

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

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
№ 4 (55)

Київ

2019

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2019. № 4 (55). 177 с.

HIDROLOHIIA, HIDROKHIIMIIA I HIDROEKOLOHIIA:

The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2019. № 4(55). 177 p.

У збірнику вміщено статті, в яких викладено методичні розробки, а також результати теоретичних та прикладних гідрологічних, гіdroхімічних 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 № 23968-13808ПР від 11 травня 2019 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки».
- **Засновник:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.
- Науковий збірник реферується УРЖ «Джерело» (угода з ІПРІ НАН України – засновником УРЖ «Джерело», №245/17 від 6 листопада 2017 р.)

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
(18 листопада 2019 р., протокол № 3)*

Адреса видавця та редколегії:

МСП 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64,
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: hydrozbirnyk-knu@ukr.net

luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Хільчевський Валентин Кирилович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Гребінь Василь Васильович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Гандзюра Владимир Петрович, доктор біологічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Шакірзанова Жаннетта Рашидовна, доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*

Линник Петро Микитович, доктор хімічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*

Ободовський Олександр Григорович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Осадчий Володимир Іванович, доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України, *Український гідрометеорологічний інститут*

Осадча Наталія Миколаївна, доктор географічних наук, *Український гідрометеорологічний інститут*

Самойленко Віктор Миколайович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Сніжко Сергій Іванович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Шищенко Петро Григорович, доктор географічних наук, член-кореспондент НАПН України, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Щербак Володимир Іванович, доктор біологічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Волчек Олександр Олександрович, доктор географічних наук, *Брестський державний технічний університет (Республіка Білорусь)*

Цюпа Тадеуш, доктор габілітований, *Інститут географії Університету Яна Кохановського в Кельцах (Польща)*

Мельничук Орест Миколайович, доктор географічних наук, *Інститут Екології та Географії Академії Наук Молдови*

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Лук'янець Ольга Іванівна, кандидат географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Докус А.О., Шакірманова Ж.Р., Швець Н.М.

Методика просторового прогнозування строків початку та проходження максимальних витрат води весняних водопіль 8

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Романова Є.О., Шакірманова Ж.Р., Гопченко Є.Д., Медведєва Ю.С.

Водний та сольовий баланси озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми.... 23

Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.

Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли)..... 40

Почаєвець О.О.

Дослідження мінімального стоку води гірських річок: ретроспектива, огляд і перспектива..... 53

Больбот Г.В., Гребінь В.В.

Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок..... 64

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Хильчевский В.К.

Гидроэкологическое состояние малых исторических рек Лыбедь и Почайна в бассейне Днепра и Волги в начале XXI века 74

Ігнатенко І. І.

Форми міграції молібдену у воді річки Либеді, що протікає в межах м. Києва..... 88

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М.

Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України..... 95

Дячук В.А., Баштаннік М.П., Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Надточій Л.М.

Дослідження системи моніторингу забруднення атмосферного повітря в місті Києві та напрямки її удосконалення 111

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А.Ю.

Зміни показників хмарного покриття над територією України впродовж періоду глобального потепління..... 121

Ошурок Д.О., Скриник О.Я.

Приведення даних вимірювань швидкості вітру до умов відкритої місцевості..... 131

Пясецька С.І., Гребенюк Н.П., Савчук С.В.

Визначення кореляційного зв'язку між окремими метеорологічними величинами у дати початку відкладення ожеледі на території України по місяцях холодного періоду року протягом 2001-2013 рр. та їх просторовий розподіл..... **140**

Матвієнко М. О.

Модель *ENVI-met* – як інструмент для сучасних урбометеорологічних досліджень..... **151**

ВИЙШЛИ З ДРУКУ

Забокрицька М.Р.

«Регіональна гідрохімія України» (2019) – сучасний підручник з вивчення хімічного складу поверхневих, підземних і морських вод на території країни..... **164**

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”..... 174

CONTENTS

THE GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Dokus A.A., Shakirzanova Zh.R., Shvets N.N.

Method of spatial prediction the dates of starting and passing the maximum water discharge of spring floods	8
---	---

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Romanova Y.A., Shakirzanova Zh.R., Gopchenko E. D., Medvedieva I.S.

Water and salt balances of Katlabukh Lake under different conditions of water reservoir operation.....	23
--	----

Chornomorets Y.O., Lukianets O.I.

Influence of the modern changes in the snow-rain partitioning on the water balance in the rivers basins (on the Vorskla River basin example).....	40
---	----

Pochaievets O.O.

Research on the minimum flow of mountain rivers:retrospective, overview and perspective	53
---	----

Bolbot H., Grebin V.

Analytical review of investigations of the climate change impact on river water flow.....	64
---	----

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Khilchevskyi V.K.

The hydroecological status of small historical rivers Lybed and Pochayna in the basin of the Dnieper and Volga at the beginning of the XXI century	74
--	----

Ignatenko I.I.

The molybdenum form migration in the Lybid river water, flowing through the city of Kyiv....	88
--	----

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

Palamarchuk L, Sokur K., Zabolotska T.

Dynamics of rainfall intensity and mesostructural characteristics of their fields in the warm period of the year in the plain part of Ukraine	95
---	----

Dyachuk V.A., Bashtannik M.P., Kiptenko E.M., Kozlenko T.V., Nadtochii L.M.

Study of the air pollution state monitoring and directions for its improvement in Kiev city	111
--	-----

Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu.

The changes of cloud cover characteristics over territory of Ukraine during of the global warming.....	121
--	-----

Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.

Correction of wind speed data according to the open terrain conditions.....	131
---	-----

Pyasetska S.I, Grebenyuk N.P., Savchuk S.V.

Determination of the correlation between individual meteorological values at the beginning of the deposition of ice on the territory of Ukraine by the months of the cold period of the year during 2001-2013 and their spatial distribution..... **140**

Matviienko M.O.

ENVI-met model as a tool for modern urban meteorological studies..... **151**

PRINTED

Zabokrytska M.R.

"Regional Hydrochemistry of Ukraine" (2019) - a modern textbook on the study of the chemical composition of surface, groundwater and sea waters in the country..... **164**

The presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»..... 174

УДК 556.166.06

Докус А.О., Шакірзанова Ж.Р., Швець Н.М.

Одеський державний екологічний університет

МЕТОДИКА ПРОСТОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКІВ ПОЧАТКУ ТА ПРОХОДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ

Ключові слова: строки водопілля, прогнозні залежності, ймовірні оцінки, картографічна форма.

Вступ. В умовах кліматичних коливань і тенденцій змін водного режиму річок та враховуючи Основні положення Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку і управління ризиками затоплення [1], при визначенні територій можливого підтоплення від повеней річкового походження, вкрай важливим є науково-теоретичне обґрунтування методів гідрологічних прогнозів не тільки водного режиму річок періоду весняного водопілля, а й строків його формування – дат початку та проходження максимальних рівнів чи витрат води водопіль.

Як відомо, стік річок є похідною від клімату місцевості і на сьогодні вже досить широко розвинуті і знайшли практичне застосування численні методи прогнозу стоку річок. Якщо звернутися до існуючих методик прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат (рівнів) весняного водопілля, то їх, на сьогодні, досить обмаль. Це пов'язано з тим, що на відміну від прогнозів характеристик водного режиму весняного водопілля, строки проходження водопіль практично не досліджувалися, а в оперативній практиці часто дається лише оцінка відхилення цих строків від їх середньобагаторічних дат на окремих річках.

Стан питання. Існуючі методи короткострокових прогнозів дат проходження весняного водопілля представлені в основному локальними прогнозами цих термінів, які є частиною прогнозу гідрографа водопілля у реальному режимі часу [2-7]. Прогнозування строків водопіль здійснюються також по кореляційних зв'язках дат початку та проходження максимумів водопілля зі строками переходу температури повітря до плюсових значень весною [8]. Такі залежності більш виражені і надійні для невеликих водозборів і дозволяють складати прогноз дат проходження піку водопілля при невеликій завчасності (не більш ніж 10-15 діб).

З інших методів прогнозу строків початку і досягнення максимуму водопілля можна відмітити такі, де розробка методики прогнозу характерних дат водопілля здійснюється на основі результатів оцінки взаємозв'язку строків початку і строків максимуму водопілля з повторюваністю синоптичних процесів над Атлантикою в зимові і весняні місяці, характерними термінами змін температури в середній частині басейнів (перехід через нульову позначку, дати накопичення сум 5, 10 °С і т.д.) і характеристиками снігового покриву. Так, в роботі [9] запропонована методика прогнозу дат весняного водопілля, основана на залежності цих дат від строків накопичення плюсових температур повітря – 30 °С і 40 °С. Завчасність таких прогнозів складає від 20 до 24 діб.

Авторами [10, 11] розроблені методи довгострокового і середньострокового прогнозів дат початку і настання максимальних витрат води весняних водопіль, де застосовані загальні підходи, які використовувались цими ж авторами для розробки

фонового довгострокового прогнозу скресання річок [12]. При цьому виявлений тісний зв'язок строків початку підйому і скресання річок. Дані методи засновані на кореляції строків явища з характеристиками (коефіцієнтами розкладання по природних ортогональних функціям (ПОФ) температури поверхні океану (ТПО) в січні-березні і характеристиками поля геопотенціалу на рівні H500 (в тропосфері) та H100 (в нижній стратосфері) над Північною півкулею в ті ж місяці. Метод апробований для басейну Верхнього Дніпра в межах території Росії та Білорусі.

Розрахунок кількісних показників атмосферних процесів в методі [10, 11] ведеться за синоптико-статистичними методами в межах характерних районів, де синоптичні процеси в попередні місяці виражають ранні чи пізні дати настання весняних явищ на річках. Однак обмеження вихідної інформації про показники атмосферних процесів і, навіть, довгострокових прогнозів температур повітря ускладнює практичне застосування цих методів прогнозу строків гідрологічних явищ водопіль в оперативній діяльності.

В останні десятиліття багато вітчизняних і зарубіжних вчених пояснюють довготривалі тенденції в зміні природного стоку річок і чинників, що формують водний режим, змінами клімату [13-15], глобальними кліматичними трендами, які, в свою чергу, обумовлені впливом глобально-космічних процесів (зміною інтенсивності космічного випромінювання, сонячної активності, напруженості космічних і земних магнітних полів та ін.) та їх циклічності [16-19].

Слід зауважити, що існуючі нині ймовірно-статистичні методи прогнозування дат настання гідрологічних явищ з побудовою кривих забезпеченості є достатньо трудомісткими та не враховують циклічності (періодичності) метеорологічних і гідрологічних процесів, у тому числі й циклічності дат настання гідрологічних явищ [20]. Способи прогнозування, основані на методах математичного моделювання [2-7], також являються трудомісткими і часто недостатньо ефективними у зв'язку з тим, що формування водного режиму – багатофакторний процес, а врахування усіх чинників, їх зміни у часі і взаємодії з іншими факторами є не завжди можливим. Тому у більшості випадків, особливо для довго- і середньострокових прогнозів, низька якість прогнозів визначається не стільки недосконалістю методу або моделі, а мінливістю стокоформуючих чинників, що слабо піддаються прогнозуванню. Не достатня точність довгострокових синоптичних прогнозів також накладає деякі обмеженості в гідрологічних прогнозах.

Ще одним напрямком в прогнозуванні гідрологічних явищ є використання методів елементів штучного інтелекту, зокрема штучних нейронних мереж (ШНМ) [21-22]. Вони дають змогу в ряді квазіциклічних (як, наприклад, гідрологічних) даних враховувати приховані періодичності і будувати алгоритми обробки інформації, мають унікальну властивість навчатися на прикладах і "впізнавати" в потоці "зашумленої" і суперечливої інформації характер раніше спостережених образів і ситуацій. Штучні нейронні мережі широко використовуються в медицині, економіці, біології. В роботі [20] розглянута можливість використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні дат настання характерних гідрологічних явищ і визначення обсягу навчальної вибірки вхідних даних для прогнозування гідрологічних характеристик. Моделі прогнозування гідрологічних характеристик, отримані за допомогою штучних нейронних мереж, апробовані на прикладі р. Білої [20]. Порівняльна оцінка прогнозу дат настання характерних гідрологічних явищ (дат початку і кінця повені, літньо-осінньої межені, зимової межені) за допомогою ШНМ і ймовірно-статистичного методу для р. Білої – м. Уфа показала, що відносні похибки прогнозу за двома методами практично не розрізняються. Це свідчить про можливість використання методу штучних нейронних мереж для прогнозу дат настання гідрологічних явищ, що дозволить зменшити трудомісткість процесу

прогнозування гідрологічних процесів.

В Одеському державному екологічному університеті в рамках наукової школи теоретичної і прикладної гідрології [23] запропонований метод територіального довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняних водопіль, який заснований на попередньому встановленні типу розвитку майбутніх весняних процесів і реалізований авторами методу для рівнинних річок України [24,25]. Авторами [24-28] також обґрунтований метод просторових прогнозів дат початку та проходження максимальних витрат (рівнів) води водопіль.

В Київському національному університеті імені Тараса Шевченка авторами [29] на основі встановлення типових схем розподілу весняного стоку у часі через оцінку дат початку водопілля, як визначальної ознаки, запропоновано методику завчасного передбачення перебігу весняного водопілля на р. Прип'ять біля м. Мозир.

Метою даного дослідження є аналіз сучасних тенденцій проходження дат весняних водопіль та реалізація регіональної методики щодо просторового прогнозування строків початку та формування максимальних рівнів (витрат) води водопіль рівнинних річок (на прикладі басейну р. Дніпро в межах України).

Аналіз вихідних даних. Строки проходження весняних водопіль річок визначаються як кліматичними умовами формування тало-дощового стоку на басейнах, так і погодними умовами кожного року – наявності снігу на водозборах, температурним режимом повітря, часом початку сніготанення та його інтенсивністю. Крім того, дати початку водовіддачі снігового покриву, крім географічного положення водозборів, можуть залежати й від таких місцевих чинників, як рельєф, залісеність, заболоченість, озерність басейнів, тобто чинників, що, по суті, визначають форму гідрографу весняного водопілля [8].

Змінність й несталість погодних умов зимового й весняного сезонів останніх десятиліть призвели до широкого варіювання характерних дат весняного водопілля – від дуже ранніх до досить пізніх строків.

У наукових працях теперішнього часу значну увагу приділяють дослідженню розподілу у просторі і часі чинників формування весняних водопіль. Такі дослідження вказують, що очікуване потепління клімату позначиться на величині і термінах річкових повеней [30-32] та ін. Аналіз часових тенденцій максимального річкового стоку та дат настання річкових повеней на території Європи, проведений авторами [30-32], показує, що спостерігається тенденція до зміщення строків настання весняних водопіль, які пов'язані з різницею в часі танення снігу, максимумах вологості ґрунту, змінами великомасштабних атмосферних процесів. Так, для території України відмічається зсув до більш ранніх дат на більшій частині території лівобережжя Дніпра (окрім Нижнього Дніпра) [30]. На правобережжі Дніпра спостерігається тенденція до формування зимових паводків на річках і, відповідно, формування максимумів на початку календарного року [30].

За нашими дослідженнями зміщення середніх строків проходження весняного водопілля (як початку підйому, так і настання максимумів) відмічається в ранню сторону за останні 25 років (з 1990 по 2015 рр.) на всій території басейну Дніпра і складає в середньому 4 дні. Висновки щодо зсуву дат початку водопілля в сторону більш ранніх зроблені й іншими авторами: так, для басейнів рр. Оки і Нижньої Волги таке зміщення складає 5-10 днів [33]. Аналіз багаторічних коливань термінів проходження та тривалості весняного водопілля річок української частини басейнів Десни [34-36] і Прип'яті [37, 38] також підтверджує зміщення дат початку водопілля та дат настання максимальних витрат води до більш ранніх строків. Дослідження просторово-часових коливань строків проходження весняного водопілля в басейнах рівнинних річок України представлено й у роботах [39,40].

Авторами роботи [41] отримані хронологічні графіки (при трирічному

згладжуванні) дат початку весняного водопілля для деяких річок басейну Дніпра за багаторічний період (з початку стокових спостережень на річках по 2015 р.), які підтверджують тенденцію до зміщення цих дат до більш ранніх строків (рис.1).

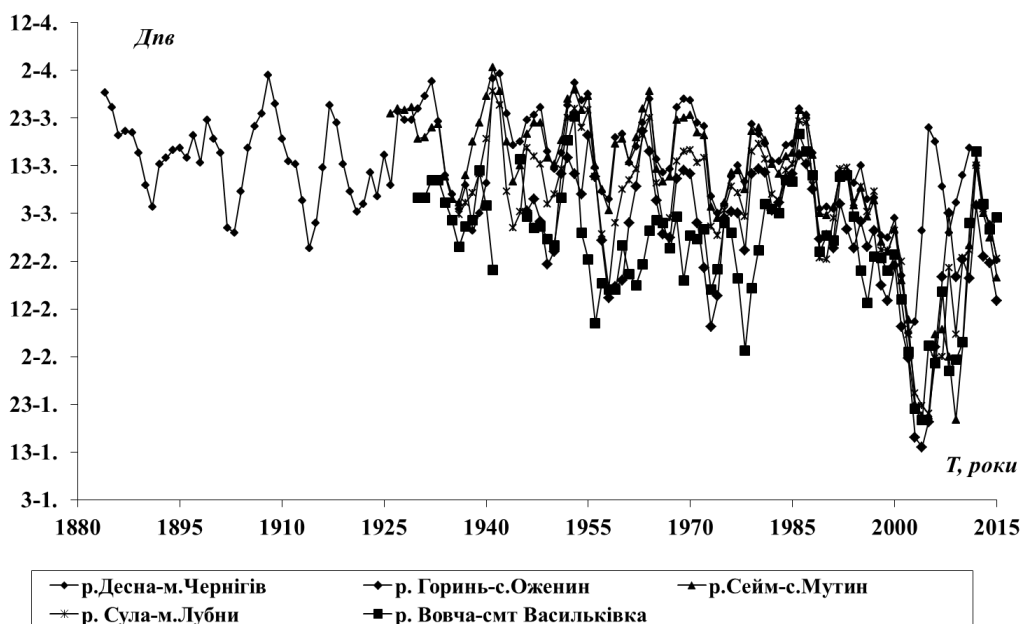


Рис. 1. Хронологічний хід (трирічні ковзні) дат початку весняного водопілля деяких річок басейну Дніпра [41]

Вихідні дані. Для реалізації методики прогнозу дат початку та проходження максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля використовувались дані гідрометеорологічних спостережень в басейні української частини р. Дніпро (по 50 опорних гідрологічних постах басейнів річок Прип'ять, Десна, Сула, Псел, Ворскла, Оріль, Самара, Інгулець) за зимово-весняний період 2017-2018 рр. Слід зазначити, що при розробці методики просторових прогнозів дат весняного водопілля при узагальненні та одержанні регіональних рівнянь прогнозової схеми використовувались вихідні дані й по іншим басейнам рівнинних річок території України. При цьому були використані багаторічні та оперативні дані про снігозапаси, включаючи строки настання максимальних запасів води в сніговому покриві перед весняним водопіллям, строки початку весняних водопіль (при прогнозуванні їх максимумів), середньодекадні (або пентадні) температури повітря січня-травня. За даними характеристик весняного водопілля та метеорологічних величин було створено базу вихідних даних в програмі «Excel», а також в створених авторами програмних прогностичних комплексах «Прип'ять», «Сейм» для басейнів річок Прип'ять, Десна, Сейм та приток Середнього Дніпра [42], та «Південний Буг» – для річок Південного Бугу.

Методика дослідження. Аналіз багаторічних дат початку весняного водопілля на річках регіону на основі методу географічних узагальнень показав, що після строків накопичення максимальних снігозапасів на водозборах вони спостерігаються у дати, які визначаються в основному температурними характеристиками поточної весни. Крім того, дати початку водопіль змінюються по території для різних за географічним положенням водозборів [8, 39].

В запропонованій методиці прогнозу визначення дат початку весняного водопілля на річках здійснюється, по-перше, визначення тривалості водоутримуючої спроможності снігу, тобто періоду від дати максимальних

снігозапасів до дати початку водопілля – t_g , доби.

З цією метою в методиці прогнозування строків водопілля були встановлені залежності тривалості t_g від середньодекадної температури повітря за першу, після дати максимальних снігозапасів D_{Sm} декаду (θ_1 , °C) для опорних створів в межах розглядуваної території, наприклад (рис. 2).

