформаційних баз даних, що відображають землекористування, гідротехнічні споруди і об'єкти, аеро і космічні знімки; інформацію з водокористування, а також данні польових досліджень, що проводилися в минулому.

Оцінка гідроморфологічного стану водотоків для річок верхньої частини Тиси (в межах України) виконана на основі запропонованих методичних підходів, які відпрацьовані на конкретних водних об'єктах річок басейну Тиси [2, 5, 7, 10]. Під час польових експедиційних досліджень виконана оцінка гідроморфологічного стану річок.

За результатами цих робіт були складені протоколи гідроморфологічної оцінки, для двадцяти трьох ДО, по яких потім визначався загальний гідроморфологічний стан для всього водного масиву (табл. 2). В табл. 2 наведено загальний показник гідроморфологічного стану, й і кожну з чотирьох категорій, за якими проводять гідроморфологічну оцінку, а саме: русло річки, внутрішні характеристики потоку, берег і прибережну зону та заплаву. Такий підхід є універсальним і комплексним. Він дає змогу оцінити окремі гідроморфологічні елементи, по яких потім встановлюється загальний стан. Це в подальшому, при розробці заходів допоможе розробити конкретні рекомендації по кожному з елементів русло-заплавного комплексу.

Результати гідроморфологічної оцінки показали, що перший клас притаманний для шістнадцяти ДО, другий клас для п'яти і третій клас для двох ділянках табл. 2 і рис. 3.

Характеризуючи кожен з елементів гідроморфологічного стану, варто відзначити, що русло та внутрішні характеристики потоку – на всіх досліджуваних ділянках обстеження відповідають першому класу, тобто відмінному стану (див. табл. 2).

Проте, зростання антропогенного навантаження на річкові системи даної частини басейну не лишається непоміченим, і це можна констатувати за результатами оцінки наступних двох категорій – берег і прибережова зона та заплава. У табл. 2 представлена досить строката картина кольорів, що вказує на те, що природний стан цих елементів на багатьох ДО порушений.

Таблиця 2. **Результати гідроморфологічної оцінки річок верхньої частини Тиси (в межах України)** [5,7,8,10,11]

№	Річка - ДО	Бальна оцінка					Оцінка гідро-морфо-логічного стану
		Русло	Внутрішні характеристики потоку	Берег і прибережна зона	Заплава	Загальний Показник	
1	р. Чорна Тиса – ур Околи	1,00	1,16	1,16	1,25	1,14	відмінний
2	р. Чорна Тиса – злиття з р. Апшинець	1,00	1,23	1,00	1,35	1,14	відмінний
3	р. Чорна Тиса- стр. Середній	1,13	1,16	1,30	1,75	1,33	відмінний
4	р. Чорна Тиса – смт. Ясіня	1,33	1,00	2,67	2,75	1,94	добрий
5	р. Станіслав – с. Чорна Тиса	1,00	1,00	1,23	1,00	1,06	відмінний
6	р. Довжина –с. Чорна Тиса	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	відмінний
7	р. Лазещина – база Козмещик	1,00	1,00	1,17	1,25	1,1	відмінний
8	р. Лазещина – смт. Ясіня	1,00	1,00	1,43	2,25	1,42	відмінний
9	р. Біла Тиса - с. Розтоки	1,67	1,00	2,17	3,5	2,08	добрий
10	р. Стоговець - с. Луги	1,00	1,13	1,67	1,00	1,28	відмінний
11	р.Бальзатул - вище с. Луги	1,00	1,00	1,1	1,00	1,04	відмінний
12	р. Говерла - с. Говерла	1,27	1,17	2,5	2,5	1,86	добрий
13	р. Шоул - с. Богдан	1,13	1,00	1,47	1,20	1,20	відмінний
14	р. Богдан – с. Богдан	1,00	1,00	1,33	1,50	1,21	відмінний
15	р. Квасний - с. Богдан	1,67	1,17	2,5	2	1,83	добрий
16	р. Паулек – с. Видричка	1,00	1,00	2	2,5	1,62	відмінний
17	р. Білий- с. Ділове	1,00	1,00	1,00	1,25	1,06	відмінний
18	р. Тиса – м. Рахів	2,33	1,50	3,33	4,0	2,79	задовільний
19	р. Тиса – с. Ділове	1,50	1,33	3,92	4,50	2,81	задовільний
20	р. Косівська – с. Косівська Поляна	1,00	1,00	1,66	1,5	1,29	відмінний
21	р. Мала Шопурка – с. Кобилецька Поляна	1,00	1,08	1,3	1,45	1,21	відмінний
22	р. Середня - с. Кобилецька Поляна	1,00	1,16	1,33	1,3	1,19	відмінний
23	р. Шопурка – с. Кобилецька Поляна	1,27	1,13	2,2	2,5	1,77	добрий

За категорією берег і приберегова зона 15 ділянок обстеження відповідають першому класу (ДО1, ДО2, ДО3, ДО5, ДО6, ДО7, ДО8, ДО10, ДО11, ДО13, ДО14, ДО17, ДО20, ДО21, ДО22), 5 ділянок має другий клас (ДО9, ДО12, ДО15, ДО16, ДО23). Для ділянок третього класу погіршення гідроморфологічного стану викликане наявністю берегоукріплень на річці, що викликало й зміну берегового профілю. Як правило, такі ділянки приурочені до місць близького примикання автомобільних доріг (ДО4, ДО18). Для ДО19 характерним є четвертий клас. Вищенаведені ділянки обстеження відповідають поганому гідроморфологічного стану, що викликано найбільшим антропогенним впливом на прибережову зону, а саме, наявністю мосту та прилягання до неї автомобільної дороги. Таким чином перший клас гідроморфологічної якості відповідає двом водним масивам на р. Чорна Тиса, р. Шопурка, трьом водним масивам на р. Біла Тиса, та одному водному масиву на р. Тиса та р. Косівська. Другий клас відповідає двом масивам на р. Біла Тиса і одному водному масиву на р. Шопурка. Третій клас та четвертий класи гідроморфологічної якості відповідають одному масиву на р. Чорна Тиса та р. Тиса і одному водному масиву на р. Тиса (див. табл. 1).

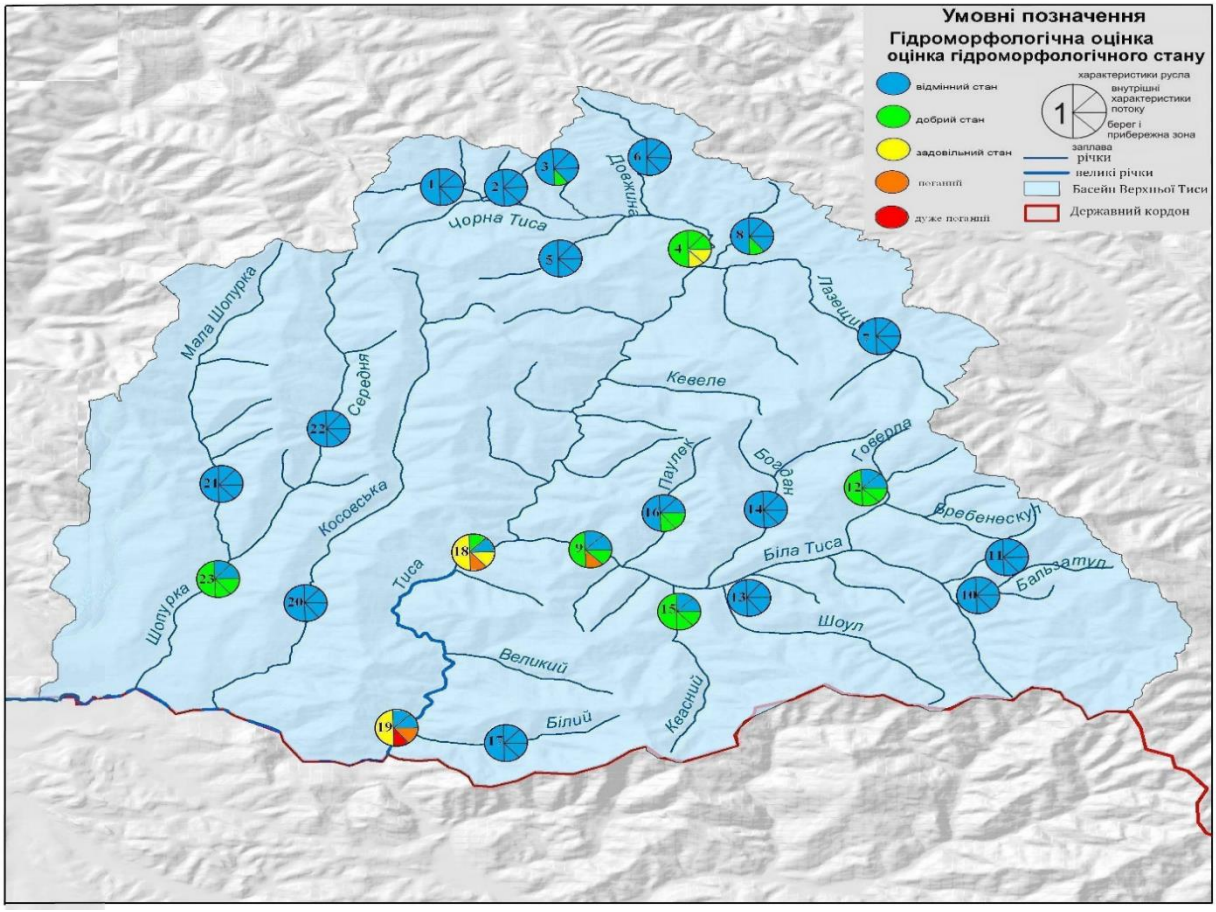


Рис.3. **Оцінка гідроморфологічного стану річок верхньої частини Тиси (в межах України)** [5,7,8,10,11]

Щодо останньої категорії якою є заплава, то тут, як видно з табл. 3, можна помітити діапазон чотирьох кольорів, що вказує різний гідроморфологічний стан в даній категорії – від природного, до поганого. Саме заплави гірських річок, є найуразливішим елементом щодо штучних змін. В межах досліджуваної території на 13 ДО, що відповідають одному типу річкового водного масиву для річок Тиса, Косівска, двом водним масивам для р. Чорна Тиса, Шопурка та трьом водним

масивам для річки Біла Тиса, заплава за гідроморфологічним станом відноситься до першого класу (ДО1, ДО2, ДО5, ДО6, ДО7, ДО10, ДО11, ДО13, ДО14, ДО17, ДО20, ДО21, ДО22), 6 ділянок відповідають другому класу, що відповідають двом водним масивам для р. Чорна Тиса, трьом водним масивам для р. Біла Тиса та одному водном масиву для р. Шопурка (ДО3, ДО8, ДО12, ДО15, ДО16, ДО23), натомість 2 ділянки – третьому класу, що відповідає одному водному масиву для річок Біла Тиса та Тиса (ДО9, ДО18), і 1 ділянка, що відповідає одному водному масиву р. Біла Тиса – четвертому класу (ДО19) (див. табл. 1, табл. 2).

Таблиця 3. **Загальна оцінка гідроморфологічного стану водних масивів річок басейну верхньої Тиси (в межах України)** [5]

Водний масив	Назва Типу річки	Довжина водного масиву, км	№ ДО	Руслові донні наноси	Оцінка гідро-морфологічного стану
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Чорна Тиса	Малі річки у вап-някових породах на середньогір'ї	17	ДО1, ДО2, ДО3, ДО5	Валунні, гальково-валунні	Відмінний
		33	ДО4	Валунні, гальково-валунні	Добрий
			ДО6, ДО7, ДО8		Відмінний
	Середні річки у вапнякових поро-дах на середньогір'ї	50	-	Валунні, гальково-валунні	Відмінний
Біла Тиса	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	8	ДО10, ДО11	Валунні, гальково-валунні	Відмінний
	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї		-	Гальково-валунні, галькові	Відмінний
	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	7	ДО12	Валунні, гальково-валунні	Добрий
	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	19	ДО14, ДО16	Валунні, гальково-валунні	Відмінний
	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї		ДО13	Гальково-валунні, галькові	Відмінний
			ДО15		Добрий
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	34	ДО9	Валунні, гальково-валунні	Добрий
Тиса	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї	28	ДО17	Гальково-валунні, галькові	Відмінний
	Великі річки у вапнякових породах на середньогір'ї		ДО18, ДО19	Гальково-валунні, галькові	Задовільний
Косів-ська	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	41		Валунні, гальково-валунні	Відмінний
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї		ДО20	Валунні, гальково-валунні	Відмінний

Продовження таблиці 3

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Шопурка	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	28	ДО21	Валунні, галькова-валунні	Відмінний
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї			Валунні, галькова-валунні	Відмінний
	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	27	ДО22	Валунні, галькова-валунні	Відмінний
		16	ДО23	Валунні, галькова-валунні	Добрий

Незначне відхилення від природного стану по категорії заплава обумовлена зміною природної рослинності. У випадках, коли клас нижче другого, на ділянках крім зазначеного є зміненою ширина затопленяя заплави. Це спричинене звуженням заплавного коридору внаслідок спорудження автомобільних та залізничних доріг або протипаводкових дамб.

Загальний гідроморфологічний стан на досліджуваних водних масивах є відмінним у шістнадцяти випадках, що відповідає всім водним масивам вказаної території. Варто відмітити, що у п'яти випадках (ДО5, ДО6, ДО7, ДО11, ДО17), що відповідає одному водному масиву для річок Біла Тиса та Тиса та двом водним масивам для р. Чорна Тиса (див. табл. 1, табл. 2), де спостерігаються гідроморфологічні умови, які є близькими до референційних (загальний показник не перевищує 1,10). [2, 10]. Ці ділянки мають найменше антропогенне навантаження і знаходяться в природних умовах. Подальший аналіз інформації, наведеної в табл. 3, засвідчує, що другому класу (ДО4, ДО9, ДО12, ДО15 і ДО23) відповідають ділянки для одного водного масиву на річках Чорна Тиса і Шопурка, та трьох водних масивів на р. Біла Тиса, де найбільшу видозмінність мають категорії берега і прибережної зони та заплави. Для них треба передбачати заходи стосовно збереження і (за наявності третього класу категорії) покращення гідроморфологічного стану. Для ДО18 і ДО19, які притаманні для одного водного масиву на р. Тиса характерним є задовільний третій клас гідроморфологічної якості. Найгіршу ситуацію тут мають знов-таки категорії берега і прибережної зони та заплави, які вже характеризуються поганим і дуже поганим станом. Враховуючи значне селитебне навантаження на цих ділянках і наявність низки гідротехнічних протипаводкових споруд, їх доцільно перевести у кандидати до істотно змінених водних об'єктів, для яких немає необхідності визначати гідроморфологічний стан [7,10].

Згідно основних положень ВРД ЄС [3] оцінка гідроморфологічного стану річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) має завершуватись загальною оцінкою гідроморфологічного стану її водних масивів. Саме для водного масиву, а не для ділянки обстеження розробляються певні заходи, спрямовані на збереження або поліпшення цього стану. Наведені всі ДО (див. табл. 3), які належать окремим водним масивам річок басейну та усереднений їхній гідроморфологічний стан [5]. Оцінюючи дані зазначеного стану видно, що для малих та середніх річок на середньогір'ї притаманний переважно відмінний і добрий стан, що відповідає всім водним масивам. Натомість, для великих річок на середньогір'ї характерним є задовільний гідроморфологічний стан, що відповідає водному масиву на річці Тиса

(ДО18, ДО19). Таким чином, малі і середні річки потребують значно меншої уваги стосовно реалізації заходів до покращення гідроморфологічного стану, а великі річки, в свою чергу, потребуються достатньо заходів щодо покращення їх гідроморфологічного стану.

Варто відмітити, що вищевикладені умови загального гідроморфологічного стану річок верхньої частини Тиси (в межах України) добре співвідносять з виконаними дослідженнями стосовно формування і розповсюдження типів русел річок вказаного водозбору рис. 4 [13].

Для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) за даними ділянок обстежень (ДО) (див. табл. 3) були побудовані співвідношення між типом русла і гідроморфологічним станом річок (рис. 5).

Також варто відмітити, що для водних масивів, які розташовані на річках верхньої частини басейну Тиси (в межах України) характерні такі типи русел:

1) р. Чорна Тиса (поріжно – водоспадні і русла з нерозвинутими алювіальними формами);

2) р. Біла Тиса превалюючи ми є русла з нерозвинутими алювіальними формами і розвинутими алювіальними формами;

3) для р. Тиса притаманним є русла з розвинутими алювіальними формами;

4) р. Косівська (русла з нерозвинутими алювіальними формами);

5) р. Шопурка характерними є русла з нерозвинутими і розвинутими алювіальними формами табл. 4.

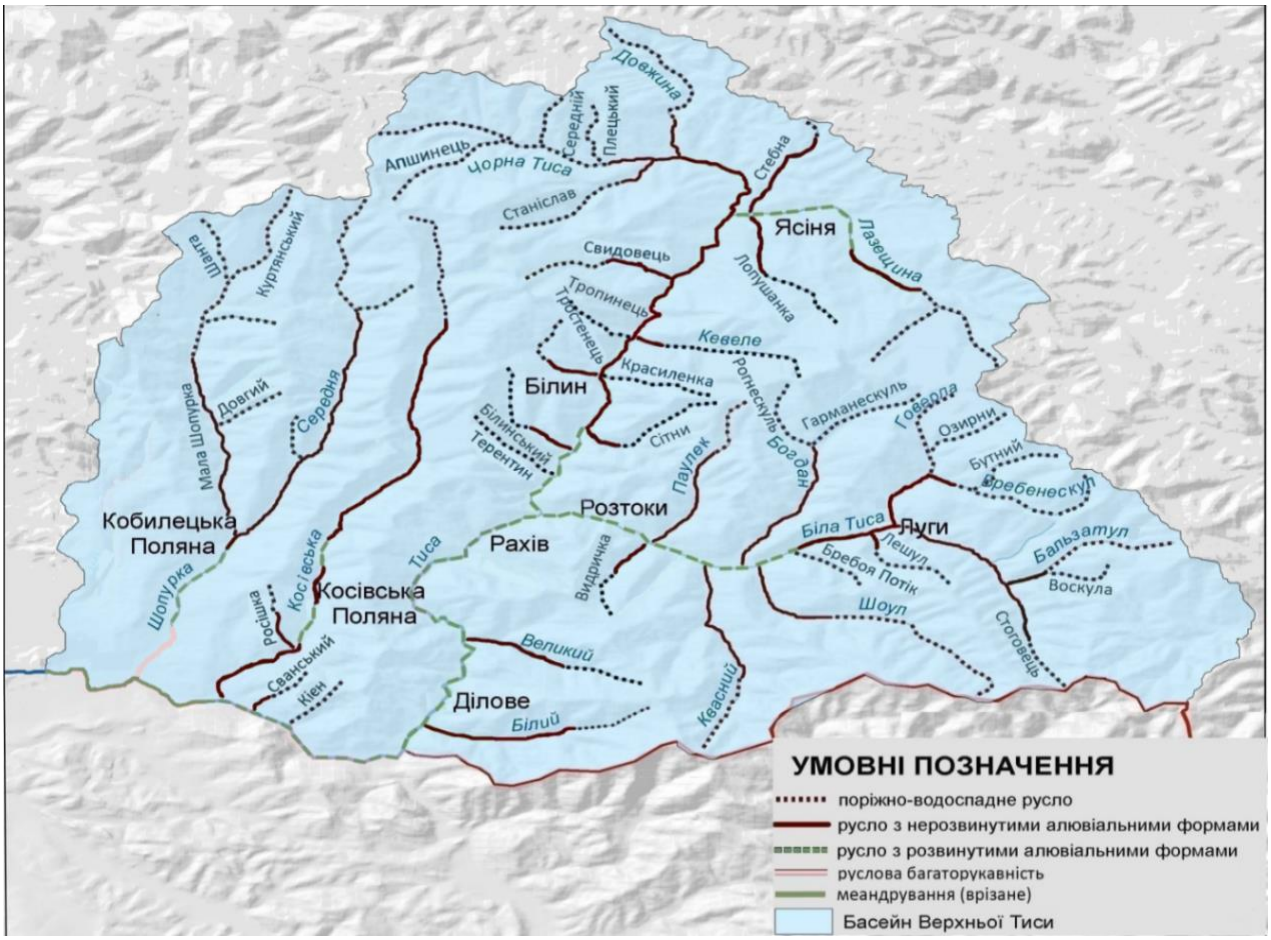


Рис. 4. **Типи русел річок верхньої частини Тиси (в межах України)** [13]

Таблиця 4. **Загальна характеристика типів русел які відповідають водним масивам для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)**

№ п/п	Тип русла	ДО	Тип водного масиву	Назва водного масву	Оцінка гідромор-фологічно-го стану
1	Поріжно - водоспадне	1	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
2	Поріжно - водоспадне	2	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
3	Поріжно - водоспадне	3	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
4	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	4	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	добрий
5	Поріжно - водоспадне	5	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
6	Поріжно - водоспадне	6	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
7	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	7	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
8	Русло з розвинутими алювіальними формами	8	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Чорна Тиса	відмінний
9	Русло з розвинутими алювіальними формами	9	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	добрий
10	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	10	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	відмінний
11	Поріжно - водоспадне	11	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	відмінний
12	Поріжно - водоспадне	12	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	добрий
13	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	13	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї	Біла Тиса	відмінний
14	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	14	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	відмінний
15	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	15	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї	Біла Тиса	добрий
16	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	16	Малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Біла Тиса	відмінний
17	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	17	Малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї	Тиса	відмінний
18	Русло з розвинутими алювіальними формами	18	Великі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Тиса	задо-вільний
19	Русло з розвинутими алювіальними формами	19	Великі річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Тиса	задо-вільний
20	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	20	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Косівська	відмінний
21	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	21	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Шопурка	відмінний
22	Русло з нерозвинутими алювіальними формами	22	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Шопурка	відмінний
23	Русло з розвинутими алювіальними формами	23	Середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї	Шопурка	добрий

Аналіз рис. 5, демонструє, що для поріжно–водоспадних русел, які притаманні верхів'ям, й відповідають типу водних масивів – малі річки у вапнякових породах на середньогірї валунно-галькові –гідроморфологічний стан є близьким до природного. Це пояснюється відсутністю антропогенного і селитебного навантаження і значними висотними відмітками на вказаному водозборі (див. табл. 3, табл.4, рис. 5).

Що стосується другого класу (добрий стан), то тільки три ДО (ДО4, ДО9, ДО12) (див. табл. 3) відповідають руслам з нерозвинутими алювіальним формам (див. рис 4, 5), які відповідають малим та середнім річкам на середньогір'ї з переважанням валунних та гальково-валунних наносів. В свою чергу чотири ДО (ДО8, ДО13, ДО14) відносять до першого класу (відмінний стан), які віповідають малим річкам у вапнякових породах на середньогір'ї з переважанням валунних наносів (див. табл. 4). Це пов'язано, в першу чергу, з наявністю берегозахисних споруд, які були побудовані після проходження катастрофічного паводку 2008 року на водозборах вищенаведених ділянок обстежень. Для інших ДО, які відносяться вищенаведеного типу русла антропогенний вплив незначний, тому вони відповідають першому класу гідроморфологічної якості.

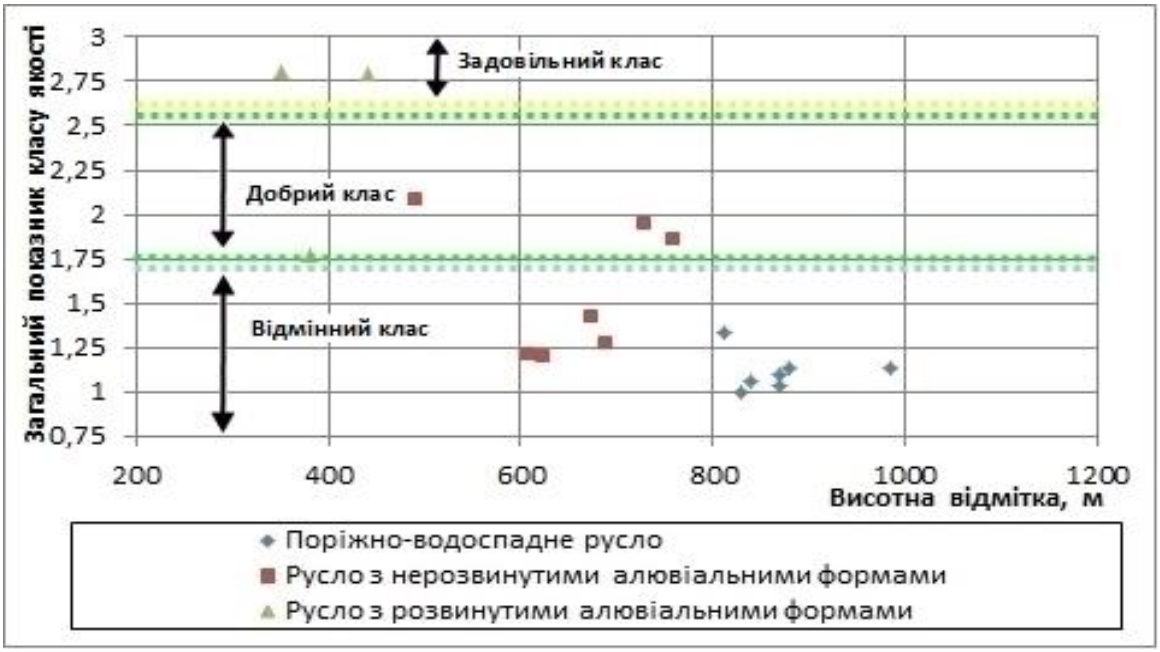


Рис. 5. **Співвідношення між типом русла і гідроморфологічним класом якості для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)**

Русла з розвинутими алювіальними формами (див. рис. 4, 5) притаманні типу водного масиву – великі річки на середньогір'ї з переважанням галькових наносів (див. табл. 4), шо відповідають третьому класу (задовільний стан) гідроморфологічного стану. Руслові деформації цих типів русел більш динамічні, долини річок більш широкі, що повэязано господарюванням, селитебним навантаженням, наявністю руслорегулюючих та паводкозахисних споруд. Все це викликає незначні відхилення гідроморфолгічного стану водних масивів (див. табл. 3).

Висновки. За результатими ідентифікації водних масивів для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) виділено 10 водних масивів.

Типологія 47 річок верхньої частини Тиси (в межах України) засвідчила 4 типи водних масиви: 1) малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї (30 річок), 2)

малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї (10 річок), 3) середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї (6 річок), 4) великі річки у вапнякових породах на середньогір'ї (1 річка).

Щодо підсумку загального гідроморфологічного стану на досліджуваних водотоках, можна сказати, що він є відмінним у шістнадцяти випадках, що відповідає всім водним масивам вказаного водозбору. Варто відмітити, що у п'яти випадках (ДО5, ДО6, ДО7, ДО11, ДО17), що відповідає одному водному масиву для річок Біла Тиса та Тиса та двом водним масивам для р. Чорна Тиса, де спостерігаються гідроморфологічні умови, які є близькими до референційних (загальний показник не перевищує 1,10). Другому класу (ДО4, ДО9, ДО12, ДО15 і ДО23) відповідають ділянки для одного водного масиву на річках Чорна Тиса і Шопурка, та трьох водних масивів на р. Біла Тиса. Для ДО18 і ДО19, які притаманні для одного водного масиву на р. Тиса характерним є задовільний третій клас гідроморфологічної якості.

Поріжно – водоспадні русла, які притаманні верхів'ям, й відповідають типу водних масивів – малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї валунно-галькові – характеризуються гідроморфологічним станом близьким до природного і мають перший клас (відмінний стан) гідроморфологічної якості. Що стосується другого класу, то тільки три ДО (ДО4, ДО9, ДО12) відповідають руслам з нерозвинутими алювіальним формам, які відповідають малим та середнім річкам на середньогір'ї з переважанням валунних та гальково-валунних наносів. В свою чергу чотири ДО (ДО8, ДО13, ДО14) відносять до першого класу (відмінний стан), які віповідають малим річкам у вапнякових породах на середньогір'ї з переважанням валунних наносів. Русла з розвинутими алювіальними формами притаманні типу водного масиву – великі річки на середньогір'ї з переважанням галькових наносів, шо відповідають третьому (задовільному) класу гідроморфологічного стану.