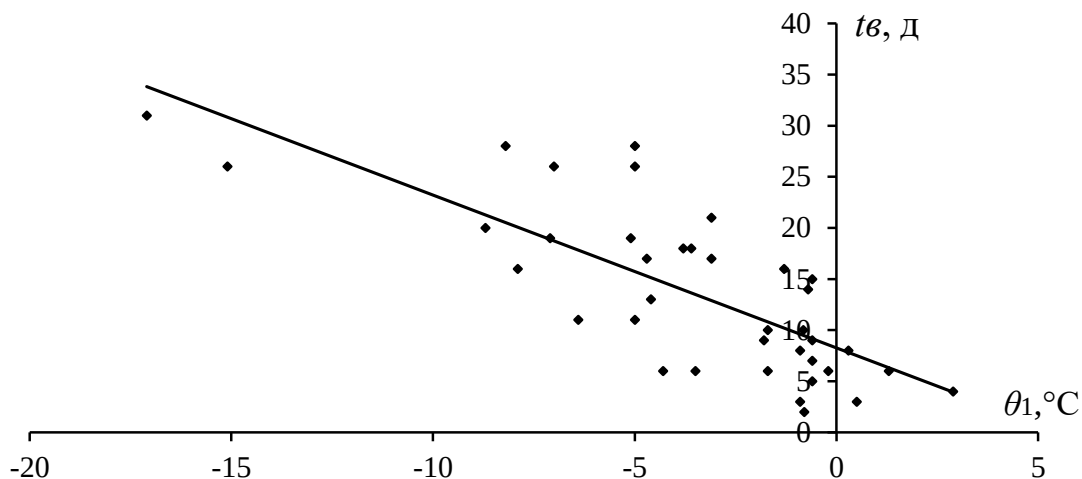


Рис. 2. Залежність $t_g = f(\theta_1)$ для басейну р. Десна – с. Розльоти, $r = 0,76$ (температура повітря прийнята по метеостанції Брянськ)

Таким чином, одержане регіональне рівняння (за температуру повітря θ_1 не вище 3,5-5,5 °C) [24-28]

$$t_g = [0,43(\varphi^o - 50) + 7,72] - [0,16(\varphi^o - 50) + 1,64] \cdot \theta_1, \quad (1)$$

в якому числові параметри одержані шляхом просторового їх узагальнення в залежностей від географічної широти геометричних центрів водозборів рівнинних річок України (φ^o , в частках °півн.ш.). Слід відзначити, що температура повітря θ_1 береться за даними метеостанцій, які розташовані поблизу до геометричних центрів водозборів.

Прогноз дати початку весняного водопілля D_g у поточному році складається в дату накопичення максимальних снігозапасів (D_{Sm}) за схемою

$$D_g = D_{Sm} + t_g. \quad (2)$$

Значення показника якості методики прогнозу S дат початку весняних водопілля на річках розглядуваної території змінюється в межах $S = 4$ -13 діб, а забезпеченість допустимої похибки $P = 93$ -52 %. Одержані значення критеріїв якості методики прогнозу дат початку весняного водопілля (при допустимій похибці прогнозів дат, які враховують метеорологічний прогноз температури повітря навесні – 6 діб) дозволяють прогнозувати їх у вигляді консультацій [43, 44].

Завчасність прогнозів цих дат визначається величиною t_g , тобто дорівнює очікуваному періоду від дати випуску прогнозу в D_{Sm} до дати початку водопілля D_g . Таким чином, завчасність прогнозів дат початку весняного водопілля у поточному році також є прогностичною величиною і оцінюється при прогнозуванні цих дат.

Так, для багаторічного періоду для розглядуваних річок рівнинної України, включаючи басейн Дніпра, спостерігається незначне зменшення середньобагаторічних значень t_{θ_0} з півночі на південь, виражене рівнянням [39]

$$t_{\theta_0} = 0,79(\varphi^0 - 50) + 12,0. \quad (3)$$

Строки проходження максимальних витрат (рівнів) води весняних водопіль визначаються погодними умовами весняного сезону – щільністю снігового покриву, інтенсивністю ("дружністю") та тривалістю сніготанення, кількістю та інтенсивністю опадів у період танення снігу, швидкістю зростання і накопичення додатних температур повітря та ін. Крім того, дати настання максимумів, як і самі максимальні витрати води або їх модулі, розрізняються й для різних за розмірами та географічним положенням водозборів [39].

Для прогнозування дат проходження максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля (D_{Q_m}) були одержані регіональні залежності тривалості підйому водопілля (t_n , д) від середньодекадної температури повітря за першу, після дати початку водопілля D_{θ} , декаду (θ_2 °C) (рис. 3).

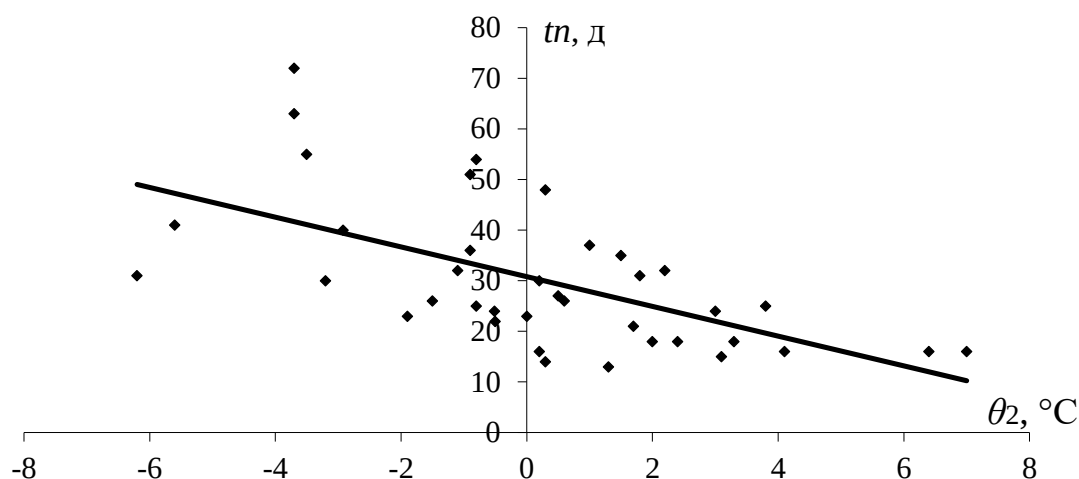


Рис. 3. Залежність $t_n = f(\theta_2)$ для басейну р. Десна – с. Розльоти, $r = 0,60$ (температура повітря прийнята по метеостанції Брянськ)

Тривалість підйому водопілля t_n визначається як періодом сніготанення, так і часом стікання води по схилах і руслах річок. При цьому одержане регіональне рівняння (за температуру повітря θ_2 не вище 7,0-10,0 °C) [24-28]

$$t_n = \{3,45 \cdot \exp[0,42 \cdot \lg(F + 1)]\} - [1,75 - 0,12(\varphi^0 - 50)] \cdot \theta_2. \quad (4)$$

Узагальнення параметрів рівняння (4) для рівнинних річок України було здійснено в залежності від площ басейнів F , що визначають тривалість поверхневого добігання тало-дошових вод та від географічної широти центрів водозборів φ , в частках °півн.ш.

Складання прогнозу максимальної витрати (рівня) води D_{Q_m} здійснюється у поточному році в спостережену дату початку водопілля (D_{θ}) у вигляді

$$D_{Q_m} = D_{\theta} + t_n. \quad (5)$$

Оцінка якості методики прогнозу дат максимальних витрат води становить $S =$

4-16 діб, а $P=85-28\%$ і може бути застосована, також як і дат початку водопіль, у вигляді консультацій.

При цьому завчасність прогнозів дат проходження максимальних витрат води весняного водопілля визначається тривалістю підйому водопілля t_n у кожному році і є прогнозною величиною.

За наявності прогнозу дати початку весняного водопілля D_e , отриманої за рівнянням (3) і довгострокового прогнозу температури повітря (близько 2-х декад) прогноз дати проходження максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля можливий за схемою (5), але в дату настання максимальних снігозапасів D_{Sm} .

Для середньобаторічних значень $(t_n)_0$ (як завчасності прогнозів D_{Qm}) встановлено [39], що в басейнах річок розглядуваної території спостерігається їх зростання зі збільшенням площ водозборів, оскільки

$$(t_n)_0 = 4,96 \cdot \exp[0,32 \cdot \lg(F + 1)]. \quad (6)$$

Метод просторових прогнозів дат початку та настання максимальних витрат чи рівнів води весняного водопілля передбачає встановлення їх повторюваності у багаторічному розрізі [45]. Така задача вирішується при побудові емпіричних кривих забезпеченостей цих дат (у вигляді кількості діб від 31.01 до дати настання явища) за даними багаторічних рядів спостережень за строками водопіль на річках [27,28]. Встановлення ймовірності $P\%$ по таких кривих здійснюється за прогнозною датою початку водопілля чи настання максимальної витрати води.

Результати дослідження. Результати просторового прогнозування строків початку та проходження максимальних витрат води в басейні Дніпра представлено на прикладі весняного водопілля 2017-2018 р.

При цьому використана найбільш наглядна форма представлення прогнозних дат проходження весняних водопіль у вигляді побудови карта-схем, які формуються лише для дат початку весняного водопілля. Прогнозні дати проходження максимальних витрат води весняних водопіль залежать від розмірів водозборів, тому не можуть бути картовані [26-28]. У прогнозному варіанті вони встановлюються за рівнянням (5) тобто по даті початку водопілля (спостережених або прогнозних) і тривалості підйому водопілля, що прогнозується за регіональною залежністю (4) з використанням очікуваної середньодекадної температури повітря.

Крім того, одночасно з карта-схемами прогнозних дат початку весняного водопілля надаються і карта-схеми ймовірності настання дат початку та проходження максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля у багаторічному розрізі ($P\%$). Це дає змогу встановити прогнозовані строки проходження водопіль та їх повторюваність у будь-якій частині території, незалежно від стану її гідрометеорологічної вивченості.

У зимово-весняний період 2017-2018 р. було встановлено, що дати накопичення максимальних снігозапасів на території басейну Дніпра змінювались в широких межах: від 28 лютого - 5 березня в басейнах річок Нижнього Дніпра до 21-31 березня в басейні Десни і басейнах річок лівобережжя Середнього Дніпра.

Дати початку весняного водопілля в басейні Дніпра, у зв'язку зі складними метеорологічними умовами формування водопілля 2017-2018 р. в різних районах басейну, змінювались, як і дати максимальних снігозапасів, у широких межах.

Картографічна форма представлення очікуваних дат початку весняного водопілля (шляхом віднесення прогнозних дат D_e до гідрологічних постів річок)

представлена на рис.4. Так, спрогнозовані дати початку водопілля 2017-2018 р. на річках басейну Дніпра (в межах України) очікувалися у першій-другій декадах березня на півдні території та у другій третій декадах березня – в центральній, західній і північно-східній частинах басейну Дніпра.

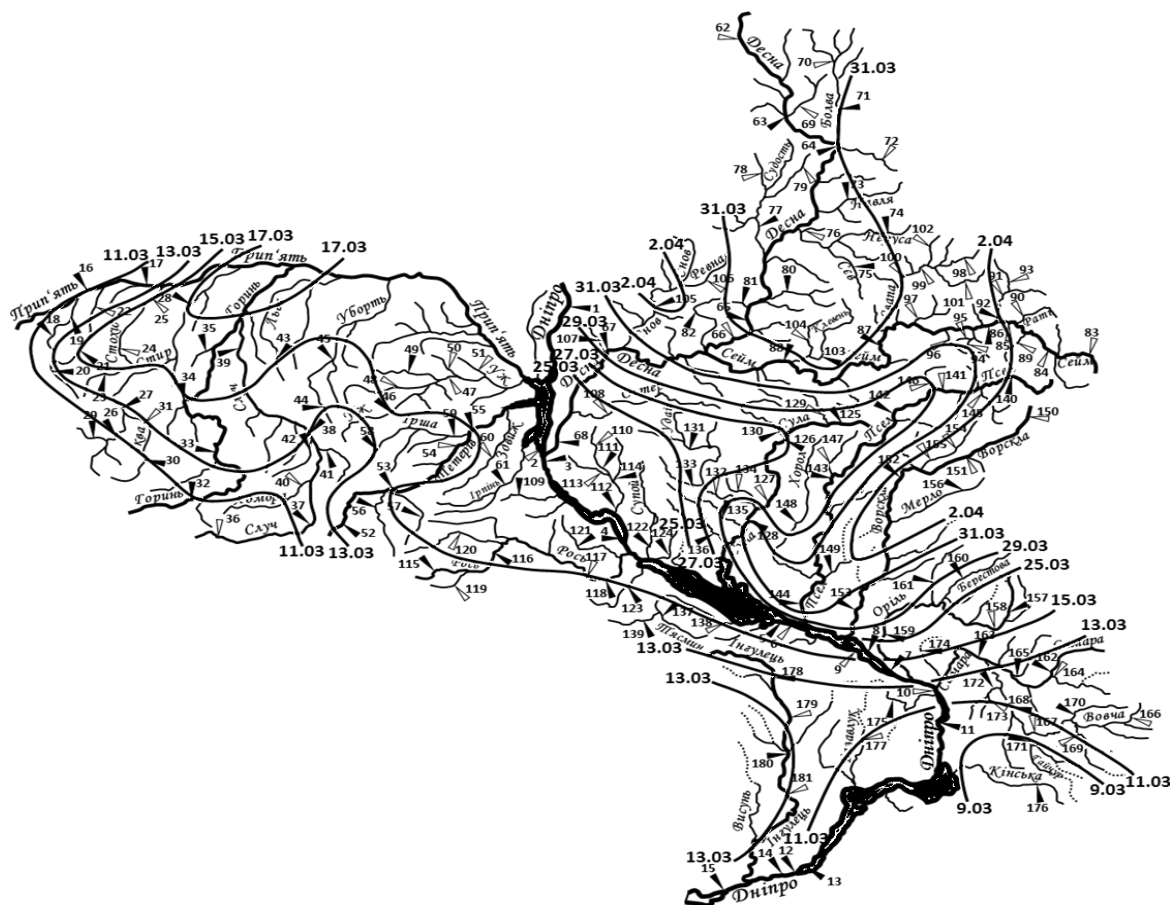


Рис. 4. Розподіл прогнозних дат початку весняного водопілля 2017-2018 р. в басейні Дніпра (дата випуску прогнозу D_{S_m})

Відповідно до просторового розподілу очікуваних дат початку водопілля 2017-2018 р. побудовано й карта-схему їх прогнозних забезпеченостей P % у багаторічному розрізі (рис. 5). Як видно з карти, забезпеченість прогнозних дат зменшувалась в основному з заходу території (від 30-40 %) і північного сходу (від 25-30%) до 10-15% - в центральній і південній частинах басейну. Значення P % свідчать про те, що дати початку весняного водопілля 2017-2018 р. очікувалися пізніше середніх багаторічних їх строків на всій території басейну Дніпра (в межах України).

Що стосується строків проходження максимальних витрат (рівнів) води, то вони спостерігалися в більш пізні строки, а дати їх формування відносилися до кінця березня – середини квітня. Якість прогнозів нижча у зв'язку з неодноразовими і змінними метеорологічними умовами формування максимальних витрат води в різних частинах басейну.

Завчасність прогнозів дат початку і максимальних витрат води водопілля 2017-2018 р. в середньому становила одну декаду. Перевірні прогнози дат початку весняного водопілля 2017-2018 р. в басейні р. Дніпро (при допустимій похибці 6 діб) в цілому були справджуваними.

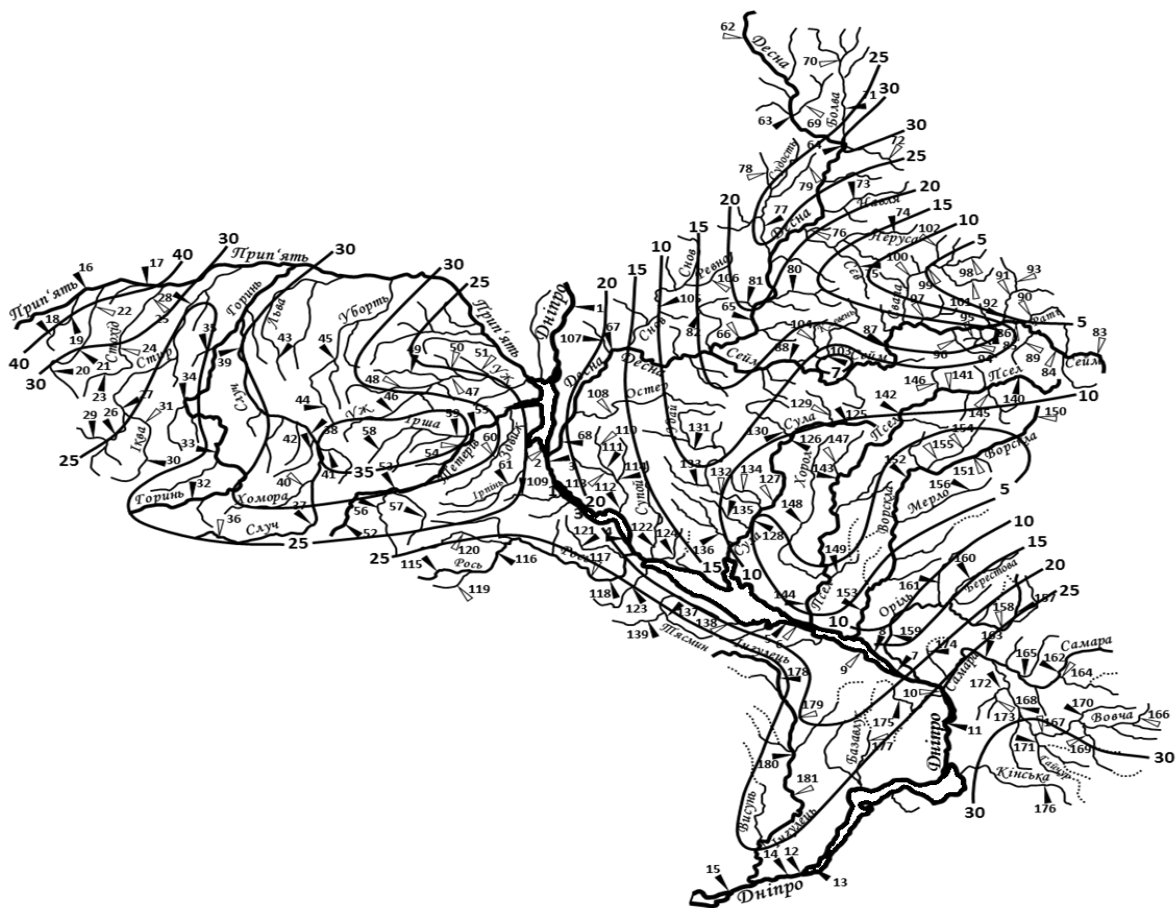


Рис. 5. Розподіл прогнозних забезпеченостей дат початку весняного водопілля 2017-2018 р. (P %) в басейні Дніпра (дата випуску прогнозу D_{S_m})

Висновки. Запропонована регіональна методика просторових прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат води весняних водопілля (на прикладі басейну р. Дніпро, в межах України). Використання методики дає можливість встановлення строків можливого підтоплення від повеней річкового походження згідно основних положень Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку і управління ризиками затоплення.

Дослідження вітчизняних і закордонних авторів вказують, що очікуване потепління клімату призведе до тенденцій зміщення строків настання весняних водопілля до більш ранніх дат. Зокрема, відмічається їх зсув до ранніх строків на більшій частині території лівобережжя Дніпра (окрім Нижнього Дніпра), а на правобережжі – спостерігається тенденція до формування зимових паводків на річках і, відповідно, формування максимумів на початку календарного року.

В роботі запропоновано метод просторових прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат (рівнів) води весняних водопілля, заснований на даних про середньодекадну температуру повітря періоду завчасності гідрологічного прогнозу, яка входить в регіональні рівняння прогнозної схеми (при просторовому узагальненні їх параметрів і коефіцієнтів в залежності від географічного положення і розмірів водозборів). Метод надає можливість здійснювати попередню прогностичну оцінку строків водопілля незалежно від часу їх настання в кожному році.

Оцінка методики прогнозу дозволяє рекомендувати її в якості консультацій, а завчасність прогнозів змінюється в залежності від географічного положення водозборів і поточних умов конкретної весни. Методику реалізовано на прикладі

весняного водопілля 2017-2018 р. при складанні прогнозів в дати настання максимальних запасів води в сніговому покриві, які відрізнялися в різних частинах басейну Дніпра. Перевірні прогнози в цілому були справджуваними, однак на якість прогнозів впливали неодночасні строки формування весняного стоку в різних частинах басейну р. Дніпро.