Список літератури

1. *Аналіз стану* басейну Тиси. За ред О.Є. Ярошевич. – К.: Видавництво СП «Технодрук», 2008. – 82 с. **2.** *Виконати оцінку* гідроморфологічного стану річок басейну верхньої тиси (до держкордону з Румунією) та розробити рекомендації стосовно ефективного управління русловими процесами в контексті протипаводкового захисту від шкідливої дії вод: Зак. звіт. КНУ імені Тараса Шевченка К.: 2010. – 161 с. - 0110U005517. **3.** *Водна Рамкова Директива* ЄС 2000/60/ЄС : основ. терміни та їх визначення / [підгот.: Алієв К. та ін.]. — Вид. офіц. — К. : [б. в.], 2006. — 240 с. **4.** *Водний кодекс України* : офіц. текст із змінами станом на 04 серп. 2016 р. № 1990-III // Відом. Верховної Ради України. — 2001. — № 2/3. — Ст. 10. **5.** *Впровадження* методики гідроморфологічної оцінки якості річок басейну Латориці для прийняття оптимальних водогосподарських управлінських рішень: Зак. звіт. КНУ імені Тараса Шевченка К.: 2008. - 163 с.- № др. 0108U007524. **6.** *Данько К.Ю.* Типологія та ідентифікація водних об'єктів басейнів річок Сірету та Пруту в межах України / К.Ю. Данько, О.С. Коноваленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2010. - Т. 4. - С. 75-82. **7.** *Екологічний стан водотоків басейну Верхньої Тиси* (українсько – румунська ділянка) / За ред. С.О. Афанасьева – Ужгород «УВА», 2010. – 36с. (О.Г. Ободовський, О.Е. Ярошевич, О.С. Коноваленка, З.В. Розлач). **8.** *Ідентифікація* та типологія водних об'єктів Верхньої Тиси / О.Г. Ободовський, О.С. Коноваленко, З.В. Розлач, О.Є. Ярошевич // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2010. - Т. 2. - С. 56-64. **9.** *Національний план* управління басейном р. Тиса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://buvrtysa.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final_ost.pdf **10.** *Ободовський О.Г.* Гідроморфологічна оцінка якості річок басейну Верхньої Тиси / О.Г. Ободовський, О.Є. Ярошевич — К.: Інтертехнодрук, 2006. — 70 с. **11.** *Ободовський Ю.О.* Гідроморфологічна оцінка екологічного стану річок басейну Верхньої Тиси. / Ю.О. Ободовський. / В зб.:Шевченківська весна. Вип. XI. - К.: «Обрії», 2013. - С. 106-108. **12.** *Ободовський Ю.О.* Ідентифікація та типологія водних об'єктів Верхньої Тиси. / Ю.О. Ободовський. В зб.:Молоді науковці - географічній науці. Вип. IX. - К.: Видавництво «Обрії»,

2013. - С. 147-149. **13.** *Ярошевич О.Є.* Гідроморфологічна оцінка екологічного стану Верхньої Тиси на ділянці українсько –румунського кордону відповідно до положень ВРД ЄС та вимог МКЗРД / О.Є. Ярошевич // Звіт по компоненту проекту №1, захід №3. К. : Київ, 2009. – 137. **14.** *Ярошевич О.Є.* Гідроморфологічна оцінка екологічного стану річок басейну Тиси в межах України. / О.Є. Ярошевич - : Дис... канд. наук: 11.00.07 - 2008. **15.** *Andrey Kovalchuk* et al. Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of watercourses). / Andrey Kovalchuk, Oleksandr Obodovskyi, Volodymyr Shcherbak – Uzhgorod-L'viv-Kyiv: Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society "Uzh", 2016. – 195 p. **16.** *EN 14614:2004*. Water Quality. Guidance Standard for assessing the hydromorphological features of rivers / CEN, European Committee for Stantardization. — Brussels : CEN, European Committee for Stantardization, 2005 — 24 p. **17.** *EN TC 230/WG 2* / TG5: N53.Water Quality. Guidance standard on Assessing River Quality based on Hydromorphological Features / CEN, European Committee for Stantardization — Brussels : CEN, European Committee for Stantardization, 2007. — 13 p. **18.** *Fleischhacer T.* Ecomorphological Survey of Large Rivers / T. Fleischhacer, K. Kern. — Hamburg: German Institute of Hydrology, 2000 — 32 p. **19.** *Identifitication of water bodies:* CIS Guidance document [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents. — Назва з екрану. **20.** *prEN 14996:2004. Water quality* - Guidance on assuring the quality of biological and ecological assessments in the aquatic environment. Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.nen.nl/pdfpreview/preview_96655.pdf **21.** *Rivers and Lakes: typology*, reference conditions and classification systems [Електронний ресурс]: CIS Guidance document. — Режим доступу: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents. — Назва з екрану.

Гідроморфологічна оцінка екологічного стану річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Коноваленко О.С.

За результатими ідентифікації водних масивів для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) виділено 10 водних масивів. Встановлено, що за результатами оцінок для 47 річок виділено 4 типи річок: 1)малі річки у вапнякових породах на середньогір'ї (30 річок), 2)малі річки у вулканічних породах на середньогір'ї (10 річок), 3)середні річки у вапнякових породах на середньогір'ї (6 річок), 4)великі річки у вапнякових породах на середньогір'ї (1 річка). Встановлено, що за результатами гідроморфологічної оцінки (за даними 23 ДО) першому класу відповідає 16 ДО, які відповідають 10 водним масивам, другому класу 5, які відповідають одному водному масиву для річок Чорна Тиса і Шопурка та трьох водних масивів для р. Біла Тиса і третьому класу 2 ДО в межах одного водного масиву на р. Тиса. Для 5 ДО в межах одного водного масиву для р. Чорна Тиса та Тиса та двом водним масивам для р. Чорна Тиса спостерігаються гідроморфологічні умови, які є близькими до референційних (загальний показник не перевищує 1,10). Встановлено, що відмінний гідроморфологічний клас у цілому відповідає поріжно – водоспадним руслам, для русел з нерозвинутими алювіальними формами характерні три ДО з відмінним і 4 ДО з добрим класами та третій (задовільний клас) в цілому відповідає руслам з розвинутими алювіальним формам.

Ключові слова: *ідентифікація, типологія, водний масив, гідроморфологічний клас якості, гідроморфологічна оцінка, типи русел.*

Гидроморфологическая оценка экологического состояния рек верхней части бассейна Тисы (в пределах Украины)

Ободовский Ю.А., Хильчевский В.К., Ободовский А.Г., Коноваленко А.С.

По результатам идентификации водных массивов для рек верхней части бассейна Тисы (в пределах Украины) выделено 10 водных массивов. Установлено, что по результатам оценок для 47 рек выделено 4 типа рек: 1) малые реки в известняковых породах на среднегорье (30 рек), 2) малые реки в вулканических породах на среднегорье (10 рек), 3) средние реки в известняковых породах на среднегорье (6 рек), 4) большие реки в известняковых породах на среднегорье (1 река).

Установлено, что по результатам гидроморфологической оценки (по данным 23 УО) первому классу соответствует 16 УО, которые соответствуют 10 водным массивам, второму классу 5, которые соответствуют одному водному массива для рек Черная Тиса и Шопурка и трех водных массивов для р. Белая Тиса и третьему классу 2 УО в пределах одного водного массива на р. Тиса. Для 5 УО в пределах одного водного массива для р. Черная Тиса и Тиса и двум водным массивам для р. Черная Тиса наблюдаются гидроморфологические условия, близкие к

первоначальным (общий показатель не превышает 1,10). Установлено, что отличный гидроморфологический класс вцелом соответствует порожно - водопадным руслам, для русел с неразвитыми аллювиальными формами характерны три УО с отличным и 4 УО с хорошим классами и третий (удовлетворительное класс) в целом соответствует руслам с развитыми аллювиальным формам.

Ключевые слова: *идентификация, типология, водный массив, гидроморфологичного класс качества, Гидроморфологическая оценка, типы русел.*

Hydromorphological assessment of the ecological state of the rivers of upper Tisza basin (within Ukraine)

Obodovskyi Iu.O., Khilchevskyi V.K., Obodovskyi O.G., Konovalenko O.S.

According to the results of water bodies identification for the rivers of upper Tisza basin (within Ukraine), 10 water bodies were defined. It was established that according to the results of assessments for 47 rivers, 4 types of rivers were specified: 1) small rivers in limestone rock at middle altitude (30 rivers), 2) small rivers in volcanic rocks at middle altitude (10 rivers), 3) medium rivers in limestone rock at middle altitude (6 rivers), 4) major rivers at limestone rock at middle altitude (1 river). It is found that according to the results of hydromorphological assessment (based on data of 23 surveyed sites), 16 surveyed sites meet the first class, which correspond to the 10 water bordies, 5 surveyed sites reply for the second class, which correspond to one body of water for the rivers Chorna Tisza and Shopurka and three water bodies to Bila Tisza and 2 surveyed sites correspond the third class. 5 surveyed sites within the same body of water for the rivers Tisza and Black Tisza and two water bodies to Black Tisza are characterized by the hydromorphological conditions similar to reference conditions (common index doesn't exceed 1.10). It is established that different hydromorphological classes in general meets the step-waterfall beds, three surveyed sites with excellent class and 4 surveyed sites with good class relate to the beds with undeveloped alluvial forms and third (satisfactory class) as a whole meets the beds with developed alluvial forms. It is found that hydrological assessment of hydromorphological quality of the rivers of upper Tisza (within Ukraine) corresponds to the first quality class except 6 surveyed sites due to bed flow control and availability of old dams within mentioned water catchment area.

Keywords: *identification, typology, water body, hydromorphological quality class, hydromorphological assessment,river bed types.*

Надійшла до редколегії 31.10.2016

УДК 556.5.06

Кожем'якін Д. В., Чорноморець Ю. О.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ХАРАКТЕРИСТИКА ПАВОДКОВОГО РЕЖИМУ Р. ДНІСТЕР – М. ЗАЛІЩИКИ

Ключові слова: *Дністер, паводок, шар стоку, модуль стоку, тривалість паводку, однорідність, багаторічні коливання.*

Вступ. Басейн річки Дністер розташований в зоні розвитку інтенсивної зливової діяльності, особливо правобережна частина, де починаються такі потужні його притоки як Бистриця, Стрий, Свіча, Лімниця та ін., що протікають в горах та передгір'ї Карпат та обумовлюють водний режим самого Дністра (рис.1). Характерною особливістю водного режиму гірської річки є утворення паводків протягом всього року. Такі паводки досить часто набувають катастрофічного характеру і призводять до значних руйнувань житлових будинків, доріг та інших об'єктів інфраструктури регіону.

Метою досліджень є вивчення максимального паводкового стоку річки Дністер за даними гідрологічного поста в м. Заліщики для оцінки основних багаторічних характеристик паводків та їх порівняння в теплий і холодний періоди року.

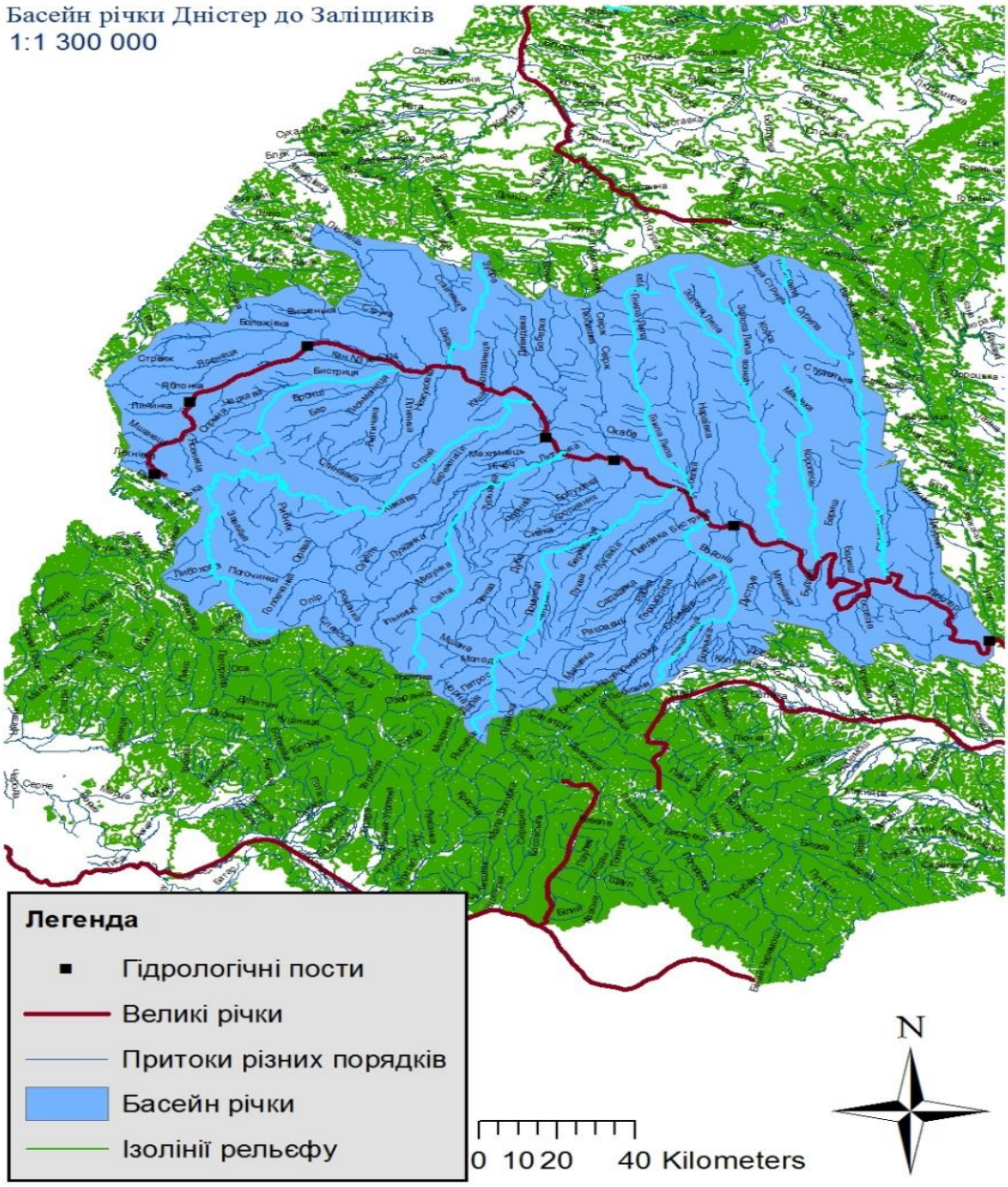


Рис. 1 **Басейн р. Дністер до м. Заліщики (F=24600 км^2)**

Огляд попередніх досліджень. Оскільки паводковий стік є найбільш непередбачуваним і руйнівним гідрологічним явищем для даного річкового басейну, дослідженням паводків на Дністрі займався цілий ряд науковців. В монографії К.Т. Логвинова, А.Н. Раєвського, М.М. Айзенберга представлені основні закономірності просторово-часового розподілу метеорологічних і гідрологічних (паводків) небезпечних явищ в Українських Карпатах [1, 6]. В книзі П.Ф. Вишневського визначено основні характеристики злив та їх розподіл по території, ним також розроблено метод розрахунку максимальних витрат і об'ємів зливового стоку на основі генетичної формули стоку [2].

Пізніше, просторовим розподілом опадів під час дощових паводків на правобережжі Дністра в межах України займалася Н.В. Приймаченко, яка досліджувала, зокрема, залежності максимального стоку дощових паводків від орографічних та гідрометеорологічних умов басейну [10]. Е.Д. Гопченко та ін. у своїх

наукових працях розглядали теоретичну модель формування максимального стоку річок басейну верхнього Дністра [5]. У роботі І. Ковальчука та А. Михновича оцінено розвиток паводків у долині Верхнього Дністра, для чого ними була створена серія картографічних моделей проходження паводків[8]. У праці М.М. Сусідка та ін. [11] на підставі аналізу даних спостережень за 1989-2002 рр. визначені характеристики паводків на річках Карпатського регіону. У каталозі вміщені відомості про кількість паводків в окремі роки, максимальні витрати води, модулі максимальних витрат води та шари стоку за паводки по місяцях та за рік. Саме підхід до відбору паводків, запропонований [11] і використано у даній роботі.

Вихідні передумови. Для отримання бази вихідних даних було опрацьовано гідрологічні щорічники та багаторічні відомості про режим та ресурси поверхневих вод. До паводків, в даному випадку, відносяться ті підйоми, за яких найбільші витрати води перевищували найменші річні максимальні характеристики за багаторічний період [11]. Таким чином, критерієм відбору паводків для теплого періоду була витрата води 304 м^3/с, для холодного періоду – 486 м^3/с. Дощові паводки теплого періоду вибирались від дати кінця останнього піку періоду сніготанення на межі квітня та травня до дати появи осінніх льодових утворень. Змішані паводки холодного періоду формуються у решту періоду року, тобто від дати появи льодових явищ до закінчення останнього піку періоду сніготанення.

Дати початку та кінця самого паводку визначались за гідрографами стоку. В процесі визначень об'ємів паводків базисний стік був виключений. За дату передпаводкової витрати води бралась дата, яка передувала помітному підйому кривої на гідрографі. За дату закінчення паводку бралась дата, яка відповідала витраті води на спаді паводку, близькій до передпаводкової витрати. Багатопіковий паводок (що складається з ряду паводків, які примикають один до одного за тривалий період) не розчленовувався і його об'єм обраховувався як загальний за період проходження паводку. Всі обчислення проведено за гідрологічний рік, початок якого за визначенням [3] кожного року різний, однак для території України він приймається, переважно, за 1 листопада. До основних характеристик паводків які досліджувалися, відносяться: максимальний модуль стоку за паводок, його сумарний шар та тривалість у днях.

Виклад основного матеріалу. Паводки в басейні Дністра нерівномірно розподілені протягом всього року з певними сезонними піками і спадами. Критерій відбору паводків теплого періоду на 37% нижчий за критерій відбору холодного періоду. Це відбувається за рахунок того, що паводки холодного періоду мають переважно змішане живлення, що обумовлює вище значення базисного стоку в нижній частині амплітуди, за яким, власне, і визначається сам критерій. Всього до розрахунку прийнято 422 паводки за період від початку безперервних спостережень на р. Дністер – м. Заліщики (1948 р.) до 2013 р. включно, серед яких 168 паводків відносяться до холодного періоду та 254 – до теплого.

Основні характеристики найбільших паводків окремо для теплого та холодного періоду на р. Дністер в районі м. Заліщики за період безперервних спостережень (1948-2013 рр.) наведено в табл. 1.

Одним з найбільш руйнівних в басейні Дністра був паводок червня-липня 2008 року, який класифікують за розмірами та масштабами збитків як катастрофічний паводок, що охопив шість західних областей України. За період його проходження було підтоплено 20 тисяч будинків, 2020 км доріг, 7 тис. га сільськогосподарських угідь, постраждали сотні мостів, загинуло 13 людей. За попередніми оцінками збитки від паводку 2008 року лише на Івано-Франківщині становлять 1747872,26 тис. гривень [12].

Таблиця 1 **Основні характеристики найвищих паводків на р. Дністер – м. Заліщики (F=24600 км^2), 1948-2013 рр.**

Дата проходження паводку	Максимальна витрата води, м^3/с	Максимальний модуль стоку, л/с*км^2	Сумарний шар стоку (без базисного стоку), мм	Тривалість, діб
Теплий період гідрологічного року				
17-30 липня 1948 р.	3180	129,27	49,2	14
5-30 червня 1969 р.	5970	242,68	108,34	26
21 липня - 4серпня 1974 р.	3300	134,15	33,91	15
3-24 травня 1989 р.	2700	109,76	66,13	22
11 червня - 2 липня 1998 р.	4030	163,82	62,81	22
7-29 вересня 2007 р.	3720	151,22	40,14	23
16 червня - 9 липня 2008 р.	5410	219,92	107,36	25
24 червня - 25 липня 2010 р.	3730	151,63	69,07	32
Холодний період гідрологічного року				
4-18 березня 1948 р.	1230	50,00	10,09	15
10-26 березня 1969 р.	1870	76,02	19,54	17
26 лютого - 15 березня 1978 р.	1710	69,51	31,49	18
27 січня - 11 лютого 1979 р.	1360	55,28	18,77	16
26 березня - 14 квітня 1980 р.	1760	71,54	47,89	20
31 жовтня - 21 листопада 1998 р.	2130	86,59	27,9	22
1-22 березня 1999 р.	1650	67,07	52,64	22
4-15 березня 2001 р.	1790	72,76	18,8	12
13-27 березня 2005 р.	1630	66,26	27,22	15

Оцінка характеристик паводків здійснювалася окремо для теплого та холодного періодів року, а також спільна оцінка всіх паводків разом за гідрологічний рік. Вихідні послідовності перевірено на однорідність за критеріями Фішера, Стьюдента та Вількоксона (табл. 2).

Таблиця 2. **Оцінка однорідності основних складових паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики, 1948-2013 рр.**

Характеристика паводку	Період виділення паводку	Критерій однорідності	Розрахункова статистика	Теоретично допустима довірча область $2\alpha = 5\%$)	Прийнята гіпотеза
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Максимальний модуль стоку(М), л*с/км^2	Гідрологічний рік	F*	1,01	±1,62	Однорідний
		t**	1,49	±1,98	Однорідний
		U***	25203	19805-24715	Не однорідний
	Теплий період	F	1,04	±1,62	Однорідний
		t	0,8	±1,98	Однорідний
		U	8774	6917-9211	Однорідний
	Холодний період	F	1,19	±1,62	Однорідний
		T	2,02	±1,98	Не однорідний
		U	2724	2910-4145	Не однорідний

Продовження табл. 2

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Сумарний шар стоку (Н), мм	Гідрологічний рік	F	1,32	±1,62	Однорідний
		t	1,51	±1,98	Однорідний
		U	24478	19805-24715	Однорідний
	Теплий період	F	1,27	±1,62	Однорідний
		t	0,62	±1,98	Однорідний
		U	8652	6917-9211	Однорідний
	Холодний період	F	1,4	±1,62	Однорідний
		t	1,31	±1,98	Однорідний
		U	3060	2910-4145	Однорідний
Тривалість паводку у днях(Т), доба	Гідрологічний рік	F	1,01	±1,62	Однорідний
		t	0,53	±1,98	Однорідний
		U	23166	19805-24715	Однорідний
	Теплий період	F	1,33	±1,62	Однорідний
		t	0,39	±1,98	Однорідний
		U	8068	6917-9211	Однорідний
	Холодний період	F	1,27	±1,62	Однорідний
		t	0,07	±1,98	Однорідний
		U	3557	2910-4145	Однорідний

Примітка: *F*- критерій Фішера; t**- критерій Стьюдента; U***- критерій Вількоксона*

Оцінюючи всі паводки разом, виявлено порушення однорідності лише в рядах максимального модулю стоку – для холодного періоду за критеріями Фішера та Вількоксона, а для всього гідрологічного року разом лише за критерієм Вількоксона. Таким чином, при виділенні окремо дощових та сніго-дощових паводків для максимального модулю стоку порушення однорідності має місце лише у холодний період, тоді як паводки теплого періоду за всіма критеріями залишаються однорідними. Такий висновок свідчить про доцільність виділення паводків за генетичними ознаками.

Основні статистичні параметри досліджуваних характеристик паводкового стоку р. Дністер – м. Заліщики наведено в табл. 3.

Таблиця 3. **Основні статистичні параметри характеристик паводкового стоку р. Дністер – м. Заліщики за період 1948-2013 рр.**

Характеристика паводку		Статистичний параметр							
		Найбільше значення ряду	Найменше значення ряду	Розмах варіювання	Норма ($\bar{x}$)	Дисперсія (σ^2)	Середнє квадратичне відхилення (σ)	Коефіцієнт варіації (C_v)	Коефіцієнт асиметрії (C_s)
Максимальний модуль стоку (М), л*с/км^2	ТП*	243	12,4	230	41	1154	33,9	0,83	2,47
	ХП**	114	19,8	94,5	39	266	16,3	0,42	1,29
	ГР***	243	12,4	230	40	800	28,3	0,7	2,71
Шар стоку (Н), мм	ТП	108	0,23	108	13	284	16,9	1,25	3,21
	ХП	98,7	0,25	98	17	246	15,7	0,91	2,71
	ГР	108	0,23	108	15	272	16,5	1,1	2,84
Тривалість паводку (Т), доба	ТП	32	4	28	12	21	4,68	0,39	1,18
	ХП	35	4	31	15	29	5,48	0,37	0,82
	ГР	35	4	31	13	26	5,16	0,39	1,03

Примітка: **ТП – теплий період, **ХП –холодний період, ***ГР – гідрологічний рік*

Відповідно до розрахунків, наведених в табл. 3, варто відмітити, що найбільше значення модуля стоку теплого періоду, а також розмах варіювання, коефіцієнти варіації і асиметрії приблизно у 1,5 рази вищі у порівнянні з-паводками холодного періоду. Однак, сумарний шар стоку за паводок та його тривалість мало відрізняються між собою як у теплий, так і у холодний періоди року.

Паводковий стік р. Дністер характеризується певними закономірностями його внутрішньорічного розподілу, оскільки він, залежно від сезону, формується домінуючим джерелом живлення. Тому більш детально розглянемо внутрішньорічний розподіл характеристик паводкового стоку р. Дністер – м. Заліщики, значення яких на рис. 2-3 наведено і відсотках від загальної річної величини для можливості коректного порівняння різних за розмірностями характеристик.

Внутрішньорічний розподіл сумарного шару паводкового стоку та його тривалості на р. Дністер – м. Заліщики за період 1948-2013 рр. у відсотках від середніх річних їх значень наведено на рис. 2.

Як слідує з рис. 2, максимальне значення шару та тривалості паводкового стоку (15% та 11% відповідно), по відношенню до його внутрішньорічного розподілу, належить до березня місяця, тоді як відсоток червня та липня помітно нижчий. Варто також відмітити вищу неоднорідність у внутрішньорічному розподілі шарів стоку за період паводку, натомість тривалість паводків за місяцями розподілена досить рівномірно та коливається лише в незначних межах, всього 7-11%% протягом всього року.

Зовсім інші закономірності внутрішньорічного розподілу притаманні максимальним модулям стоку за період паводку (рис. 3).

Відповідно до рис. 3 можна зафіксувати переважання середнього багаторічного (13%) та абсолютного (17-19%%) максимального модуля стоку у червні та липні. При цьому якщо середні багаторічні максимуми за період паводку розподілені більш рівномірно протягом року і переважання літнього сезону над весняним не таке суттєве, то у випадку абсолютних максимумів за паводок досить чітко відмічається домінування червня та липня.

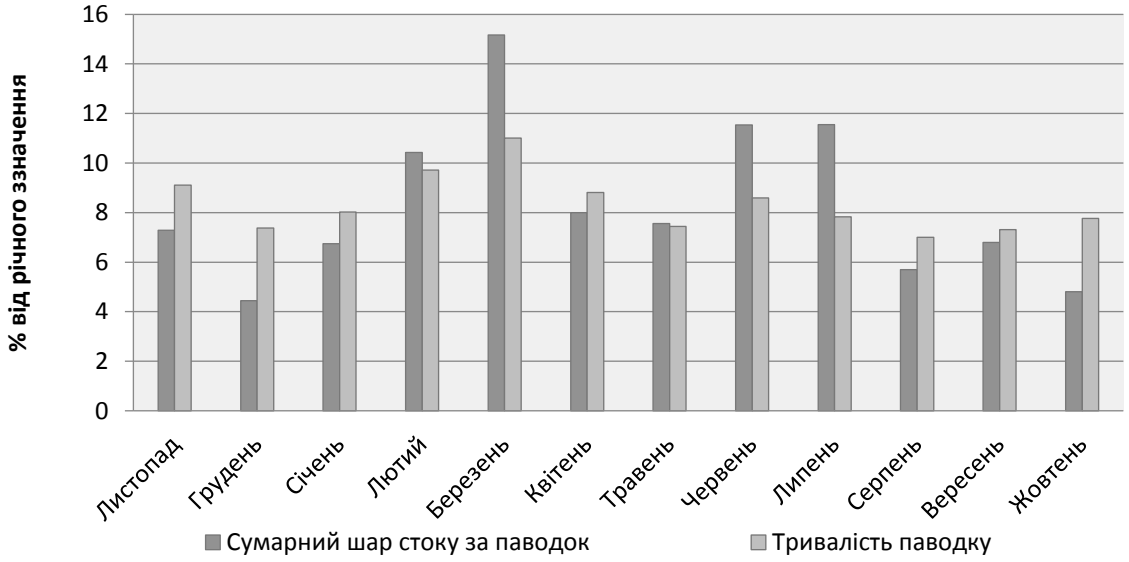


Рис. 2. **Внутрішньорічний розподіл сумарних шарів стоку за паводки та їх тривалостей на р. Дністер – м. Заліщики за період 1948-2013 рр.**

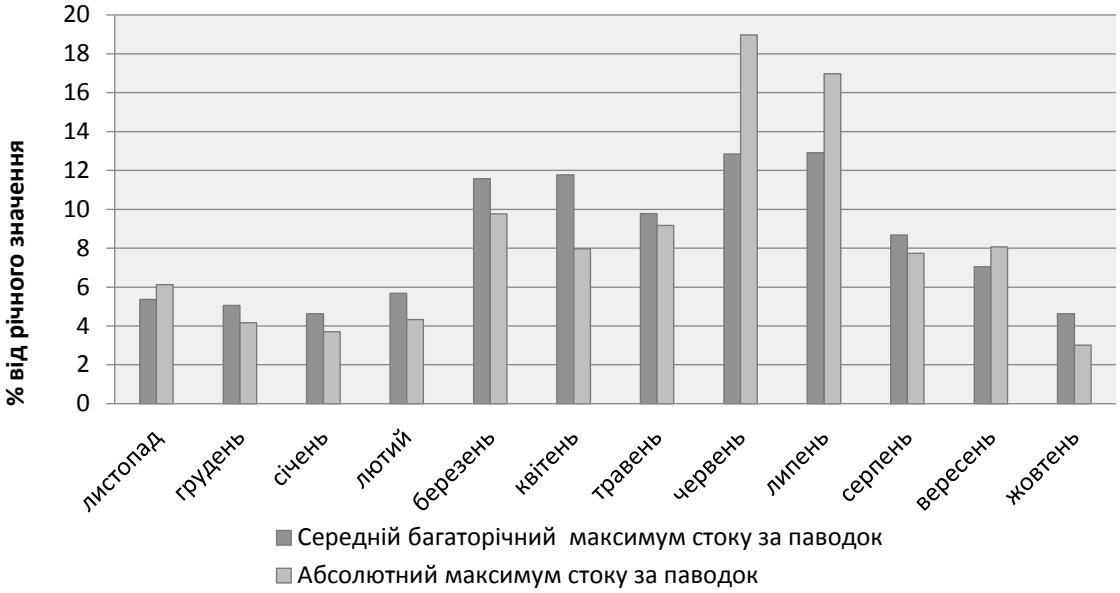


Рис. 3. **Внутрішньорічний розподіл максимальних модулів паводкового стоку р. Дністер – м. Заліщики за період 1948-2013 рр.**

Максимальний паводковий стік різної забезпеченості визначається через узгодження емпіричної та найбільш прийнятної аналітичної кривої розподілу відповідно до рекомендацій [7,9]. У табл. 4 наведено максимальні модулі стоку заданих забезпеченостей, обчислені за методами моментів, найбільшої правдоподібності та графоаналітичним методом.

Таблиця 4. **Максимальні модулі стоку води заданої забезпеченості р. Дністер – м. Заліщики, 1948-2013 рр.**

Метод обчислення		Забезпеченість, %								Відносні середні квадратичні похибки, %		
		0,1	1	3	5	10	25	50	75	σ_{Cv},	σ_{Cs},	σ_{Q},
Метод моментів	ТП*	312	224	181	161	132	92	59	36	10	68	8
	ХП**	127	102	89	82	73	59	46	35	9,5	44	4,7
	ГР***	314	224	181	162	134	96	67	49	9,9	56	6,5
Метод найбільшої правдо-подібності	ТП	298	211	170	151	125	90	61	40	8,2	64	7
	ХП	146	110	93	85	74	59	45	35	8,6	44	4,7
	ГР	329	215	171	152	127	95	70	52	8,4	54	6,3
Графоана-літичний метод	ТП	347	242	191	168	135	92	56	35	8	72	8,6
	ХП	134	106	91	84	74	59	45	35	4	44	4,8
	ГР	325	229	183	162	133	95	66	49	6,6	56	6,6

Примітка: **ТП – теплий період, **ХП –холодний період, ***ГР – гідрологічний рік*

Відповідно до розрахунків табл. 4 найбільш прийнятним методом визначення максимального модулю стоку заданої величини забезпеченості є метод найбільшої правдоподібності.

Для більш детального виявлення внутрішньорічних закономірностей у проходженні паводків протягом року, відповідно до теоретичної кривої, побудованої за методом найбільшої правдоподібності (табл. 4) всі паводки були згруповані в межах заданих інтервалів забезпеченості (табл. 5). Для кожного інтервалу

забезпеченості обчислено пропорційне співвідношення між випадками проходження паводків окремо за теплий та холодний період року у днях або у відсотках по відношенню до загальної кількості випадків.

За результатами обчислень, наведених у табл. 5, в першу чергу варто наголосити на тому, що понад 90% від усіх паводків у інтервалі нижче 25%-ї забезпеченості становлять паводки теплого періоду, а у інтервалі менше 10%-ї забезпеченості це значення становить усі 100%. З цієї кількості паводків шість із восьми найбільших за період безперервних спостережень (табл.1) та п‘ять самих високих паводків зафіксовано у червні та липні.

Таблиця 5. **Повторюваність проходження паводків в певні інтервали забезпеченості, межі яких визначені методом найбільшої правдоподібності, за період 1948-2013 рр.**

Інтервал забезпеченості, %	Повторюваність (дні)			Пропорційне співвідношення між розподілом паводків за рік залежно від періоду, %	
	теплий період	холодний період	гідрологічний рік	теплий період	холодний період
менше 1	2		2	100	0
5-1	2		2	100	0
10-5	4		4	100	0
25-10	10	1	11	91	9
50-25	22	10	32	69	31
75-50	25	22	47	53	47
понад 75	115	135	250	46	54
Всього	180*	168	348*		

Примітка. **Всі паводки приведено до єдиного критерію (486 м^3/с)*

Все це свідчить про досить значний рівень ризику проходження екстремальних за максимальним модулем стоку паводків у теплий період взагалі та у червні і липні, зокрема(див. табл.1, 5, рис. 3).

Висновок. Відповідно до проведених розрахунків можна зробити наступні висновки. Доцільність виділення паводків за генетичними ознаками обумовлена тим, що в такому випадку для максимального модулю стоку порушення однорідності має місце лише у холодний період, тоді як паводки теплого періоду за всіма критеріями залишаються однорідними. Максимуми паводків теплого періоду переважно вищі відповідних характеристик холодного періоду і це перевищення в середньому за період спостережень становить 35%. Тривалість паводків холодного періоду на 22% довша, ніж тривалість паводків теплого. Середній шар стоку паводків теплого періоду на 20% менший за ту ж характеристику холодного періоду. Шар сумарного паводкового стоку все ж переважає у випадку паводків теплого періоду на 17%, оскільки середня багаторічна кількість паводків в теплий період (4-5 паводків) більша ніж в холодний (3 паводки). Найбільше значення максимального модуля стоку теплого періоду, а також розмах варіювання, коефіцієнти варіації і асиметрії приблизно у 1,5 рази вищі для паводків теплого періоду.

Винятковість басейну Дністра, серед інших річкових басейнів України полягає в принциповій невідповідності максимальних шарів (об‘ємів) та абсолютних максимальних модулів (витрат) за паводок. Так, найвищі значення сумарного шару стоку за паводок та тривалості паводку переважно відносяться до весняного сезону, зокрема до березня місяця. При цьому понад 90% від усіх зафіксованих на сьогоднішній день паводків, виділених за абсолютним максимумом модуля стоку у

інтервалі нижче 25%-ї забезпеченості становлять паводки теплого періоду, а також п‘ять самих високих паводків за значенням абсолютного модуля стоку спостерігалися у червні та липні.

Запропонована оцінка характеристик паводкового режиму може бути використана в рамках реалізації окремих положень Директиви Європейського Союзу [4] для басейну Дністра, зокрема розділу ІІ, який має на меті попередню оцінку ризиків, пов‘язаних із затопленнями територій, оскільки свідчить про значне підвищення ймовірності формування високих паводків у теплий період року, особливо в червні та липні місяці.

Список літератури

1. *Айзенберг М.М.* Некоторые сведения о катастрофических паводках на реках Советских Карпат и условиях их формирования / М.М. Айзенберг // Сб. Работ Киевской ГМО. – 1962. - Вып. 2. - С. 44-58. ***2.*** *Вишневський П. Ф.* Зливи і зливовий стік на Україні / П. Ф. Вишневський – К.: Наукова думка. – 1964/ – 196 с. ***3.*** Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Под ред. Н.Г. Галущенко. – К.: Вища школа. – 1987. – 248 с. ***4.*** Директива 2007/60/ЄС Європейського Союзу і Ради Європи від 23.10.2007 р. Офіційний журнал Європейського Союзу. L.288/77 від 6.11.2007р. ***5.*** *Гопченко Е.Д.* Практическая реализация операторной модели максимального стока на примере рек Предкарпатья / Е.Д. Гопченко, В.А. Овчарук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007 – Вип.256. – с.197-206 ***6.*** *Логвинов К. Т.* Опасные гидрометеорологические явления в Украинских Карпатах / К.Т.Логвинов, А.Н.Раєвський, М.М.Айзенберг – Л.: Гидрометеоиздат – 1973. – 197 с. ***7.*** Методичні вказівки до виконання робіт із дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» / упоряд. О.І. Лук’янець. – К.: Видавничий-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – С. 10-16, 29-33 с. ***8.*** *Ковальчук І.* Моделювання паводків у долині верхнього Дністра / І. Ковальчук, А. Михнович // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. – Л.: Видавнича рада Наукового товариства ім. Шевченка у Львові. – 2008. – Т. XXIII: Екологічний збірник. Дослідження біотичного й ландшафтного розмаїття та його збереження. – С. 293-312. ***9.*** Пособие по определению основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1984. – 284 с. ***10.*** *Приймаченко Н.В*. Просторовий розподіл опадів під час дощових паводків на правобережжі Дністра в межах України / Н.В. Приймаченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.1(28). – С. 60-67. ***11.*** *Сусідко М.М.* Каталог характеристик дощових і сніго-дощових паводків на річках Карпатського регіону за 1989-2002 роки / М.М. Сусідко, С.О. Полякова, А.В. Щербак // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2006. – вип. 255. – С. 299-310. ***12.*** arpi.org.ua/doc2/Monitoring_Report_ Subvention.doc

Характеристика паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики

Кожем‘якін Д. В., Чорноморець Ю. О.

В роботі запропонована оцінка характеристик паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики. Обґрунтовано доцільність виділення паводків за генетичними ознаками. Наведено порівняльну характеристику паводків теплого та холодного періоду року. Зроблено висновок про невідповідності термінів проходження максимальних шарів (об‘ємів) та абсолютних максимальних модулів (витрат) за паводок.

Ключові слова: *Дністер, паводок, шар, модуль та об‘єм стоку, тривалість паводку, однорідність.*

Характеристика режима паводков р. Днестр – г. Залещики

Кожемякин Д. В., Чорноморец Ю. А.

В роботе предложена оценка характеристик режима паводков р. Днестр – г. Залещики. Доказано целесообразность выделения паводков по генетическим признакам. Наведено сравнительную характеристику паводков теплого и холодного периода года. Сделано вывод о несоответствии сроков прохождения максимальных шаров (объемов) и абсолютных максимальных модулей (расходов) за паводок.

Ключевые слова: Днестр, паводок, шар, модуль и объем стока, продолжительность паводка, однородность.

Characteristic of floods on the Dniester River gauging station Zalischyky

Kozhemyakin D. V., Chornomorets Yu. O.

Knowledge about the parameters of floods and terms of their passing has a significant impact on reducing damages caused by the flood. In this study, characteristics of floods of the Dniester River gauging station Zalischyky were evaluated. Floods in the Dniester River basin district are unevenly distributed throughout the year. They have some seasonal peaks and troughs.

The flood (in this case) is the largest discharge that exceeded the smallest annual maximum characteristics for an observation period. Base depth of flood was excluded. Homogeneity was broken in statistical series of maximum rate of flood by the Wilcoxon signed-rank test .

The maximum rate of flood in the warm season is higher than in the cold season by 35%. The duration of floods in the cold season is higher than in the warm season by 22%. Total depth of floods in warm period was less than 20%. Depth the total flood flow prevails in floods warm period by 17%, as the average number of perennial flooding in the warm season (4-5 cases) was more than in cold (3 cases) . The greatest value of the maximum rate of flood in warm period was by 50% higher for floods warm period.

Frequency analysis of flood flows available at the Dniester River gauging station Zalischyky was done. Over 90% of all recorded floods today allocated the absolute maximum flow rate in the range below 25% availability was in warm period. Five highest floods on the value of the absolute rate of flow were observed in June and July.

Therefore in the Dniester River basin district there is a high probability of forming high floods in the warm period, especially in June and July.

Keywords: *Dniester River, flood, depth, maximum rate, duration, volume of flood, homogeneity.*

Надійшла до редколегії 11.11.2016

УДК 556.114

Хільчевський В.К., Курило С.М.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ХІМІЧНИЙ СКЛАД АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЙОГО АНТРОПОГЕННА СКЛАДОВА

Ключові слова: *атмосферні опади, хімічний склад, антропогенна складова.*

Вступ. Атмосферні опади, як тверді, так і рідкі є чутливим індикатором забруднення атмосфери. Дані про вміст забруднювальних речовин в атмосферних опадах є основним матеріалом для оцінки регіонального забруднення атмосфери промислових центрів, міст і сільської місцевості. Вміст окремих компонентів в атмосферних опадах, перш за все, залежить від кількості опадів: чим більше опадів, тим менше їх мінералізація і забрудненість. При цьому, впливає і напрям вітру, і інтенсивність опадів. Великий вплив на хімічний склад атмосферних опадів має антропогенний чинник. Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери відбувається під впливом діяльності людини внаслідок зміни її складу і властивостей. Відомості про хімічний склад атмосферних опадів, а отже, і кількість мінеральних речовин, яка надходить з атмосферними опадами, є дуже важливими і необхідними при вивченні міграції та кругообігу речовин в природі, розрахунку сольового балансу окремих водних об'єктів та територій, визначенні впливу хімічного складу атмосферних опадів на формування хімічного складу поверхневих вод та іонного стоку річок, в тому числі і в умовах змін клімату [14].

Постановка завдання та вихідні матеріали. Вивченню хімічного складу атмосферних опадів на території України була присвячена кандидатська робота М.І. Ромася (1981 р.), у якій він розглянув гідрохімічний режим атмосферних опадів за період 1963-1975 рр. по 10 метеостанціях, на яких за загальносоюзною програмою проводилися спостереження за хімічним складом атмосферних опадів [5]. У 1986 р. було опубліковано роботу представників гідрохімічної школи Київського національного університету імені Тараса Шевченка по забрудненню снігового покриву м. Києва та прилеглих районів, виконану за матеріалами власних експедиційних досліджень, у якій відзначалося підвищення вмісту солей у сніговому покриві на території міста [4]. Згодом дослідження гідрохімічного режиму атмосферних опадів продовжила О.О. Косовець-Скавронська, у кандидатській роботі якої (захищеній у 2010 р.) ряди спостережень було продовжено з 1963 до 2008 р. [2, 3]. У роботах Л.М. Горєва, В.І. Пелешенка, В.К. Хільчевського [1, 11, 13] досліджено вплив хімічного складу атмосферних опадів на іонний стік річок України. Під час проведення комплексних експедиційних гідрохімічних досліджень Київського національного університету імені Тараса Шевченка в басейнах різних річок України [12] також відбиралися разові проби атмосферних опадів.

Треба відзначити, що за загальносоюзною програмою спостереження за хімічним складом атмосферних опадів, яка діяла до 1990 р., на обраних на території колишнього СРСР метеостанціях визначалися всі головні іони - SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^- (а також NO_3^-), Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ (а також NH_4^+) та показники загальної мінералізації в

атмосферних опадах. Згодом в Україні на цих метеостанціях визначали лише мінералізацію у воді атмосферних опадів.

Мета даної публікації - встановлення розподілу просторових та часових закономірностей хімічного складу атмосферних опадів України та дослідження ролі різних чинників у його формуванні (у тому числі антропогенної складової). Також вирішувалося завдання оцінки впливу мінеральних речовин, що надходять з атмосферними опадами, на хімічний склад поверхневих вод і грунтів водозбірних площ. Відповідно, основна увага у хімічному складі атмосферних опадів була приділена головним іонам, до яких належать SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^- (а також NO_3^-), Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ (а також NH_4^+) та показнику загальної мінералізації. В цілому, використовувалися відомості про хімічний склад атмосферних опадів території України та прилеглих територій за період 1963-2011 рр. При цьому, в залежності від завдань та кондиційності даних, в рамках цих років могли обиратися різні періоди, для яких виконувалися розрахунки. Для визначення багаторічних закономірностей зміни хімічного складу атмосферних опадів при дослідженнях було використано дані метеостанцій, які мають найдовші ряди спостережень за хімічним складом атмосферних опадів - Тетерів, Київ, Кобеляки, Бобринець, Лошкарівка, Волноваха, Одеса, Берегове, Євпаторія, Нікітський ботанічний сад.

Результати досліджень. ***Регіональні закономірності хімічного складу атмосферних опадів на території України.*** Середні річні статистично оцінені концентрації головних іонів у атмосферних опадах України за сумарними місячними пробами за період 1963-1990 рр. наведено у табл. 1.

Мінімальні значення мінералізації атмосферних опадів фіксуються у зоні мішаних лісів на півночі країни. На метеостанції Тетерів вони становлять величину близьку до 26 мг/дм^3. У лісостеповій та степовій зонах континентальної частини України цей показник поступово зростає до 35-40 мг/дм^3, сягаючи свого максимуму для степової зони на метеостанції Асканія-Нова у Херсонській області (82,4 мг/дм^3). Максимальні середні річні значення мінералізації атмосферних опадів на території України зафіксовані на метеостанції Євпаторія – 128 мгдм^3. Зважаючи на якісний склад атмосферних опадів (переважання гідрокарбонатів над сульфатами), який характерний для повітряних мас морського походження, таку мінералізацію можна пояснити декількома факторами. Значну роль відіграє близькість хвилеприбійної зони морського узбережжя. Також не можна виключати впливу наявності великої кількості солоних озер навколо Євпаторії, що можуть слугувати додатковим джерелом надходження солей у атмосферу. На північному узбережжі Чорного моря подібні за величиною загальної мінералізації (близько 100 мг/дм^3) та хімічним складом (переважання гідрокарбонатів над сульфатним іоном) атмосферні опади спостерігаються на метеостанції м. Новоросійськ [9].

Основний внесок у мінералізацію атмосферних опадів вносять сульфатні іони, середній вміст яких становить 16,5 мг/дм^3, при мінімальних значеннях на метеостанціях Нікітський ботанічний сад та Тетерів (9,3 та 11,7 мг/дм^3) і максимальному - на метеостанції Євпаторія (24,4 мг/дм^3). Серед катіонів переважають кальцій, магній, дещо менший вміст натрію, калію та амонію.

Зазначений розподіл вмісту досліджуваних іонів характерний для середньостатистичних значень описаного періоду і може різнитися за окремі роки. Характер зміни сумарного вмісту розчинених мінеральних речовин за багаторічний період на метеостанціях Бобринець та Тетерів відображено на рис. 1.

За багаторічний період величина мінералізації атмосферних опадів по цих метеостанціях коливалася для метеостанції Тетерів в межах 12–44 мг/дм^3 (середнє значення 26,7 мг/дм^3), а для метеостанції Бобринець відповідний показник змінювався в межах 10-65 мг/дм^3 (середнє значення 46,1 мг/дм^3). Відповідні

коливання мінералізації зумовлюються низкою природних та антропогенних чинників, які детальніше розглянуті нижче.

Таблиця 1. **Середньорічні концентрації головних іонів у атмосферних опадах у різних природних зонах на території України (за сумарними місячними пробами 1963-1990 рр.), мг/ дм³ [1,6]**

Метеостанція	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	Сума іонів
Зона мішаних лісів										
Тетерів, Київська область	11,7	2,2	4,0	1,9	1,6	2,0	1,5	1,0	0,87	26,7
Лісостепова зона										
Київ	14,4	1,4	11,3	-	0,6	1,3	0,4	5,9	0,7	26,3
Кобеляки, Полтавська область	14,8	3,8	11,0	1,6	3,5	2,8	2,9	1,4	1,14	43,0
Степова зона										
Бобринець, Кіровоградська область	14,4	3,1	14,2	1,8	4,2	4,1	2,2	1,0	1,06	46,1
Лошкарівка, Дніпропетровська обл.	15,0	3,3	4,9	1,7	2,7	2,2	1,7	1,0	1,55	34,0
Волноваха, Донецька область	16,8	4,3	6,1	1,7	3,0	2,8	3,2	1,4	1,30	40,6
Одеса	17,5	7,0	6,9	2,4	3,5	2,2	3,8	1,8	1,27	46,4
Асканія-Нова, Херсонська область	9,6	8,5	38,0	-	1,5	13,3	2,1	9,4	-	82,4
Євпаторія, АР Крим	24,4	22,1	46,0	-	-	9,1	4,1	23	-	128
Карпатська гірська країна										
Берегове, Закарпатська область	10,5	3,4	5,7	1,6	2,1	2,7	1,6	1,0	1,41	34,0
Кримська гірська країна										
Нікітський ботанічний сад, АР Крим	9,3	3,0	8,1	1,6	2,1	1,8	1,7	1,0	1,00	29,6

У цілому, для території України зміни мінералізації у період з 1963-2011 рр. супроводжувалися зменшенням у складі атмосферних опадів іонів антропогенного походження (перед усім SO_4^{2-}) та збільшенням іонів переважно природного походження (Ca^{2+}, HCO_3^-). Варто також зазначити, що зміни у хімічному складі опадів у холодний сезон більш інтенсивні, ніж у теплий.

У табл. 2 наведено дані про хімічний склад атмосферних опадів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних під час проведення експедиційних досліджень проблемної науково-дослідної лабораторії гідрохімії Київського національного університету імені Тараса Шевченка [12].

Як видно з табл. 2, хімічний склад атмосферних опадів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних під час проведення експедиційних досліджень, близький до середніх багаторічних (див. табл. 1).

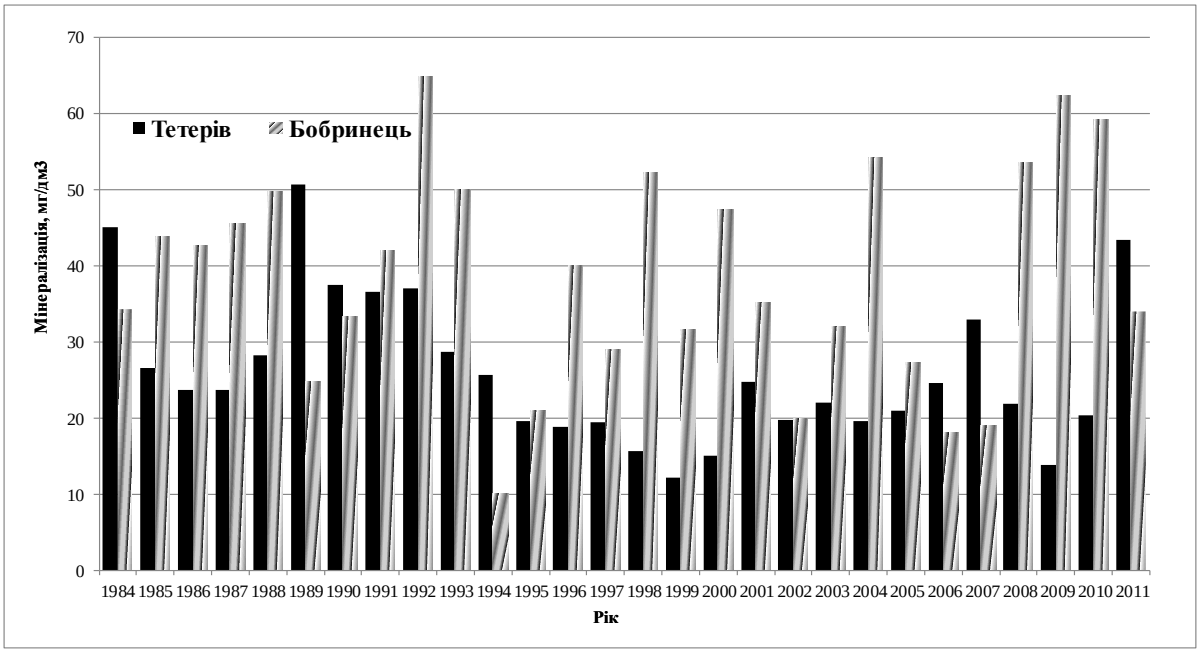


Рис 1. **Зміна середньорічної мінералізації атмосферних опадів на території України по метеостанціях Бобринець та Тетерів у період 1984-2011 рр., мг/дм^3**

Таблиця 2. **Концентрація головних іонів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних гідрохімічними експедиціями Київського національного університету імені Тараса Шевченка [12]**

Пункт	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++К	Сума іонів
Смт Шацьк, Шацький район, Волинське Полісся, 1975 р.	10,8	2,1	4,2	1,8	2,0	1,5	22,4
Село Рудня Радовельська, Олевський район, Житомирське Полісся, 1978 р.	11,1	2,2	4,4	2,2	2,1	1,6	23,6
Місто Богуслав, Київська область, Лісостеп, 1982 р.	13,0	2,8	12,2	8,0	1,2	5,2	42,4

Вплив антропогенної діяльності на хімічний склад атмосферних опадів. Надходження забруднювальних речовин у атмосферу чинить безпосередній вплив на хімічний склад атмосферних опадів (рис 2), а також може спричиняти низку негативних метеорологічних явищ таких як, наприклад, кислотні дощі та смог.

Оцінка безпосереднього внеску антропогенної складової у загальний хімічний склад атмосферних опадів є надзвичайно складним завданням. На сьогодні ця проблема вирішується декількома методами, які застосовуються нижче.

1). *Оцінка ступеню трансформації повітряних мас над континентами (вміст іонів морського та континентального походження).* Оцінка потенційних джерел домішок в атмосферних опадах часто утруднена в силу різноманіття умов надходження домішок в атмосферу, а також їх поєднання між собою при різних погодних ситуаціях. Серед таких умов можна виділити наступні: траєкторія переміщення повітряної маси, вітровий режим і турбулентність нижніх шарів атмосфери, тип підстильної поверхні, над якою проходить повітряна маса. Крім того, важливий час перебування домішки в атмосфері. Таким чином, хімічний склад

атмосферних опадів являє собою складний накопичувальний результат процесів, що відбувалися при русі повітряної маси. При розгляді співвідношення іонів у воді атмосферних опадів можна виділити два типи хімічного складу:

1) з переважанням іонів морського походження;

2) з переважанням іонів континентального походження.

Над морською поверхнею більша частина ядер конденсації це - частинки морської солі. Тому іони Cl^- та Na^+ переважають в повітряних масах над океаном. Над континентами їх внесок зменшується, але зростає концентрація іонів Ca^{2+} та K^+, а також SO_4^{2-} і NO_3^-, які мають, в основному, континентальне, в тому числі антропогенне походження [9].