Прогностичні ймовірності строків весняних водопіль дозволяють характеризувати частоту їх виникнення у багаторічному періоді, тобто відносити до ранніх чи пізніх. Так, відхилення строків початку та проходження максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. на річках басейну Дніпра відмічалось в бік пізніх строків, відносно середньобагаторічних дат. Цей факт свідчить про те, що в умовах змін клімату строки водопіль можуть змішуватися як до більш ранніх, так і більш пізніх.

Список літератури

1. Директива № 2007/60/ЄС Європейського парламенту і Ради ЄС про оцінку і управління ризиками, пов'язаними з повеннями. URL: http://buvrtya.gov.ua/newsite/wp-content/uploads/2012/10/checked_dir_2007_60_ua.doc
2. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Карпати – паводкобезпечний регіон України. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових. Київ, 2010. 93 с.
3. Ivanova O., Makhambetova Zh., Ivanov M. Simulation of hydrological regimes of a river with a specified roughness coefficient. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 492 (2019) 012018. doi:10.1088/1757-899X/492/1/012018.
4. Niedzielski T., Mizinski B., Kryza M., Netzel P., Wieczorek M., Kasprzak M., Migon P., Szymanowski M., Jeziorska J., Witek M. HydroProg: a system for hydrologic forecasting in real time based on the multimodelling approach, Meteorology Hydrology and Water Management, 2014, pp. 65-73.
5. Brito B.O., Salgado R.M., Beijo L.A. Intelligent Modeling for Streamflow Forecasting. IEEE Latin America transactions, VOL. 14, NO. 8, AUG. 2016.
6. Feyera A. Hirpaa, Peter Salamonb, Hylke E. Beckc, Valerio Lorinib, Lorenzo Alfierib, Ervin Zsoterd, Simon J. Dadson. Calibration of the Global Flood Awareness System (GloFAS) using daily streamflow data. Journal of Hydrology 566 (2018) 595–606.
7. Bahrami S., Wigand E.P. Sensitivity analysis on daily streamflow forecasting. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 5, Issue 11, Nov. 2018.
8. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 358 с.
9. Шевнина Е.В. Методы долгосрочного прогнозирования сроков начала и достижения максимума весеннего половодья на устьевых участках Оби и Енисея. Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 75-84. URL: <http://naukarus.com/metody-dolgosrochnogo-prognozirovaniya-srokov-nachala-i-dostizheniya-maksimuma-vesennego-polovodya-na-ustievyyh-uchastkah>
10. Гинзбург Б.М., Борщ С.В., Ефремова Н.Д., Сильницкая М.И., Полякова К.Н. Методы долгосрочного и среднесрочного прогноза сроков прохождения максимального уровня весеннего половодья на реках Европейской территории России. Метеорология и гидрология. 2002. №11. С. 81–92.
11. Borsch S., Fedorova S. Long-term forecasts of dates of spring flood initial and maximum water levels passage in the Dnepr catchment on the territory of Russia and Belarus for improved flood management planning. NATO Advanced research Workshop Preprints. Transboundary Floods. Treira S. R. L., Oradea, Romania, May 4-8, 2005. P. 149–166.
12. Гинзбург Б.М., Борщ С.В., Ефремова Н.Д., Полякова К.Н., Сильницкая М.И. Методы фонового долгосрочного и среднесрочного прогноза сроков вскрытия рек ЕТР. Метеорология и гидрология. 2001. № 11. С. 67-78.
13. Вишневецький В.І. Зміни клімату та річкового стоку на території України та Білорусі. Наук. праці УкрНДГМІ. 2001. Вип. 249. С. 89–105.
14. Лобода Н. С., Коробчинская А.А., Рудник А.А. Изменение климата и его влияние на реки Украины. Украинский гидрометеорологический журнал. 2010. Т. 6. С. 199–204.
15. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
16. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз: монографія. Санкт-Петербург: Алетейя-Наука, 2010. 352 с.
17. Логинов В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата: монографія. Минск: Беларус. навука, 2012. 266 с.
18. Абдусаматов Х.И. Об

уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века. Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2007. Т. 103. № 4. С. 292-298. URL: <http://jn.crao.crimea.ru/index.php/izvcrao/article/view/575/517> **19. Абдусаматов Х.И.** Солнце определяет климат. Наука и жизнь. 2009. № 1. С. 34-42. URL: http://www.gaoran.ru/russian/cosm/astr/abduss_nkj_2009.pdf **20. Боровиков В.П.** Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных / под ред. В.П. Боровикова; 2-е изд. перераб. и доп. Москва: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с. **21. Dandy G.C., Maier H.R.** Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. Environmental Modelling & Software. 2000. № 15. 101–124. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.332.876&rep=rep1&type=pdf> **22. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В., Ферапонтов Ю.И.** Оценка и прогнозирование экстремальных гидрологических ситуаций. Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5288> **23. Хильчевский В.К., Голченко Е.Д., Лобода Н.С., Ободовский А.Г., Гребень В.В., Шакирзанова Ж.Р., Ющенко Ю.С., Шерстюк Н.П., Овчарук В.А.** Гидрология в университетах Украины – история, состояние и перспективы. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. №4(47). С. 61-67. **24. Шакирзанова Ж.Р.** Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с. **25. Голченко Е.Д., Овчарук В.А., Шакирзанова Ж.Р.** Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с. **26. Голченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р.** Обґрунтування методики прогнозування строків весняного водопілля в басейні Прип'яті. Український гідрометеорологічний журнал. 2007. № 2. С. 156-163. **27. Голченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р.** Метод просторового довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля та строків його проходження. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2008. Вип. 50, ч. II. С. 158-168. **28. Шакирзанова Ж.Р.** Метод просторових прогнозів строків початку та проходження максимумів весняних водопіль на рівнинних річках України. Український гідрометеорологічний журнал. 2011. №8. С. 204-213. **29. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.** Деякі підходи щодо завчасного передбачення перебігу весняного водопілля на р. Прип'ять біля м. Мозир. Український гідрометеорологічний журнал. 2013. №13. С. 138-146. **30. Blöschl, et al.** Changing climate shifts timing of European floods. Science. Vol. 357, Issue 6351, pp. 588-590, DOI: 10.1126/science.aan2506. 2017. URL: <http://science.sciencemag.org/content/357/6351/588.full> **31. Best J.** Anthropogenic stresses on the world's big rivers, Nature Geoscience, 2019. 12. 7–21. DOI:10.1038/S41561-018-0262-X. **32. Bormann H.** Runoff regime changes in German rivers due to climate change. Erdkunde. 64 (3), 2010. P. 257-279. **33.** Исследование современных особенностей формирования весеннего половодья на реках европейской территории России и Западной Сибири в условиях нестационарного климата и антропогенного воздействия: итоговый отчет по проекту РФФИ 13-05-00113-а. Приложение 1 / МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра гидрологии суши; науч. рук. Фролова Н.Л. Москва, 2015. 135 с. URL: <https://istina.msu.ru/reports/14892927/> **34. Чорноморець Ю.О., Фріндт К.Т.** Багаторічна динаміка термінів проходження весняного водопілля на річках басейну Десни. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2010. Т. 2(19). С. 94-105. **35. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.** Оцінка часового розподілу стоку води р.Десна за період весняного водопілля. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2010. Т. 4(21). С. 56-67. **36. Горбачова Л. О., Кошкіна О. В.** Часові закономірності дат настання основних характеристик весняного водопілля в басейні річки Десна. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2013. Т. 2. С. 30-37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_2_5 **37. Василенко Є.В., Гребінь В.В.** Зміна термінів проходження весняного водопілля на річках басейну Прип'яті (в межах України) в сучасний період. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2010. Т. 18. С. 119-125. **38. Голченко Е.Д., Овчарук В.А., Шакирзанова Ж.Р.** Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Прип'ять. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2010. Т. 3(20). С. 50-59. **39. Шакирзанова Ж.Р.** Аналіз та просторове узагальнення строків проходження весняних водопіль на рівнинних річках

України. Вісник Одеського державного екологічного університету. 2008. В. 6. С. 157-164. **40.** Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Зміни клімату та їх вплив на водність річок та умови сільськогосподарського виробництва. Меліорація і водне господарство. 2015. В. 102. С. 101-108. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2015_102_22 **41.** Шакірзанова Ж.Р., Бойко В.М., Гопцій М.В., Тодорова О.І., Докус А.О., Сербова З.Ф., Швець Н.М. Метод прогностичної оцінки характеристик максимального стоку річок басейну Дніпра у весняний період року. Український гідрометеорологічний журнал. 2018. № 22. С. 80-99. **42.** Шакірзанова Ж.Р. Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2011. Т.4(25). С. 48–55. **43.** Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с. **44.** Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2015. 70 с. **45.** Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 450 с.

References

1. Dyrektyva № 2007/60/Yes Yevropejs'koho parlamentu i Rady Yes pro otsinku i upravlinnia ryzykamy, pov'iazanyymy z poveniamy. URL: http://buvrtya.gov.ua/newsite/wp-content/uploads/2012/10/checked_dir_2007_60_ua.doc **2.** Susidko M.M., Luk'ianets' O.I. Karpaty – pavodkonebezpechnyj rehion Ukrainy. Kompleksna baseynova systema prohnovuvannia pavodkiv u Zakarpatti: metodychna ta tekhnolohichna baza ii skladovykh. Kyiv, 2010. 93 s. **3.** Ivanova O., Makhambetova Zh., Ivanov M. Simulation of hydrological regimes of a river with a specified roughness coefficient. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 492 (2019) 012018. doi:10.1088/1757-899X/492/1/012018. **4.** Niedzielski T., Mizinski B., Kryza M., Netzel P., Wieczorek M., Kasprzak M., Migon P., Szymanowski M., Jeziorska J., Witek M. HydroProg: a system for hydrologic forecasting in real time based on the multimodelling approach, Meteorology Hydrology and Water Management, 2014, pp. 65-73. **5.** Brito B.O., Salgado R.M., Beijo L.A. Intelligent Modeling for Streamflow Forecasting. IEEE Latin America transactions, VOL. 14, NO. 8, AUG. 2016. **6.** Feyera A. Hirpaa, Peter Salamonb, Hylke E. Beckc, Valerio Lorinib, Lorenzo Alfierib, Ervin Zsoterd, Simon J. Dadson. Calibration of the Global Flood Awareness System (GloFAS) using daily streamflow data. Journal of Hydrology 566 (2018) 595–606. **7.** Bahrami S., Wigand E.P. Sensitivity analysis on daily streamflow forecasting. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 5, Issue 11, Nov. 2018. **8.** Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vyp. 1. Dolgosrochnye prognozy jelementov vodnogo rezhima rek i vodohranilishh. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 358 s. **9.** Shevnina E.V. Metody dolgosrochnogo prognozirovaniya srokov nachala i dostizheniya maksimuma vesennego polovod'ja na ust'evyh uchastkah Obi i Eniseja. Meteorologija i gidrologija. 2009. № 1. S. 75-84. URL: <http://naukarus.com/metody-dolgosrochnogo-prognozirovaniya-srokov-nachala-i-dostizheniya-maksimuma-vesennego-polovodya-na-ustievyh-uchastkah> **10.** Ginzburg B.M., Borshh S.V., Efremova N.D., Sil'nickaja M.I., Poljakova K.N. Metody dolgosrochnogo i srednesrochnogo prognoza srokov prohozhdeniya maksimal'nogo urovnja vesennego polovod'ja na rekah Evropejskoj territorii Rossii. Meteorologija i gidrologija. 2002. №11. S. 81–92. **11.** Borsch S., Fedorova S. Long-term forecasts of dates of spring flood initial and maximum water levels passage in the Dnepr catchment on the territory of Russia and Belarus for improved flood management planning. NATO Advanced research Workshop Preprints. Transboundary Floods. Treira S. R. L., Oradea, Romania, May 4-8, 2005. P. 149–166. **12.** Ginzburg B.M., Borshh S.V., Efremova N.D., Poljakova K.N., Sil'nickaja M.I. Metody fonovogo dolgosrochnogo i srednesrochnogo prognoza srokov vskrytija rek ETR. Meteorologija i gidrologija. 2001. № 11. S. 67-78. **13.** Vyshnevs'kyj V.I. Zminy klimatu ta richkovoho stoku na terytorii Ukrainy ta Bilorusi. Nauk. pratsi UkrNDHMI. 2001. Vyp. 249. S. 89–105. **14.** Loboda N. S., Korobchinskaja A.A., Rudnik A.A. Izmenenie klimata i ego vlijanie na reki Ukrainy. Ukrainskij gidrometeorologicheskij zhurnal. 2010. T. 6. S. 199–204. **15.** Hrebin' V. V. Suchasnyj vodnyj rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyj analiz): monohrafiia. Kyiv: Nika-Tsentr, 2010. 316 s. **16.** Leonov E.A. Kosmos i sverhdolgosrochnyj gidrologicheskij prognoz: monografija. Sankt-Peterburg: Aletejja-Nauka, 2010. 352 s. **17.** Loginov V.F. Radiacionnye faktory i dokazatel'naja baza sovremennyh

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

izmenenij klimata: monografija. Minsk: Belarus. navuka, 2012. 266 s. **18. Abdusamatov H.I.** Ob umen'shenii potoka solnechnogo izluchenija i ponizhenii global'noj temperatury Zemli do sostojanija glubokogo pohlodanija v seredine XXI veka. Izvestija Krymskoj astrofizicheskoj observatorii. 2007. T. 103. №4. S. 292-298. URL: <http://jn.craocrimea.ru/index.php/izvcrao/article/view/575/517> **19. Abdusamatov H.I.** Solnce opredeljaet klimat. Nauka i zhizn'. 2009. № 1. S. 34-42. URL: http://www.gaoran.ru/russian/cosm/astr/abduss_nkj_2009.pdf **20. Borovikov V.P.** Nejrionnye seti. Statistika Neural Networks. Metodologija i tehnologii sovremennogo analiza dannyh / pod red. V.P. Borovikova; 2-e izd. pererab. i dop. Moskva: Gorjachaja linija – Telekom, 2008. 392 s. **21. Dandy G.C., Maier H.R.** Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. Environmental Modelling & Software. 2000. № 15 101–124. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.332.876&rep=rep1&type=pdf> **22. Krasnogorskaja N.N., Nafikova Je.V., Ferapontov Ju.I.** Ocenka i prognozirovanie jekstremal'nyh gidrologicheskikh situacij. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5288> **23. Hil'chevskij V.K., Gopchenko E.D., Loboda N.S., Obodovskij A.G., Greben' V.V., Shakirzanova Zh.R., Jushhenko Ju.S., Sherstjuk N.P., Ovcharuk V.A.** Hidrologija v universitetah Ukrainy – istorija, sostojanie i perspektivy. Hidrologija, gidrohimija i hidroekologija. 2017. №4(47). S. 61-67. **24. Shakirzanova Zh.R.** Dovhostrokovye prohnozuvannia kharakterystyk maksymal'noho stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy: monohrafiia. Odesa: FOP Bondarenko M.O., 2015. 252 s. **25. Hopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Shakirzanova Zh.R.** Rozrakhunky ta dovhostrokovy prohnozy kharakterystyk maksymal'noho stoku vesnianoho vodopillia v basejni r. Pryp'iat': monohrafiia. Odesa: Ekolohiia, 2011. 336 s. **26. Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R.** Obgruntuvannia metodyky prohnozuvannia strokiv vesnianoho vodopillia v basejni Pryp'iaty. Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal. 2007. № 2. S. 156-163. **27. Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R.** Metod prostorovoho dovhostrokovoho prohnozuvannia maksymal'noho stoku vesnianoho vodopillia ta strokiv joho prokhodzhennia. Meteorolohiia, klimatolohiia ta hidrolohiia. 2008. Vyp. 50, ch. II. S. 158-168. **28. Shakirzanova Zh.R.** Metod prostorovykh prohnoziv strokiv pochatku ta prokhodzhennia maksimumiv vesnianykh vodopil' na rivnyynykh richkakh Ukrainy. Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal. 2011. №8. S. 204-213. **29. Chornomorets' Yu.O., Luk'ianets' O.I.** Deiaki pidkhody schodo zavchasnoho peredbachennia perebihu vesnianoho vodopillia na r. Pryp'iat' bilia m. Mozyr. Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal. 2013. №13. S. 138-146. **30. Blöschl, et al.** Changing climate shifts timing of European floods. Science. Vol. 357, Issue 6351, pp. 588-590, DOI: 10.1126/science.aan.2506. 2017. URL: <http://science.sciencemag.org/content/357/6351/588.full> **31. Best J.** Anthropogenic stresses on the world's big rivers, Nature Geoscience, 2019. 12. 7–21. DOI:10.1038/S41561-018-0262-X. **32. Bormann H.** Runoff regime changes in German rivers due to climate change. Erdkunde. 64 (3), 2010. P. 257-279. **33. Issledovanie sovremennykh osobennostej formirovanija vesennego polovod'ja na rekah evropejskoj territorii Rossii i Zapadnoj Sibiri v uslovijah nestacionarnogo klimata i antropogennogo vozdeystvija: itogovyj otchet po proektu RFFI 13-05-00113-a. Prilozhenie 1 / MGU imeni M.V. Lomonosova, kafedra gidrologii sushi; nauch. ruk. Frolova N.L. Moskva, 2015. 135 s. URL: <https://istina.msu.ru/reports/14892927/> **34. Chornomorets' Yu.O., Frindt K.T.** Bahatorichna dynamika terminiv prokhodzhennia vesnianoho vodopillia na richkakh basejnu Desny. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2010. T. 2(19). S. 94-105. **35. Chornomorets' Yu.O., Luk'ianets' O.I.** Otsinka chasovoho rozpodilu stoku vody r.Desna za period vesnianoho vodopillia. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2010. T. 4(21). S. 56-67. **36. Horbachova L.O., Koshkina O.V.** Chasovi zakonomirnosti dat nastannia osnovnykh kharakterystyk vesnianoho vodopillia v basejni richky Desna. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2013. T. 2. S. 30-37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_2_5 **37. Vasylenko Ye.V., Hrebin' V.V.** Zmina terminiv prokhodzhennia vesnianoho vodopillia na richkakh basejnu Pryp'iaty (v mezhakh Ukrainy) v suchasnyj period. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2010. T. 18. S. 119-125. **38. Hopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Shakirzanova Zh.R.** Doslidzhennia vplyvu suchasnykh zmin klimatu na kharakterystyky maksymal'noho stoku vesnianoho vodopillia v basejni richky Pryp'iat'. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2010. T. 3(20). S. 50-59. **39. Shakirzanova Zh.R.** Analiz ta prostorove uzahal'nennia strokiv prokhodzhennia vesnianykh vodopil' na rivnyynykh richkakh Ukrainy. Visnyk Odes'koho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu. 2008. V. 6. S. 157-164. **40.****

Vyshnevs'kyj V.I., Shevchuk S.A. Zminy klimatu ta ikh vplyv na vodnist' richok ta umovy sil'skohospodars'koho vyrobnytstva. Melioratsiia i vodne hospodarstvo. 2015. V. 102. S. 101-108. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2015_102_22 **41.** Shakirzanova Zh.R., Bojko V.M., Hoptsij M.V., Todorova O.I., Dokus A.O., Serbova Z.F., Shvets' N.M. Metod prohnostychnoi otsinky kharakterystyk maksimal'noho stoku richok basejnu Dnipra u vesnianyj period roku. Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal. 2018. № 22. S. 80-99. **42.** Shakirzanova Zh.R. Prohnozuvannia maksimal'nykh vytrat vody vesnianoho vodopillia v basejni Dnipra z vykorystanniam avtomatyzovanykh prohramnykh kompleksiv. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2011. T.4(25). S. 48–55. **43.** Nastanova z operatyvnoi hidrolohi. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrolohiichne zabezpechennia i obsluhovuvannia / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj tsentr, 2012. 120 s. **44.** Otsiniuvannia iakosti metodyky ta tochnosti (spravdzhuvanosti) prohnoziv rezhymu poverkhnevyykh vod sushi / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj tsentr, 2015. 70 s. **45.** Posobie po opredeleniju raschjotnyh gidrologicheskikh harakteristik. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 450 s.

Методика просторового прогнозування строків початку та проходження максимальних витрат води весняних водопіль

Докус А.О., Шакирзанова Ж.Р., Швець Н.М.

Запропонована регіональна методика просторових прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат води весняних водопіль (на прикладі басейну р.Дніпро в межах України), що дає можливість встановлення строків водопіль в кожному році, незалежно від ступеня гідрометеорологічної вивченості водозборів. Оцінка методики прогнозу дозволяє рекомендувати її в якості консультацій, а завчасність прогнозів змінюється в залежності від географічного положення водозборів і поточних погодних умов конкретної весни.

Прогностичні ймовірності строків весняних водопіль дозволяють характеризувати частоту їх виникнення у багаторічному періоді. На прикладі весняного водопілля 2017-2018 р. на річках басейну Дніпра встановлено, що в умовах змін клімату строки водопіль можуть зміщуватися як до більш ранніх, так і більш пізніх.

Ключові слова: строки водопілля, прогнозні залежності, ймовірні оцінки, картографічна форма.

Методика пространственного прогнозирования сроков начала и прохождения максимальных расходов воды весенних половодий

Докус А.А., Шакирзанова Ж.Р., Швець Н.М.

Предложена региональная методика пространственных прогнозов сроков начала и прохождения максимальных расходов воды весенних половодий (на примере бассейна р.Днепр в пределах Украины), которая дает возможность установления сроков половодий в каждом году, независимо от степени гидрометеорологической изученности водосборов. Оценка методики прогноза позволяет рекомендовать ее в качестве консультаций, а заблаговременность прогнозов меняется в зависимости от географического положения водосборов и текущих погодных условий конкретной весны.

Прогностические вероятности сроков весенних половодий позволяют характеризовать частоту их возникновения в многолетнем периоде. На примере весеннего половодья 2017-2018г. на реках бассейна Днепра установлено, что в условиях изменений климата сроки половодий могут смещаться как к более ранним, так и более поздним.

Ключевые слова: сроки половодья, прогнозные зависимости, вероятные оценки, картографическая форма.

Method of spatial prediction the dates of starting and passing the maximum water discharge of spring floods

Dokus A.A., Shakirzanova Zh.R., Shvets N.N.

Introduction. The problem of long-term and prognostic assessment of the terms of spring floods on rivers is relevant in hydrological investigations. Due to climate warming, the flood tides shifted to early dates or the beginning of the calendar year.

The purpose is to analyze the long-term passage of spring floods and to carry out their spatial mapping forecasting on the Dnieper (within Ukraine).

Methods. Investigation of the dynamics of long-term changes in the timing of spring floods and the use of the forecast method based on the meteorological forecast of ten-day air temperature in the winter-spring season in the Dnieper basin.

Results. The method of forecasting the dates of starting and passing the maximum water discharge (levels) is based on the regional equations of the forecast scheme and allows to make a preliminary estimation of flood terms each year, regardless of the availability of meteorological observations. Assessment of the forecasting methodology allows to recommend it as a consultation, and the earliness of forecast varies depending on the geographical location of the catchments and the current weather conditions of a particular spring.

Conclusion. The methodology was implemented on the example of spring floods 2017-2018. The overall forecasts were satisfactory, but the quality of the forecasts was affected by the non-simultaneous terms of the spring flood formation in the Dnieper basin. The prognostic probabilities of the dates of spring flood allow characterizing the frequency of their occurrence over many years. On the example of the 2017-2018 spring flood, the rivers of the Dnieper basin found that, in a changing climate, floods can be shifted to earlier and later ones.

Keywords: flood terms, forecast dependencies, probable estimates, cartographic form.

Надійшла до редколегії 12.09.2019

УДК 556.55

Романова Є.О.¹, Шакірзанова Ж.Р.¹, Гопченко Є.Д.¹, Медведєва Ю.С.²

¹Одеський державний екологічний університет

²Національний університет «Одеська морська академія»

ВОДНИЙ ТА СОЛЬОВИЙ БАЛАНСИ ОЗЕРА КАТЛАБУХ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОЙМИ

Ключові слова: водний та сольовий баланси, мінералізація, озеро Катлабух, імітаційне моделювання, раціональне використання.

Вступ. Прісноводне озеро Катлабух, як і інші озера посушливого регіону Придунав'я в межах України є одним з поверхневих джерел постачання води на господарські потреби і зрошення сільськогосподарських культур регіону. В середині минулого століття озеро було зв'язано з р. Дунай природними протоками, які з'єднували водойму з річкою. На той час гідрологічний режим рівнів води в озері визначався динамікою рівнів води в р. Дунай. Це сприяло доброму водообміну та підтримки задовільної якості води у водоймі.

В сучасний період озеро Катлабух відділено від річки Дунай смугою заболоченої суші, з'єднане з нею природними протоками чи штучними каналами, на яких побудовані гідротехнічні споруди для регулювання водообміну і пропуску риби. Свого часу, завдяки заборам води на зрошення і доброго водообміну в озері стан якості води в ньому відносно сольового складу був задовільний. При зменшенні у 90-ті роки минулого століття об'ємів зрошення і заборів води з озера, водообмін води погіршився, що призвело до підвищення мінералізації води озера, яка перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

Тому *актуальною проблемою* є дослідження водного і сольового режимів озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми. При цьому гідрологічний режим озера маловивчений, а деякі компоненти водного і сольового балансу не мають систематичних спостережень, що потребує розробки методів їх оцінки та визначення.

Аналіз досліджень. Метод водного балансу є одним з основоположних наукових методів, при дослідженнях гідрологічного режиму водосховищ, озер і ставків, відомим в науковій літературі [1-4]. Рівняння водного балансу водойм дають можливість докладно вивчити та зіставити між собою складові приходної та витратної частин водних балансів, що є необхідним при плануванні використання вод, визначенні заходів щодо задоволення потреб у воді господарства і населення. На основі водних балансів розробляються й сольові баланси, які дозволяють оцінювати мінералізацію та якість води водойм для різних водогосподарських потреб.

Обґрунтуванню структури та окремих складових водних балансів, у тому числі при відсутності спостережень за деякими складовими, протягом тривалого періоду були присвячені роботи таких видатних вчених, як М.А. Веліканова [1], Р.А. Нежиховського [2], О.В. Гушлі, В.С. Мезенцева [3], В.С. Вуглинського [4], В.Н. Михайлова [5], Є.Д. Гопченка, О.В. Гушлі [6], О.Ф. Литовченка [7], В.М. Тімченка [8] та ін. У більш пізній період в Одеському державному екологічному університеті були виконані дослідження водних і сольових балансів, математичне та сценарне

моделювання водно-сольових режимів Придунайських озер в умовах їх зарегульованості, а саме для системи озер Ялпуг-Кугурлуй (С.Д. Кузніченко [9]) та озера Китай (Ю.С. Медведєва, Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакірзанова [10]).

Сучасними та найбільш науково-обґрунтованими є дослідження водно-сольових режимів, розробки, калібрування та верифікації імітаційних моделей водно-сольових балансів в умовах водогосподарських перетворень та змін клімату, виконані Н.С. Лободою, Ю.С. Тучковенком, Є.Д. Гопченком, О.М. Грибом для лиманів Північно-Західного Причорномор'я (група Тузловських лиманів, Дофінівський лиман) [11], з більш детальними дослідженнями в межах Тилігульського [11,12] та Куяльницького [11,13] лиманів.

При вивченні водних балансів різними науковцями була виявлена схожість у розрахунках його рівнянь, а саме наявність приходної та витратної частин. Так, до приходної частини відносяться такі складові, як атмосферні опади, поверхневий та підземний припливи та бічний приплив. До складових витратної частини відноситься випаровування, фільтрація в береги та транспірація водною рослинністю. В окремих випадках транспірація може розглядатись разом з випаровуванням [10].

В редакції В.М. Тімченка [8] до водних балансів закритих лиманів повинні бути прийняті також забір води на господарські потреби або надходження дренажних і стічних вод з прилеглої території. Для лиманів Північно-Західного Причорномор'я враховується водообмін (об'єм припливу-стоку води) водойми з морем через канали і пересипи [8, 12, 13]. При вирішенні питань водних балансів Придунайських озер враховуються складові водообміну з р. Дунай [9, 10].

Окремі компоненти водного балансу у будь-яких водоймах відіграють різну роль. Це обумовлюється багатьма факторами, одними з головних таких факторів є кліматичні умови та співвідношення між площею водозбору і площею водного дзеркала [2]. Окрім цього, у водосховищі значення окремих компонентів постійно змінюються. Деякі компоненти змінюються досить незначно (наприклад, акумуляція в льодовому покриві), що дозволяє їх зовсім не враховувати, а такі компоненти як підземний приплив та фільтрація оцінюються наближеними методами [2,3]. В сольових балансах мінералізація окремих складових вимірюється чи також може бути оцінена розрахунковими методами [10,12,13].

У гідрологічній практиці інших країн дослідженню водних і сольових режимів озер (річних, сезонних або місячних) в останні роки приділяється досить велика увага у зв'язку з багатьма випадками катастрофічних наслідків підвищення мінералізації [14-16], падіння рівнів води чи, взагалі, обміління водойм [15-19], а іноді зростання рівнів води в них [20]. Автори [14] вважають, що спроби збереження та відновлення озер потребують точного розуміння багатьох гідро-екологічних факторів, особливо тих, що регулюють водний баланс. За дослідженнями авторів [21] водообмін в озерах, що призводить до змін у водосховищі є результатом динамічного водного балансу.

Мета цієї статті полягає в обґрунтуванні методів розрахунку складових водного балансу озера Катлабух при наявності або відсутності даних спостережень, моделюванні на його основі сольового режиму озера за різних умов експлуатації водойми, що дозволить позначити шляхи до покращення гідроекологічного стану озера та задоволення потреб якісної води для різних господарських проблем.

Морфометричні характеристики та гідрологічний режим озера Катлабух. Озеро Катлабух, розташоване в південній частині Одеської області України, відноситься до системи Придунайських озер і являє собою регульовану водойму (рис.1). Водообмін водосховища Катлабух з р. Дунай відбувається через канали Желявський та Суспільний, і через озеро Саф'ян, обладнані шлюзами-регуляторами.



Рис. 1. Система Придунайських озер

Озеро Катлабух має довжину 21 км, середню ширину – 3,3 км (при максимальному значенні 6,0 км), середню глибину – 1,92 м (при максимумі - 2,7 м), площу дзеркала водної поверхні при нормальному підпирному рівні води (НПР) – 68,5 км² (табл. 1). В озеро впадають невеликі степові річки Великий Катлабух, Ташбунар та Єніка (табл. 2), а основним джерелом надходження прісної води до озера є р. Дунай.

Таблиця 1. Морфометричні характеристики озера Катлабух

№	Параметр	Значення
1	Довжина, км	21,0
2	Ширина: максимальна, км середня, км	6,0 3,3
3	Глибина: максимальна, км середня, км	2,70 1,92
4	Площа дзеркала при НПР, км ²	68,5
5	Площа мілководь глибиною до 2 м (при НПР), км ²	29,5
6	Об'єм: повний, млн.м ³ корисний, млн.м ³	131,0 68,5
7	Протяжність берегової лінії водосховища, км	75,4
8	Відмітки рівнів води: Нормальний підпирний рівень (НПР), м Рівень мертвого об'єму (РМО), м Форсований підпирний рівень (ФПР), м	1,70 0,70 3,00

Таблиця 2. Морфометричні характеристики річок басейну озера Катлабух

№ з/п	Назва річки	Площа водозбору, F, км ²	Довжина річки, L, км	Середня висота водозбору, H _{сер} , м	Ухил річки, I _{зв} , ‰
1	Великий Катлабух-устя	536	49	90	2,6
2	Ташбунар-устя	281	40	76	2,9
3	Єніка-устя	243	40	87	1,6

Водообмін озера Катлабух з р. Дунай має регульований характер. У період весняного водопілля, коли рівні води в р. Дунай значно вищі за рівні води в озері, до водойми надходить дунайська вода (до НПР). На період літньої межени шлюзи закриваються. Восени, коли рівні в р. Дунай низькі, шлюзи відкриваються і відбуваються скиди води з водойми (до РМО). Раніше значні об'єми акумульованої води в літній період використовувались на зрошення земель.

Гідрологічний режим малих річок в північній частині озера не має суттєвого впливу на рівневий режим озера. Але річки мають підвищену мінералізацію (до 6-7 г/дм³) і є основним джерелом надходження солей до озера, особливо у північній його частині. Слід зазначити, що дані регулярних гідрологічних вимірювань на цих малих річках практично відсутні.

Гідрологічний режим рівнів води озера Катлабух та р. Дунай представлений часовим ходом середньомісячних рівнів води, який показує сезонні і багаторічні коливання рівнів води (рис. 2). За багаторічний період рівні води в озері майже не змінювалися, але зростала солоність води (до 2,5-3,4 г/дм³). Слід зазначити, що середня мінералізація в озері по проектних розрахунках за умов глибокого водообміну повинна була коливатися від 1 до 1,47 г/дм³.

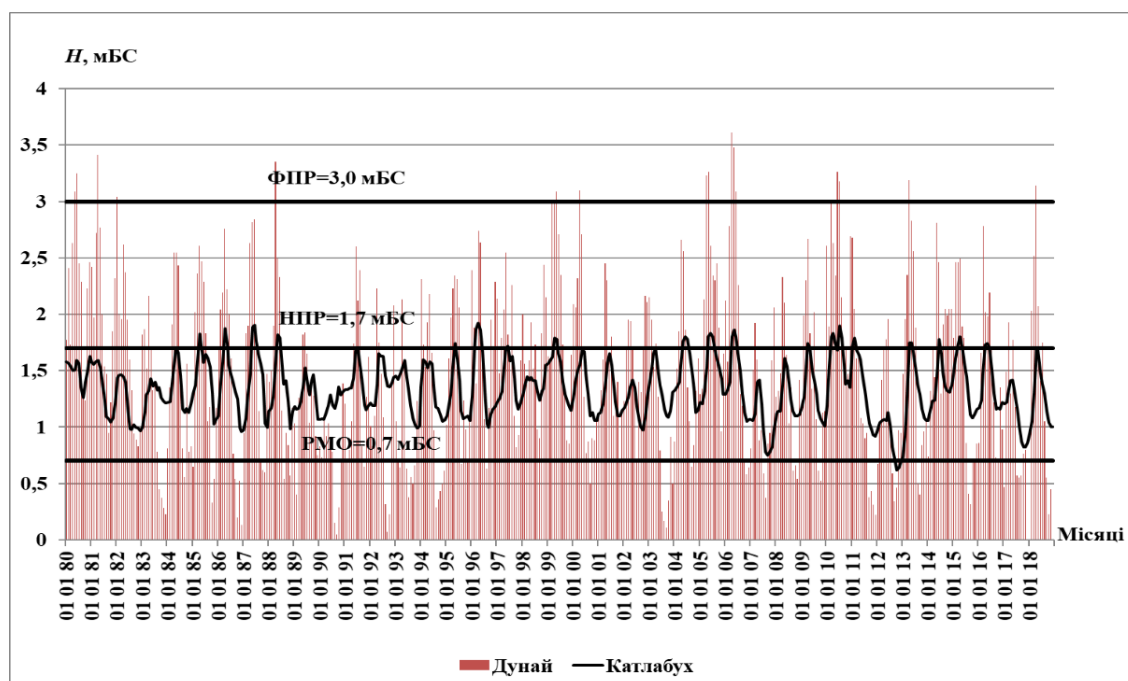


Рис. 2. Графік ходу рівнів води озера Катлабух і р. Дунай – м. Ізмаїл

Вихідні матеріали та методи дослідження. Під час вивчення водних балансів необхідне визначення кожного його елемента окремо, за допомогою натурних гідрометричних спостережень чи непрямими методами [2, 3, 7]. Водні баланси складаються за допомогою матеріалів спостережень метеорологічних постів на озері, матеріалів гідрологічних станцій (постів), що враховують стік на притоках до озера та матеріалів про режим роботи гідротехнічних споруд [3].

У загальному вигляді метод водного та сольового балансів для озера Катлабух представлено рівнянням, що виражають різницю між приходною і витратною їх частинами [22, 23]. Нев'язки водних балансів обумовлені похибками розрахунків їх складових, а в умовах водообміну озера Катлабух з р. Дунай – й не фіксованими об'ємами надходження та скидів води.

При аналізі наявних матеріалів спостережень при розрахунках водних

балансів використовуються статистичні методи [24-29]. При визначенні невідомих, тобто складових водних балансів, що не вимірюються зазвичай використовуються методи гідрологічної аналогії, емпіричні формули, карти та діючі нормативні документи [30]. Особлива увага приділяється визначенню добового (місячного) припливу річкової води до озера, так як гідрометричні спостереження для річок, що живлять озеро Катлабух взагалі відсутні.

Атмосферні опади V_P та випаровування з водної поверхні V_E . При розрахунках кількості опадів на водойму враховується площа водного дзеркала водойми.

Розрізнені дані по кількості опадів за місяць та рік на метеостанціях налічується з 1885 р. Безперервні дані по опадах мають місце на м/ст Болград з 1945 р., а на м/ст Ізмаїл – з 1949 р. Побудована залежність сум річних опадів м/ст Ізмаїл від м/ст Болград показала, що простежується досить тісний зв'язок між двома станціями (при значущому коефіцієнті кореляції - 0,61).

Дані річних сум опадів на м/ст Болград в подальшому використані в роботі при оцінці норм річного стоку малих річок, що живлять озеро Катлабух та внутрішньорічного розподілу поверхневого стоку, а саме визначення водності року різної забезпеченості (за близькістю розташування до водозборів малих річок).

Об'єми надходження атмосферних опадів на водну поверхню озера Катлабух розраховувалися за даними спостережень за опадами на м/ст Ізмаїл шляхом перемноження кількості опадів на площу водного дзеркала (для розрахункового місяця)

$$V_P = P \cdot F_{\partial 3} / 10^3, \quad (1)$$

де P - кількість опадів по м/с Ізмаїл, мм; $F_{\partial 3}$ – площа водного дзеркала (км²), яка відповідає середньомісячному рівню води в озері $H_{сер}$ (м БС).

Багаторічна мінливість об'ємів річних сум опадів м/ст Ізмаїл на площу озера Катлабух наведена на рис. 3а), величини яких за період з 1980 по 2018 рр. змінюються від 17,7 до 44,5 млн.м³.

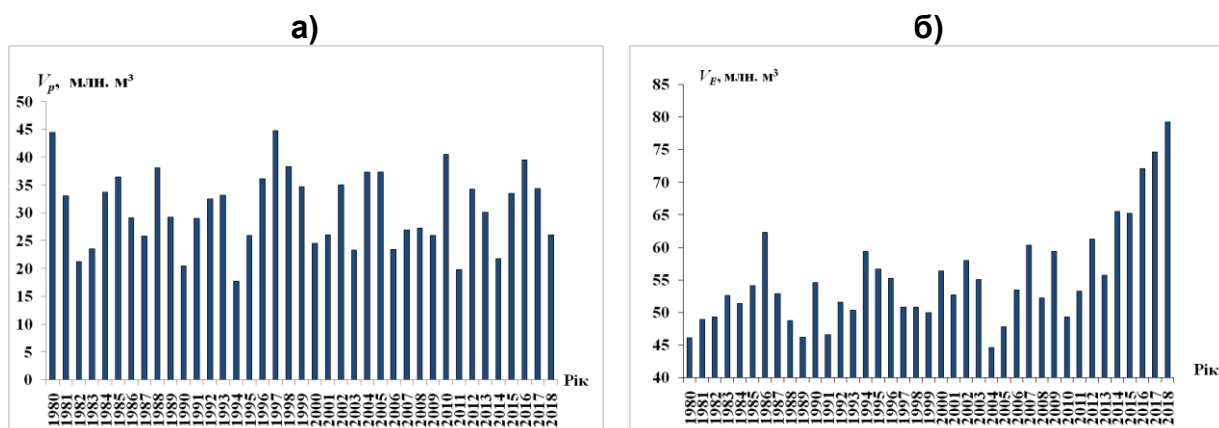


Рис. 3. Багаторічна мінливість об'ємів надходження річних опадів (м/ст Ізмаїл) (а) та випаровування з водної поверхні (м/ст Болград) (б) у період з 1980-2018 рр.

Для озера Катлабух випаровування з водної поверхні визначалося за даними випаровувального басейну на м/ст Болград (з площею 20 м² та глибиною 2 м), який був прийнятий в СРСР в якості водойми-еталону [31,32]. При використанні спостережень за випарного басейну підрахунок місячного шару випаровування (мм)

з поверхні малого водосховища ведеться з урахуванням поправочних коефіцієнтів на середню глибину і площу водного дзеркала, на захищеність водосховища [2, 32], сумарний вплив яких для озера Катлабук одержаний рівним одиниці.