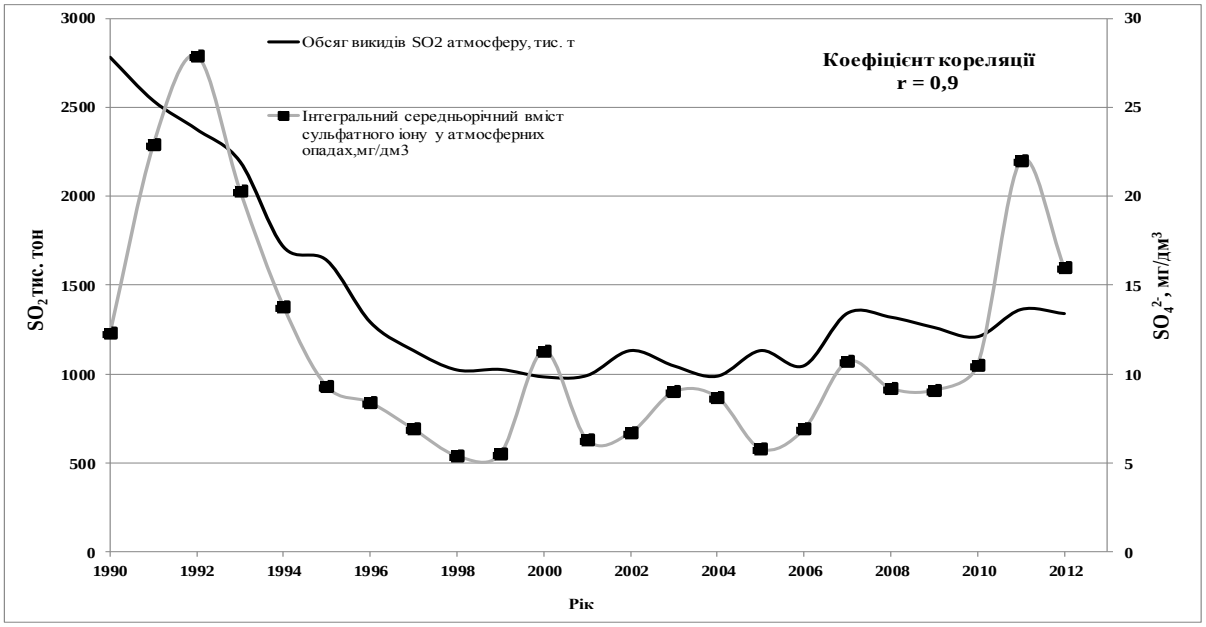


Рис. 2. **Залежність концентрації сульфатного іону (SO_4^{2-}, мг/дм^3) у атмосферних опадах від обсягів викидів сірчаного ангідриду (SO_2, тис. т) на території України, 1990-2011 рр.**

На основі даного підходу [9] нами було розраховано для території України співвідношення між вмістом іонів морського (Cl^-, Na^+) та контенинтального (Ca^{2+}, K^+) походження: Cl^-/SO_4^{2-}; $(Mg^{2+}+Na^+)/(Ca^{2+}+K^+)$ - табл. 3.

Таблиця 3. **Співвідношення між середньорічним вмістом іонів морського (Cl^- та Na^+) і континентального (Ca^{2+} та K^+) походження в атмосферних опадах на території України для періодів 1963-1973 рр. та 1963-1990 рр.**

Метеостанція	Cl^-/SO_4^{2-}		$(Mg^{2+}+Na^+)/(Ca^{2+}+K^+)$	
	1963-1973 рр.	1963-1990 рр.	1963-1973 рр.	1963-1990 рр.
Тетерів	10,5	0,254	2,426	2,195
Кобеляки	0,262	0,347	2,273	1,704
Бобринець	0,209	0,291	2,271	1,856
Лошкарівка	0,293	0,297	1,580	1,601
Волноваха	0,338	0,346	1,558	2,004
Одеса	0,446	0,541	2,245	1,576
Берегово	0,249	0,319	2,229	2,255
Нікітський ботанічний сад	0,522	0,436	2,252	1,714
Середнє по Україні	0,319	0,328	2,092	1,701

Отримані значення співвідношень вказують на високий вміст іонів континентального (у тому числі і антропогенного) походження. Це виражається у низьких значеннях співвідношень між хлоридними та сульфатними іонами. У атмосферних опадах, сформованих океанічними або морськими повітряними масами, це значення у декілька разів вище. Така сама тенденція характерна і для співвідношень між катіонною групою – воно характерне для континентальних повітряних мас з високим ступенем антропогенного забруднення. При порівнянні двох розрахункових періодів (1963-1973 рр. та 1963-1990 рр.) видно, що незначно змінюється роль континентально-антропогенної складової у формуванні хімічного складу атмосферних опадів для другого періоду.

Для аніонної групи це виражається у деякому зменшенні вмісту сульфатного іону – абсолютні значення співвідношення Cl^-/SO_4^{2-} зростають для більшості метеостанцій. Для катіонної групи спостерігається підвищення вмісту іонів $Ca^{2+}+K^+$, які мають переважно континентальне походження. Це може свідчити про зміну структури континентально-антропогенної складової та її ролі у формуванні мінералізації атмосферних опадів.

Як видно, зазначений підхід не дає змогу оцінити кількісні показники ступеня трансформації повітряних мас над континентами. Для цього застосовується кількісне співвідношення між вмістом в атмосферних опадах іону натрію та інших іонів. Для обчислення концентрацій іонів без вкладу морської складової застосувалися співвідношення, які звичайно використовуються в зарубіжній науковій літературі [9, 15]:

$$C_{Ion\ NSS} = [C_{Ion}] - [C_{IonSW}/Na_{SW}]\times[Na],$$

де: $C_{Ion\ NSS}$ – розрахункова концентрація даного іону в атмосферних опадах, сформована без внеску морської складової (NSS - non sea-salt), тобто, за рахунок континентальної складової , мг/дм^3; $[C_{Ion}]$ – реальна концентрація даного іону в атмосферних опадах, мг/дм^3; C_{IonSW}/Na_{SW} – співвідношення між реальною концентрацією даного іону та іону натрію у морській воді (SW – sea water); [Na] – реальна концентрація іону натрію у воді атмосферних опадів, мг/дм^3.

За цією схемою для 8-и метеостанцій України було отримано розрахункові концентрації головних іонів у атмосферних опадах без внеску морської складової ($C_{Ion\ NSS}$), тобто, концентрації, що формуються за рахунок континентальної складової.

Значення відносного внеску континентальної складової (у %) у формування реальної концентрації іонів у атмосферних опадах розраховувалося як співвідношення $C_{Ion\ NSS}/ C_{Ion}$ (тобто, вираховувалася частка з реальної концентрації).

Отримані таким чином значення дали змогу кількісно оцінити внесок континентальної (або континентально-антропогенної) складової у воді атмосферних опадів на території України (табл. 4).

2). *Оцінка антропогенної складової хімічного складу атмосферних опадів шляхом порівняння фактичних показників хімічного складу атмосферних опадів або їхньої мінералізації з природним фоном* певної території [7].

За цим методом вирізняють абсолютний можливий мінімум мінералізації атмосферних опадів – так званий *глобальний (міжрегіональний) природний фон (ГПФ)*. За нього приймається величина мінералізації у діапазоні 1-3 мг/дм^3.

На другому етапі визначають так званий *регіональний природний фон (РПФ)* – діапазон мінералізації атмосферних опадів з величиною 3-15(20) мг/дм^3. Нижня межа обумовлена максимальним значенням глобального природного фону, верхня – особливостями фізико-географічного положення конкретної території.

Порівнюючи фонові значення з хімічним складом атмосферних опадів можна отримати уявлення про кількісний внесок антропогенної складової.

Приклад подібної оцінки для метеостанції Тетерів на території України наведено у табл. 5.

Таблиця 4. **Відносний внесок континентальної складової у формування хімічного складу атмосферних опадів (концентрацій SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, K^+ , Mg^{2+}) на території України для періодів 1963-1973 рр. та 1963-1990 рр., %**

Метеостанція	SO_4^{2-} %		Cl^-%		Ca^{2+} %		K^+%		Mg^{2+}%	
	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990
Тетерів	92,3	81,6	0	0	96,4	96,4	95,6	96,8	85,7	91,3
Кобеляки	91,4	89,3	0	0	94,1	96,8	96,5	95,1	89,0	87,9
Бобринець	89,6	87,1	0	0	98,0	98,0	96,5	96,2	85,3	93,8
Лошкарівка	92,3	91,3	0	0	94,1	97,6	96,7	97,2	85,2	91,0
Волноваха	92,3	89,3	0	0	95,9	95,9	96,2	95,2	81,0	86,7
Одеса	92,0	90,8	0	0	93,2	95,8	97,1	94,6	90,6	79,9
Берегово	91,5	85,8	0	0	92,7	97,1	96,3	97,2	85,5	93,1
Нікітський ботанічний сад	89,8	89,1	0	0	92,5	96,9	94,3	95,4	87,6	89,0
Середнє по Україні	91,5	88,6	0	0	94,6	97,3	96,3	96,2	86,9	90,3

Таблиця 5. **Оцінка антропогенної складової у атмосферних опадах по метеостанції (МС) Тетерів з використанням даних по мінералізації атмосферних опадів за глобальним природним фоном (ГПФ) та регіональним природним фоном (РПФ)**

Метеостанції	Аніони				Катіони					Сума іонів
	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	
Концентрація іонів у атмосферних опадах за ГПФ, мг/дм^3	0,93	0,3	0,23	0,03	0,23	0,05	0,09	0,06	0,36	2,3
Концентрація іонів у атмосферних опадів за РПФ, мг/дм^3	2,0	1,16	1,7	1,9	0.95	0,16	0,7	0,25	0,4	5,4
Концентрація іонів у атмосферних опадах, мг/дм^3	11,7	2,2	4,0	1,9	1,6	2	1,5	1,0	0,87	19,9
Абсолютна антропогенна складова у атмосферних опадах, мг/дм^3	9,7	1,04	2,3	0,9	0,65	1,84	0,8	0,75	0,47	14,5
Відносна антропогенна складова у атмосферних опадах, %	83	47	58	47	41	92	54	75	54	72

У якості тестової метеостанцію Тетерів було обрано з наступних причин. На території України відсутні метеостанції, які б визначали регіональний природний фон та входили у програму Глобальної служби атмосфери Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Найближчими до території України є

метеостанції Приокcько-Терасного та Воронезького біосферних заповідників. У нашому випадку у якості фонових значень були використані дані метеостанції Воронезького біосферного заповідника, для якої регіональний фон визначається щорічно, і географічне положення та інші умови якої є найбільш близькими до метеостанції Тетерів. Зважаючи на відносну подібніість значень регіонального фонового рівня для згаданих територій це не призведе до суттєвих похибок у подальших розрахунках.

Як видно з табл. 5, найбільша частка антропогенної складової у сумарний вміст розчинених мінеральних речовин у атмосферних опадах припадає на іони сірки та магнію. Як вже зазначалося, вміст сульфатних іонів дуже сильно залежить від кількості сірчаного ангідриду, що викидається в атмосферу з промисловими газами. А велика частка іону магнію є, скоріше за все, наслідком великого ступеня розораності території України, і як наслідок, надходження його з пилуватими частками у атмосферу.

Мінімальна частка антропогенної складової припадає на іон кальцію. Максимальна, як і у попередніх варіантах розрахунків, належить іонам магнію та сульфатним іонам. Отримані результати кореспондуються з оцінкою антропогенної складової у хімічному складі атмосферних опадів, отриманих для Приокcько-Терасної метеорологічної станції, значення якої становило 65% [8].

Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами та їх вплив на хімічний склад поверхневих вод. Географічний розподіл надходження речовин на одиницю площі відрізняється від розподілу концентрацій цих речовин в опадах, оскільки залежить від суми атмосферних опадів. Найбільшу кількість на земну поверхню приносять опади сульфатів. Їх випадіння змінюється від 4,2-4,3 т/км^2 у степовій зоні та Кримській гірській країні до 15 т/км^2 у Карпатах. Дещо менше надходить з опадами гідрокарбонатного іону - від 1,6 т/км^2 у степовій зоні до 4,7 т/км^2 у гірських та вулканічних Карпатах. Подібний розподіл по території України характерний і для хлоридів. Максимальна їх кількість (2,8 т/км^2) випадає у Карпатах, мінімальна 1,1-1,2 т/км^2 надходить у Поліссі та Лісостепу. Серед надходження катіонів домінуюча роль належить іонам натрію та калію – 0,9-2,8 т/км^2.

У цілому на території країни щорічно випадає з атмосферними опадами 7,3 млн. т розчинених мінеральних речовин, у тому числі в зоні мішаних лісів (Полісся) - 1,22 млн. т; зоні лісостепу - 3,03; зоні степу - 2; Карпатській гірській країні - 0,95; у Кримській гірській країні - 0,12 млн. т (табл.6).

Величина надходження розчинених мінеральних речовин у розрахунку на 1 км^2 (модуль надходження розчинених мінеральних речовин, т/км^2) становить 12,1 т, у тому числі в Криму, Поліссі і лісостеповій зоні - понад 13 т, у степовій зоні - 9,5, Передкарпатті - 21,2, Гірських Карпатах - 29,9, у Закарпатті - 21,1 т/км^2.

Просторовий розподіл надходження компонентів хімічного складу опадів формується в основному двома факторами: кількістю опадів та рівнем забруднення атмосфери, при чому, для одних речовин головну роль відіграє перший фактор, а для інших – другий.

Кількісний склад розчинених в атмосферних опадах речовин має значний *вплив на іонний стік з поверхні суші.* Так, за підрахунками Г.О. Максимовича (1955), солі, які надходять з опадами на континенти за рахунок впливу океану, становлять шосту частину розчинених речовин, що виносяться річками в моря, інша частина солей континентального походження. Кількісний склад розчинених в атмосферних опадах речовин має значний вплив на іонний стік з поверхні суші. У межах території України величина атмосферної складової сумарного середньорічного іонного стоку

річок, розрахована у працях [1, 10, 11] (табл. 7), досягає 2,65 млн. т, або 4,5 т у розрахунку на 1 км^2, що досягає – 12 % сумарного іонного стоку річок.

Таблиця 6. **Показники середньорічних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України у різних природних регіонах (над рискою – тис. т, під рискою – т/км^2) [1]**

Природні регіони	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Сума іонів
Полісся	80,8 0,8	92 0,9	129 1,4	238 2,7	562 6,1	113 1,2	1216 13,1
Лісостеп	231 1,1	195 0,8	265 1,2	659 2,9	1385 6,1	292 1,1	3027 13,2
Степ	173 0,9	136 0,6	177 0,9	329 1,6	933 4,3	247 1,2	1995 9,5
Передкарпаття	22,0 1,5	20,1 1,5	25,0 1,8	43,1 2,9	136 9,7	25,0 1,6	271 19
Гірські та вулканічні Карпати	50,8 2,4	46,2 2,2	57,5 2,8	98,8 4,7	313 15	57,5 2,8	624 29,9
Закарпатська рівнина	4,5 1,7	4,1 1,6	5,1 1,9	8,8 3,3	17,7 10,6	5,1 1,9	55,3 21,1
Кримська гірська країна	12,7 1,5	8,6 1,1	11,2 1,3	34,1 4,1	35,6 4,2	13,7 1,6	116 13,8
Україна в цілому	578 0,9	5,3 0,8	670 1,1	1411 2,4	3392 5,6	753 1,3	7303 12,1

Аналіз показників атмосферної складової, яка бере участь у формуванні іонного стоку річок України свідчить, що відносна величина її збільшується від 2,1 т/км^2 в степовій зоні до 24,8 т/км^2 у Гірських Карпатах - в основному за рахунок сульфатів, менше - за рахунок хлору, натрію і калію (див. табл. 7). Це пояснюється збільшенням величин модулів водного стоку. З цієї причини величини атмосферної складової зростають в кілька разів у межах гірських країн [1].

Таблиця 7. **Значення атмосферної складової, що бере участь у формуванні середньорічного іонного стоку річок у різних природних регіонах України (над рискою – тис. т, під рискою – т/км^2) та частка солей з атмосферних опадів, що йде на формування іонного стоку (%)** [1]

Природні регіони	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Сума іонів	
Полісся	30,8 0,3	35,3 0,3	49 0,5	90 1,1	212 2,3	42,9 0,4	460 4,9	38*
Лісостеп	72 0,3	60 0,2	82 0,4	204 0,9	429 2	91 0,4	938 4,2	31*
Степ	35 0,2	27 0,1	35 0,2	66 0,4	18,7 0,8	49 0,4	399 2,1	20*
Передкарпаття	16,5 1,1	15,1 1,1	18,8 1,3	32,3 2,1	102 7,1	18,7 1,1	203 13,8	76*
Гірські та вулканічні Карпати	42,2 2	38,3 1,8	47,7 2,3	82,1 3,9	260 12,5	47,7 2,3	518 24,8	83*
Закарпатська рівнина	2,7 1	2,5 1	3,1 1,1	6,3 2,1	16,6 6,3	3,1 1,1	33,3 12,8	60*
Кримська гірська країна	10,8 1,3	7,3 0,9	9,5 1,1	29 3,5	30,3 3,6	11,6 1,4	98,6 11,8	85*
Україна в цілому	213 0,3	185 0,3	245 0,4	508 1	1236 2	264 0,5	2650 4,5	36*

Примітка. *- 38* - відсоток (%) від кількості іонів, що надходять з атмосферними опадами*

Величина середньорічних надходжень з опадами розчинених мінеральних речовин, які не беруть участі у формуванні іонного стоку річок України, становить 4,65 млн т, або 64 % всіх річних надходжень солей з атмосферними опадами. Сучасні розрахунки, виконані на довших рядах спостережень (1963-1990 рр), підтвердили виявлені раніше тенденції формування хімічного складу атмосферних опадів [5].

За цей період, на відміну від періоду 1963-1973 рр., значно зросло антропогенне навантаження на навколишнє середовище, що відбилося на досліджуваних показниках убік зростання їх абсолютних величин.

Висновки. Мінералізація атмосферних опадів над територією України зазвичай коливається в межах 30-40 мг/дм^3. Мінімальні середні річні значення мінералізації атмосферних опадів фіксуються у зоні мішаних лісів на півночі країни - близько 26 мг/дм^3. Максимальні - зафіксовано на метеостанції Євпаторія – 128 мг/дм^3.

У хімічному складі атмосферних опадів серед аніонів переважають сульфати, а серед катіонів - у більшості випадків магній.

Частка солей континентально-антропогенного походження у загальному хімічному складі атмосферних опадів на території України становить 90-93%, солей морського походження - 7-10%.

Антропогенна складова мінералізації атмосферних опадів, розрахована вперше для території України (метеостанція Тетерів) методом порівняння з регіональним природним фоном, становить 72%.

Показники річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України у різних природних регіонах змінюються в межах 9,5 –29,9 т/км^2 .

Частка солей з атмосферних опадів, що йде на формування іонного стоку, річок України, становить 36%.

Список літератури

1. *Горєв Л.М.* Гідрохімія України: підручник / Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський – К.: Вища школа, 1995. - 307 с. **2.** *Косовець-Скавронська О.О.* Надходження хімічних речовин з атмосферними опадами на територію України та оцінка їх ролі у формуванні хімічного складу річкових вод: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / О.О. Косовець-Скавронська / Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2010. - 20 с. **3.** *Косовець-Скавронська О.О.* Часова трансформація хімічного складу атмосферних опадів на території України / О.О. Косовець-Скавронська, С.І. Сніжко / Економічна та соціальна географія. – 2008 – Вип. 58 – С. 242–252. **4.** *Пелешенко В.И.* Влияние антропогенных факторов на химический состав снежного покрова г. Киева и прилегающих районов / В.И. Пелешенко, Н.И. Ромась, В.К. Хильчевский и др. // Гидрохимические материалы. – 1986. – Т. 13. (ДСП). – С. 3-9. **5.** *Ромась Н.И.* Закономерности формирования химического состава атмосферных осадков на территории УССР / Н.И. Ромась. - Автореф. дис. … канд. геогр. наук: гидрохимия / Гидрохимический ин-т Госкомгидромета СССР. – Ростов-на-Дону, 1981. – 17 с. **6.** *Ромась М.І.* Формування хімічного складу атмосферних опадів на території України / М.І. Ромась, О.О. Косовець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2007. — Т. 12 – С. 172–181. **7.** *Свистов П.Ф.* Фоновый уровень состояния атмосферы по многолетним данным о химическом состав атмосферных осадков/ П.Ф. Свистов, А.И. Полищук, Н.А. Першина // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. - 2009. - Вып. 560 - С.116-143. **8.** *Свистов П.Ф.* Минерализация осадков в диагнозе изменений загрязнения окружающей природной среды / П.Ф. Свистов, А.И. Полищук, Н.А. Першина // Тезисы докладов Международной научной конференции - Казань, 2012. - С. 305-307. **9.** *Суркова Г.В.* Влияние континентальных и морских источников на химический состав летних атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря / Г.В. Суркова, И.Д. Еремина, С.А Зорина. .// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр., Севастополь. - 2005. - Вып. 12. - С. 208-

214. **10.** *Хільчевський В.К.* Основи гідрохімії: підручник / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с. **11.** *Хильчевский В.К.* Изменение химического состава речных вод бассейна Верхнего Днепра под влиянием антропогенного фактора / В.К. Хильчевский. - Автореф. дис. … канд. геогр. наук: гидрохимия / Гидрохимический ин-т Госкомгидромета СССР. – Ростов-на-Дону, 1984. – 17 с. **12.** *Хільчевський В.К.* Перші комплексні гідрохімічні дослідження Шацьких озер на Волині у 1975 р. - початок формування наукової школи гідрохімії та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка / В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2015. — Т. 4 (39) – С. 64-71. **13.** *Хильчевский В.К.* Изменение ионного стока рек бассейна Верхнего Днепра в связи с хозяйственной деятельностью / В.К. Хильчевский, В.И. Пелешенко // Гидрохимические материалы. – 1987. – Т. 14. (ДСП). – С. 58-64. **14.** *Хильчевский В.К.* Трансформация химического состава речных вод Украины в условиях изменения климата [Электронный ресурс] / В.К. Хильчевский // Мат-лы Международной научн. конф.: Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. – Минск: Белорусский гос. ун-т. – 2015. - Режим доступа: http://elib.bsu.by/handle/123456789/118468. **15.** *Keene, W.C.*, 1986, Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation / W.C. Keene, A.P. Pszenny, J.N. Galloway, M.E. Hawley // Journal of Geophysical Research. – 1986. - № 91 (D6). - P. 6647-6658.

Хімічний склад атмосферних опадів на території України та його антропогенна складова

Хільчевський В.К., Курило С.М.

Викладено детальний аналіз хімічного складу атмосферних опадів над територією України. Наведено відомості про основні чинники, що впливають на його формування. Встановлено, що частка солей континентально-антропогенного походження у загальному хімічному складі атмосферних опадів на території України становить 90-93 %, солей морського походження - 7-10%. Антропогенна складова мінералізації атмосферних опадів, розрахована вперше для території України (метеостанція Тетерів) методом порівняння з регіональним природним фоном, становить 72%.

Ключові слова: *атмосферні опади, хімічний склад, антропогенна складова.*

Химический состав атмосферных осадков над территорией Украины и его антропогенная составляющая

Хильчевский В.К., Курило С.М.

Изложен детальный анализ химического состава атмосферных осадков над территорией Украины. Приведены сведения об основных факторах, которые влияют на его формирование. Установлено, что доля солей континентально-антропогенного происхождения в общем химическом составе атмосферных осадков на территории Украины составляет 90-93 %, солей морского происхождения - 7-10 %. Антропогенная составляющая минерализации атмосферных осадков, рассчитанная впервые для территории Украины (метеостанция Тетерев) методом сравнения с региональным природным фоном, составтавляет 72 %.

Ключевые слова: *атмосферные осадки, химический состав, антропогенная составляющая.*

Chemical composition of precipitation in Ukraine and its anthropogenic component

Khilchevsky V., Kurilo S.

The thesis is devoted to determination of contemporary wet deposition of chemical substances in Ukraine and estimation of its contribution to the formation of chemical composition of river water. The survey of chemical composition of atmospheric precipitation in different regions of the world had been done. The dynamics of chemicals content in precipitation during 1984-2011 years in warm and cold seasons had been studied, and three homogeneous periods of forming chemical composition of atmospheric precipitation was found. Furthermore, the estimation of chemical composition of precipitation was performed within these periods. Transformation of chemical composition of atmospheric precipitation over the territory of Ukraine during 1963-1990 years was investigated. Using the period of 1997-2008 years for estimation modern chemical composition of precipitation was substantiated. The quantitative estimation of wet deposition of chemicals with atmospheric precipitation in the modern period was made; moreover, spatial distribution of wet deposition of chemicals was investigated. The quantity of atmospheric component in the average annual flow of main chemical components the rivers of Ukraine was calculated. This calculated the anthropogenic component of the chemical composition of atmospheric precipitation. The method for determining nss sulfate or chloride (Keene and others, 1986) involves subtracting the seasalt-derived

sulfate or chloride from the total amount measured, based on a reference species (usually $Mg2^+$ or Na+) and the ratio of the two constituents in seawater. This method relies on three assumptions: 1) the reference species used must be entirely of sea-salt origin, 2) there is no fractionation of sea-salt species during sea-salt aerosol formation, and 3) there is no fractionation of sea-salt species as the aerosol is scavenged by precipitation. A fourth assumption is necessary with our 6-month collection interval; 4) there is no significant loss or transformation of the chemical species of interest in the collectors in the time between deposition and analysis. An anthropogenic constituent of chemical composition of precipitation *is 72 %*

Keywords: *precipitation, chemical composition, anthropogenic part of chemical composition.*

Надійшла до редколегії 27.10.2016

УДК 504.064

Федоненко О. В., Ананьєва Т. В., Ніколенко Ю. В.
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІКИ МОКРА СУРА ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Ключові слова: *гідрохімічні показники, якість води, екологічна оцінка, р. Мокра Сура.*

Постановка та актуальність проблеми. Останнім часом антропогенне навантаження на водні об'єкти України досягло дуже високого рівня, що, в свою чергу, призвело до погіршення якості води, порушення біологічного балансу річкових екосистем, зникнення функціонально важливих видів, угрупувань рослин і тварин, які забезпечують процеси самоочищення і життя річок [1, 7]. Особливо це стосується малих річок, які формують «водний потенціал» країни. Ці річки є найбільш вразливими в системі відношень людина–природа, вони першими зазнають виснаження, засмічення і замулення [4].

Інтенсивна і недостатньо контрольована господарська діяльність людини зумовила екологічну кризу малих річок Дніпропетровської області. Скорочений і порушений водний баланс, постійне надходження забруднень з поверхневим стоком, стічними водами промислових і господарсько-побутових підприємств призвело до такого погіршення якості води, що вона стала непридатною не тільки для питного водозабезпечення, а й для технічних і сільськогосподарських потреб.

Такі проблеми характерні і для р. Мокра Сура – правої притоки Дніпра, басейн якої знаходиться повністю в межах Дніпропетровської області. По всій довжині річка забруднюється поверхнево-схиловим стоком, який змиває, поряд з родючим ґрунтом, мінеральні добрива та пестициди. У нижній течії становище ускладнюється надходженням в річку стічних вод низки промислових підприємств м. Дніпро. Річка обміліла, відбуваються інтенсивні процеси заростання, що веде до вторинного біологічного забруднення, зменшення біорізноманіття [9].

Так, за даними гідрохімічних досліджень, спостерігалися сталі перевищення ГДК для рибогосподарського користування: $БСК_5$ (біохімічне споживання кисню), завислі речовини, вміст заліза, вміст розчиненого кисню, хімічне споживання кисню і вміст хлору [6].

На сьогоднішній день об'єкт мало вивчений. У нижній течії р. Мокра Сура є центром рекреації (по її берегах розташовані садові ділянки жителів м. Дніпро, садові центри), об'єктом аматорського і спортивного рибальства. Вода ріки використовується для сільськогосподарського водопостачання, зрошення, інших технічних цілей, до того ж вона безпосередньо впливає на якість води Дніпра. В гирлі річки ведеться рибний промисел, крім того, вода використовується для

заповнення рибогосподарських ставів у приватних фермерських господарствах. Враховуючи вище сказане, необхідним є систематичне вивчення гідрохімічного режиму річки [11, 12].