Об'єм випаровування водною поверхнею озера Катлабук розраховувався за формулою

$$V_E = E \cdot F_{\partial z} / 10^3, \quad (2)$$

де E – шар випаровування, мм.

На рис. 3б) представлена багаторічна мінливість за рік об'ємів випаровування з водної поверхні озера Катлабук з 1980 по 2018 рр., яка змінюється від 44,6 до 79,3 млн. м³. Слід зазначити, що в період з 2014 р. об'єми випаровування мають тенденцію до підвищення.

Транспірацію водною рослинністю V_{tr} прийнято розраховувати за допомогою поправочних коефіцієнтів для урахування впливу на випаровування водної рослинності [33]. Оцінка коефіцієнтів взята для площі заростей озера Катлабук водною рослинністю 30 % і дорівнює 1,14 (в межах степової географічної зони). З урахуванням розподілення сумарного випаровування з ділянок, зайнятих заростями водної рослинності ($y\%$) (з травня по жовтень) багаторічний хід об'ємів транспірації водною рослинністю коливається в межах від 1,93 до 3,3 млн. м³.

Річковий стік V_r . У монографії за редакцією Гопченка Є.Д. та Лободи Н.С. [13] зазначається, що особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку є південь України, так як на більшості річок цієї території, і, зокрема, річках, що живлять озеро Катлабук дані спостережень за річковим стоком відсутні.

Керуючись нормативним документом СНіП 2.01.14-83 [30] для річок, невивчених у гідрологічному відношенні використовуються карти середнього річного стоку річок (у модулях, л/(с·км²)) та коефіцієнтів варіації, побудовані в масштабі 1:10 000 000. Але ізолінії середнього багаторічного річного стоку в межах південного регіону України недостатньо обґрунтовані.

В Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена математична модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [34]. Теоретичним базисом моделі «клімат-стік» є запропонована в [34] модифікація рівняння водно-теплового балансу В.С. Мезенцева [35]. Одержані за методикою «клімат-стік» модулі природного річного стоку $\bar{q} = 0,27$ л/(с·км²). При загальній площі водозборів всіх річок, що впадають в озеро Катлабук ($F = 1060$ км²) (табл. 2) середня багаторічна річна витрата води $\bar{Q}$ становить 0,29 м³/с, що в об'ємах дорівнює 9,15 млн. м³.

Річний стік з площі водозборів малих річок визначався з урахуванням забезпеченості водності року за формулою [30]

$$Q_r = k_p \cdot \bar{Q}, \quad (3)$$

де k_p - коефіцієнт, що враховує забезпеченість водності року ймовірністю $p\%$, $\bar{Q}$ – середня багаторічна річна витрата води, м³/с.

В цій роботі вважалось, що забезпеченість річного стоку дорівнює забезпеченості річних опадів, яка визначена за кривою розподілу річних опадів по м/ст Болград. При цьому, встановлений зв'язок середнього шару стоку води за рік поста-аналога р. Когильник – м. Котовськ з сумою річних атмосферних опадів на

м/ст Болград, як основного чинника формування річкового стоку (при значущому коефіцієнті кореляції зв'язку - 0,42).

Об'єм надходження річного стоку невеликих річок V_r (млн.м³) розраховувався за виразом

$$V_r = Q_r \cdot 86400 \cdot 365 / 10^6, \quad (4)$$

де Q_r - річний стік з площ водозборів річок басейну оз. Катлабух, м³/с; 86400 – кількість секунд в одній добі; 365 – кількість днів у році.

Так як розрахунковий період часу у дослідженнях водних балансів становить один місяць, то був встановлений розподіл стоку річок протягом року (за методикою В.Г. Андреянова [36]) при використанні даних річки-аналога, якою прийнята р. Когильник – м. Котовськ (табл. 3). Внутрішньорічний розподіл залежить від водності року, тому ведеться розрахунок при якому усуваються індивідуальні, нетипові особливості окремих років.

Таблиця 3. Типова схема внутрішньорічного розподілу поверхневого стоку р. Когильник – м. Котовськ (у %) (1959-2004 рр.)

Водність року	місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
багатоводний	7,1	12,4	16,9	13,5	9,0	10,1	7,2	4,0	3,3	3,1	5,2	8,3
середньоводний	5,2	9,8	20,7	8,5	8,1	11,1	7,5	5,0	7,8	5,2	5,8	5,3
маловодний	8,6	13,2	15,7	10,1	11,1	9,2	4,9	3,4	3,4	4,5	7,4	8,4

Часовий хід багаторічної мінливості стоку річок Великий Катлабух, Єніка і Ташбунар за період з 1980 по 2015 рр. наведена на рис. 4. За період з 1980 по 2018 рр. розрахункові об'єми річного стоку малих річок, що впадають в озеро Катлабух змінювалися від 0,58 до 29,68 млн.м³, в залежності від водності року.

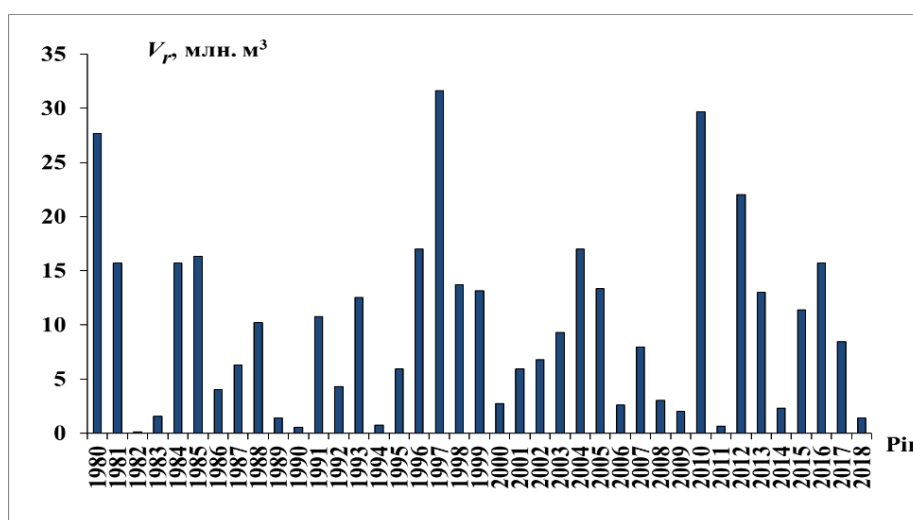


Рис. 4. Багаторічна мінливість об'ємів річного стоку до озера Катлабух у період з 1980-2018 рр.

Бічний приплив V_b . Бічний приплив до озера Катлабух можливо розрахувати в залежності від річкового, тобто

$$V_b = 0,23 * V_r. \quad (5)$$

Співвідношення між V_r і V_b було встановлено під час виконання науково-технічного проекту Тасіс-2001 на оз. Ялпуг-Кугурлуй [37].

Приплив ґрунтових вод V_{gr} . Ґрунтове живлення озер складається з ґрунтових вод його басейну, які безпосередньо дрениуються по периметру водойми, та ґрунтових вод, що надходять разом з поверхневим стоком річок. Ґрунтова складова поверхневого припливу входить до загального річкового стоку.

При відсутності безпосередніх вимірювань ґрунтова складова визначається методами, які базуються на використанні гідрогеологічних даних [38].

Як вже відзначалося, басейн озера Катлабук характеризується недостатньою гідрологічною вивченістю, тому для оцінки норми ґрунтового стоку в регіоні в даній роботі використаний генетичний метод, запропонований А.М. Бефані [39]:

$$\overline{Y_{gr}} = th[a_z(\frac{F}{F_{1kp}} - 1)^\varepsilon]U_0, \quad (6)$$

де Y_{gr} - шар стоку ґрунтового припливу води; U_0 – норма інфільтрації, яка за даними В.Г.Сорокіна, для Придунайського регіону становить 2,5 мм; a_z – гідрогеологічний параметр, числове значення якого можна прийняти на рівні 0,20; ε – параметр, який визначає інтенсивність дренивання водоносних горизонтів і складає він 0,25; F – площа водозбору озера становить 68,5 км²; F_{1kp} – початкова площа витoku річок, яка на півдні України становить 60 км².

Типова схема припливу ґрунтових вод по місяцях прийнята за методикою, що запропонована Н.С. Лободою [34,40] при узагальненні даних розчленування гідрографів невеликих річок Причорноморської низовини (табл.4).

Таблиця 4. Внутрішньорічний розподіл припливу (у %) ґрунтових вод до озера Катлабук ($V_{gr}=4,13$ млн. м³)

Водність року	місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Багатоводний	4,4	6,4	10,3	10,7	11,4	11,3	8,0	6,4	6,3	7,2	8,4	9,2
Середньоводний	7,4	10,3	12,6	12,3	12,5	6,5	5,2	5,8	6,5	7,7	7,4	5,8
Маловодний	3,9	4,7	5,1	5,2	5,4	6,0	8,0	9,3	11,0	13,4	13,5	14,5

Сумарний забір води V_z та дренажні та комунально-побутові води V_{dr} . Сумарний забір води озера Катлабук на господарські потреби здійснюється головним чином на зрошування сільськогосподарських земель в його басейні. Загалом до озера Катлабук належить низка зрошувальних систем, розташованих на території Ізмаїльського, Кілійського та Болградського районів, всього до 20,936 тис.га. Цей об'єм водозабору відповідає зрошувальним нормам 3000-4600 тис.м³/га.

Об'єм прямих вимірювань водозабору V_z за період 1980-2018 рр. в середньому становив 32,1 млн. м³, при коливаннях в межах від 84,5 млн. м³ в 1996 році до 2,1 млн. м³ в 2018 році (рис.5а). Внутрішньорічний розподіл характеризується відповідністю типовій схемі, причому основна частка його приходить на період травень-вересень, за який в середньому забирається близько 85% від всього об'єму.

Дані про об'єм припливу дренажних вод (у тому числі й комунально-побутових зворотних вод) прийняті як

$$V_{dr} = 0,2V_z, \quad (7)$$

де V_z – забір води на зрошування (разом з іншими видами водокористування).

Багаторічна мінливість об'ємів припливу дренажних вод до озера Катлабух за 1980-2018 рр. представлена на рис. 5б. Слід зазначити, що з 1997 року господарські забори води на зрошування і, відповідно, об'єми припливу дренажних вод, значно зменшилися, а з 2010 р. вони майже припинились. Це стало головною причиною підвищення солоності вод озера та погіршення його гідроекологічного стану, в основному із-за зниження інтенсивності перемішування вод та послаблення водообміну і водооновлення вод в північній частині озера.

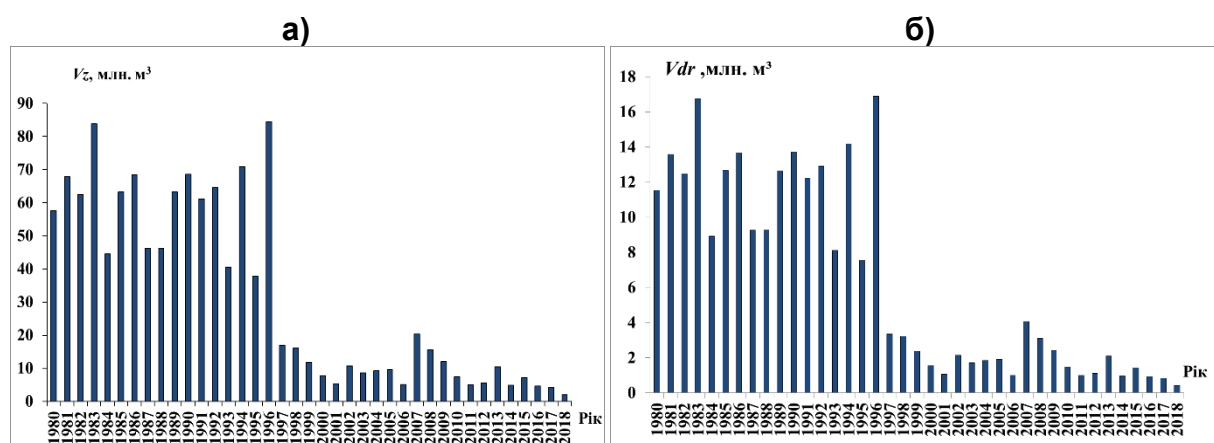


Рис. 5. Багаторічна мінливість об'ємів заборів води (а) та дренажних та комунально-побутових вод, що надходять до озера Катлабух (б) у період з 1980-2018 рр.

Фільтрація води в береги V_f . Фільтрація визначена на підставі розрахункових даних Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю (для озера Ялпуг) [37] і в середньому за рік становить 6,6 млн.м³ при площі водної поверхні озера Катлабух $F_{\text{оз}}=69 \text{ км}^2$, а за місяць - 0,55 млн.м³. Крім того режим експлуатації озера характеризується значними коливаннями рівнів води в ньому, тому на протязі року ці величини корегуються зміною рівнів води в озері.

Надходження води р. Дунай до озера Катлабух V_D та скиди води з озера в р. Дунай V_D' . Водообмін озера Катлабух з р. Дунай відбувається у регульованому режимі відповідно графікам пропускної спроможності шлюзів каналів Желявський та Громадський (за диспетчерськими графіками), що встановлюються на засіданнях міжвідомчих нарад і визначаються рівнями води на р. Дунай (рис. 2).

Коли достовірних даних про водообмін р. Дунай та озера Катлабух по шлюзах регуляторів немає, то вони обчислюються зворотнім шляхом з рівняння водного балансу.

Так, в основному у зимові місяці при високих рівнях води в Дунаї та у весняно-літній період при проходженні водопілля на р. Дунай при відкритті шлюзів відбувається наповнення озера Дунайською водою (рис. 6а).

В осінні місяці, коли рівні води р. Дунай стають нижче рівня води озера Катлабух, при відкритті шлюзів, відбувається обернений процес – скид води з озера в р. Дунай (рис. 6б). Однак, коли рівні води в Дунаї вищі за рівні води озера в осінній і навіть у зимовий період відбувається відкриття шлюзів на наповнення озера

Дунайською водою, як було у 2002, 2007, 2008, 2014 рр. В окремі роки, як наприклад у 2011, 2015 рр. протягом майже усього року рівні Дунаю були нижче за рівні озера, в такому випадку шлюзи не відкривались і озеро знаходилося у стані простою, окрім січня місяця 2015 р.

В цілому можна відмітити тенденцію з 90-х років минулого сторіччя до зменшення скидів об'ємів води з озера до р. Дунай, які зазвичай здійснюються в осінній період. В сполученні зі зменшенням заборів води на зрошення в цей період (рис. 5а) і послаблення внаслідок цього водообміну у водоймі, спостерігалось різке підвищення накопичення солей в озері.

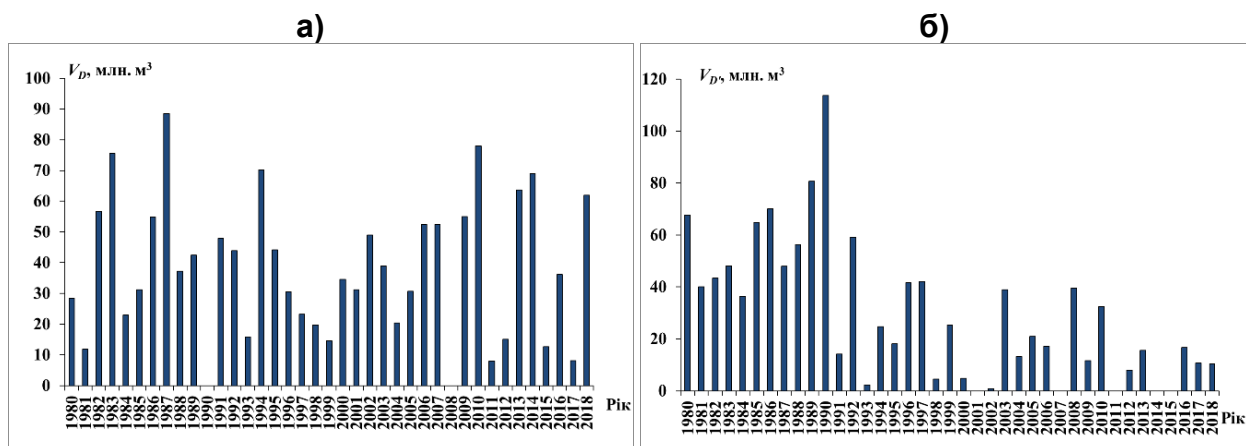


Рис. 6. Багаторічна мінливість об'ємів, що надходять з р. Дунай до озера Катлабукх (а) та скидаються з озера до р. Дунай (б) за період з 1980 по 2018 рр.

В такому разі, на основі водних балансів були розраховані й сольові баланси озера Катлабукх. Визначення мінералізації окремих складових сольового балансу здійснювалося за даними безпосередніх вимірів або розрахунків за формулами і рекомендаціями [41,42]. При цьому для розрахункових місяців середні по озеру величини мінералізації розраховані послідовним шляхом, приймаючи, що мінералізація на кінець попереднього місяця дорівнює початковій для наступного. Слід зазначити, що всі розрахунки мінералізації води в озері велися від прийнятого початкового значення $1,5 \text{ г/дм}^3$ (за відсутності даних вимірів на початку 1980 р.).

Мінералізація в опадах, при розрахунках сольових балансів, була прийнята за даними багаторічних спостережень на метеорологічних станціях України, що розташовані в різних фізико-географічних зонах і районах авторами робіт [41,42] і прийнята на рівні $0,035 \text{ г/дм}^3$.

Мінералізація води в річках, які впадають в озеро S_r визначена за матеріалами епізодичних вимірів та узагальнена, в залежності від об'єму річкового стоку у вигляді залежності $S = f(V_r)$. За рівнянням, отриманим з графіку зв'язку було розраховано мінералізацію річних вод, що живлять озеро Катлабукх.

За даними водогосподарських проектів [37] та водогосподарської організації Відокремлений підрозділ Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» мінералізація вод бічного припливу встановлена за співвідношенням, в якому вона дорівнює 57% від мінералізації води в річках. Мінералізація ґрунтових вод прийнята на рівні $2,60 \text{ г/дм}^3$, а дренажних – $2,00 \text{ г/дм}^3$.

Для визначення мінералізації річкових вод р. Дунай були використані дані середньорічних показників якості води в пунктах Рені та Ізмаїл за період з 1981-2018 рр. Іншим варіантом оцінки мінералізації річкових вод Дунаю можуть бути прийняті

їх розрахункові величини, які встановлюються для різних за водністю років. При розрахунках сольових балансів озера Катлабух вони прийняті рівними $0,39 \text{ г/дм}^3$.

Мінералізація води, що витрачається на фільтрацію, зрошування та інші види користування (у тому числі й на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян) і мінералізація води, що скидається до р. Дунай розраховувались як середні по озеру для розрахункових місяців послідовним шляхом.

Результати дослідження. Результати розрахунків водного балансу показали, що основний об'єм приходної частини за 1980-2018 рр. складають атмосферні опади (38,6%) та надходження води з р. Дунай (38,7%), об'єм річкового припливу дорівнює 10,5%, а об'єми бічного припливу, ґрунтових та дренажних вод становлять 2,6%, 5,4%, 7,2% відповідно. У витратній частині основний об'єм припадає на випаровування разом з транспірацією (53,1%), об'єми заборів води на зрошування, скиди води до р. Дунай, фільтрацію та підтримку системи озер Лунг-Саф'ян, які становлять 21,2%, 19,1%, 6% та 1,6% відповідно.

Розрахунки сольового балансу показали, що у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком становить 53,4%, води з р. Дунай – 25,5%. З ґрунтовими водами, бічним припливом, дренажними та водами з атмосферних опадів надходить відповідно 8,4%, 7,1%, 3,9% та 3,3% солей. У витратній частині втрати солей відбуваються з об'ємами води на зрошування та дорівнюють 45,1%, а також витрачаються на скиди води до р. Дунай – 31,9%, а втрати солей на фільтрацію становлять 15,7%.

Нев'язки у розрахунках водних балансів пов'язані в основному з недоврахуванням водообміну озера з р. Дунай. Достовірність результатів розрахунків кількості солей у воді озера Катлабух, одержані за сольовим балансом перевірено при порівнянні розрахованих і вимірених (по точкових значеннях) значень мінералізації води (по даних 1995-2018 рр.). При цьому, слід зазначити, що розраховані величини мінералізації є середніми для акваторії озера, а виміряні їх величини показані на графіку (рис. 7) для північної (пункт Суворово) і південної (пункт Кислиця) частин озера.

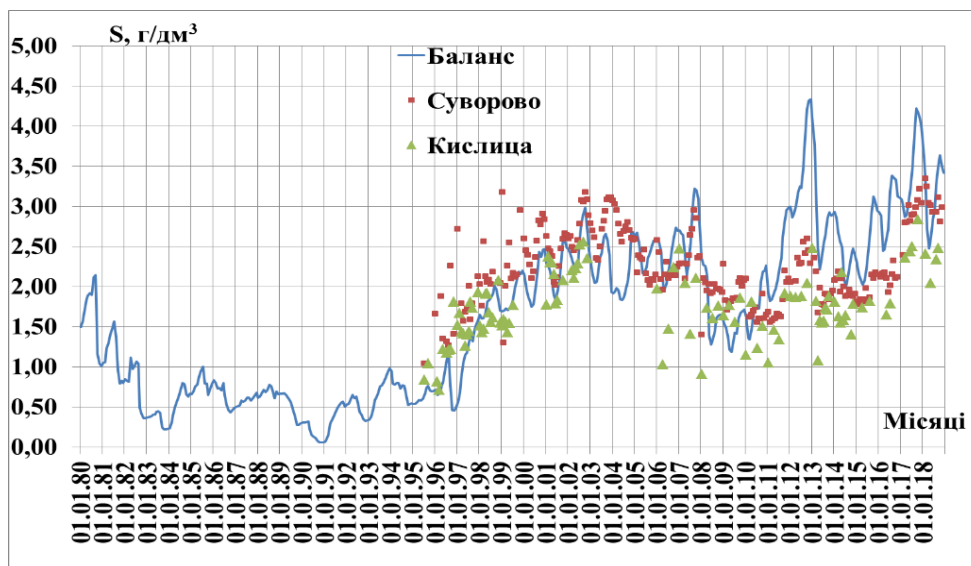


Рис. 7. Часова змінність мінералізації води в озері Катлабух за період з 1980 по 2018 рр.

В цілому спостерігається добра збіжність розрахункових і спостережених величин мінералізації (рис. 7). Але в період 2011, 2012 рр. розрахункові величини мінералізації (наприклад, $4,32 \text{ г/дм}^3$ в листопаді 2012 р.) значно перевищували

спостережені ($2,6 \text{ г/дм}^3$). Аналіз розрахунків цих років був виконаний за аналогією з 2006, 2007 рр., коли рівні води в озері були майже однаково низькими (на рівні $\text{РМО}=0,7 \text{ м БС}$), а попередній рік – маловодним. При цьому у 2006, 2007 рр. розрахункові і спостережені величини мінералізації майже співпали.

В роботі встановлено, що основною причиною похибок в розрахунках мінералізації води озера є відсутність у ці роки водообміну з Дунаєм. Якщо у 2006 і 2007 рр. водообмін з р. Дунай становив 62% та 54% відповідно, то у 2011 та 2012 рр. він дорівнював 24% та 18% відповідно. Крім того, слід зазначити, що з 2011 року майже припинилися скиди води з озера в р. Дунай. Це погіршило умови водообміну і стало ще однією причиною підвищення розрахункових величин мінералізації води озера Катлабук. В період 2016-2018 рр. крім зазначених причин, спостерігалось сезонне зниження рівнів води в озері майже до відміток РМО (рис.2), підвищення об'ємів випаровування з водної поверхні (рис.3б), що призвело до критичного підвищення мінералізації води в озері до $3,1\text{-}3,35 \text{ г/дм}^3$ – в північній його частині (рис. 7). При цьому розрахункові величини мінералізації були дещо вищими за спостережені.

Імітаційне моделювання сольового режиму озера Катлабук за різних умов його експлуатації та регулювання води у водоймі. Для планування можливих заходів щодо зниження мінералізації та покращення якості води в озері Катлабук було розглянуто декілька варіантів функціонування водойми та можливого регулювання води в неї.

За розрахунками сольових балансів озері Катлабук найбільше надходження солей (порядку 50% в середні за водністю роки) відбувається разом з припливом води невеликих річок, які впадають у водосховище. Тому був змодельований варіант функціонування водойми за проектні умови відведення стоку річок, але компенсації його примусовою підкачкою води з р. Дунай (у об'ємах порядку 10 млн.м^3 щорічно), мінералізація якої в середньому становить $0,39 \text{ г/дм}^3$. За результатами розрахунків побудовано графік часової змінності мінералізації води в озері за умови відведення стоку річок (рис.8). При цьому протягом майже 20-ти річного періоду (1981-2000 рр.) мінералізація води у водоймі була нижчою за $0,5 \text{ г/дм}^3$, а в існуючих умовах експлуатації водойми дещо збільшувалася у наступний період (до $1,0 \text{ г/дм}^3$) і тільки в окремі роки сягала $1,5 \text{ г/дм}^3$.

В іншому варіанті імітаційного моделювання водно-сольового режиму озера Катлабук, що б дозволило зменшити загальну мінералізацію води в озері, приймалось, що витрати води на випаровування у літні місяці можливо компенсувати за рахунок примусових підкачок води з р. Дунай (об'ємом в середньому 55 млн.м^3). В такому разі змодельована мінералізація води в озері в середньому становила $1,5 \text{ г/дм}^3$ протягом всього розглядуваного періоду (рис. 9).

За іншим варіантом моделювання урахувалось, що з водойми, при існуючих умовах функціонування і рівні водокористування, забиратимуть воду на зрошення та інші потреби, у тому числі й для підтримки рівнів води в системі Лунг-Сафьян, в об'ємах $10,0; 20,0; 30,0; 60,0 \text{ млн.м}^3$ та підкачують такі ж самі об'єми води з р. Дунай (з мінералізацією $0,39 \text{ г/дм}^3$) для підтримки експлуатаційних рівнів води у водоймі. Об'єми забору і підкачки води розподілені порівну на три літні місяці (червень, липень і серпень). Отриманий хід мінералізації в такому варіанті моделювання водно-сольового режиму озера Катлабук представлено на рис. 10.

При цьому можна відмітити, що тільки за умов заборів води на зрошення в об'ємі 60 млн.м^3 протягом тривалого періоду 1990-2018 рр. можна було б досягти проектних значень мінералізації води в озері - не більше $1,0\text{-}1,5 \text{ г/дм}^3$.

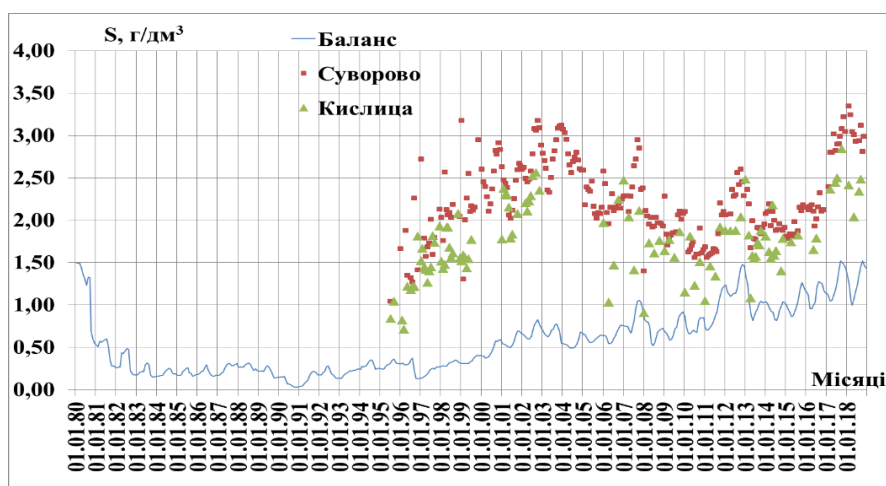


Рис. 8. Часова змінність мінералізації за умови відведення стоку річок та компенсуючих підкачок води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

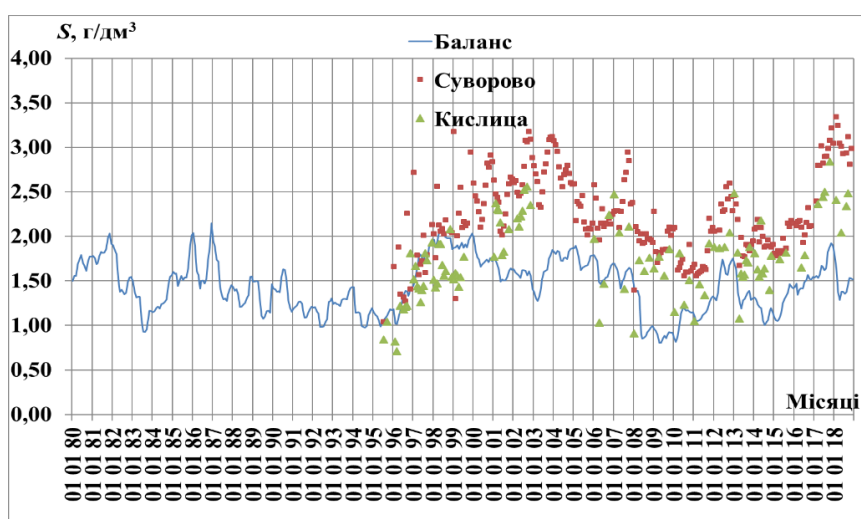


Рис. 9. Часова змінність мінералізації за умови компенсування випаровування води за рахунок підкачки води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

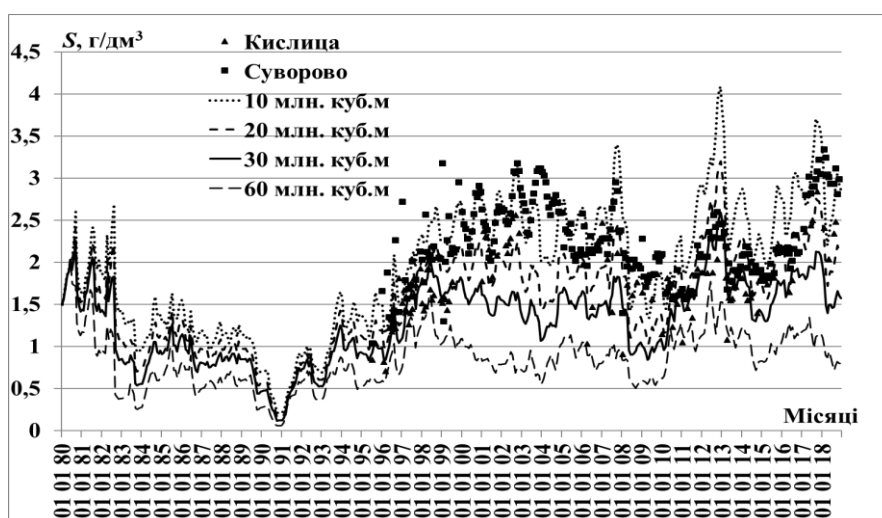


Рис. 10. Часова змінність мінералізації за умови заборів води на зрошування та компенсуючих підкачок води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

Висновки і рекомендації. В результаті моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух, як в природних умовах, так і за різних умов експлуатації водойми можна відзначити:

1. у водних балансах водойми основний об'єм приходної частини за 1980-2018 рр. складають атмосферні опади (38,6%) та надходження води з р. Дунай (38,7%), а витратної частини – випаровування разом з транспірацією (53,1%);

2. у сольових балансах найбільшою часткою приходних складових є надходження солей з поверхневим стоком, на долю якого припадає 53,4%, а у витратній частині основна частина припадає на втрату солей на зрошування і становить 45,1%;

3. зміна режимів експлуатації озера, а саме суттєвого зменшення заборів води на зрошення та погіршення водообміну з р. Дунай призвела до підвищення мінералізації вод, яка досягала 2,5 - 3,5 г/дм³ в залежності від водності і пори року;

4. імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух (в період 1980-2018 рр.) за різних умов експлуатації водойми показало, що для поліпшення якісних показників води у водоймі необхідними є такі водогосподарські заходи:

- здійснити заходи щодо зниження мінералізації води річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка, тому що на їх частку припадає (в середні за водністю роки) більше 50%, потрапляючих в озеро солей. Так, за проектні умови відведення стоку річок, що живлять озеро Катлабух та компенсації його примусовою підкачкою слабо мінералізованої води з р. Дунай (в середньому в об'ємах порядку 10млн.м³), мінералізація води у водоймі протягом всього розглядуваного періоду не перевищувала її проектні значення і знаходилася на рівні 0,5-1,0 г/дм³ і лише в окремі роки досягала 1,5 г/дм³;

- компенсувати, за рахунок примусових підкачок води з р. Дунай, витрати води на випаровування у літні місяці року (в середньому в об'ємах до 55 млн.м³ щорічно). В такому разі змодельована мінералізація води в озері в середньому становила 1,5 г/дм³ протягом всього розглядуваного періоду;

- здійснювати забори води з озера на зрошення в об'ємі 60 млн.м³ протягом трьох літніх місяців, що дасть змогу досягти проектних значень мінералізації води в озері не більше 1,0-1,5 г/дм³.

Таким чином, імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух показало, що корегуючими управлінським заходами щодо подальшої експлуатації водойми можна досягти зниження мінералізації води в озері до проектних значень та поліпшення її якості. Але слід зауважити, що у технічному і економічному відношенні реалізація таких водогосподарських проектів експлуатації Придунайського озера Катлабух потребує додаткового техніко-економічного обґрунтування.

Список літератури

1. Великанов М.А. Гидрология суши. Ленинград: Гидрометеиздат, 1948. 530 с. 2. Нежиховский Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. 191 с. 3. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Воднобалансовые исследования. Киев: Вища школа, 1982. 229 с. 4. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 224 с. 5. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология: Учеб. Для геогр. спец. Вузов. Москва: Высш. шк., 1991. 368 с. 6. Голченко Є.Д., Гушля О.В. Гідрологія суші з основами водних меліорацій: Навч. Посібник. Київ: ІСЛЮ, 1994. 296 с. 7. Литовченко О.Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку: Підручник. Київ: Вища школа. 1999. 360 с. 8. Тимченко В.М. Екологіческая гидрология водоемов. Проект «Наукова книга», Киев: Наукова думка, 2006. 382 с. 9. Кузниченко С.Д. Водный и солевой режим системы озер Кугурлуй – Ялпуг в условиях их зарегулирования: дис. канд. геогр. наук: 11.00.07 /Одесса, 2005. 294 с. 10. Медведєва Ю.С., Голченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Водний і сольовий режими озера Китай: монографія/ ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с. 11. Актуальні проблеми лиманів північно-

західного Причорномор'я: Колективна монографія/ за ред. Ю.С. Тучковенка, Є.Д. Гопченка. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2011. 223 с. **12.** Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія/ за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет, Одеса: ТЕС, 2014. 278 с. **13.** Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія/ за ред. Н.С. Лободи, Є.Д. Гопченка; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с. **14.** James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III, The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake / *Applied Geochemistry* 19 (2004), pp. 1827–1835. **15.** A. V. Frolov, T. Yu. Vyruchalkina and S. G. Sarkisyan Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, *Water Resources*, 2018, Vol. 45, No. 3, pp. 318–325. **16.** Yusufjiang Rusuli, Lanhai Li, Sajjad Ahmad, Xin Zhao Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China, *Environmental Earth Sciences*, 2015, pp. 2499–2510. **17.** J. Nossent, W. De Brabanter, and W. Bauwens Analysis of the water balance of Lake Victoria, *Vrije Universiteit Brussel, Hydrology and Hydraulic Engineering*, Brussels, Belgium, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-9905, 2009, EGU General Assembly 2009. **18.** Aldo I. Ramírez, Javier Aparicio Alfredo Ocón, Roberto Mejía-Zermeño Álvaro A. Aldama Water balance of Chapala lake, Mexico, *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXI, núm. 1, pp. 5-16, enero-marzo de 2006. **19.** J. R. Okongu, S. M. Sewagudde R. J. Mngodo, F. D. Sangale, F. L. Mwanuzi and R. E. Hecky Water balance of Lake Victoria, *Lake Victoria Environmental Management Project*, 2018, pp. 25-41. **20.** Mahmoud M. A. Elgamal, Kassem S. El-Alfy, Mohamed G. M. Abdallah, Fahmy S. Abdelhaleem and Ahmad M. S. Elhamrawy Restoring Water and Salt Balance of Qarun Lake, Fayoum, Mansoura University Faculty of Engineering Mansoura Engineering Journal, Egypt. 2017, vol.42, pp.1-13. **21.** Izabela Chlost Water balance of Lake Gardno, Department of Hydrology, Institute of Geography, University of Gdańsk, Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk, *Limnol. Rev.*, Poland, (2019) 19, 1: pp.15–23. **22.** Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Медведєва Ю.С., Бурукова М.М. Визначення складових водних балансів озера Катлабух // Вісник ОДЕКУ. 2016. Вип. 20. С.52-61. **23.** Кулібабін О.Г., Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О. Еколого – економічні проблеми раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т.2. С. 61-67. **24.** Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 423 с. **25.** Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. Москва: «Наука», 1981. 254 с. **26.** Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Санкт -Петербург, 2007. 278с. **27.** Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: Одеськ. державний екологічний університет, Одеса: ТЕС, 2014. 484 с. **28.** Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург, 2010. 162 с. **29.** Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О некоторых приемах статистического анализа гидрологических рядов // Тр. ГГИ, 1968. Вып. 143. С. 110–133. **30.** Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 448 с. **31.** Ресурсы поверхностных вод СССР [под ред. М.С. Каганера]. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. Т. 6. вып. 1: Западная Украина и Молдавия. 1969. 884 с. **32.** Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Ленинград: Гидрометиздат, 1969. 83 с. **33.** Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. 2-ое издание, переработанное и дополненное. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 460 с. **34.** Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-Западного Причерноморья (в естественных и нарушенных антропогенной деятельностью условиях): Монография. Київ: КНТ, 2005. 192 с. **35.** Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. Режимы влагообеспечения и условия гидромелиораций степного края // Под ред. Мезенцева В.С. Москва: Колос, 1974. 240 с. **36.** Андреянов В.Г. Внутригодовое распределение речного стока (Основные закономерности и их использование в гидрологических и водохозяйственных расчетах) / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Д.Л.Соколовского. Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. 328 с. **37.** Модель водно-солевого режима и качества воды в озере Ялпуг-Кугурлуй (в рамках научно-технического проекта «Tasic»), Одесса, 2002. **38.** Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. Научный ежегодник ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)**

ОГУ. Одесса, 1957. 125 с. **39. Бефани А.Н.** Основные положения теории речного стока. Тр. ОГМИ. 1958, вып. 12. С. 99-164. **40. Лобода Н.С.** Расчеты о обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. Одеса: Экология, 2005. 208 с. **41. Гідрохімія України: Підручник/ Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський.** Київ: Вища шк., 1995. 307 с. **42. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К.** Загальна гідрохімія: Підручник. Київ: Либідь, 1997. 384 с.