Мета роботи: визначити основні гідрохімічні показники р. Мокра Сура, охарактеризувати можливі причини порушення гідрохімічного режиму, надати екологічну оцінку води за гідрохімічними показниками.

Матеріали і методи досліджень. Об'єкт дослідження – р. Мокра Сура, права притока Дніпра першого порядку, одна з середніх за довжиною річок країни, басейн якої розташований в межах Верхньодніпровського, Криничанського, Солонянського та Дніпропетровського районів Дніпропетровщини. Довжина – 144 км, площа басейну – 2830 км². Живлення головним чином дощове і снігове. Територія, на якій протікає р. Мокра Сура, розташована на Українському кристалічному щиті, що складається з архейських гнейсів, кристалічних сланців, гранітів, а також інших виверженних і осадочних порід, в степовій зоні, на південно-західній частині Східно-Європейської рівнини. У сучасному рельєфі виділяється заплава р. Мокра Сура і вододільне плато, порізані численними дрібними та великими балками. Долина трапецієподібна, зі схилами, розчленованими ярами та балками, вкрита переважно лучною рослинністю. Річище дуже звивисте [9, 11].

Дослідження проводилися посезонно у 2015 р. у трьох пунктах нижньої течії р. Мокра Сура: поблизу великих сіл – Сурсько-Литовське (48°19'45.1"N 34°54'46.2"E) та Новоолександрівка (48°21'17.4"N 34°59'34.7"E), а також в районі гирла ріки (48°19'31.5"N 35°08'30.5"E) (рис.1). Ці ділянки зазнають найбільшого антропогенного тиску як з боку десятка підприємств південної промислової зони м. Дніпро, так і від місцевих жителів. Крім того, біля гирла ріки значний вплив на гідрохімічний режим має комплекс правобережних очисних споруд стічних вод м. Дніпро.

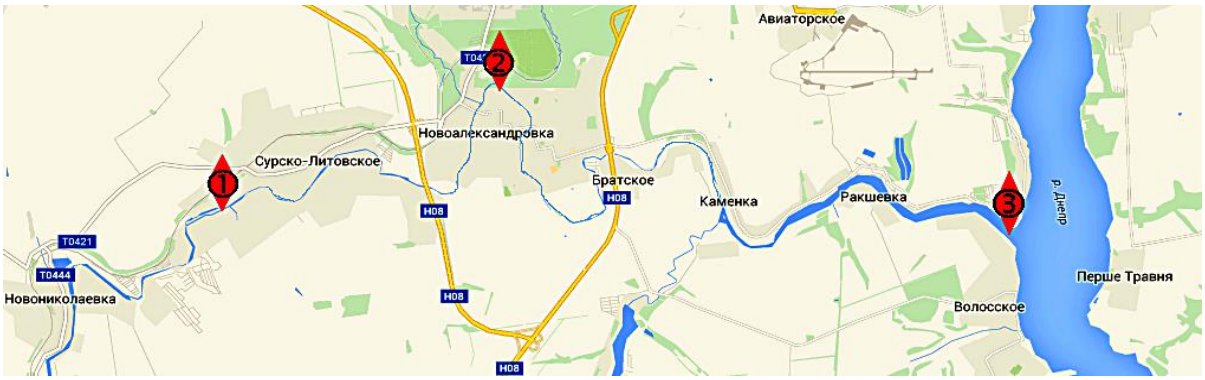


Рис.1. **Схема розташування пунктів відбору проб у нижній течії р. Мокра Сура, 2015 р.***: 1 – с. Сурсько-Литовське, 2 – с. Новоолександрівка, 3 – гирло річки.*

Дослідження проводилася на базі кафедри загальної біології і водних біоресурсів Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара та сертифікованої науково-дослідницької лабораторії гідроекології Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету відповідно до методик, допущених до використання та наведених у «Переліку методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб, об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів. тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України". Екологічну оцінку якості води здійснювали за «Методикою екологічної оцінки поверхневих вод за різними категоріями» [10] за середньорічними значеннями гідрохімічних показників, що характеризують процеси самоочищення (pH, вміст

розчиненого кисню, біогенних сполук азоту і фосфору, перманганатна окиснюваність). Гранично допустимі концентрації і значення показників для рибогосподарських водойм враховувалися згідно ДСТУ 2284:2010: Риба жива. Загальні технічні вимоги. Загальні технічні умови (2012) [5].

Цифрові дані піддавали математичній обробці загальновизнаними методами варіаційної статистики для малої вибірки. Результати дослідження виражені у вигляді M±m.

Результати дослідження та їхнє обговорення. За досліджуваний період середнє значення водневого показника pH знаходилося на рівні 7,7–7,9 (табл.1). В літній період показник pH був вищим – 7,8–8,3, а восени знижувався до 7,7–7,8 (ГДК – 6,5-8,5). Найвищі значення pH протягом сезону спостерігалися в районі с. Сурсько-Литовське.

Таблиця 1. **Хімічний склад води р. Мокра Сура, 2015 р.**

Показник	Пункти відбору проб води		
	с.Сурсько-Литовське	с.Новоолександрівка	Гирло
Жорсткість, мг-екв/дм^3	9,27–10,7 10,1±0,58	11,05–12,48 11,65±0,22	4,26–6,06 5,2±0,26
pH	7,7–8,3 8,0±0,82	7,7–7,9 7,8±0,04	7,5–7,8 7,7±0,02
Мінералізація, мг/дм^3	562,6–876,5 765,1±148,95	583,6–903,6 793,27±158,05	281,2–366,2 333,3±13,19
Лужність, мг-екв/ дм^3	4,1–4,6 4,4±0,53	4,9–5,9 5,57±0,91	2,5–3,1 2,8±0,10
Двоокис вуглецю, мг/дм^3	20,3–28,6 24,37±1,20	30,2–41,8 34,4±3,93	13,2–32,8 24,5±2,92
Гідрокарбонати, мг/дм^3	164,7–298,9 224,7±24,9	317,2–427,0 359,9±63,27	122,0–213,0 168,6±13,14
Розчинений кисень, мг/дм^3	5,2–10,1 7,16±0,91	5,72–9,13 9,68±0,74	2,11–10,22 5,19±1,27
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм^3	15,6–25,48 21,16±2,9	9,53–21,2 18,2±1,77	7,77–26,2 14,26±2,99
Азот амонійний, мг/дм^3	0,23–0,43 0,35±0,09	0,159–0,29 0,23±0,05	0,08–0,11 0,095±0,004
Азот нітритний, мг/дм^3	0,076–0,268 0,168±0,029	0,232–1,58 0,917±0,32	0,03–0,381 0,153±0,057
Азот нітратний, мг/дм^3	1,05–8,11 5,5±1,95	1,59–1,97 1,76±0,43	0,37–0,72 0,49±0,06
Фосфор фосфатів, мг/дм^3	0,23–1,5 0,95±1,59	0,17–4,5 1,99±1,33	0,25–14,26 5,68±2,17

Примітки: над рискою – значення протягом року; під рискою – середнє та похибка його визначення.

Підвищення рівня pH в літній період характерне для природної води, що пов'язано зі зменшенням концентрації двоокису вуглецю і зміщенням рівноваги в бік підвищення лужності внаслідок інтенсифікації процесів фотосинтезу та значного використання бікарбонатів, що є стимулом для дисоціації молекул води.

За досліджуваний період значення водневого показника pH в р. Мокра Сура знаходилось у межах встановлених нормативів.

Жорсткість коливалася від 6,06 до 12,4 мг-екв/дм^3 з незначним підвищенням у весняний період і зниженням у літній, що можна пов'язати з погодними умовами – розбавлення води за рахунок злив (ГДК ≤7).

Мінералізація води, що відбиралася у трьох пунктах, суттєво відрізняється за довжиною річки. Її показники коливалися від 281,2 до 903,6 мг/дм^3 (ГДК ≤1000 мг/дм^3). Причому, на верхніх ділянках річки мінералізація води є вищою (середньорічні значення: 765,1 мг/дм^3 – с. Сурсько-Литовське та 793,3 мг/дм^3 – с. Новоолександрівка) порівняно з мінералізацією води у гирлі (333,3 мг/дм^3). Така ситуація пов'язана з тим, що гирлова частина р. Мокра Сура знаходиться в зоні підпору Запорізького водосховища і тому там, фактично, є дніпровська вода. Це й показали визначення мінералізації води за довжиною: у верхніх пунктах – мінералізація води є характерною для р. Мокра Сура та малих і середніх річок регіону, а в гирлі – наближається до мінералізації води у р. Дніпро [13]. Проте незважаючи на значні коливання у різних ділянках ріки, мінералізація води не перевищувала встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) як для рибогосподарського, так і для культурно-побутового використання.

Концентрація двоокису вуглецю змінювалася від 13,2–42,8 мг/дм^3 і на певних ділянках майже вдвічі перевищувала встановлені ГДК, що згубно впливає на життєдіяльність риб, а в залежності від pH, температури, жорсткості і т.п. може призводити до заморних явищ (ГДК – ≤10,00-25,00 мг/дм^3). Спостерігалася тенденція до збільшення значень показника в літній період і зниження в осінній через біохімічний розклад органічних залишків та окиснення органічних сполук, а також внаслідок процесів фотосинтезу, дихання водних організмів, послаблення водообміну [2].

Вміст гідрокарбонітів суттєво відрізнявся в залежності від точки відбору і сезону. Найвищі значення зафіксовані у весняний період, а найнижчі у літній. Однак на всіх ділянках їх концентрація відповідала встановленим нормам (ГДК ≤ 1000 мг/дм^3). Проте на протязі всього сезону показники в районі с. Новоолександрівка були дещо вищі, ніж на інших ділянках, що можна пояснити їх надходженням зі стічними водами підприємств.

Головним чином на лужність води р. Мокра Сура впливають гідрокарбонати. Між показниками вмісту гідрокарбонатів і лужності існує пряма залежність. Проте в осінній період залежність порушується і показники лужності збільшуються, можливо, за рахунок посилення впливу інших іонів, які потрапляють до ріки в першу чергу зі стічним водами від полів, а також від промислових підприємств.

Суттєво змінювався за сезонами вміст розчиненого кисню. Найвищі значення на всіх точках відбору зафіксовані в весняний період – від 9,13 (район с. Новолександрівка) до 10,22 мг/дм^3 (район гирла ріки), найнижчі – в літній період в районі гирла – 2,11 мг/дм^3, що майже вдвічі менше встановлених ГДК і може стати причиною масових заморних явищ (ГДК ≥6 мг/дм^3).

Весною високе кисневе насичення досягалося за рахунок малих витрат кисню на розкладання органічних речовин. Проте, треба відзначити, що за відсутності перемішування в умовах високих температур та довготривалого освітлення біля верхніх шарів водойми може відбуватися перенасичення води киснем, при цьому в нижніх шарах спостерігатиметься дефіцит кисню.

Восени показники вмісту розчиненого кисню збільшилися і становили в районі с. Сурсько-Литовське – 5,2 мг/дм^3, а в районі с. Новоолександрівка – 6,09 мг/дм^3. Однак в районі гирла ріки концентрації розчиненого кисню залишалися досить низькими – 3,24 мг/дм^3, що менше встановлених ГДК.

Значно перевищували встановлені норми показники перманганатної окиснюваності (ПО). Найвищі значення спостерігалися в осінній період і становили

від 21,2 мгО/дм^3 (район с. Новоолександрівка) до 26,2 мгО/дм^3 (район гирла), що свідчить про інтенсивне накопичення органічних речовин. Нижчі значення ПО спостерігалися в літній період – від 22,4 мгО/дм^3 (район с. Сурсько-Литовське) до 15,2 мгО/дм^3 (с. Новоолександрівка) і 8,8 мгО/дм^3 (гирло).

В середньому у весняний період показники ПО були найнижчі – від 15,6 мгО/дм^3 (с. Сурсько-Литовське), до 7,7 мгО/дм^3 (гирло).

За даними сезонної динаміки показників перманганатної окиснюваності можна говорити про значне локальне органічне забруднення протягом усього року в районі с. Сурсько-Литовське, а в районі с. Новоолександрівка і гирла – здебільшого в осінній період. Це може негативно впливати на гідробіонтів, у тому числі стати причиною зниження імунітету, підвищення захворюваності, заморних явищ у риб [3].

Вміст амонійного азоту протягом року знаходився в межах норми як для водойм рибогоспосподарського, так і культурно-побутового призначення, хоча спостерігалися певні коливання – підвищення влітку і зниження весною. Найвищий вміст зафіксовано в районі с. Сурсько-Литовське, який становив – 0,23 мг/дм^3 (весна), 0,43 мг/дм^3 (літо) і 0,38 мг/дм^3 (осінь), найнижчий рівень – в районі гирла ріки, в середньому 0,08 мг/дм^3 (ГДК – до 1,0 мг/дм^3).

Різких коливань зазнавали показники вмісту нітратів – від 0,37 мг/дм^3 (гирло) до 8,11 мг/дм^3 (с. Сурсько-Литовське). Взагалі простежувалась динаміка збільшення концентрації нітратів в осінній період, адже при зменшенні споживання азоту відбувається розкладання органічних речовин і перехід органічних форм азоту до мінеральних. Проте в районі с. Сурсько-Литовське найвищий рівень нітратів зафіксовано в весняний і літній періоди – 7,38 і 8,11 мг/дм^3 відповідно, що в 3–4 рази перевищує встановлені норми (ГДК – до 2,0 мг/дм^3). Подібне явище можна пов’язати з інтенсивним антропогенним впливом (аграрно-фермерська діяльність) в цьому районі.

Найвищий рівень нітритів в середньому припадає на літній період (від 0,05 до 1,58 мг/дм^3). На більшості досліджуваних ділянок (окрім гирла в літній і весняний періоди) за вмістом нітритів вода непридатна для рибогосподарських потреб (ГДК – до 0,2 мг/дм^3).

Щодо вмісту фосфатів, важко прослідити певну закономірність їх розподілу, що також може бути пов’язано з інтенсивним антропогенним впливом. Проте їх вміст на всіх ділянках перевищував встановлені ГДК в 3–4 рази, а місцями навіть більше ніж в 10–20 разів (ГДК – 0,2–0,5 мг/дм^3). Найбільший вміст фосфатів протягом сезону зафіксовано районі гирла ріки, що пояснюється близьким розташуванням очисних споруд, змивами з полів та перенесенням сполук фосфору вниз за течією.

У зв’язку з розходженням показників посезонно, а також в залежності від точки відбору, загальна екологічна оцінка якості води є досить умовною. Так, екологічний стан р. Мокра Сура за гідрохімічними показниками на досліджуваних ділянках в цілому характеризується як «задовільний, посередній» – «поганий» (III–IV класи, 5-6 категорії якості води) (табл.2).

Найбільш забруднена вода в районі с. Сурсько-Литовське, проте на інших ділянках ситуація мало відрізняється. Крім того спостерігається порушення закономірності розподілу азотовмісних сполук, особливо в районі гирла. Так, при значних концентраціях нітритів, вміст нітратів, а особливо амонійного азоту залишається порівняно низький. Останнє свідчить про недоокиснення нітритів через дефіцит кисню.

Найгірші показники вмісту азоту нітратного та фосфору фосфатів спостерігалися в літньо-осінній період, що пов’язано зі змивами з полів значної кількості добрив внаслідок неконтрольованого їх використання у фермерських господарствах.

Таблиця 2. **Екологічна оцінка якості води р. Мокра Сура за гідрохімічними показниками**

Показник якості води	Класи і категорії якості води					
	с. Сурсько-Литовське		с. Новоолександрівка		гирло	
	найгірші показники	середні значення	найгірші показники	середні значення	найгірші показники	середні значення
pH	III (4) задовільна	III (4) задовільна	II (2) дуже добра	II (2) дуже добра	II (2) дуже добра	II (2) дуже добра
Азот амонійний	III (4) задовільна	III (4) задовільна	II (3) добра	II (3) добра	II (2) дуже добра	I (1) відмінна
Азот нітритний	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	III (5) задовільна посередня
Азот нітратний	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	IV (6) погана	IV (6) погана	III (5) задовільна посередня	II (3) добра
Фосфор фосфатів	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана
Розчинений кисень	III (5) задовільна посередня	III (4) задовільна	III (5) задовільна посередня	III (4) задовільна	V (7) дуже погана	III (5) задовільна посередня
Перманганатна окиснюваність	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	V (7) дуже погана	IV (6) погана	V (7) дуже погана	III (5) задовільна посередня

Примітка. *Класи якості води позначені римськими цифрами (I–V), категорії якості – арабськими (1–7).*

Встановлено, що невисока якість води р. Мокра Сура обумовлена значними концентраціями біогенних і органічних компонентів (IV–V класи якості води).

Надмірний вміст азотних і фосфорних сполук, органічних речовин безумовно призводить до евтрофікації як самої ріки Мокра Сура, так і Запорізького водосховища в результаті надходження цих сполук вниз по течії – до гирла ріки.

Проведений аналіз показав необхідність систематичного дослідження якості води р. Мокра Сура і визначення подальших напрямків роботи, щодо її поліпшення.

Окремою науково-прикладною задачею може стати дослідження гідрохімічними методами впливу дніпровських водних мас на склад води р. Мокра Сура (наприклад, на яку відстань від гирла цей вплив поширюється уверх по річці).

Висновки. Зміна якості води р. Мокра Сура має сезонний характер. Найкращі показники якості – у весняний період, значне погіршення зафіксовано влітку. Восени в результаті мінералізації органічної речовини та зниження інтенсивності фотосинтезу більшість показників наближається до весняного рівня. Порушення динаміки гідрохімічних показників здебільшого пов'язано з антропогенним забрудненням, під впливом якого вміст біогенних елементів та газовий режим досить нестабільний. За більшістю середньорічних показників екологічна оцінка води ріки Мокра Сура дозволяє віднести її до III–IV класу, 5–6 категорії якості (задовільна, посередня, погана вода), хоча в окремих ділянках спостерігається значне зниження якості води – до V класу, 7 категорії (дуже погана).

Список літератури

1. *Веницианов Е.В.* Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана / Е.В. Веницианов, Г.В. Аджиенко, Н.М. Щеголькова // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. – Т. 1. – Борок, 2014. – С. 23-41. **2.** *Винарчук О.О.* Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейну річки Ворскла за середньорічними даними / О.О. Винарчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 2 (33). – С. 46-54. **3.** *Вишневецкий В.Ю.* К вопросу влияния гидробионтов на качество воды в водных объектах / И.Ю. Вишневецкий, Ю.М. Вишневецкий // Известия Южного федерального университета. – 2011. – Т. 122. – Вып. 9. – С. 142-152. **4.** *Гурська Т.І.* Оцінка якості поверхневих вод басейну річки Шкло / Т.І. Гурська // Вісник Львів. Ун-ту. – 2009. – Вип. 36. – С. 105–114. **5.** *ДСТУ* 2284:2010: Риба жива. Загальні технічні вимоги. Загальні технічні умови. Держспоживстандарт України, 2012р. Код УКНД 67.120.30. – 16с. **6.** *Екологічний паспорт* Дніпропетровської області 2014 р. – 138с. **7.** *Особенности гидродинамического режима* и термической структуры руслового пруда малой реки / С.А. Поддубный, К.А. Подгорный, А.И Цветков, М.В. Цветкова // Географический вестник. – 2013. – Вып. 2(25).– С. 46-53. **8.** *Перелік методик* виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України. Затв. наказом Мінекоресурсів України від 03.11.2003 р. №98. **9.** *Регіональна доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2012 рік. – Дніпропетровськ, 2013. – 207 с. **10.** *Романенко В.Д.* Методи 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.** *Рудакова Л.М.* Аналіз об'ємів та складу забруднюючих речовин у гідрографічній мережі річки Мокра Сура сільськогосподарські меліорації / Л.М. Рудакова, О.Ю. Попова // Вісник Дніпропетровького державного аграрного університету. – 2011. – № 1. – С 115–118. **12.** *Федоненко Е.В.* Расселение, пространственное распространение и морфометрическая характеристика солнечного окуня Lepomis gibbosus (Centrarchidae, Perciformes) Запорожского водохранилища / Е.В. Федоненко, О.Н. Маренков // Российский Журнал Биологических Инвазий. – 2013. – № 2. – С. 51–59. **13.** *Хільчевський В.К.* Основи гідрохімії / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.

Екологічна оцінка якості води ріки Мокра Сура за гідрохімічними показниками

Федоненко О. В., Ананьєва Т. В., Ніколенко Ю. В.

Дослідження проводилися посезонно у 2015 р. на трьох ділянках у нижній течії р. Мокра Сура (права притока Дніпра): поблизу великих сіл – Сурсько-Литовське (48°19'45.1"N 34°54'46.2"E) та Новоолександрівка (48°21'17.4"N 34°59'34.7"E), а також в районі гирла ріки (48°19'31.5"N 35°08'30.5"E). Зміна якості води р. Мокра Сура має сезонний характер. Екологічну оцінку якості води здійснювали за середньорічними значеннями гідрохімічних показників, що характеризують процеси самоочищення (pH, вміст розчиненого кисню, біогенних сполук азоту і фосфору, перманганатна окиснюваність). Найкращі показники якості води отримані у весняний період, значне погіршення зафіксовано влітку. Восени в результаті мінералізації органічної речовини та зниження інтенсивності фотосинтезу більшість показників наближається до весняного рівня. Порушення динаміки гідрохімічних показників пов'язано з антропогенним забрудненням, під впливом якого вміст біогенних елементів та газовий режим досить нестабільний. За більшістю середньорічних показників екологічна оцінка води р. Мокра Сура дозволяє віднести її до III–IVкласу, 5–6 категорії якості (задовільна, посередня, погана вода), хоча в окремих ділянках спостерігається значне зниження якості води – до V класу, 7 категогії (дуже погана).

Ключові слова: *гідрохімічні показники, якість води, екологічна оцінка, р. Мокра Сура.*

Экологическая оценка качества воды реки Мокрая Сура по гидрохимическим показателям

Федоненко О. В., Ананьева Т. В., Николенко Ю. В.

Исследования проводились посезонно в 2015 году на трех участках в нижнем течении р. Мокрая Сура (правый приток Днепра): вблизи крупных сел – Сурско-Литовское (48°19'45.1"N 34°54'46.2"E) и Новоалександровка (48°21'17.4"N 34°59'34.7"E), а также в районе устья реки (48°19'31.5"N 35°08'30.5"E). Изменение качества воды р. Мокрая Сура имеет сезонный характер. Экологическую оценку качества воды осуществляли по среднегодовым значениям гидрохимических показателей, характеризующих процессы самоочищения (pH, содержание растворенного кислорода, биогенных соединений азота и фосфора, перманганатная окисляемость). Лучшие показатели качества воды получены в весенний период, значительное ухудшение зафиксировано летом. Осенью в результате минерализации органического вещества и снижения интенсивности фотосинтеза большинство показателей приближается к весеннему уровню. Нарушение динамики гидрохимических показателей связано с антропогенным загрязнением, под влиянием которого содержание биогенных элементов и газовый режим реки нестабильны. По большинству среднегодовых показателей экологическая оценка воды реки Мокрая Сура позволяет отнести ее к III–IV классу, 5–6 категории качества (удовлетворительная или посредственная, плохая вода), хотя в отдельных участках наблюдается значительное снижение качества воды – до V класса, 7 категории (очень плохая).

Ключевые слова: *гидрохимические показатели, качество воды, экологическая оценка, р. Мокрая Сура.*

Ecological estimation of water quality on hydrochemical indexes in Mokra Sura river

Fedonenko O.V., Ananieva T.V., Nikolenko J. V.

The studies were conducted seasonally in 2015 at three sites in the lower reaches of the Mokra Sura River (right tributary of the Dnieper River) near the large villages – Sursko-Litovske (48°19'45.1"N 34°54'46.2"E) and Novoaleksandrovka (48°21'17.4"N 34°59'34.7"E), and near the mouth of the river (48°19'31.5"N 35°08'30.5"E). Change in water quality of the Mokra Sura River has a seasonal character. Ecological estimation of water quality had been carried out by the average annual values of hydro-chemical indexes characterized the autopurification processes (pH, dissolved oxygen, biogenic nitrogen and phosphorus compounds, permanganate oxidation). Best water quality indicators were obtained during the spring period, significant deterioration recorded in the summer. In the autumn the most of the indicators close to the spring level as a result of mineralization of organics and reduction of the photosynthesis intensity. Violations of dynamic hydro-chemical indicators have been associated with anthropogenic pollution, which influenced on the content of biogenic elements and gas mode. By the ecological estimation of water quality on the most average annual hydrochemical indexes the water of Mokra Sura River can be attributed to III–IV class and 5–6 quality categories (satisfactory or mediocre, bad water), although in some areas there was a significant decline in the water quality to V class, 7 category (very bad).

Keywords: *hydrochemical indexes, water quality, ecological estimation, Mokra Sura River.*

Надійшла до редколегії 15.11.2016

УДК 556.53(477.52)

Данильченко О.С.
Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧОК СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Ключові слова: *якість води; екологічна оцінка якості води; річки Сумської області.*

Вступ. Якість води є надзвичайно гострим та актуальним питанням будь-якого регіону, це не лише характеристика складу і властивостей води як компонента водної екосистеми та придатності її для водокористування, а також якість води може бути одним із індикаторів стану водозбірної території. Територія Сумської області не є виключенням у цьому питанні, так як при ніби зовнішньому «благополуччі» річки та їх басейни перебувають під потужним антропогенним навантаженням [2]. Особливо це стосується середніх і малих річок [7]. Оцінка якості поверхневих вод ураховує сучасний стан водного об'єкта, дозволяє з'ясувати тенденції змін якості вод у часі та просторі, слугує основою для визначення антропогенного навантаження та ефективності водоохоронних заходів.

Вихідні передумови. Спостереження за якістю поверхневих вод у Сумській області проводять декілька організацій. Найбільший доробок у цю справу вкладає Сумське обласне управління водних ресурсів. Згідно звітів даного управління, проводиться аналіз перевищень ГДК полютантів, а з 2012 р. здійснюється комплексна оцінка якості води на основі індексу забруднюючих речовин у відповідних створах. На наш погляд цього не достатньо для осмислення повної картини якості води річок регіону на сучасному етапі.

Оцінку якості води річок регіону здійснено із застосуванням «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [3], розробленої на виконання статті 20 Закону України «Про охорону навколишнього середовища», та відповідно до вимог статей 35 та 37 «Водного кодексу України» щодо розробки нормативних документів у галузі охорони, раціонального використання та відтворення водних ресурсів, а також з урахуванням вимог Директив Європейського Союзу і міжнародних стандартів [1, 5].

Гідрохімічна база даних сформована за 24 пунктами спостережень мережі Сумського обласного управління водних ресурсів. Показники групувалися для розрахунків середніх концентрацій хімічних речовин річкових вод регіону за період 1999-2015 рр. Для поповнення багаторічних рядів гідрохімічної інформації використовувалися дані відділу аналітичного контролю та моніторингу довкілля Управління екології та природних ресурсів Департаменту екології, паливно-енергетичного комплексу та природних ресурсів Сумської ОДА.

Екологічна оцінка якості вод – це їх віднесення до певного класу і категорії, згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників (критеріїв) її складу і властивостей із подальшим їх обчисленням та інтегруванням [3]. Комплекс екологічних класифікацій якості води має гнучку систему ранжування критеріїв якості води. У 6-ти випадках з 8-ми вони нараховують 5 класів і одночасно 7 категорій якості води. Поділ усього спектру величин показників якості поверхневих вод України на 5 класів відповідає вимогам проекту «Водної рамкової директиви Європейського Союзу» (2000/60 ЕС) [5, 8, 9] і співпадає з такою ж кількістю класів у класифікаціях якості води у багатьох європейських країнах. Для картографування

результатів проведеної оцінки якості річкових вод було використано «Методику картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води» [4].