References

1. Velikanov M.A. Hidrologija sushi. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1948. 530 s. **2. Nezhihovskij R.A.** Hidrologicheskie raschety i prognozy pri jekspluatacii vodohrani-lissh. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 191 s. **3. Gushlja A.V., Mezenцев V.S.** Vodnoba-lansovye issledovaniya. Kiev: Vishha shkola, 1982. 229 s. **4. Vuglinskij V.S.** Vodnye resursy i vodnyj balans krupnyh vodohranilishh SSSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 224 s. **5. Mihajlov V.N., Dobrovol'skij A.D.** Obshhaja gidrologija: Ucheb. Dlja geogr. spec. Vuzov. Moskva: Vyssh. shk., 1991. 368 s. **6. Hopchenko Ye.D., Hushlia O.V.** Hidrolohiia sushi z osnovamy vodnykh melioratsij: Navch. Posib-nyk. Kyiv: ISLYu, 1994. 296 s. **7. Lytovchenko O.F.** Inzhenerna hidrolohiia ta rehuliuвання stoku: Pidruchnyk. Kyiv: Vyscha shkola. 1999. 360 s. **8. Timchenko V.M.** Jekologicheskaja gidrologija vodoemov. Proekt «Naukova kniga», Kiev: Naukova dumka, 2006. 382 s. **9. Kuznichenko S.D.** Vodnyj i solevoj rezhim sistemy ozer Kugurluj – Jalpug v uslovijah ih zaregulirovaniya: dis. kand. geogr. nauk: 11.00.07 /Odessa, 2005. 294 s. **10. Medvedieva Yu.S., Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R.** Vodnyj i sol'ovyy rezhymy ozera Kytaj: monohrafiia/ ODEKU. Odesa: TES, 2018. 136 s. **11. Aktual'ni problemy lymaniv pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ia: Kolektyvna monohrafiia/ za red. Yu.S. Tuchkovenka, Ye.D. Hopchenka.** Odesa: Odes'kyj derzhavnyj ekolohichnyj universytet, 2011. 223 s. **12. Vodni resursy ta hidroekolohichnyj stan Tylihul's'koho lymanu: Monohrafiia/ za red. Yu.S. Tuchkovenka, N.S. Lobody.** Odes'kyj derzhavnyj ekolohichnyj universytet, Odesa: TES, 2014. 278 s. **13. Vodnyj rezhym ta hidroekolohichni kharakterystyky Kuial'nyts'ko-ho lymanu: Monohrafiia/ za red. N.S. Lobody, Ye.D. Hopchenka; Odes'kyj derzhavnyj eko-lohichnyj universytet.** Odesa: TES, 2016. 332 s. **14. James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III,** The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake / Applied Geochemistry 19 (2004), pp. 1827–1835. **15. A. V. Frolov, T. Yu. Vyruchalkina and S. G. Sarkisyan** Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, Water Resources, 2018, Vol. 45, No. 3, pp. 318–325. **16. Yusufujang Rusuli, Lanhai Li, Sajjad Ahmad, Xin Zhao** Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China, Environmental Earth Sciences, 2015, pp. 2499–2510. **17. J. Nossent, W. De Brabanter, and W. Bauwens** Analysis of the water balance of Lake Victoria, Vrije Universiteit Brussel, Hydrology and Hydraulic Engineering, Brussels, Belgium, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9905, 2009, EGU General Assembly 2009. **18. Aldo I. Ramírez, Javier Aparicio Alfredo Ocón, Roberto Mejía-Zermeño Álvaro A. Aldama** Water balance of Chapala lake, Mexico, Ingenieríahidráulica en México, vol. XXI, núm. 1, pp. 5-16, enero-marzo de 2006. **19. J. R. Okongu, S. M. Sewagudde R. J. Mngodo, F. D. Sangale, F. L. Mwanuzi and R. E. Hecky** Water balance of Lake Victoria, Lake Victoria Environmental Management Project, 2018, pp. 25-41. **20. Mahmoud M. A. Elgamal, Kassem S. El-Alfy, Mohamed G. M. Abdallah, Fahmy S. Abdelhaleem and Ahmad M. S. Elhamrawy** Restoring Water and Salt Balance of Qarun Lake, Fayoum, Mansoura University Faculty of Engineering Mansoura Engineering Journal, Egypt. 2017, vol.42, pp.1-13. **21. Izabela Chlost** Water balance of Lake Gardno, Department of Hydrology, Institute of Geography, University of Gdańsk, Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk, Limnol. Rev., Poland, (2019) 19, 1: pp.15–23. **22. Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R. Medvedieva Yu.S., Burukova M.M.** Vyznachennia sklado-vykh vodnykh balansiv ozera Katlabukh // Visnyk ODEKU. 2016. Vyp. 20. S.52-61. **23. Kulibabin O.H., Shakirzanova Zh.R., Romanova Ye.O.** Ekoloho–ekonomichni problemy ratsiona-l'noho vykorystannia pryrodnykh resursiv Prydunajs'kykh ozer (na prykladi ozera Katlabukh) // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2017. T.2. S. 61-67. **24. Rozhdestvenskij A.V., Chebotarev A.I.** Statisticheskie metody v gidrologii. Lenin-grad: Gidrometeoizdat, 1974.423 s. **25. Krickij S.N., Menkel' M.F.** Hidrologicheskie osnovy upravleniya rechnym stokom. Moskva: «Nauka», 1981. 254 s. **26. Sikan A.V.** Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii. Sankt -Peterburg, 2007. 278 s. **27. Hopchenko Ye.D.,**

Loboda N.S., Ovcharuk V.A. Hidrolohichni rozrakhunky: Odes'k. derzhavnyj ekolohichnyj universytet, Odesa: TES, 2014. 484 s. **28.** Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredeleniju ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym. Sankt-Peterburg, 2010. 162 s. **29.** Krickij S.N., Menkel' M.F. O nekotoryh priemah statisticheskogo analiza gidrologicheskikh rjadov // Tr. GGI, 1968. Vyp. 143. S. 110–133. **30.** Posobie po opredeleniju raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 448 s. **31.** Resursy poverhnostnyh vod SSSR [pod red. M.S. Kaganera]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. T. 6. vyp. 1: Zapadnaja Ukraina i Moldavija. 1969. 884 s. **32.** Ukazaniya po raschetu isparenija s poverhnosti vodoemov. Leningrad: Gidromet-izdat, 1969. 83 s. **33.** Klibashev K.P., Goroshkov I.F. Gidrologicheskie raschety. 2-oe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 460 s. **34.** Gopchenko E.D., Loboda N.S. Vodnye resursy severo-zapadnogo Prichernomor'ja (v estestvennyh i narushennyh antropogennoj dejatel'nost'ju uslovijah): Monografija. Kiïv: KNT, 2005. 192 s. **35.** Mezencev V.S., Karnacevich I.V., Belonenko G.V., Plotnikov Ju.N., Polisadov S.D. Rezhimy vlogoobespechenija i uslovija gidromelioracij stepnogo kraja // Pod red. Mezenceva V.S. Moskva: Kolos, 1974. 240 s. **36.** Andrejanov V.G. Vnutrigodovoe raspredelenie rechnogo stoka (Osnovnye zakonomernosti i ih ispol'zovanie v gidrologicheskikh i vodohozjajstvennyh raschetah) / Pod red. d-ra tehn. nauk, prof. D.L. Sokolovskogo. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960. 328 s. **37.** Model' vodno-solevogo rezhima i kachestva vody v ozere Jalpug-Kugurluj (v ramkah nauchno-tehnicheskogo proekta «Tasic»), Odessa, 2002. **38.** Befani A.N. Puti geneticheskogo opredelenija normy stoka. Nauchnyj ezhegodnik OGU. Odessa, 1957. 125 s. **39.** Befani A.N. Osnovnye polozenija teorii rechnogo stoka. Tr. OGMI. 1958, vyp. 12. S. 99-164. **40.** Loboda N.S. Raschety o obobshhenija harakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v uslovijah antropogennoho vlijanija: Monografija. Odesa: Jekologija, 2005. 208 s. **41.** Hidrokhimija Ukrainy: Pidruchnyk/ L.M. Horiev, V.I. Peleshenko, V.K. Khil'chevs'kyj. Kyiv: Vyscha shk., 1995. 307 s. **42.** Peleshenko V.I., Khil'chevs'kyj V.K. Zahal'na hidrokhimija: Pidruch-nyk. Kyiv: Lybid', 1997. 384 s.

**Водний та сольовий баланси озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми
Романова Є.О., Шакирзанова Ж.Р., Гопченко Є.Д., Медведєва Ю.С.**

Зміна умов експлуатації та регулювання Придунайського озера Катлабух призвела до зниження рівнів води і підвищення солоності, що не дає можливості використовувати воду для різних господарських потреб. Імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух (в період 1980-2018 рр.) за різних умов експлуатації водойми показало, що для поліпшення якісних показників води у водоймі необхідні корегуючі управлінські заходи. Вони пов'язані з примусовими підкачками слабо мінералізованої води з р. Дунай або заборами води з озера на зрошення. Це дасть змогу досягти проектних значень мінералізації води в водоймі рівню 1,0-1,5 г/дм³.

Таким чином, при вирішенні цілої низки проблем для збереження та відновлення раціонального використання природних ресурсів озера Катлабух потрібні ефективні управлінські водогосподарські заходи, які потребують додаткових техніко-економічних обґрунтувань.

Ключові слова: водний та сольовий баланси, мінералізація, озеро Катлабух, імітаційне моделювання, раціональне використання.

Водный и солевой балансы озера Катлабух при различных условиях эксплуатации водоема

Романова Е.А., Шакирзанова Ж.Р., Гопченко Е.Д., Медведева Ю.С.

Изменение условий эксплуатации и регулирования Придунайского озера Катлабух привело к снижению уровня воды и повышению солёности, что не даёт возможности использовать воду для различных хозяйственных нужд. Имитационное моделирование водно-солевого режима озера Катлабух (в период 1980-2018 гг.) при различных условиях эксплуатации водоема показало, что для улучшения качественных показателей воды в водоеме необходимы корректирующие управленческие мероприятия. Они связаны с принудительными подкачками слабо минерализованной воды из р. Дунай или заборами воды из озера на орошение, что позволит достичь проектных значений минерализации воды в водоеме равной 1,0-1,5 г / дм³.

Таким образом, при решении целого ряда проблем для сохранения и восстановления рационального использования природных ресурсов озера Катлабух нужны эффективные управленческие водохозяйственные мероприятия, требующие дополнительных технико-экономических обоснований.

Ключевые слова: водный и солевой балансы, минерализация, озеро Катлабух, имитационное моделирование, рациональное использование.

Water and salt balances of Katlabukh Lake under different conditions of water reservoir operation

Romanova Y.A., Shakirzanova ZH.R., Gopchenko E. D., Medvedieva I.S.

Katlabukh Lake is a part of the Danube Lakes system and is one of the surface water sources for water supply, for agricultural needs and irrigation of the region. Changing the conditions of operation and regulation of the reservoir led to a decrease of water levels and an increase of salinity, which makes it impossible to use water for different management needs.

Calculations of the water and salt regimes of the lake based on the solution of the equation of balance said that in the water balance of Katlabukh Lake the main volume of the revenue part for the period 1980-2018 was precipitation (36.1%) and water inflow from the Danube River (38%), and the expenditure part - evaporation together with transpiration (50.5%). Salt flow into the lake is mainly due to surface inflow (53.4%) and water of the Danube River (25.5%), and loss of irrigation (45.1%) and water discharges to the Danube River (31.9%).

Simulation modeling of the water-salt regime of the Katlabukh lake under different conditions of exploitation of the reservoir showed that corrective management measures are needed to improve the qualitative indicators of the water in the reservoir. They consist in the fact that for three summer months it is necessary to carry out forced pumping of poorly mineralized water from the Danube River to compensate for evaporation from the water surface (on average in volumes of the order of 55 million m³) or to carry out fences of water from the lake for irrigation in 60 million m³. This will allow to reach the design values of water mineralization in the lake equal to 1.0-1.5 g/dm³.

Thus, addressing a range of problems to conserve and restore the rational use of the natural resources of Katlabukh Lake requires effective managerial water management activities that require additional feasibility studies.

Key words: water and salt balances, mineralization, Katlabuh Lake, simulation modelling, rational use.

Надійшла до редколегії 17.09.2019

УДК: 556.512

Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВПЛИВ СУЧАСНИХ ЗМІН У СПІВВІДНОШЕННІ СНІГО-ДОЩОВОГО ЖИВЛЕННЯ РІЧОК НА СТРУКТУРУ ВОДНОГО БАЛАНСУ ЇХ БАСЕЙНІВ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ВОРСКЛИ)

Ключові слова: басейн р. Ворскла, водний баланс, атмосферні опади, стік води, сумарне випаровування, кліматичні зміни, сніго-дощове співвідношення живлення річок.

Вступ. Гідрологічний цикл являє собою безперервний процес переміщення водних мас під впливом цілого ряду фізичних сил, дія яких проявляється у різноманітних процесах формування та руху природних вод: випаровування вологи з поверхні океанів та суші, випадінні атмосферних опадів, стіканні їх частини поверхневим та підземним шляхом тощо. Однією з кількісних характеристик гідрологічного циклу є водний баланс певної території за визначений інтервал часу, що відображає об'єктивно існуючі в природі співвідношення між надходженням, витрачанням та зміною запасів вологи. Формування водного балансу здійснюється під впливом різноманітних факторів, що діють в атмосфері, на поверхні ґрунту та в приповерхневій товщі ґрунту [2].

Основною прихідною частиною водного балансу є атмосферні опади, оскільки саме їх кількість і перерозподіл в часі та просторі визначають як особливості формування річкового стоку так і величину випаровування. В загальному випадку, опади поділяються на рідкі і тверді. Саме агрегатний стан, у якому опади надходять на водозбір, переважно є визначальним для процесів формування стоку зимової межени та весняного водопілля річок. З іншого боку, форма випадіння опадів

ISSN:2306-5680 **Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. 2019. № 4 (55)**

являється важливим індикатором, за яким можна оцінювати локальні прояви глобальних змін клімату, адже на зростання температури повітря в першу чергу реагують саме сніговий покрив та льодові явища на водних об'єктах. Так, у звіті IPCC [18] серед іншого йдеться про те, що в багатьох регіонах Землі опади, особливо танення снігу та льоду, викликають суттєві зміни в гідрологічних системах.

У статті наводяться результати обчислення снігової та дощової складових від загальної кількості атмосферних опадів, що приймають участь у формуванні водного балансу басейну річки Ворскла за матеріалами спостережень Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського на чотирьох метеорологічних станціях та трьох гідрологічних постах (рис.1) для спільного періоду 1961-2015 рр., а також описується їх багаторічна динаміка та вплив на формування річкового стоку холодного періоду року і загальну структуру водного балансу.



Рис. 1. Схема розташування пунктів спостереження, за даними яких обчислено водний баланс річок басейну Ворскли

логічних характеристик сучасного періоду (1991-2015) з періодом кліматичної норми(1961-1990). У відповідності з Технічним регламентом ВМО [19], кліматична норма певного елемента визначається як середнє значення протягом послідовних періодів по 30 років. На 17 Всесвітньому метеорологічному конгресі, що проходив у червні-травні 2015 року [17] було вирішено зберегти подібний підхід до питань моніторингу клімату та інших дослідницьких цілей.

У попередній роботі [5] був обчислений узагальнений водний баланс за даними гідрологічного поста Кобеляки для періоду 1961-2012 рр., та зафіксоване зниження кількості опадів зимового сезону з відповідним їх зростання у березні. Саме ці процеси призвели до змін параметрів весняного водопілля, тому дана робота покликана більш детально розглянути відмінності в надходженні різних за агрегатним станом атмосферних опадів до басейну р. Ворскла та впливу на її

Аналіз попередніх досліджень та постановка завдання. У роботі [15] з посиланням на цілу групу попередніх досліджень [6-7, 9, 11-14, 16] стверджується, що вплив змін клімату на річки зі сніговим живленням характеризується збільшенням дощової та зниженням снігової частки опадів, а також більш раннім початком водопілля. Для з'ясування наявності подібного ефекту в межах території України та для оцінювання умов формування стоку води річки Ворскла, в даній роботі наводиться методика поділу опадів за агрегатним станом та обчислення частки опадів у вигляді снігу від загальної кількості опадів. Серед наукових робіт українських гідрологів, питання багаторічних змін різних за походженням складових прихідної частини водного балансу поки що вивчені не досить докладно, що і обумовлює актуальність даної роботи.

З метою виявлення змін, які вже відбулися з водними об'єктами, проведемо порівняння гідрометеоро-

гідрологічний режим. Попередні відомості про водний баланс річки Ворскла наведені в довідниках [3-4].

Методологія дослідження. Водний баланс будь-якої ділянки земної поверхні, в тому числі й річкових басейнів, являється проявом закону збереження і перетворення матерії відносно процесу водообміну цієї території з атмосферою. Водний баланс річкового басейну подається у вигляді:

$$dW/dT = P - E - R, \quad (1)$$

де dW/dT - зміни запасів води в межах річкового басейну протягом певного періоду часу T ; P – атмосферні опади (дощові та тало-снігові), що надходять на поверхню басейну, E – сумарне випаровування з поверхні басейну, R – стік з басейну поверхневих та підземних вод (річковий водний стік).

Водні баланси складаються для різних за тривалістю періодів, при цьому головною перевагою в обчисленні саме багаторічних балансів є відсутність необхідності урахування змін запасів води в межах водозбору, оскільки протягом багаторічного періоду вони взаємно компенсуються ($dW/dT \rightarrow 0$) і тоді рівняння водного балансу набуває вигляду [2]:

$$P = E + R \pm \mu, \quad (2)$$

де μ – нев'язка водного балансу, що обумовлена переважно недосконалістю процесів вимірювання його складових.

Якщо поділити обидві частини рівняння на опади, отримаємо наступні співвідношення [15]:

$$1 = E/P + R/P \quad (3)$$

Перше з них E/P характеризує частку сумарного випаровування в загальній структурі водного балансу і називається коефіцієнтом посушливості, тоді як друге R/P визначає коефіцієнт стоку. Зміни пропорцій в межах даних співвідношення досить добре описують локальні прояви глобальних змін клімату в межах окремого річкового басейну.

Головною вимогою до обчислення водного балансу є те, що всі його складові маю бути виміряні або визначені незалежними методами [2]. Для дотримання цієї вимоги зазначимо, що опади, температура та відносна вологість повітря визначалися за результатами спостереження на чотирьох метеорологічних станціях (див. рис.1), річковий стік вимірювався на трьох гідрологічних постах, а сумарне випаровування обчислене через температуру і абсолютну вологість повітря за методом Константинова. Даний метод заснований на теорії турбулентної дифузії і головною його перевагою є те, що він ґрунтується на результатах стандартних спостережень на метеорологічних станціях і, таким чином, забезпечується доступність достатньої кількості вихідної інформації протягом всього розрахункового періоду.

Оскільки спостереження на метеорологічних станціях характеризують дискретні значення метеорологічних показників у окремих точках, а спостереження на гідрологічних постах показують інтегровані величини стоку води, що відносяться до всього вище розташованого басейну, необхідно здійснювати процедуру приведення метеорологічних даних до їх середніх величин по річковому басейну. Для цього в гідрології застосовується декілька підходів [2, 10], найбільш виправданим, у даному випадку, є метод зважування, коли басейни графічно розбивають системою трикутників Тиссена на зони впливу окремої метеостанції в межах досліджуваного басейну (рис.2).

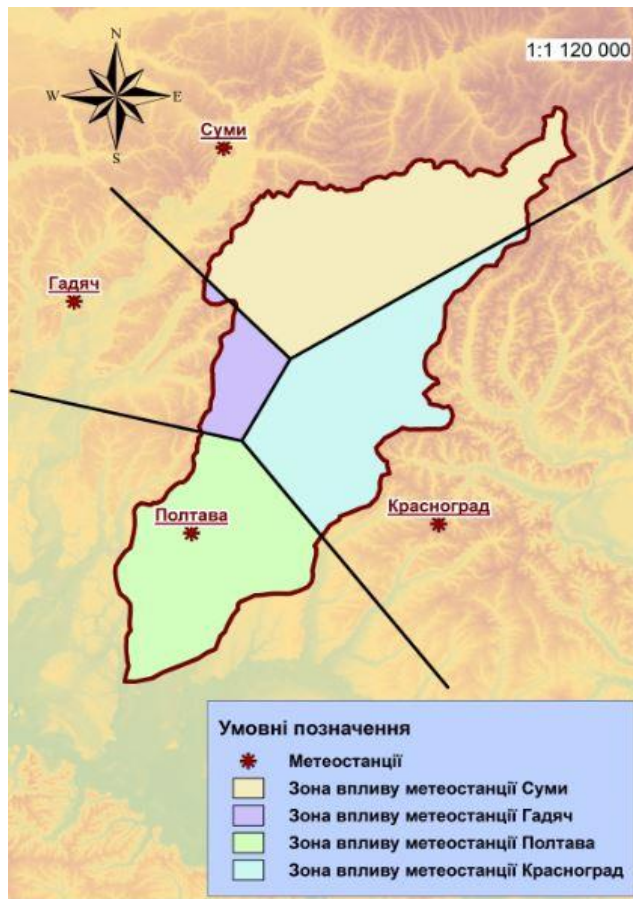


Рис. 2. Схема застосування метода зважування за площами для визначення середніх по басейну значень метеорологічних компонентів для басейну р. Ворскли

З метою виділення частки окремих метеостанцій у загальному значенні метеорологічних компонентів водного балансу басейну р. Ворскли використано-увалася програма ArcGIS, набори інструментів Conversion Tools і Spatial Analyst Tools, з допомогою яких обчислені морфометричні характеристики водозборів (табл.1). Відхилення площі басейну, обчисленої через ArcGIS від площі, наведеної в ОГХ становить 0,4% для басейну р. Ворскла – м. Кобеляки, 0,2% для басейну р. Ворскла - с.Чернеччина та 7% для басейну р. Мерло- м.Богодухів, тому отримані вагові коефіцієнти можна вважати надійними. Через використання наведених у табл. 1 вагових коефіцієнтів обчислювалися сума опадів, температура та відносна вологість повітря, а також величина снігозапасів.

На метеорологічних станціях здійснюється вимірювання величини запасу води в снігу (еквіваленту води у снігу в мм) за результатами снігомірних зйомок кожної пентади місяця та вимірювання добової суми опадів.