Формулювання цілей статті, постановка завдання. Об'єктом даного дослідження є річки Сумської області, предметом дослідження – якість води річок регіону та її екологічна оцінка. Мета роботи полягає в оцінці якості річкових вод регіону із застосуванням методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Для реалізації поставленої мети вирішувалися такі завдання: формування бази гідрохімічних показників за відповідними створами; розрахунок та аналіз індексів якості річкової води за певними блоками; виконання об'єднаної оцінка якості води річок регіону за допомогою інтегрального екологічного індексу; картографування результатів проведеної оцінки якості річкових вод.

Виклад основного матеріалу дослідження. За критерієм мінералізації переважна більшість досліджених річкових вод території регіону належить до 2 категорії І класу якості, тобто до «прісних олігогалинних вод», що за своїм станом характеризуються як «дуже добрі», а за ступенем чистоти – «чисті». Три річки – Знобівка, Шостка та Івотка, що протікають на півночі області, відносяться до вод 1 категорії І класу «прісні гіпогалинні» та характеризуються за станом води як «відмінні», за ступенем чистоти – «дуже чисті».

На підставі критеріїв забруднення компонентами сольового складу річкові води належать до 1-2 категорій І-ІІ класів якості, тобто за екологічним станом їх слід віднести до «відмінних» і «дуже добрих», а ступенем забрудненості (чистоти) до «дуже чистих» і «чистих» поверхневих вод. До «відмінних» і «дуже чистих», відносять річки Знобівка, Шостка, Івотка, Клевень.

Значення відповідного блокового індексу I_1 змінюється в межах 1,0-2,3. Найбільші величини цього показника характерні для річок Ворскла (в усіх створах), Ворсклиця та Бобрик. Найбільший внесок в інтегральну величину I_1 належить іонам хлору. За ступенем чистоти за цими іонами досліджені води належать переважно до «чистих», але річки Ворскла, Ворсклиця, Бобрик та Єзуч – до «досить чистих» 3 категорії. Щодо сульфатних іонів, то їх значення відповідають переважно 1 категорії, тобто за ступенем чистоти річкові води належать до «дуже чистих». Зазначені особливості просторового розподілу показників сольового блоку якості річкових вод можна пояснити впливом як природних, так і антропогенних факторів [6].

За середньобагаторічними трофо-сапробіологічними показниками досліджені річкові води відносяться до ІІІ класу якості 4-5 категорії та за екологічним станом характеризуються переважно як «задовільні», а за ступенем забрудненості – «слабко забруднені», за сапробністю – «β"-мезосапробні», за трофністю – «евтрофні». Річки Бобрик, Знобівка, Івотка та Єзуч характеризуються за екологічним станом як «посередні», за ступенем забрудненості – «помірно забруднені», за сапробністю – «α'-мезосапробні», за трофністю – «ев-політрофні». Величини блокового індексу I_2 змінюються в межах 3,8-5,1. Максимальні значення цього індексу обраховані для річок Знобівка (транскордонний створ), Бобрик (м. Середина-Буда) та Єзуч (нижче м. Конотоп).

Щодо ролі окремих компонентів трофо-сапробіологічного блоку у формуванні його сумарної величини, то вона значно відрізняється. Найбільшим внеском у величину I_2 відзначалися такі показники, як прозорість, вміст амонійного, нітратного та нітритного азоту, фосфору, БО, $БСК_5$. Найгірша ситуація із вмістом фосфору. Практично всі досліджувані води за цим показником належать до 7 категорії та характеризуються як «дуже брудні» за ступенем чистоти та «дуже погані» за станом.

За вмістом азоту нітратного річкові води, як правило, відносяться також до 7 категорії, лише річки Псел (транскордонний створ), Хорол (у межах області), Сула (вище м. Ромни), Ворскла (на кордоні з Полтавською областю), Ворсклиця (транскордонний створ) характеризуються як «брудні» та «погані». Не набагато краща ситуація зі вмістом азоту нітритного. За цим показником річки Шостка, Бобрик та Єзуч також належать до 7 категорії, річки Псел (вище, нижче м. Суми та на кордоні з Полтавською областю), Ворсклиця, Знобівка, Сейм (на кордоні з Чернігівською областю) належать до 6 категорії «брудні» та «погані», половина досліджуваних створів характеризуються як «помірно забруднен»і за ступенем чистоти та «посередні» за станом (5 категорія).

За вмістом азоту амонійного зазначені води характеризуються належністю до різних категорій від 3 до 6. До 6 категорії належить лише р. Єзуч (нижче м. Конотоп), чиї води характеризуються як «брудні» та «погані». Річки Хорол (у межах області), Бобрик, Знобівка, Єзуч (вище м. Конотоп), Ворскла (на кордоні з Полтавською областю) відносяться до 5 категорії, тобто «помірно забруднені» за ступенем чистоти та «посередні» за станом. Останні річки характеризуються за ступенем забрудненості як «слабко забруднені» або, навіть, «досить чисті» та «задовільні» і «добрі» за станом. Просторову динаміку якості води за вмістом азоту амонійного можна спостерігати по довжині річки Псел у межах Сумської області: у транскордонному створі та вище м. Суми води відносяться до 3 категорії «досить чисті» та «добрі», нижче м. Суми – до 5 категорії «помірно забруднені» за ступенем чистоти та «посередні» за станом, а на кордоні з Полтавською областю – до 4 категорії «слабко забруднені» за ступенем чистоти та «задовільні» за станом.

За прозорістю річкові води Сумської області характеризуються як «брудні» за ступенем чистоти та «погані» за станом (категорія 6). У широких межах змінюються категорії якості води за показником $БСК_5$ – від 3 до 6. Найгірша ситуація з цим показником у водах річок Знобівка (6 категорія), Бобрик та Єзуч (5 категорія), вони характеризуються як «брудні» та «помірно забруднені» і «погані» та «посередні» за станом. Але у більшості випадків досліджувані води за ступенем чистоти належать до «слабко забруднених» і «досить чистих», а за станом – до «задовільних» і «добрих».

Також у широких межах змінюються категорії якості води за показником БО – від 3 до 5. Більшість річок за цим показником відносяться до 3 категорії, тобто «досить чисті» за ступенем чистоти та «добрі» за станом. Лише ті самі річки – Бобрик, Знобівка, Івотка та Єзуч (нижче міст) належать до 5 категорії.

Високі показниками компонентів трофо-сапробіологічного блоку окремих річок доводять, що у їх водах міститься велика кількість біогенних компонентів та органічних речовин різного походження, що надходять в основному з недостатньо очищених господарсько-побутових стоків, а отже, ці водні об'єкти зазнають потужного антропогенного навантаження.

За середніми багаторічними значеннями індексів блоку специфічних речовин токсичної дії (I_3) води річок Сумської області відповідають переважно 3 та 4 категоріям II та III класу якості, що характеризують води як «добрі» та «задовільні» за станом і «досить чисті» та «слабко забруднені» за ступенем забрудненості. Показник індексу блоку специфічних речовин токсичної дії коливається в межах 2,9-4,0. Максимальний показник даного індексу характерний для річок Хорол (у межах області) та Єзуч (нижче м. Конотоп). За вмістом окремих компонентів цієї групи забруднюючих речовин досліджені річкові води належать до різних категорій якості – від 1 до 6, за екологічним станом – від «відмінних» до «поганих», а за ступенем забрудненості – від «дуже чистих» до «брудних».

Найбільшим внеском у величину I_3 відзначалися показники марганцю та фтору. За їх вмістом у багаторічному аспекті досліджені води характеризувалися майже виключно належністю до 5 категорії якості, тобто «помірно забруднені» за ступенем забрудненості та «посередні» за станом. Великий внесок у величину I_3 вносять і показники заліза загального. Річкові води за цим показником майже виключно відносяться до 4 категорії і характеризуються як «слабко забруднені» та «задовільні» за станом, а річки Знобівка і Єзуч характеризуються як «помірно забруднені» та «посередні».

У широких межах змінюються категорії якості води за вмістом цинку та міді – від 1 до 4 та від 2 до 4 відповідно, тобто характеризуються за цими показниками від «відмінних» до «задовільних» за станом і від «дуже чистих» до «слабко забруднених» за ступенем забрудненості. За вмістом СПАР і нафтопродуктів зазначені води характеризуються належністю до різних категорій від 1 до 3 та 1-2 відповідно (від «відмінних» до «добрих» за станом і від «дуже чистих» до «чистих» за ступенем забрудненості).

За підсумковим інтегральним індексом I_E, отриманим на основі відповідних блокових показників, якість води річок регіону змінюється в межах 2,8-3,7. Досліджені річкові води відносяться майже виключно до II класу 3 категорії якості води та характеризуються як «добрі» за станом і «досить чисті» за ступенем забрудненості. Лише дві річки – Бобрик (м. Середина-Буда) та Єзуч (нижче м. Конотоп) – належать до III класу 4 категорії та характеризуються як «задовільні» за станом і «слабко забруднені» за ступенем забрудненості. Просторову динаміку екологічної оцінки якості води річок Сумської області за блоковими показниками (сольового складу, компонентів трофо-сапробіологічного блоку, специфічних речовин токсичної дії) та інтегральним екологічним індексом відображено на рис. 1.

Слід зауважити, що в процесі дослідження кожного блокового індексу окремо, було встановлено, що складові, які його формують, в основному суттєво різняться щодо внеску в загальну величину конкретного блокового індексу. Найбільший внесок у сумарне забруднення переважної більшості досліджених вод належить трофо-сапробіологічним показникам (азоту амонійному, нітритному, нітратному, фосфатам, БО та $БСК_5$), а також специфічним речовинам токсичної дії (важким металам). Ці речовини потрапляють у річкові води переважно внаслідок антропогенної діяльності. Значна частка біогенних речовин з'являється через скидання неочищених від сполук азоту і фосфору господарсько-побутових стічних вод, змивання поверхневим стоком мінеральних добрив із сільськогосподарських угідь і стоки тваринницьких господарств.

Висновки. Проведена екологічна оцінка якості річкових вод регіону за період 1999-2015 рр. встановила:

1) за значеннями індексів блоку показників сольового складу річкові води переважно належать до 1-2 категорій I-II класів якості, тобто за екологічним станом – «відмінні» та «дуже добрі», а ступенем забрудненості – «дуже чисті» та «чисті»;

2) за значенням індексів блоку трофо-сапробіологічнх показників річкові води відносяться до III класу якості 4-5 категорії та за екологічним станом характеризуються переважно як «задовільні», а за ступенем забрудненості – «слабко забруднені», за сапробністю – «β"-мезосапробні», за трофністю – «евтрофні»;

3) за значеннями індексів блоку специфічних речовин токсичної дії води річок відповідають переважно 3 та 4 категоріям II та III класу якості, що характеризують води як «добрі» та «задовільні» за станом і «досить чисті» та «слабко забруднені» за ступенем забрудненості;

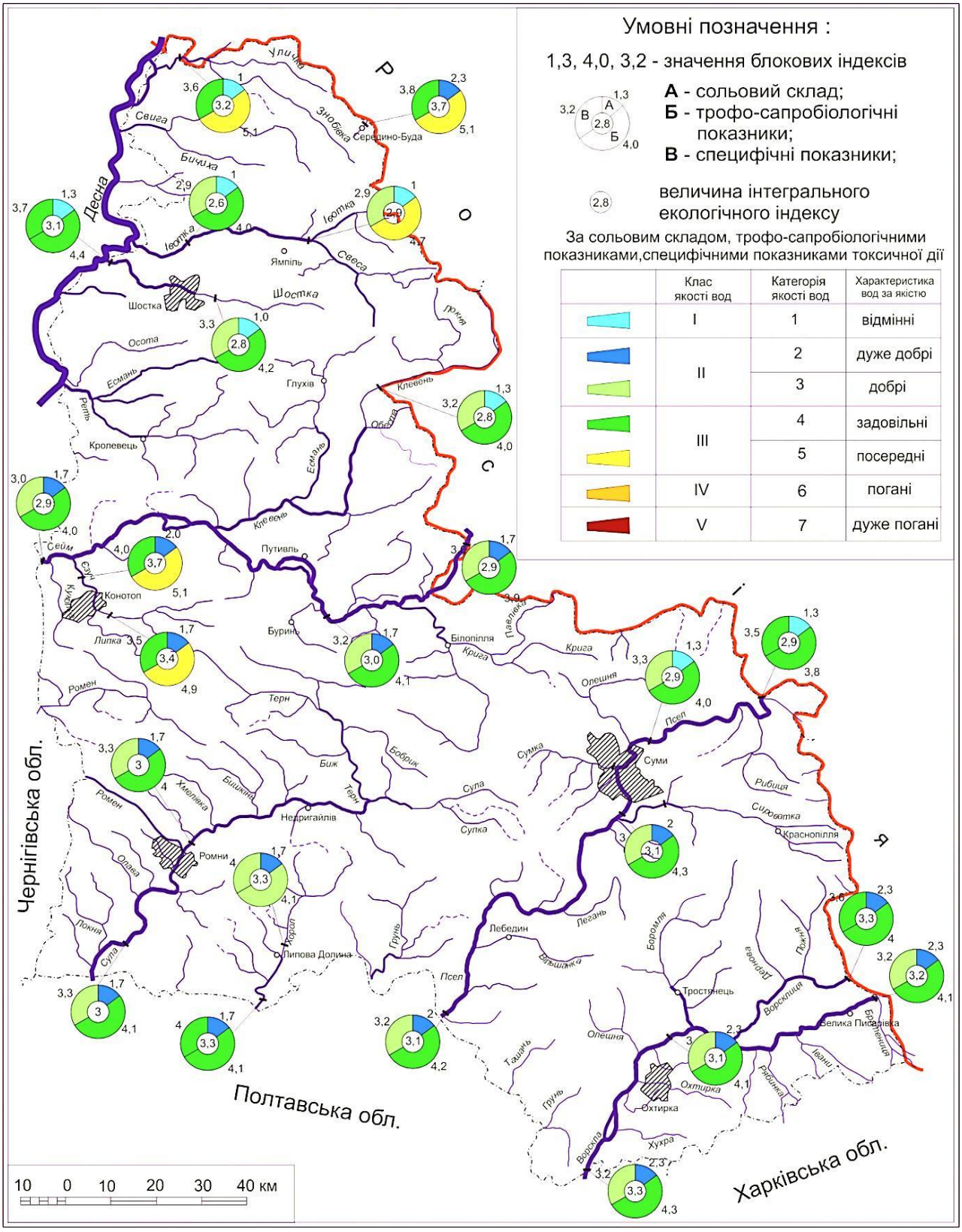


Рис. 1. **Екологічна оцінка якості води річок Сумської області за середньорічними показниками, 1999-2015 рр.**

4) за підсумковим інтегральним індексом досліджені річкові води відносяться майже виключно до II класу 3 категорії якості води та характеризуються як «добрі» за станом та «досить чисті» за ступенем забрудненості, а найбільший вплив на якість природних вод мають речовини блоку трофо-сапробіологічних показників. Дві річки, Бобрик та Єзуч, належать до III класу 4 категорії та характеризуються як «задовільні» за станом і «слабко забруднені» за ступенем забрудненості.

Список літератури

1. *Водний кодекс України* (із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 21.09.2000 р. № 1990 – 111). – 38 с. **2.** *Гребінь В.В.* Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. - Т. 2(41). – С. 32-47. **3.** *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями* / [Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П. та ін.]. – К. : Символ-Т, 1998. – 28 с. **4.** *Методика картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води* / [Руденко Л. Г., Разов В. П., Жукинський В. М. та ін.]. – К., 1998. – 48 с. **5.** Терміни та визначення водних Директив Європейського Союзу / С.О. Афанасьєв, В.С. Бабчук, … В.К. Хільчевський та ін. К.: Інтерсервіс, 2015. - 32 с. **6.** *Хільчевський В.К.* Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України / В.К. Хільчевський, О.О. Винарчук, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 230 с. **7.** *Яцик А.В.* Малі річки України / А.В. Яцик, Л.Б. Бишовець, Є.О. Богатов, …В.К. Хільчевський та ін. – К.: Урожай, 1991. 296 с. **8.** *Commission proposal a Council Directive stabling a framework for European Community water policy* (Consultation draft Explanatory memorandum, 4.12.96). **9.** *Directive 2000/60/EC of the European Parliament* and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L. 327/1. – 118 p.

Екологічна оцінка якості води річок Сумської області

Данильченко О.С.

Розраховано та проаналізовано індекси якості води річок Сумської області за блоками: показників сольового складу, трофо-сапробіологічних та специфічних речовин токсичної дії. Виконано об'єднану оцінку якості води річок регіону за допомогою інтегрального екологічного індексу. Встановлено, що досліджені річкові води відносяться майже виключно до II класу 3 категорії якості води та характеризуються як «добрі» за станом та «досить чисті» за ступенем забрудненості, а найбільший вплив на якість природних вод мають речовини блоку трофо-сапробіологічних показників. Здійснено картографування результатів проведеної екологічної оцінки якості річкових вод.

Ключові слова: *якість води; екологічна оцінка якості води; річки Сумської області.*

Экологическая оценка качества воды рек Сумской области

Данильченко Е.С.

Рассчитаны и проанализированы индексы качества воды рек Сумской области по блокам: показателей солевого состава, трофо-сапробиологических и специфических веществ токсического действия. Выполнено объединенную оценку качества воды рек региона с помощью интегрального экологического индекса. Установлено, что исследованные речные воды относятся почти исключительно к II класса 3 категории качества воды и характеризуются как «хорошие» по состоянию и «достаточно чистые» по степени загрязненности, а наибольшее влияние на качество природных вод имеют вещества блока трофо-сапробиологических показателей. Осуществлено картографирование результатов проведенной экологической оценки качества речных вод.

Ключевые слова: *качество воды; экологическая оценка качества воды; реки Сумской области.*

Ecological evaluation water quality of rivers Sumy region

Danylchenko O.S.

Based on the collected hydrochemical data, methodology and corresponding calculations average annual indicators of river water Sumy region for multiyear period (1999-2015), were obtained numerical values of classes, categories, subcategories of water quality for blocks. The resulting integral indices have

been calculated and the description of the investigated water quality, in particular, classes and categories according to the criteria of mineralization, contamination components of the salt composition, trophysaprobity, content of specific pollutants have been accomplished. To the final integral index the tested river water belongs to "good" according to its condition and to "quite pure" according to the rate of contamination, the quality of the water is mainly influenced by substances of trophysaprobiological index block (ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, phosphate) and the toxic effects of specific substances (heavy metals). The high indicators of components of trophysaprobiological block some rivers prove that these water bodies experiencing powerful anthropogenic pressure, especially in the villages. Two rivers, Bobryk and Yezuch, belong to the III class and category 4 characterized as "satisfactory" over the condition and "slightly contaminated" by the degree of contamination. Mapping the results of the environmental assessment of river water quality performed.

Keywords: *water quality; ecological evaluation of water quality; rivers of the Sumy region.*

Надійшла до редколегії 18.11.2016

УДК 551.482

Винарчук О.О.
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, м. Київ

ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В БАСЕЙНАХ РІЧОК СУЛА, ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА

Ключові слова: *водокористування, водовідведення, забір та використання води, скиди стічних вод і забруднюючих речовин.*

Актуальність теми. Вплив господарської діяльності на водні ресурси проявляється, в першу чергу, у зміні гідролого-гідрохімічного режиму та якості поверхневих та підземних вод басейнів річок Сула, Псел та Ворскла, як безпосередньо [4, 8], так і через геосистемні взаємодії [7]. Важливим чинником впливу господарської діяльності на гідролого-гідрохімічні характеристики річок із є водокористування та водовідведення [2], облік яких здійснюється Державним агентством водних ресурсів України.

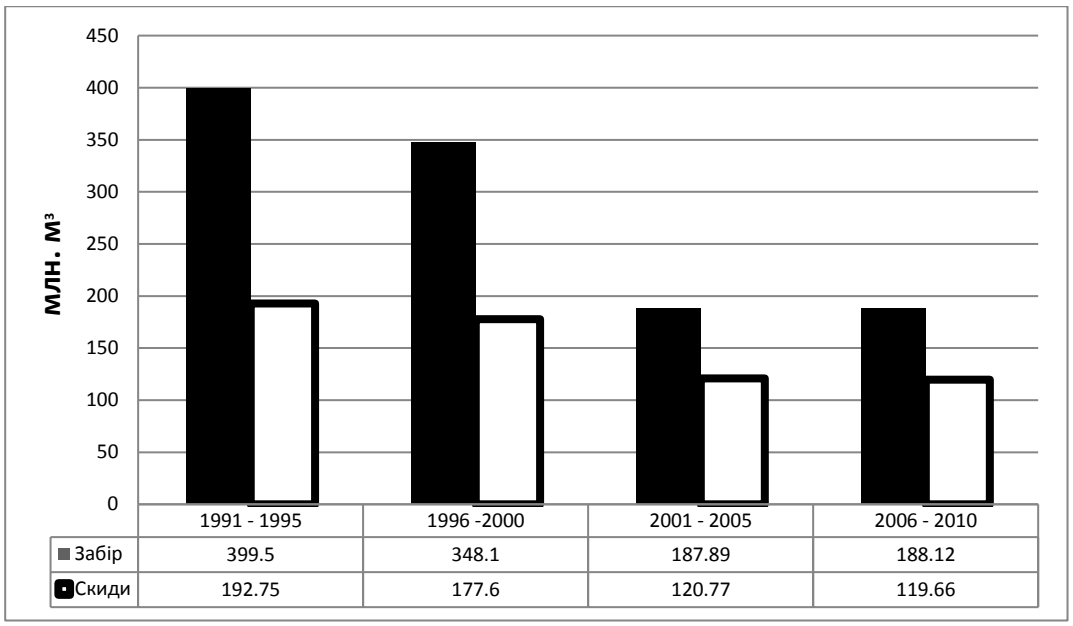
Метою даної роботи є дослідження впливу водокористування та водовідведення на водні ресурси основних річок Лівобережного Лісостепу – Сули, Псла і Ворскли.

Матеріали та методика досліджень. Для характеристики та оцінки господарської діяльності у басейнах річок Лівобережного Лісостепу використовувалися дані державного агентства водних ресурсів України, а саме дані Державної статистичної звітності за формою 2-ТП (водгосп) за останні 20 років (1991 – 2010 рр.), за якими виводилися осереднені дані по п'ятирічках [3].

Слід відзначити, що басейни річок Лівобережного Лісостепу характеризуються середнім рівнем господарської освоєності території [5, 6, 11] . Річки Псел та Ворскла є транскордонними річками, які, крім території України, протікають по території Курської та Бєлгородської областей Росії. На території України річки Сула, Псел та Ворскла протікають по 27 адміністративних районах двох областей – Сумської та Полтавської [2].

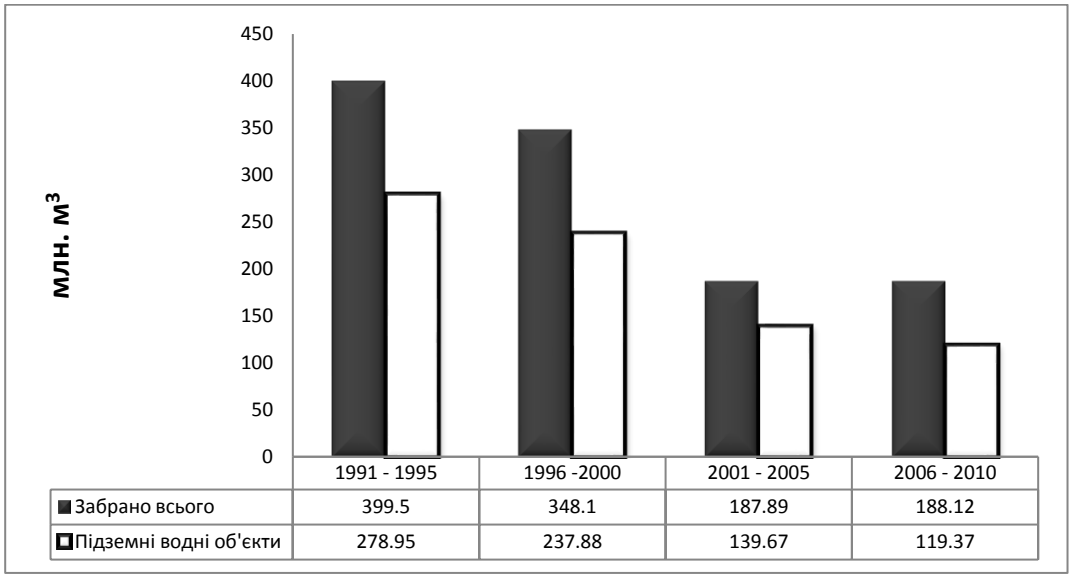
Основними водокористувачами в басейнах річок Лівобережного Лісостепу є промисловість, житлово-комунальне та сільське господарства. В посушливі роки вода використовується для зрошення та зволоження сільгоспугідь [1, 10].

Виклад основного матеріалу. У цілому, за останні двадцять років, у басейнах річок Сула, Псел та Ворскла спостерігається чітка тенденція до зменшення забору та використання води, а також до зменшення обсягів скидів стічних вод і забруднюючих речовин (рис. 1). Так, за осередненими даними по п'ятирічках (1991 – 2010 рр.) річний забір води у басейні річок Лівобережного Лісостепу зменшився у 2,1 рази – з 399,5 до 188,12 млн. м^3. Хоча забір підземних вод зменшився у 2,3 рази, його частка в сумарному заборі води майже не змінилася і становить 69–63 %. Таким чином, у басейнах річок Лівобережного Лісостепу (р. Сула, р. Псел та р. Ворскла) більше використовуються ресурси підземних вод. Вони становили 278,95 млн. м^3 у середньому на рік за період 1991–1995 рр., а у 2006–2010 рр. зменшилися до 119,37 млн. м^3, тобто у 2,3 раз (рис. 2).



	1991 - 1995	1996 -2000	2001 - 2005	2006 - 2010
Забір	399.5	348.1	187.89	188.12
Скиди	192.75	177.6	120.77	119.66

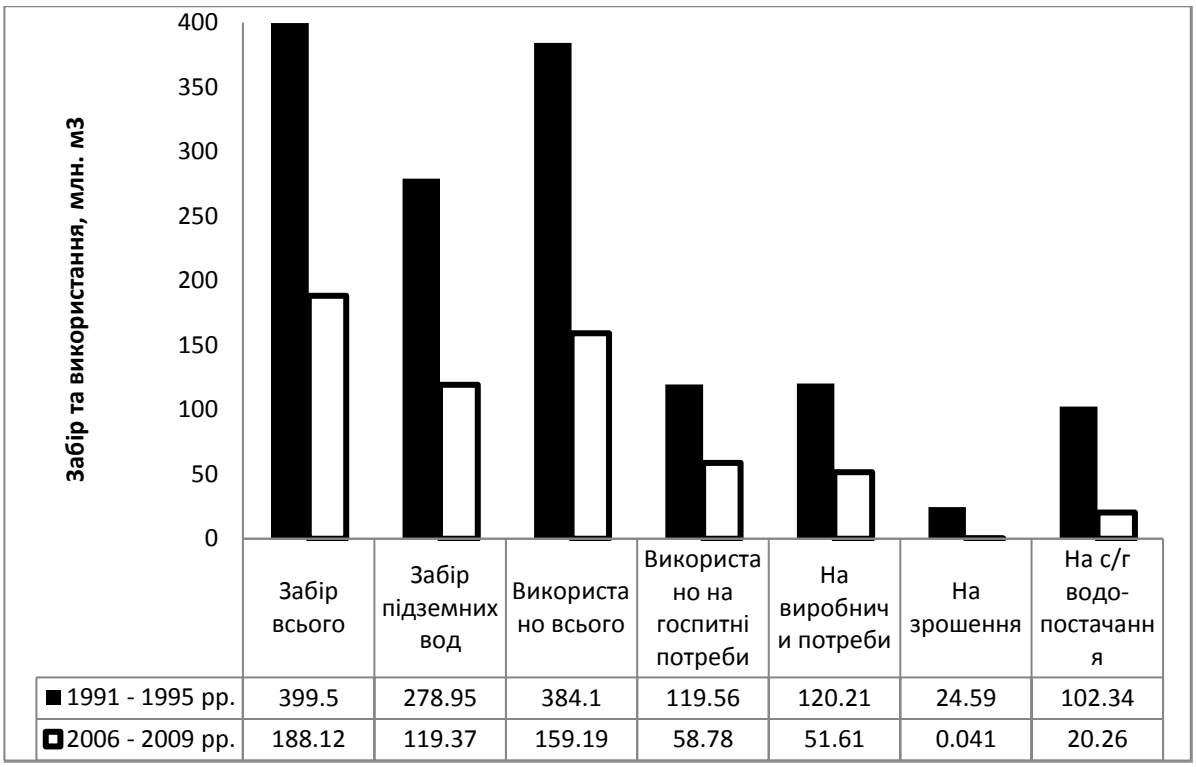
Рис. 1. ***Динаміка забору та скидів води в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла за даними державної статистичної звітності за формою 2-ТП (водгосп) за відповідними періодами (1991 – 1995 рр., 1996 – 2000 рр., 2001 – 2005 рр., 2006 – 2010 рр.), млн. м^3***



	1991 - 1995	1996 -2000	2001 - 2005	2006 - 2010
Забрано всього	399.5	348.1	187.89	188.12
Підземні водні об'єкти	278.95	237.88	139.67	119.37

Рис. 2. ***Динаміка забору води із природних водних об’єктів, в тому числі із підземних водних об’єктів, в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла за даними державної статистичної звітності за формою 2-ТП (водгосп)***

Зменшення забору води в басейнах річок Лівобережного Лісостепу спричинено, перш за все, відповідним зменшенням у 2,3 рази, використаної води на виробничі потреби – з 120,21 до 51,61 млн. м^3 за періоди, що розглядаються (рис. 3). Виробничі потреби становили 31% від усього об’єму використаної води у басейнах. Звертає увагу різке зменшення використаної води на зрошення – з 24,59 до 0,041 млн. м^3. При цьому частка використаної на зрошення води зменшилася з 6 до 0,026 % від загальної кількості води.



	Забір всього	Забір підземних вод	Використано всього	Використано на госпитні потреби	На виробничи потреби	На зрошення	На с/г водо-постачання
■ 1991 - 1995 рр.	399.5	278.95	384.1	119.56	120.21	24.59	102.34
◘ 2006 - 2009 рр.	188.12	119.37	159.19	58.78	51.61	0.041	20.26

Рис. 3. ***Показники забору та використання води на різні потреби в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла у порівнянні за відповідними періодами (1991 – 1995 рр., 2006 – 2010 рр.)***

На господарсько-питні потреби використання води також зменшилося – з 119,56 до 58,78 млн. м^3, тобто у 2,03 раз. Але частка питної води від загальної кількості використаної води збільшилася з 31 до 37 %.

На сільськогосподарське водопостачання використання води зменшилося – з 102,34 до 20,26 млн. м^3, тобто у 5,05 рази. При цьому частка використаної на сільське господарство води зменшилося з 26,6 до 12,7 %.

Значне скорочення забору поверхневих вод у басейнах річок Лівобережного Лісостепу призвело до зменшення скидів стічних вод різної категорії якості (рис. 4).

Так, за період 1991 - 1995 рр. щорічно скидалося у середньому 192,75 млн. м^3, а протягом 2006 – 2010 рр. – 119,66 млн. м^3. Об'єм скидів у цілому зменшився у 1,6 рази, що відповідає тенденції і зменшення забору води у басейнах річок, (у 2,1 рази), хоча й не є адекватним.

При цьому скид нормативно очищених вод зменшився у 1,6 рази, з 90,92 до 57,99 млн. м^3, нормативно чистих без очистки – зменшився у 2,2 рази, з 75,59 до 33,73 млн. м^3. Але обсяги скидів забруднених стічних вод зменшується порівняно мало – з 26,21 до 17,19 млн. м^3 (зменшення в 1,5 рази).

Таким чином частка нормативно очищених та нормативно чистих стічних вод у 1991 – 1995 рр. становила 86% від загального об'єму скидів, без очистки скидалося близько 14%, а у 2006 – 2010 рр. частка останніх у загальному об'ємі стічних вод залишилася не змінною (14%).

Зменшення забору поверхневих вод та, відповідно, і скидів стічних вод у басейнах річок Лівобережного Лісостепу (річки Сула, Псел та Ворскла) за останні двадцять років пояснюється, в цілому, соціально-економічними негараздами в країні та зменшенням обсягів виробництва.

Аналізуючи найбільш значних водокористувачів в басейнах річок Лівобережного Лісостепу, можна виділити наступні об'єкти в басейні річки Псел –

АТ «СМПО ім. Фрунзе», (виробництво хімічного обладнання), м. Суми (водозабір - 3,90 тис. м^3/добу); виробниче об'єднання «Хімпром», м. Суми (14,09 тис. м^3/добу). В басейні річки Хорол (притока р. Псел) - Миргородське виробниче управління водоканалізаційного господарства (ВУВКГ) (6,20 тис. м^3/добу). В басейні річки Сула - Лубенське ВУВКГ (5,19 тис. м^3/добу), Лубенська ковдряно-повстяна фабрика (3,89 тис. м^3/добу). В басейні річки Ворскла - Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат (79,17 тис. м^3/добу) [9].

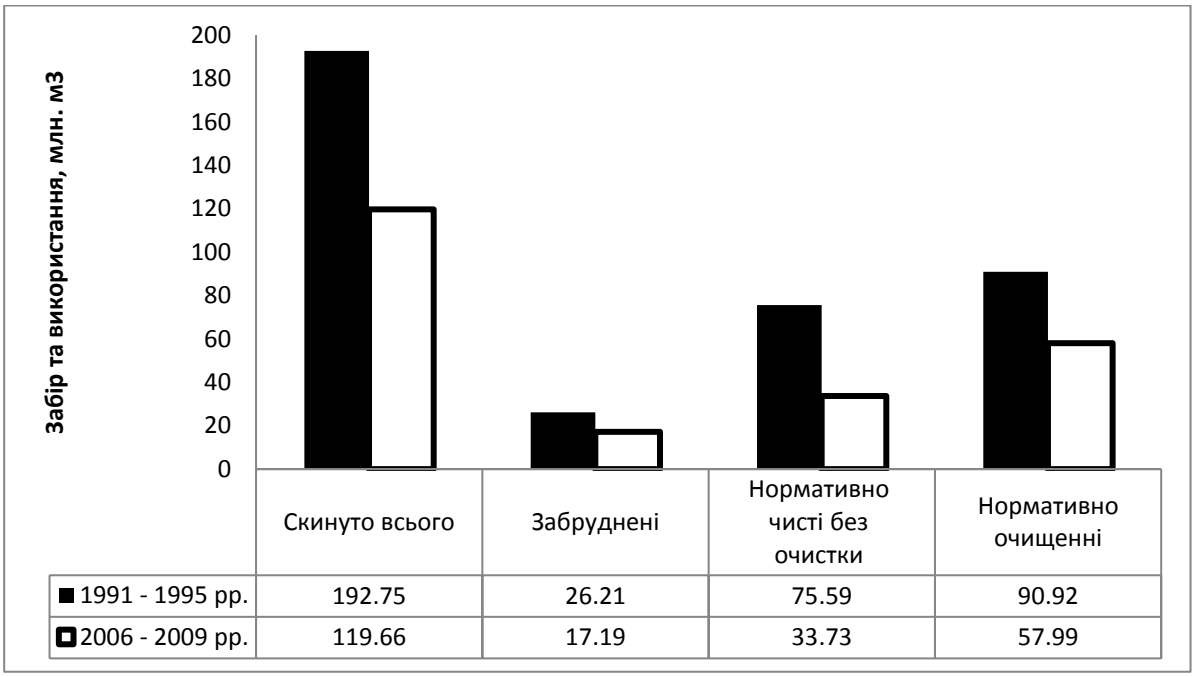


Рис. 4. ***Скиди стічних вод різної категорії очищення в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла за відповідними періодами (1991 – 1995 рр. і 2006 – 2009 рр.)***

Висновки.

1. За результатами виконаних досліджень, за останні двадцять років (1991 – 2010 рр.), у басейнах річок Сула, Псел та Ворскла спостерігається чітка тенденція до зменшення забору та використання води, а також до зменшення обсягів скидів стічних вод і забруднюючих речовин.

2. У басейнах річок Лівобережного Лісостепу (р. Сула, р. Псел та р. Ворскла) для водопостачання більше використовуються ресурси підземних вод, (понад 60%).

3. Значне скорочення забору природних вод у басейнах річок Сула, Псел та Ворскла (у 2,1 рази) призвело до адекватного зменшення скидів стічних вод різної категорії якості. Об'єм скидів зменшився лише у 1,6 рази, що не є адекватним зменшенню забору води у басейнах річок.

4. Скиди нормативно очищених, нормативно чистих без очистки вод зменшився, але скиди забруднених стічних вод залишаються майже не змінними, що, безперечно, негативно впливає на якість річкових вод

Список літератури

1. *Винарчук О.О.* Вміст головних іонів та мінералізація води річки Ворскла / О.О. Винарчук // Фізична географія і геоморфологія. – 2010, вип. 3(60). – С. 215-224. **2.** *Винарчук О.О.* Умови формування хімічного складу води та вивченість гідрохімічного режиму річок Лівобережного Лісостепу / О.О. Винарчук, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. - Т. 18. – С. 219-230. **3.** *Вишневський В.І.* Річки і водойми України. Стан і використання / В.І. Вишневський. – К.: Віпол, 2000. – 376 с. **4.** *Водне господарство України: сучасний стан та перспективи розвитку*/ [С.І. Дорогунцов, М.А. Хвесик, І.Л.

Головинський та ін.] – К.: РВПС України, 2002. – 56 с. **5.** Водний фонд України: штучні водойми - водосховища і ставки / За ред. В.К. Хільчевського та В.В. Гребня. – К.: Інтерпрес, 2014. – 164 с. **6.** *Гребінь В.В.* Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. - Т. 2(41). – С. 32-47. **7.** *Горєв Л.М.* Гідрохімія України / Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с. **8.** *Косовець О.О.* Сучасний стан забруднення поверхневих вод на території України за даними спостережень мережі гідрометслужби / О.О. Косовець, Ю.І. Онанко, Н.Г. Радзієвська // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т.11. – С. 257-263. **9.** Національний атлас України. – К., 2007. **10.** *Хільчевський В.К.* Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України / В.К. Хільчевський, О.О. Винарчук, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 230 с. **11.** *Яцик А.В.* Малі річки України / А.В. Яцик, Л.Б. Бишовець, Є.О. Богатов, …В.К. Хільчевський та ін. – К.: Урожай, 1991. 296 с.

Характеристика господарської діяльності в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла

Винарчук О.О.

В статті наведено характеристику водокористування та водовідведення в басейнах річок Сула, Псел та Ворскла за 1991-2010 рр.. Спостерігається чітка тенденція до зменшення забору та використання води за даний період, а також до зменшення обсягів скидів стічних вод і забруднюючих речовин.

***Ключові слова**: водокористування, водовідведення, забір та використання води, скиди стічних вод і забруднюючих речовин.*

Характеристика водопользования и водоотведения в бассейнах рек Сула, Псёл и Ворскла

Винарчук О.А.

В статье приведена характеристика водопользования и водоотведения в бассейнах рек Левобережной Лесостепи (реки Сула, Псёл и Ворскла) за 1991-2010 гг. Наблюдается чёткая тенденция к уменьшению забора и использования воды за данный период, а также к уменьшению объемов сбросов сточных вод и загрязняющих веществ.

***Ключевые слова:** водопользования, водоотведения, забор и использование воды, сбросы сточных вод и загрязняющих веществ.*

Characteristic of water use and water removal in pools of the rivers Sula, Psyol and the Vorskla

Vinarchuk O. O.

In article the characteristic of water use and water removal in pools of the rivers of Left-bank Forest-steppe (the river Sula, Psyol and the Vorskla) for 1991-2010 years is resulted. Differences in conditions of water chemical composition in upstream and midlestream of rivers Sula, Psel and Vorskla are marked. The necessity of more detailed studying of hydrochemical regime of mentioned rivers is emphasized. It is investigated dynamics of change of a chemical compound of waters of left-bank inflows of Dnepr in the conditions of considerable development of the anthropogenous loading on the basis of data of hydrochemical supervision. The accurate tendency to reduction of a fence and water use for the given period, and also to reduction of volumes of dumps of sewage and polluting substances Is observed. It is noticed, that substances of the block of ekologo-sanitary indicators have the biggest contribution to pollution of river waters of pool Psla, then follow substances of the block of salt structure and the block of specific substances of toxic action. The analysis of communication of quality of river waters with water level has shown certain improvement of quality of river waters in a year abounding in water during a spring high water and aestivo-autumnal.

***Key words:** water use, water removal, a fence and water use, dumps of sewage and polluting substances.*

Надійшла до редколегії 22.11.2016

ОГЛЯД

УДК 556.5.06+620.92+620.987

Ободовський О.Г., Рахматулліна Е.Р., Тимуляк Л.М.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

КОРОТКА ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА СУЧАСНИЙ СТАН МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ НА РІВНИННИХ РІЧКАХ УКРАЇНИ

Ключові слова: *гідроенергетика, мала ГЕС, історичний огляд.*

Вступ. Сучасні тенденції та принципи сталого розвитку суспільства у сфері енергетики стимулюють використання альтернативних джерел енергії, розвиток енергозберігаючих і «зелених» технологій тощо. Тому питання розвитку малої гідроенергетики на сьогодні зберігає свою актуальність [4].

Мала гідроенергетика, є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дозволяє використовувати великий гідроенергетичний потенціал малих річок та приток, систем водозабезпечення для забезпечення потреб в електроенергії окремих районів або населених пунктів.

Переважна більшість наукових публікацій вітчизняних авторів, у яких висвітлені ті чи інші проблеми, перспективи або реальні здобутки малої гідроенергетики, розпочинаються з короткого історичного огляду, в якому відображаються етапи її становлення на теренах. Значно рідше в літературних джерелах з'являється інформація про кількість та характеристики малих гідроелектростанцій по окремих регіонах, особливо по басейнах річок.

Метою роботи є ретроспективний аналіз досліджень малої гідроенергетики рівнинної території України, а також аналіз сучасних проблем та перспектив розвитку гідроенергетичного будівництва на території правобережжя Дніпра.

Виклад основного матеріалу. ***Історичний аспект розвитку малої гідроенергетики.*** Енергетичний потенціал малих річок на теренах України використовували здавна. Надзвичайно велике поширення мали в XVII ст. водяні млини на території України. У 1666 р. за розпорядженням керівництва гетьман Брюховецький провів перепис у містах, містечках, слободах та в селах. Окрім інших об’єктів переписані були водяні млини. Збережені переписні книги 1666 р. охоплюють тільки невелику частину України (від р. Сули до р. Ворскли). На 14 малих річках, які знаходяться в переписних книжках, було враховано близько 50 гребель та 300 водяних колес. Тільки на р. Удай врахували 9 гребель та при них 72 водяні колеса. На р. Псел тільки при 7 поселеннях, тобто тільки по невеликій частині середньої течії, було включено в переписну книгу 8 гребель та при них 64 водяні колеса, не враховуючи тих що відновлюються при греблі в м. Голтва.

Окрім вказаних млинів можна назвати ще існуючі у тому районі в XVII ст. на р. Удай млини в селищах Круче, Кебайловке, Каплинцях, Гурбинцях та ін. Також можна вказати додаткові дані по греблям XVII ст. і на інших українських річках. У кількості млинів нестачі не було. Але далеко не всі млини були побудовані задовільно. Безладно створені греблі досить часто заважали одна одній і викликали заболочення великих частин заплави річок [6].

Поряд із стаціонарними отримали значне розповсюдження плавучі млини. Так, у Києві у 1684 р. на березі річки Дніпро було зафіксовано плавучий млин «на

двох байдарках». Вже у 1745 р. у Києві було близько 30 плавучих млинів, які облаштовувались на двох дубах (баржах або байдарках), між яких знаходилось водяне колесо [6].

У 1890 р. на території сучасної України передовий європейський досвід із перетворення енергії потоку води в електричну енергію вперше впровадив у межах власної броварні в селі Фрідешово (зараз Кольчино Мукачівського району Закарпатської області) граф Ф. Шенборн . Для цього від річки Визниці тунелем було прокладено деривaційний канал до гідроелектростанції, потужність якої становила 200 кВт. Незабаром ще одну малопотужну гідроелектростанцію було споруджено на водяному млині в Ужгороді (він розташовувався поблизу нинішнього приміщення Головпоштамту міста).

На території центральної України перша мала гідроелектростанція була побудована в 1912 р. на річці Південний Буг у містечку Тиврів (сьогодні – селище Тиврів, один з адміністративних центрів Вінниччини). Її потужність становила 50 кВт [11]. Через рік, у 1913 р. на р. Південний Буг у с. Сокілець Немирівського району Вінницької області запрацювала друга гідроелектростанція. Ініціатором її створення був тодішній власник цих земель – граф К. Потоцький. При розташуванні малої ГЕС у с. Сокілець оптимально використовувались природні особливості місцевості: оскільки річка утворює тут кількаметровий водоспад, то паралельно до русла було побудовано деривaційний канал і встановлено шлюзи.

Подальший розвиток малої гідроенергетики нерозривно пов’язаний з певним становленням економіки країни. Так вже у 1920 році був створений перший в світі науково-обгрунтований план розвитку економіки країни на базі розвитку електрифікації (план ГОЕЛРО). Згідно цього плану малі річки розглядались як основну базу електрифікації сільського господарства.[1].

Для розвитку малої гідроенергетики характерним є два якісно різних етапи: освоєння енергії малих водотоків гідростанціями потужністю в декілька десятків кіловат (1919-1945рр.), та будівництво сільських міжколгоспних та державних ГЕС укрупненої потужності (від 1 до 10 тис.кВт), які працюють в місцевих енергосистемах (1945-1969 рр.).

У 1924 році експлуатувалося 84 МГЕС загальною потужністю 4000 кВт, а в 1929-му їх кількість зросла до 150 (загальною потужністю 8400 кВт). Серед них: Бугська (на р. Гірський Тікич), яка введена в експлуатацію в 1929 році (570 кВт), Вознесенська (1929-й, 840 кВт) та Сутиська на р. Південний Буг (1927-й, реконструйована в 1935-м до потужності 1000 кВт). У 1934 році була споруджена Корсунь-Шевченківська станція (1650 кВт) на річці Рось, що працює донині. В 1935-1937-му введені Шумська ГЕС (120 кВт), Потушська (32 кВт), Писаревська (160 кВт), Білоусівська (88 кВт) в басейні р.Південний буг на річці Сільниця, Березовська (108 кВт), Клебанська (64 кВт) та інші. У західних регіонах України на деяких річках стояли десятки водяних млинів, оснащені малими генераторами потужністю 5-25 кВт. Це були найпростіші мікро-ГЕС, і вони забезпечували переважно локальні потреби в електричній енергії.

Побудовані у цей проміжок часу малі ГЕС мали багато недоліків. Через відсутність кваліфікованих кадрів, якісних матеріалів та оснащення рівень їх експлуатації був невисокий. Більшості малих ГЕС були притаманне недостатнє використання стоку річок, повне припинення ГЕС в період паводків. Через вирівнювання рівня води у верхньому та нижньому б’єфах, нестійкі режими робіт з різкими змінами напруги та частоти струму при коливанні навантажень.

У післявоєнні роки роль малих ГЕС зросла. Відбулося відновлення зруйнованих ГЕС та проводилось активне будівництво нових. До 1950 року на Україні експлуатувалося 956 малих гідроелектростанцій і продовжувалось

спорудження нових. До того ж, генеральною схемою розвитку електрифікації в Україні була розрахована можливість будівництва ще 2600 малих ГЕС сумарною потужністю 1261 МВт. У цей період завдання електофікації сільського господарства вирішувалось раціональним поєднанням централізованого та місцевого енергопостачання. Основним напрямком сільської електрофікації стало будівництво місцевих енергосистем, до складу яких входили малі ГЕС збільшеної потужності та дизельні електростанції. Так у 1953 році на основі Корсунь-Шевченківської (1650 кВт), Стеблівської (2800 кВт) і Дибненской ГЕС (560 кВт) на річці Рось була створена і функціонувала перша на Україні місцева сільська енергосистема, до складу якої входила також Юрковська ТЕС (2000 кВт). Побудовано Ладижинську і Глибочинську малі ГЕС (потужністю 7500 кВт кожна) та інші станції (рис.1).

Рис.1. **Гідроенергетичне (*) та судоходне використання річок Української РСР в 50-60-х роках XX століття [10]**

Дослідженнями в області малої гідроенергетики займались у 50-ті роки багато авторів. Питанням енергетичного та комплексного використання малих річок присвячені роботи Л.С. Хілобоченка, М.І. Ласинскаса, А.І. Тюльпанова, Л.А. Чилінгаряна, М.Г. Красника та ін.; обгрунтування та вибору основних параметрів малих ГЕС – роботи С.А. Стрелковського, Е.Л. Щаца, В.В. Семенова та ін.; покращення техніко-економічних показників малих ГЕС – роботи Д.Ф. Жукова, В.В. Скугарева, Ф.Т. Марковського та ін.; роботі малих ГЕС у складі місцевих енергосистем – А.Г. Захарина, І.А. Караулова, В.Л. Кашакашвілі, В.І. Вейца, П.Я. Пирхавки та ін.; експлуатації малих ГЕС – Я.І. Флексера, В.М. Потапова та ін.; умов

роботи малих гудротурбін – Н.М. Щапова, А.В. Квятковського, Д.Я. Соколова та ін. [1].

Зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики. Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. Як наслідок практично всі малі гідровузли були виведені з експлуатації і демонтовані. Крім того були припинені роботи по зведенню малих ГЕС на іригаційних системах. Передбачалося збудувати малі ГЕС на 100 водосховищах іригаційного призначення, однак вони не були споруджені. З усього фонду об'єктів малої гідроенергетики України залишилося 150 малих станцій, з яких функціонують тільки 49.

Технічний стан діючих характеризується значною або повною виснаженістю основного гідросилового, гідротехнічного і електротехнічного обладнання, наявністю несправностей у спорудженнях напірного фронту, які можуть стати причиною виникнення аварійних ситуацій; замулення водосховищ; ростом забору води на неенергетичні потреби; розмивами кріплень водозливних і берегових ділянок нижніх б'єфів. Негативними наслідками припинення розвитку малої гідроенергетики на Україні також слід вважати втрату досвіду проектування, виробництва сучасного обладнання та спорудження об'єктів малої гідроенергетики.

Відродження малої гідроенергетики в Україні почалось з середини 1990 р. завдяки зусиллям підприємців-ентузіастів. В цей час підвищення і безперервне зростання цін на енергоносії, нові форми власності і господарювання, розвиток приватного підприємництва зумовили економічну доцільність МГЕС [22].

Період 2000-2006 рр. характеризується підйомом малої енергетики, відновленням МГЕС, причому майже без використання бюджетних засобів. Реконструйовано та введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківська (1650 кВт) на р. Рось, Снятинська (800 кВт) на р. Прут, Сандрацька (640 кВт) на р. Південний Буг, Юрпольска (550 кВт) та Гордашівська (400 кВт) на річці Гірський Тікич, Коржівська (400 кВт) на р. Случ, Кунцівська (400 кВт) на р. Ворскла, Остап'євска (375 кВт) та Сухобарівська (330 кВт) на р. Псел, Гальжбіївська (250 кВт) та Петрашівська (250 кВт) на р. Мурафа, Седнівська (230 кВт) на р. Снов, Лисянська (200 кВт) на р. Гнілий Тікич, малі ГЕС. Почалося спорудження нових, в основному мікро ГЕС.

У ретроспективі, за працями дослідників зроблений аналіз кількісті малих ГЕС та їх встановленої потужності за окремі часові проміжки, однак дані по окремих роках дещо відрізняються (табл.1) [4].

Як слід з табл.1, на 2015 рік в Україні діяло 105 малих ГЕС загальною потужністю 82000 кВт.

Сьогодні в Україні діють близько 30 приватних компаній, що інвестують у відновлювальну енергетику. Найбільші з них: ЗЕА «Новосвіт», ТОВ «Енергоінвест» та інші. Інвестиції спрямовані були переважно у Вінницьку, Черкаську, Хмельницьку, Тернопільську та Житомирську області. На сьогодні тут розташовано 64% загальної кількості станцій, тоді як технічний гідропетенціал малих річок в цих областях становить всього 14%. Пропонуються реконструкція старих гідротехнічних споруд на основі яких збудувати гідроелектростанції. Зокрема, у зоні Полісся, Рівеньської, Житомирської й інших областей є готові греблі на річках Горинь, Бобер, Ірша, Уборть, Жерев, Случ, Словечна, Обрезки.

Таблиця 1. **Загальна кількість малих ГЕС в Україні протягом XX – початку XXI століття [4]**

Рік	Кількість МГЕС	Загальна потужність, кВт
1924	84	4000
1929	150	8400
1941	100	9000
1946	2600	30000
1948	600 - 800	-
1950	956	29985
1960	близько 1000	-
1989	49	-
2006	67	107000
2007	73	-
2008	79 +7 мікро ГЕС	110700
2009	46	49200
2010	60	62600
2011	72 72 + 7 мікро ГЕС	70800 110740
2012	80 81	73500 85000
2013	90 84	75300 75000
2015	105	82000

Проблеми і перспективи гідроенергетичного будівництва на річках правобережжя Дніпра. В Україні протягом останніх років виробництво електроенергії з відновлюваних джерел (в т. ч. і за допомогою малих ГЕС) стимулюється на державному рівні прийняттям ряду нормативно-правових актів [8, 15, 16,19,22]. Механізмами такого стимулювання є «зелений» тариф, пільги в оподаткуванні, а також пільговий режим приєднання до електричної мережі.

Енергетична стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України у 2006 р. і оновлена у 2013 р., передбачає збільшення обсягів енергії, видобутих із нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії у загальному балансі встановлених потужностей до рівня 12,6 % [7].

Триває робота по уточненню економічно доцільного гідроенергетичного потенціалу України, в тому числі на раніше споруджених водосховищах і на об'єктах утилізації енергетичних скидів технічних систем водозабезпечення та водовідведення. Згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» в області малої гідроенергетики передбачається здійснити:

• реконструкцію та відновлення МГЕС загальною потужністю 135 МВт;

• будівництво нових МГЕС на річці Тиса та її притоках загальною потужністю 400 МВт;

• будівництво нових МГЕС на річці Дністер і її притоках загальною потужністю 560 МВт;

• будівництво нових децентралізованих МГЕС на малих водотоках (загальна потужність - 45 МВт).

До 2030 року передбачається довести генеруючу потужність всіх МГЕС України до 1140 МВт з річним обсягом виробництва електрики 3.75 млрд кВт.рік. Розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що зніме ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних сільських регіонів. Вирішується цілий комплекс економічних, екологічних та соціальних

проблем сільської місцевості. Малі гідроелектростанції можуть стати суттєвою складовою енергозабезпечення регіонів України.

Гідроенергетика при цьому повинна відіграти важливу роль у ліквідації дефіциту маневрених потужностей (оскільки на сьогодні частка ГЕС, які виконують цю функцію, у загальному балансі потужностей не перевищує 9 % при оптимальних – 15 %). Згідно Енергетичної стратегії, до 2030 р. в Україні планується будівництво ГЕС і ГАЕС загальною потужністю 5 ГВт, а за умови нестачі маневрених потужностей у 2020-2025 рр. можливе спорудження малих ГЕС загальною потужністю до 600 МВт. Крім того, у Енергетичній стратегії передбачається розроблення та затвердження Схеми комплексного використання водних і гідроенергетичних ресурсів річок України та уточнення невикористаного економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу, а також вказано на необхідність оновлення регіональних програм розвитку малої гідроенергетики з урахуванням питань будівництва нових малих ГЕС у комплексі інфраструктури для захисту від повеней.

Збільшуються перспективи використання відновлюваних джерел енергії (у тому числі енергії малих річок) в Україні і у зв'язку з ратифікацією у 2010 р. Протоколу про приєднання до Договору про створення Енергетичного Співтовариства, оскільки у рамках цього документу Україна взяла на себе зобов'язання відповідати нормам Директиви 2001/80/ЄС зі зниження викидів забруднюючих речовин (пилу, оксидів сірки й азоту) великими паливоспалювальними установками до 01.01.2018 р. [17]. За умови оптимального розвитку мала гідроенергетика України мала б можливість виробництва близько 6,4-6,8 млрд кВт·год електроенергії, що еквівалентно заміщенню органічного палива в обсязі 2,2-2,4 млн тонн [14].

З метою організаційного забезпечення подальшого розвитку малої гідроенергетики, на думку спеціалістів-гідроенергетиків, доцільно розробити і ввести в дію низку документів, які б упорядкували виділення земельних ділянок і надання дозволів на будівництво об'єктів малої гідроенергетики, дозволів на спеціальне водокористування; а також питання юридичного оформлення права власності й користування на земельні ділянки із земель державної та комунальної власності.

Необхідно також розробити й затвердити нормативно-технічну базу проектування МГЕС та їх експлуатації; забезпечити дотримання природоохоронних вимог у процесі відведення земель для розміщення об'єктів енергетики, розробити нормативно-правові акти щодо підключення малих ГЕС до електричної мережі енергокомпаній, настанови з паралельної роботи МГЕС з електричними мережами низької та середньої напруги [20].

Однак, незважаючи на певні зрушення у плані стимулювання розвитку об'єктів відновлюваної енергетики, на сьогодні їх частка (за винятком великих ГЕС) у загальному обсязі встановленої потужності електростанцій в Україні залишається мізерною – лише близько 0,6 % [7], з яких 0,2 % належить малій гідроенергетиці [7, 18].

Стримуючими чинниками розвитку малої гідроенергетики, окрім проблем нормативно-правового і організаційного характеру, є ряд технічних труднощів, а також відсутність державних стандартів, які б регулювали будівництво малих ГЕС, не сприйняття будівництва малих ГЕС місцевими жителями, активний спротив екологічних організацій тощо.

Державні стандарти з малої гідроенергетики відіграли б позитивну роль у підвищенні ефективності проектування, будівництва, відновлення та експлуатації малих ГЕС. Якщо загалом у галузі відновлюваної енергетики розроблено та

знаходяться на стадії впровадження більше 50 нормативних документів, то лише один з них, що перебуває на стадії розроблення, стосується малої гідроенергетики (ДСТУ «Енергозбереження. Гідроенергетика мала. Методика визначення ресурсів»). За іншими даними [3], ще один проект стандарту («Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять») знаходиться на затвердженні у Мінекономрозвитку України.

Необхідною є також розробка державної програми щодо серійного виготовлення вітчизняного обладнання для малих ГЕС [18]. У період масового спорудження малих гідроелектростанцій існувало серійне виробництво близько 300 типорозмірів турбін потужністю 30-250 кВт, а також серійне виробництво синхронних генераторів, що значно знижувало б вартість такого обладнання. На сьогодні економічно вигідним було б виробництво українськими підприємствами багатосерійного обладнання з обмеженою номенклатурою. Конкурентоздатність його залежатиме від того, наскільки у розроблених технічних вимогах ураховуватиметься досвід провідних світових фірм у сфері виробництва гідротехнічного обладнання для малих ГЕС. Слід зазначити, що вітчизняні підприємства мають достатній потенціал для реалізації цього завдання. Зокрема, певний досвід розробки, виробництва і модернізації обладнання для малих гідроелектростанцій мають харківські (ДП «Харківський електромеханічний завод», ВАТ «Турбоатом», «Електроважмаш», ТОВ «Мінрігідро» та ін.) та деякі запорізькі підприємства (ВАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Запоріжтрансформатор») [2, 13, 24]. Науково-дослідні та проектні організації, підприємства країни мають у своєму розпорядженні необхідний виробничий потенціал для випуску обладнання малої гідроенергетики. Комплектні поставки гідромеханічного устаткування можуть виконувати по кооперації «Турбоатом», АТ «Київенергомаш» (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), Полтавський турбомеханічний завод (підйомно-механічне обладнання гідросроруд), Ніжинський ремонтно-механічний завод (шлюзовий обладнання), Сумське НВО ім. Фрунзе (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), «Електроважмаш» (потужні гідрогенератори), «Южелектромаш» (генератори), «Електронмаш» та «Хартрон» (системи управління). Зазначені підприємства можуть не тільки забезпечити серійне виробництво нового сучасного гідроенергетичного обладнання для малих ГЕС України, а й постачати його на експорт країнам СНД.

На сьогодні, окрім вище перелічених проблем малої гідроенергетики, залишаються невирішеними певні теоретичні та методичні питання, зокрема недостатня вивченість гідрологічного режиму стоку малих водотоків, зменшення кількості гідрологічних постів, відсутність великомасштабних карт гідроенергетичного потенціалу річок, недосконалі методики оцінки і прогнозування впливу малих ГЕС на природне середовище тощо [5, 9, 13,22,28].

Міжнародний досвід для України розвитку малої гідроенергетики. Швидкий розвиток та успіхи електроенергетики наприкінці XIX сторіччя виявились основою для принципово нового етапу використання гідроенергетичних ресурсів шляхом перетворення енергії води в електроенергію на ГЕС.

У Німеччині у 1898 р. була побудована відносно велика ГЕС потужністю 16,8 тис. кВт з напором 3,2 м, а в 1911 р. ГЕС Аугст Вилен потужністю 44 тис. л.с.; в США у 1900 р. – Ніагарська ГЕС Адамс потужністю 500 тис. л.с. з напором 41,2 м, у 1912 р. - ГЕСКсокук потужністю 180 тис. л.с. та ін.; у Франції в 1901 р. – ГЕС Жонаж потужністю 11,2 тис. л.с.; в Швейцарії в 1909 р. Була побудована перша ГАЕС.

В цілому в світі на самому початку XX ст. загальна потужність всіх ГЕС складає порядка 1000 МВт. На цих перших ГЕС якість гідрологічного обладнання була

невисокою, к.к.д. гідротурбін не перевищувало 080-0,84. Умови роботи гідротехнічних споруд, їх конструкції були вельми недосконалими.

Особливо велике гідроенергетичне будівництво з початку і до середини XX ст. велось у США та Франції, де будувались великі гідровузли з ГЕС та високими греблями різних типів.

Будівництво та експлуатація перших ГЕС заклали основу майбутнього розвитку гідроенергетики, яка пройшла великий та складний шлях від перших далеких від досконалості ГЕС потужністю в сотні кіловат до досконалих ГЕС, потужність яких складає мільйони кіловат. [27].

Глобальне споживання електроенергії до теперішнього часу, по відношенню до 1971 р., збільшилось на 70% і продовжує збільшуватися із середньосвітовим темпом зростання близько 2% в рік. В світовому виробництві електроенергії суттєва її частка належить поновлювальним джерелам енергії (16%). Серед них гідроенергетика є найбільш технологічно досконалою, на неї припадає 87% виробленої світової електричної енергії із поновлювальних джерел [33].

Етап відродження саме малої гідроенергетики в світі розпочався на два десятиліття раніше, ніж в Україні – у середині 70-х рр. XX ст. Причиною стала світова енергетична криза, яка стимулювала розвинуті країни максимально зменшити залежність від імпортних джерел енергії (перш за все нафти) за рахунок розвитку відновлюваної енергетики. З того часу багатьом країнам вдалося досягнути суттєвих результатів у цьому напрямі, значно збільшивши частку відновлюваної енергетики у загальному енергетичному балансі. До 2020 року Європейський Союз планує досягнути 20 % відновлюваних джерел енергії у загальному кінцевому споживанні. Однак у планах деяких європейських країн зазначаються значно вищі показники: Норвегія планує збільшити частку відновлюваних джерел енергії в загальному енергоспоживанні до 67,5 %, Швеція – 49 %, Фінляндія – 38 %, Австрія – 34 %, Данія – 30 %, Румунія – 24 %, Франція – 23 % і т. д. У Німеччині за останні 10 років частка виробленої електроенергії з відновлюваних джерел зросла з 6 % до 25 %. Тенденції розвитку відновлюваної енергетики у Німеччині свідчать про те, що до 2020 р. відновлювані джерела забезпечуватимуть понад 40 % від усієї енергетичної потреби країни. Загалом до 2050 р. цей показник повинен становити 80 % [12].

У структурі відновлюваних джерел енергії мала гідроенергетика займає одне з провідних місць. Так, протягом 2001-2006 рр. середньорічні темпи росту її потужностей у світі складали 7 %, а загальна встановлена потужність малих ГЕС у 2006 р. становила 73 ГВт із виробництвом електроенергії понад 250 ТВт·год. За даними Європейської асоціації малої гідроенергетики (The European Small Hydropower Association (ESHA)), станом на 2009 р. загальна потужність малих гідроелектростанцій у світі становила 85 ГВт, а у 2010 р. – 87 ГВт [21]. У світовому масштабі за сукупністю генеруючих потужностей малих ГЕС провідні позиції займають Китай (51 ГВт), Японія, США (понад 3 ГВт), Італія, Франція, Індія (понад 2 ГВт), Канада (2 ГВт), Бразилія (1,9 ГВт). До країн із сумарною потужністю малих ГЕС понад 1 ГВт в кожній належать також Німеччина, Іспанія, Австрія, Норвегія, Туреччина та ін. [25,26].

На теперішній час найактивніше розвивається мала гідроенергетика у країнах Азії, на які припадає близько 68 % всієї встановленої потужності малих ГЕС у світі. Серед азіатських країн найбільші потужності малих ГЕС мають Китай, Японія, Індія. Безперечним лідером у сфері малої гідроенергетики є Китай, де встановлена потужність малих ГЕС складає 46 % від загальної потужності гідроелектростанцій держави. Гідроенергетика є пріоритетним напрямом у рамках «Програми розвитку відновлюваних джерел енергії», що реалізується в Китаї. Масове будівництво малих

ГЕС стимулювало виробництво вітчизняного обладнання для них, і зараз Китай забезпечує значну частку їх світового випуску. На 80 підприємствах, що випускають обладнання для малої гідроенергетики, працюють близько 1,5 млн китайців [21].

В Японії станом на 2007 р. налічувалось близько 1350 малих ГЕС загальною встановленою потужністю 3,5 ГВт [26]. На стадії проектування і спорудження знаходяться ще 1930 малих ГЕС потужністю близько 4,2 ГВт.

Швидкі темпи розвитку малої гідроенергетики демонструє Індія. Тут експлуатується 706 малих ГЕС загальною встановленою потужністю 2,3 ГВт. Ще понад 340 малих ГЕС потужністю близько 1,5 ГВт знаходяться у стані будівництва та 4668 потужністю 11,65 ГВт вважаються перспективними. На 2010 р. частка малої гідроенергетики у загальному енергетичному балансі становила 2 %.

На країни Північної Америки припадає 6,1 % встановленої потужності малих ГЕС світу. Особливими масштабами розвитку малої гідроенергетики відзначаються США і Канада. Із виведених з експлуатації у 60-х рр. 2000 малих ГЕС США понад 1500 було модернізовано і знову запущено в роботу. Загалом у США працюють близько 2000 малих і 1000 міні ГЕС, сумарна потужність яких, за різними даними, становить 3,4-4,5 ГВт. У планах країни – довести потужності малих ГЕС до 50 ГВт, що дасть змогу щороку економити 65 млн т умовного палива.

Канада – країна, де ГЕС виробляють понад 60 % енергії від всього енергоспоживання. Близько 3 % встановленої потужності ГЕС припадає на малі ГЕС. Експлуатуються близько 250 малих ГЕС загальною встановленою потужністю близько 2 ГВт [30]. Щорічно вводиться в експлуатацію 70-80 нових гідроелектростанцій. Розглядається можливість спорудження до 6000 малих ГЕС. Використання ресурсів малих річок жорстко контролюється керівними органами провінцій і громадськості на всіх стадіях спорудження об'єктів: під час проектування, будівництва, експлуатації.

Серед країн Південної Америки, частка яких у встановленій потужності малих ГЕС світу складає 2,7 %, найбільшими масштабами спорудження і експлуатації малих ГЕС відзначається Бразилія. 75 % всієї генерації Бразилії належить гідроелектростанціям, з яких 3,5 % – малим ГЕС. У країні працюють 423 малі ГЕС, які щорічно виробляють 4,1 млн кВт·год енергії. Споруджуються 52 малі ГЕС, ще на 130 станцій видано дозволи на будівництво [31].

Мала гідроенергетика відіграє ключову роль у розвитку відновлювальних джерел енергії Європи. Особливий інтерес проявляється до малої гідроенергетики в умовах зростаючого потреби в електроенергії, прийняття міжнародних угод по скороченню викидів парникових газів (Кіотський протокол), зростання збитків оточуючому середовищу від використання викопного топлива, а також враховуючи той факт, що в багатьох європейських країнах майже не залишається місць для будівництва великих ГЕС.

Ці тенденції були посилені прийняттям Білої Книги Європейської та Директиви ЄК по відновлювальній енергії. Завдяки директиві по ВДЕ (Відновлювальні джерела енергії) держави Європи звернуть увагу на розвиток малої гідроенергетики. Ряд країн прийняли додаткові фінансові механізми для стимулювання малої гідроенергетики окрім стимулів, які встановлені в Директиві ЄК.

Близько 22,3 % встановленої потужності малих ГЕС світу належить країнам Європи. Зокрема, станом на 2010 р. на території ЄС налічувалось близько 16800 малих гідроелектростанцій сумарною потужністю 14 ГВт із річним виробництвом 55 ТВт·год електроенергії. Найвищими показниками встановленої потужності малих ГЕС у Європі відзначаються такі країни як Італія (21 %), Франція (17 %), Іспанія (16 %), а також Німеччина, Австрія, Швеція, Польща.

В басейні ріки Дунай розвиток гідроенергетики набув також значного прогресу (рис. 2). Особливо це стосується Німеччині, Австрії, і, певним чином. Словенії, на території яких збудована велика кількість малих і середніх гідроелектростанцій. Частина дунайського водозбору, яка належить території України (Карпатський регіон) не представлена на цій карті у зв'язку з відсутністю даних. Але за даними WWF Дунайсько-Карпатської програми в Україні кількість ГЕС на річках Карпатського регіону на території України становить 11. Ця цифра є набагато меншою за відповідні показники навіть таких країн як Угорщина, Сербія, Болгарія, Румунія та ін. Разом з тим гідроенергетичний потенціал річок Українських Карпат є досить значним.

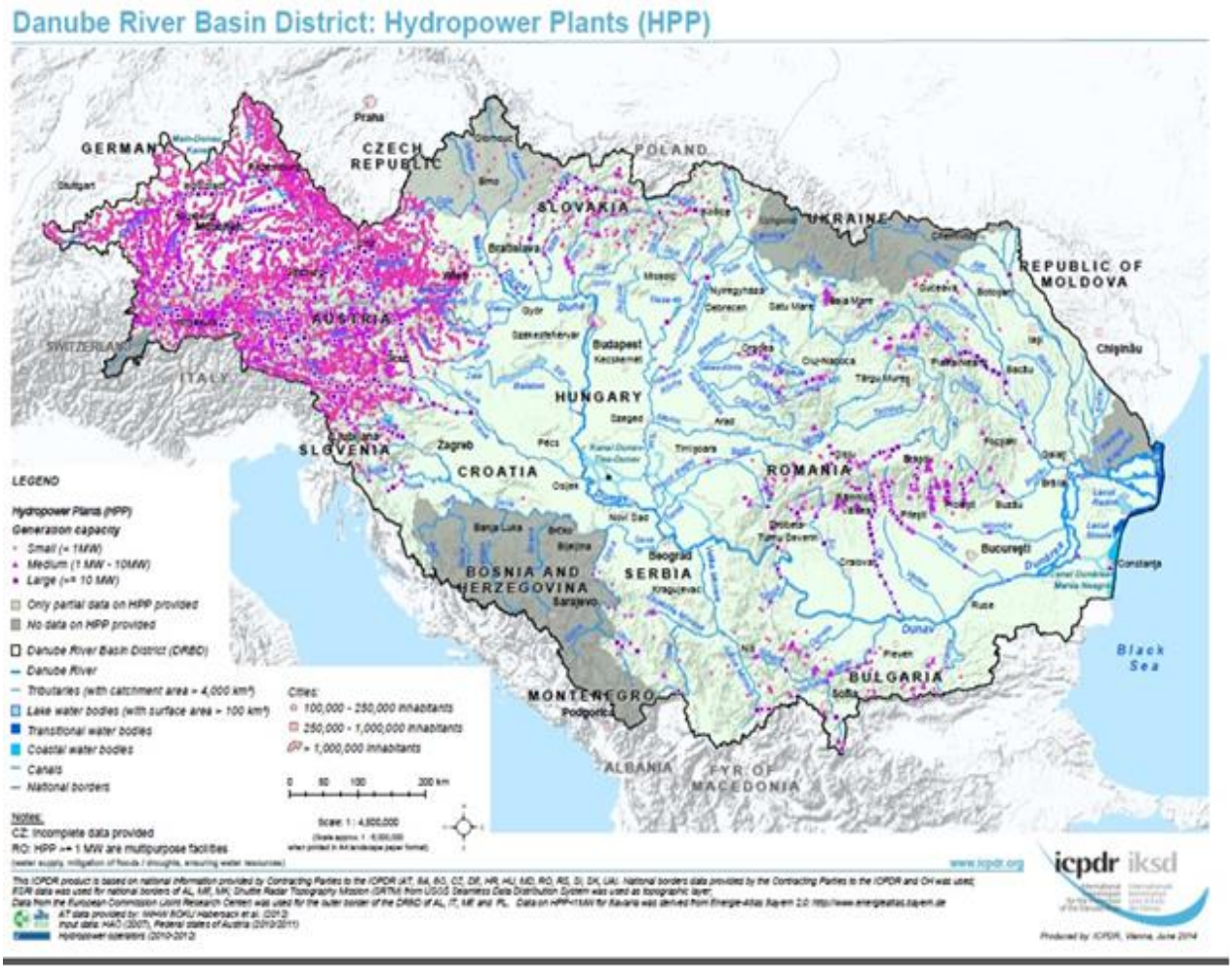


Рис.2. **Гідроелектростанції на річках басейну Дунаю [29]**

Корисним для України може стати досвід деяких пострадянських країн, зокрема Латвії, де процес відновлення і будівництва малих ГЕС розпочався із набуттям Латвією незалежності. У 1996 р. на території Латвії діяло всього 15 малих ГЕС, у 1998 – 34, у 1999 – 52, у 2005 – 148 загальною потужністю 28 МВт і щорічним виробництвом електроенергії 56,7 млн кВт·год, що становить 1,2 % від загального виробництва [32].

Етап відродження малої гідроенергетики також пройшла Чехія, де зараз налічується 1400 малих ГЕС, що забезпечують виробництво половини електроенергії, яка виробляється на ГЕС. Активно використовують енергію малих річок Польща (експлуатується, за різними даними, від 570 [23] до 700 малих ГЕС

загальною встановленою потужністю 200 МВт), Словаччина (208 малих ГЕС потужністю 120 МВт) та інші країни колишнього соціалістичного табору.

Висновки. В Україні у 1960 роках минулого сторіччя нараховувалось 956 малих ГЕС встановленою потужністю близько 30 тис. кВт. Станом на початок 2015 року в Україні працює 105 малих гідроелектростанцій загальною потужністю біля 82 МВт із середньорічним обсягом виробництва електроенергії біля 250 млн кВт*год/рік. При цьому гідрологія річок, стан їх використання, дослідження протягом останніх 50 років суттєво змінились.

Із введенням «зелених» тарифів в Україні підвищився інтерес до будівництва нових малих ГЕС та відновлення вже існуючих ГЕС в останні роки. Виникає необхідність виконати ноуково-дослідні роботи з визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок рівнинної території України з урахуванням екологічних, культурних, соціально-економічних і нормативно-правових обмежень.

Список літератури

1. *Бабій П.О.* Річка Рось та її використання: Наукове видання/ П.О. Бабій, В.І. Вишневський, С.А. Шевчук – К.: Інтерпрес ЛТД, 2016. – 128 с.: іл. – Бібліогр.: с. 116-118. **2.** *Бумарсков С.А.* Турбинное оборудование для малых ГЭС. Опыт разработки и производства за 15 лет / С.А. Бумарсков // Гідроенергетика України. – 2011. – № 3-4. – С. 15-17. **3.** *Васько П.Ф.* Проект Державного стандарту «Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять» / П.Ф. Васько, А.О. Бриль, А.В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 2 (33). – С. 65-67. **4.** *Васько П.Ф.* Мала гідроенергетика в структурі електоенергетичної галузі України. / П.Ф. Васько, В.П. Васько, М.Р. Ібрагімова // Відновлюв. Енергетика. – 2015. - №3. - С. 53-61. **5.** *Віхорєв Ю.О.* Вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики України потребує загальнодержавної координації / Ю.О. Віхорєв, П.Б. Соловйов // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 1(32). – С. 69-75. **6.** *Данилевский В.В.* История гидросиловых установок в России до XIX века/ В.В. Данилевський // М.-Л., 1940; **7.** *Енергетична стратегія* України на період до 2030 року : Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071 від 24.07.2013 р. : [Електронний ресурс] / Офіційний веб-сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу : http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358 – Назва з екрану. **8.** *Закон України* «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – Закон від 20.11.2012 № 5485-VI. – Режим доступу : http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5485-17. **9.** *Карамушка О.М.* Мала гідроенергетика України. Стратегія та поточні проблеми розвитку. Погляд асоціації «Укргідроенерго» / О.М. Карамушка // Гідроенергетика України. – 2012. – № 4. – С. 52-55. **10.** *Левковский С.С.* Водные ресурсы Украины. Использование и охрана / С.С. Левковский // – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 200 с. **11.** *Мороз А.В.* Етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України / А.В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2013. – №4(35). – С. 59-63. **12.** *Моррис К*. Немецкий энергетический поворот :аргументы за возобновляемое энергетическое будущее :[Электронный ресурс] / К. Моррис, М. Пент. – 2012. – 83 с. – Режим доступа : http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/ru/German-Energy-Transition_ru.pdf – Назва з екрану. **13.** *Нікіторович О.В.* Мала гідроенергетика та її розвиток в Україні / О.В. Нікіторович, В.Г. Житник // Гідроенергетика України. – 2013. – № 2. – С. 18-21. **14.** *Пояснювальна записка* до проекту Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку малої гідроенергетики України» : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34 ?id=&pf3511=27675&pf35401=92020 – Назва з екрану. **15.** *Про затвердження Порядку встановлення*, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики : [Електронний ресурс] / НКРЕ. – Постанова від 02.11.2012 № 1421. – Режим доступу : http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z1957-12] – Назва з екрану. **16.** *Про особливості приєднання* до електричних мереж об'єктів електроенергетики, що

виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел : Постанова Кабінету Міністрів України : [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. – Постанова від 19.02.2009 № 126. – Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/126-2009-%D0%BF] – Назва з екрану. **17.** *Протокол* про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: міжнародний документ: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/994_a27 – Назва з екрану. **18.** *Рябенко О. А.* Сучасні тенденції в будівництві малих ГЕС в Україні / О.А. Рябенко, В.В. Лутаєв // Гідроенергетика України. – 2012. – № 2. – С. 45-49. **19.** *Стимулювання відновлюваної енергетики* в Україні за допомогою «зеленого» тарифу : посібник для інвесторів / Консультативна програма IFC в Європі та Центральній Азії ; Міжнародна фінансова корпорація (IFC). – К., 2012. – 79 с. **20.** *Сучасний стан,* проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України: аналіт.доп./ О.М. Суходоля, А.А. Сидоренко, С.В. Бєгун, А.А. Білуха. – К.:НІСД, 2014. -112 с. – (Сер. «Національна безпека», вип.8).; **21.** *Тенденции и перспективы* развития малой гидроэнергетики в мире : [Электронный ресурс] / Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (РФ). – 2012. – Режим доступа : http://gisee.ru/articles/small-hydro/24575/ – Назва з екрану. **22.** *Тимуляк Л.* Зародження і розвиток малої гідроенергетики на річках карпатської частини басейну Дністра / Л. Тимуляк, Є. Цвілих // Науковий вісник Чернівецького університету:и: збірник наук.праць. Чернівці: Ченрівецький нац.ун-т, 2016. – Вип. 775-776: Географія. – С.119-125. **23.** *Титко Р.* Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава-Краків-Полтава : OWG, 2010. – 533 с. **24.** *Хоменко В.О.* Аналіз стану та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. Експлуатація малих ГЕС та каскадів малих ГЕС в сучасних умовах / В.О. Хоменко, П.Д. Лежнюк // Вісник Вінницького політех. ін-ту. – 2012. – № 6. – С. 118-123. **25.** *Шульга И.* Мировые тенденции развития гидроэнергетики : [Електронний ресурс] / И. Шульга // Энергорынок. – 2004. – № 9. – Режим доступа : http://www.e-m.ru/er/2004-09/22584/] – Назва з екрану. **26.** *Энергетика:* история, настоящее и будущее. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / [Т.А. Бурячок, З.Ю. Буцьо, Г.Б Варламов. и др.]. – К., 2011. – 391 с. **27.** *Энергетика:* история, настоящее и будущее [Текст] : Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики / [Е.Т. Базеев и др. ; науч. ред.: В.Н. Клименко, Ю.А Ландау., И.Я. Сигал]. - К. : [б. и.], 2011. - 400 с. : рис., табл., фот. - Бібліогр.: с. 393-398. - 1000 экз. - ISBN 978-617-635-004-0. **28.** *Яцик А.В.* Управління розвитком та ефективністю використання малої гідроенергетики в Україні / А.В Яцик., В. А. Яцик, Т.О. Басюк // Гідроенергетика України. – 2011. – № 3-4. – С. 7-10.; **29.** A*ssessment Report* on Hydropower Generation in the Danube Basin [Електронний ресурс] // Die Industriellenvereinigung. – Режим доступу: https://www.icpdr.org/main/activities-projects/hydropower. – Назва з екрану. **30.** Canada: [Електронний ресурс] / Small Hydro international gateway. – Режим доступу: http://www.small-hydro.com/Past-Contributors-Pages/Canada.aspx– Назва з екрану. **31.** *Frayssinet F.* Small Dams – from Heroes to Villains in Brazil : [Електронний ресурс] / F. Frayssinet // Inter press service. – Режим доступу: http://www.ipsnews.net/2012/09/small-dams-from-heroes-to-villains-in-brazil/– Назва з екрану. **32**. *Latvia Int.* J. Hydropower and Dams 2008 // World Atlas and Ind. Guide. – 2008. – P. 184. **33.** *World Energy* (2007) Survey of Energy Resources. Hydropower. World Energy Council: London. pp.].

Коротка історія розвитку та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України

Ободовський О.Г., Рахматулліна Е.Р., Тимуляк Л.М.

Проведений ретроспективний аналіз розвитку малої гідроенергетики на рівнинній території України та визначені основні проблеми і перспективи гідроенергетичного будівництва. Проанлізовано досвід зарубіжних країн у сфері гідроенергетики, який може бути корисним для інтенсивного розвитку гідроенергетики нашої країни.

Ключові слова: *гідроенергетика, мала ГЕС, історичний огляд.*

Краткая история развития и современное состояние малой гидроэнергетики на равнинных реках Украины

Ободовский А.Г., Рахматуллина Э.Р., Тимуляк Л.Н.

Проведен ретроспективный анализ развития малой гидроэнегретики на равнинных реках Украины и определены основные проблемы и перспективы гидроенергетического строительсства. Проанализировали опыт зарубежных стран в сфере гидроэнергетического строительства, который может быть полезным для интенсивного развития гидроэнергетики нашей страны.

Ключевые слова: *гидроэнергетика, малая ГЭС, исторический обзор.*

The brief history of development and current state of small hydroenergetics on the lowland river of Ukraine

Obodovskyy O.G., Rakhmatullina E.R.,Tymulyak L.M.

In the article are presented the results of a retrospective analysis of small hydroenergetics on the flat territory of Ukraine and are defined the basic problems and prospects of hydroenergetic construction. Also there is analyzed the experience of foreign countries in the field of hydropower, what can be useful for intensive hydropower development in our country.

Keywords: *hydropower, small hydropower plants, historical review.*

Надійшла до редколегії 10.11.2016

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 10, 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 4 (43)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 22.12.2016
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