Таблиця 1. Площі та вагові коефіцієнти метеостанцій, спостереження на яких використані для обчислення складових водного балансу р. Ворскла

Метеорологічні станції	Гідрологічні пости					
	р. Ворскла – м.Кобеляки		р. Ворскла - с.Чернеччина		р. Мерло-м.Богодухів	
	Площа, км ²	Частка від 1	Площа, км ²	Частка від 1	Площа, км ²	Частка від 1
Суми	5011,44	0,37	4967,12	0,86		
Красноград	3766,46	0,28	782,53	0,13	286,27	1
Полтава	3797,18	0,28				
Гадяч	874,67	0,07	53,5	0,01		

Відомості про спостереження за характеристиками снігу до 1978 року опубліковані в «Метео-рологічних щорічниках», випуск 10 «Спостереження гідрометеорологічних станцій і постів над сніговим покривом», а після 1978 р. у метеорологічних щомісячниках ТМС.

Для обчислення шару вологи, що випала у вигляді снігу за розрахунковий період, визначалася різниця снігозапасів двох сусідніх пентад. У випадку, якщо її величина мала додатне значення у даний період переважали процеси снігонакопичення, якщо ж від'ємне – спостерігалася відлига. Відповідно до цього, сума всіх додатних снігозапасів характеризує загальний шар (мм) атмосферних

опадів, що випав у вигляді снігу протягом певного гідрологічного року.

Тоді різниця між загальною місячною сумою опадів та опадами у вигляді снігу відповідатиме кількості рідких опадів. За такого підходу неможливо врахувати лише тверді опади, що випали та зійшли в межах однієї пентади. Однак, за даними [1] «специфікою Українського регіону є те, що близько 80-ти відсотків відлиг тут мають адвективне походження. Вони зумовлені процесами, що характеризуються наявністю стійких деформаційних баричних полів з меридіонально орієнтованою глибокою улоговиною над східною Європою або широтними потоками повітря з Атлантики». Такі відлиги відрізняються значно вищою тривалістю (у більшості випадків понад пентаду), ніж радіаційні і тому у наведених розрахунках вони враховані.

Обчислення величини снігозапасів та водного балансу проведені за гідрологічний рік, який являє собою річний інтервал, що містить періоди накопичення та витрачання води в річковому басейні. За початок гідрологічного року приймають той місяць, коли виконується така нерівність:

$$P > R + E. \quad (4)$$

За закінчення гідрологічного року приймають місяць, коли виконується наступна нерівність:

$$P < R + E. \quad (5)$$

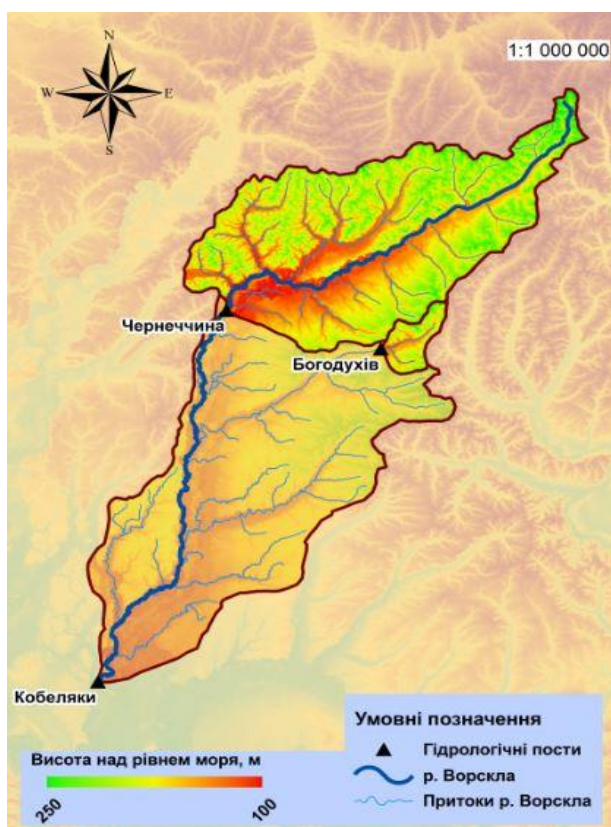


Рис. 3. Межі водозборів діючих гідрологічних постів в басейні Ворскла

Тому, початок кожного гідрологічного року є індивідуальним. Але, все ж таки для спрощення розрахунків приймають постійні межі гідрологічного року, які відносяться до початку одного з місяців. У даному випадку, відповідно до рекомендацій [2] до першого листопада.

Виклад результатів дослідження. В басейні р. Ворскла на сьогоднішній день діє три гідрологічні пости (див. табл.1), зокрема, р. Мерло – м. Богодухів, р. Ворскла – с. Чернеччина та р. Ворскла – м. Кобеляки (рис. 3).

Для кожного з них з використанням зазначених вище вагових коефіцієнтів обчислено сумарну кількість снігу та багаторічний водний баланс за спільний період 1961-2015 рр.

З метою приведення результатів гідрологічних та метеорологічних спостережень до єдиного розрахункового періоду кожен з наявних пропусків у вимірюваннях гідрологічних

та метеорологічних даних було відновлено за допомогою пунктів-аналогів. Дотримуючись описаних вище передумов та із введенням вагових коефіцієнтів (табл. 1) обчислені середні багаторічні значення кожної зі складових водного балансу, а також їх середні квадратичні похибки $\pm\sigma_a$ (табл.2).

Таблиця 2. Значення середньої квадратичної похибки величин складових водного балансу величин за період 1961-2015 рр.

Річка-пост	$\pm\sigma_a$						
	P , мм	$P_{\text{дощ}}$, мм	$P_{\text{сніг}}$, мм	t , °C	ρ_a , гПа	R , мм	$R_{\text{водопілля}}$, мм
р. Мерло-м.Богодухів	15,0	16,8	7,8	0,154	0,064	3,7	2,8
р. Ворскла - с.Чернеччина	14,0	14,3	8,4	0,145	0,064	5,2	3,3
р. Ворскла – м.Кобеляки	13,2	13,7	7,0	0,144	0,067	3,6	2,4

Тут варто відмітити, що середні квадратичні похибки за умови використання прийнятої в роботі методики обчислення сумарного випаровування за багаторічний період визначити не можна, тому наведені відхилення окремо для температури і абсолютної вологості повітря

Відповідно до табл. 2, варто відмітити, що найбільші значення похибки характерні для опадів у вигляді снігу, а також для річкового стоку періоду весняного водопілля, вони досягають 9%, решта похибок знаходиться в межах 2-3%.

Величина температури повітря за сучасний період та період кліматичної норми для кожного з діючих гідрологічних постів в басейні р. Ворскла представлено в табл.3. Відповідно до розрахунків, наведених в табл.3, температура повітря в басейні р. Ворскла змінилася дещо нерівномірно. В загальному випадку, вона зросла на величину біля 1°C і таке зростання виявилось найбільш відчутним у південно-східній частині басейну. У внутрішньорічному розрізі зростання температури повітря також досить неоднозначне, зокрема, у січні воно найбільше і досягає 2,6-3 °C, але одночасно простежується ще один підйом у серпні, натомість у травні та жовтні температура зросла найменше. В гідрологічному відношенні суттєвий вплив на внутрішньорічний розподіл стоку має, в першу чергу, зростання температури (1,7°C) у період сніготанення (лютий-березень), коли формується стік води періоду весняного водопілля.

Зростання температури повітря викликало зниження запасу вологи в снігу в басейнах кожного з діючих гідрологічних постів р. Ворскла(табл.4). Через величину водного еквіваленту снігу обчислене значення сніго-дощового співвідношення як частки опадів у вигляді снігу від загальної місячної або річної суми опадів, %, тоді обернена величина характеризуватиме частку опадів у рідкому стані від загальної суми опадів.

Таблиця 3. Температура повітря (°C) в басейні річки Ворскла за 1961-2015 рр.

Річка-пункт	Період	XI	XII	I	II	III	IV	V
р. Мерло-м.Богодухів	КН*	0,8	-3,6	-7,3	-5,5	-0,3	8,8	15,7
	СП**	1,7	-3,2	-4,4	-3,8	1,5	9,8	16,0
	різниця	0,9	0,4	3,0	1,6	1,8	0,9	0,3
р. Ворскла - с.Чернеччина	КН*	0,6	-4,1	-7,6	-6,4	-1,1	8,1	15,0
	СП**	0,7	-3,8	-5,0	-4,8	0,5	8,5	14,7
	різниця	0,1	0,2	2,6	1,6	1,6	0,5	-0,2
р. Ворскла – м.Кобеляки	КН*	1,0	-3,7	-7,3	-5,9	-0,7	8,5	15,3
	СП**	1,3	-3,4	-4,4	-4,2	1,0	9,2	15,3
	різниця	0,4	0,3	2,8	1,7	1,7	0,7	0,0

Річка-пункт	Період	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>рік</i>
р. Мерло-м.Богодухів	КН*	18,9	20,9	19,7	14,6	7,8	7,5
	СП**	19,7	22,0	21,2	15,2	8,2	8,7
	<i>різниця</i>	<i>0,9</i>	<i>1,1</i>	<i>1,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,4</i>	<i>1,1</i>
р. Ворскла - с.Чернеччина	КН*	18,1	19,4	18,4	13,3	6,9	6,7
	СП**	18,5	20,7	19,9	13,5	6,9	7,5
	<i>різниця</i>	<i>0,4</i>	<i>1,3</i>	<i>1,4</i>	<i>0,3</i>	<i>0,0</i>	<i>0,8</i>
р. Ворскла – м.Кобеляки	КН*	18,4	20,1	19,0	13,9	7,4	7,2
	СП**	19,0	21,2	20,3	14,2	7,6	8,1
	<i>різниця</i>	<i>0,6</i>	<i>1,1</i>	<i>1,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,9</i>

Примітка. КН*-період кліматичної норми 1961-1990 рр.; СП**-сучасний період 1991-2015 рр.

Таблиця 4. Запас вологи в снігу (мм) та частка опадів у вигляді снігу від загальної місячної або річної суми опадів (%) в басейні річки Ворскла за період 1961-2015 рр.

Річка-пост	Характеристика	Період	<i>XI</i>	<i>XII</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>рік</i>
р. Мерло-м.Богодухів	запас вологи в снігу, мм	КН*	6	18	32	22	13	90
		СП**	5	10	22	19	11	67
		<i>різниця</i>	<i>-1</i>	<i>-7</i>	<i>-10</i>	<i>-4</i>	<i>-1</i>	<i>-23</i>
	частка опадів у вигляді снігу, %	КН*	12	32	70	57	41	16
		СП**	11	25	53	49	24	11
		<i>різниця</i>	<i>-1</i>	<i>-7</i>	<i>-18</i>	<i>-8</i>	<i>-16</i>	<i>-5</i>
р. Ворскла - с.Чернеччина	запас вологи в снігу, мм	КН*	12	27	37	22	17	115
		СП**	8	17	33	19	13	90
		<i>різниця</i>	<i>-4</i>	<i>-9</i>	<i>-4</i>	<i>-3</i>	<i>-4</i>	<i>-26</i>
	частка опадів у вигляді снігу, %	КН*	23	51	87	65	49	19
		СП**	19	47	85	57	31	16
		<i>різниця</i>	<i>-4</i>	<i>-4</i>	<i>-2</i>	<i>-8</i>	<i>-17</i>	<i>-3</i>
р. Ворскла – м.Кобеляки	запас вологи в снігу, мм	КН*	10	23	34	25	16	106
		СП**	6	14	29	21	13	80
		<i>різниця</i>	<i>-3</i>	<i>-8</i>	<i>-5</i>	<i>-4</i>	<i>-3</i>	<i>-25</i>
	частка опадів у вигляді снігу, %	КН*	20	43	78	68	46	18
		СП**	16	37	72	59	29	14
		<i>різниця</i>	<i>-4</i>	<i>-6</i>	<i>-6</i>	<i>-9</i>	<i>-17</i>	<i>-4</i>

Примітка. КН*-період кліматичної норми 1961-1990 рр.; СП**-сучасний період 1991-2015 рр.

Так, загальна кількість опадів, що випадають у вигляді снігу знизилася в середньому по басейну на 25 мм, а відносно загальної річної суми опадів – на 4%. При цьому реакція на зростання температури повітря (див. табл. 4) у абсолютному значенні найбільше проявилася безпосередньо у січні місяці, коли різниця двох періодів досягала 8-10 мм за місяць. Одночасно відносна частка опадів, що випали у вигляді снігу до їх місячної суми найбільша в березні (17-18%), коли і відбувається основна фаза проходження весняного водопілля. Звідси варто відмітити, що в басейні річки Ворскла для сучасного періоду характерним є збільшення кількості

рідких опадів у період сніготанення та зниження загальної величини снігозапасів, що певною мірою узгоджується з висновками, наведеними в роботі [15], тобто загальна водно-балансова система подібним чином реагує на зростання температури повітря у різних регіонах.

Описані вище процеси, тобто зростання температури повітря і зниження величини снігових запасів призводять до наступних змін параметрів весняного водопілля (табл. 5). Відповідно до розрахунків, в першу чергу, можна відмітити зниження більше ніж вдвічі максимальної витрати води весняного водопілля на кожному з гідрологічних постів. Також важливо наголосити на зменшенні сумарного стоку періоду водопілля, що, з одного боку, обумовлене зниженням загальної кількості опадів, що випадають на водозбір у вигляді снігу та зростанням частки рідких опадів у березні, а з іншого боку, фізико-географічними особливостями та розміром басейнів річок. Так, для р. Мерло зменшення становить лише 5 мм оскільки вона має найменшу площу та південно-східне розташування басейну, що обумовило порівняно невисокий стік весняного водопілля і в попередній період кліматичної норми, тобто даний басейн не має достатнього ресурсу для більш різкого зниження стоку періоду весняного водопілля. Тоді як р. Ворскла - с. Чернеччина займає найбільш північну частину басейну з найвищими абсолютними значеннями шару водопілля, тому і спад його тут зафіксовано найбільш інтенсивний. Для р. Ворскла з замикальним створом м. Кобеляки його показники є певною мірою інтегрованими по всьому басейну. Що стосується тривалості водопілля, то його зміни, головною мірою, залежать від розміру басейну, так у найменшому басейні р. Мерло тривалість водопілля скоротилася на 4 дні, тоді як по замикальному створу Кобеляки навпаки зросла на 2 дні.

Спираючись на проведені розрахунки можна сказати, що зростання температури повітря та зниження частки опадів у вигляді снігу призвели до внутрішньорічного перерозподілу водності, а найбільш повно простежити даний процес можна за рівнянням водного балансу.

Таблиця 5. Характеристики весняного водопілля в басейні р. Ворскла за 1961-2015 рр.

Річка-пост	Період	Характеристика			
		Тривалість водопілля	Максимальна витрата води, м ³ /с	Шар стоку, мм	Стік водопілля у % від стоку за рік
р. Мерло-м. Богодухів	КН*	44	13,9	33	46
	СП**	40	7,0	28	34
	різниця	-4	-6,8	-5	-12
р. Ворскла - с. Чернеччина	КН*	127	186,9	47	52
	СП**	126	84,0	34	45
	різниця	-1	-102,9	-13	-7
р. Ворскла – м. Кобеляки	КН*	60	231,2	37	46
	СП**	62	109,1	29	39
	різниця	2	-122,1	-8	-7

Примітка. КН*-період кліматичної норми 1961-1990 рр.; СП**-сучасний період 1991-2015 рр.

Багаторічний водний баланс р. Ворскла представлено в табл. 6 та характеризується певними закономірностями.

Таблиця 6. Водний баланс (в мм) басейну р. Ворскла за 1961-2015 рр.

Річка-пункт	Період*: **	Складові водного балансу	місяці												рік
			XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
р. Мерло-м. Богодухів	КН	<i>P</i>	47	55	45	39	31	39	48	70	67	49	38	36	564
		<i>R</i>	3	3	3	6	18	17	4	3	3	2	3	4	69
		<i>E</i>	32	4	2	3	38	57	74	80	79	68	54	36	525
		μ	12	49	40	31	-25	-35	-30	-13	-15	-21	-19	-5	-31
	СП	<i>P</i>	42	40	42	38	48	39	53	74	63	47	57	44	586
		<i>R</i>	5	5	5	9	17	14	5	4	3	2	4	6	78
		<i>E</i>	33	4	6	6	41	56	76	86	83	72	56	36	554
		μ	5	32	31	23	-10	-31	-27	-16	-24	-27	-3	2	-45
р. Ворскла - с. Чернеччина	КН	<i>P</i>	51	52	42	34	36	38	52	69	76	61	43	39	593
		<i>R</i>	5	6	5	6	17	27	7	3	4	3	3	5	91
		<i>E</i>	28	6	2	1	37	57	72	80	82	67	46	35	512
		μ	18	40	36	28	-19	-46	-26	-14	-10	-9	-6	-1	-10
	СП	<i>P</i>	39	37	38	34	43	37	58	60	71	42	57	48	563
		<i>R</i>	6	4	4	5	14	18	5	3	3	2	2	5	72
		<i>E</i>	28	2	2	4	38	57	75	80	85	71	51	35	526
		μ	6	30	33	25	-9	-38	-22	-23	-17	-32	5	9	-34
р. Ворскла - м. Кобеляки	КН	<i>P</i>	49	52	43	37	34	39	51	68	73	55	41	39	581
		<i>R</i>	5	5	5	6	13	21	6	3	3	3	3	4	79
		<i>E</i>	28	5	2	3	38	57	72	80	81	67	51	35	518
		μ	16	43	36	28	-16	-40	-27	-16	-11	-15	-12	0	-16
	СП	<i>P</i>	40	39	40	35	44	37	55	68	68	42	58	48	575
		<i>R</i>	5	5	5	6	11	13	7	4	4	3	3	5	70
		<i>E</i>	32	4	6	4	38	56	79	80	85	71	52	36	542
		μ	3	30	29	25	-4	-31	-31	-16	-20	-31	3	7	-37

Примітка. КН*-період кліматичної норми 1961-1990 рр.; СП**-сучасний період 1991-2015 рр.

Нев'язка обчислення багаторічного водного балансу не повинна перевищувати 10% від загальної кількості опадів, тому можна стверджувати, що всі баланси, що наведені в табл. 5 є коректними.

При цьому варто відмітити, що найбільша величина похибки (5% та 8%) відноситься до басейну р. Мерло і це є закономірним, оскільки для таких невеликих водозборів найбільш відчутним є вплив місцевих факторів формування стоку та генералізація у приведенні метеорологічних характеристик і тому методика [2] рекомендує брати за основу баланси, обчислені для середніх за площею річок. Саме таким є баланс р. Ворскла -с.Чернеччина, який обчислений найбільш точно і похибка якого за період кліматичної норми знаходиться в межах 1%.

Динаміка зміни атмосферних опадів та стоку води в межах басейну дещо неоднозначна, оскільки для переважної більшості його території вони знижуються, тоді як в басейні р. Мерло зростають, що обумовлене домінуючим впливом тут метеостанції Красноград, однак це питання потребує більш детального вивчення із залученням інших метеостанцій степової зони Лівобережжя Дніпра та додаткових

водозборів малих річок. По кожному з трьох досліджуваних басейнів спостерігається зростання величини сумарного випаровування у сучасний період майже на 5% і цей процес характеризується значною внутрішньорічною неоднорідністю, як й у випадку з температурою повітря (див. табл.2). Зокрема, спостерігається два періоди інтенсивного його зростання, які умовно можна охарактеризувати як зимовий і літній, коли його величина досягає 4 мм на місяць.

Коефіцієнти посушливості та стоку води змінюються у двох взаємно протилежних напрямках. Так, викликане зростанням температури повітря – збільшення коефіцієнту посушливості у середній течії р. Ворскли становить 0,07, а в басейні з замикальним створом м. Кобеляки 0,05. При цьому лише приблизно третина цього підвищення компенсується відповідним зниженням коефіцієнту стоку води річок на 0,025 та 0,015 відповідно. Така невідповідність обумовлює значне зростання величини нев'язок розрахунку водного балансу сучасного періоду. Нев'язки усіх трьох багаторічних водних балансів суттєво змінилися зі знаком «мінус», що свідчить про появу неоднорідностей у їх витратних частинах, де зафіксоване чітке зростання сумарного випаровування і за умови подальшого зростання температури повітря тенденції будуть поглиблюватися.

Для більш детального розгляду процесів формування річкового стоку води та впливу на них змін клімату розглянемо деталізовані рівняння водного балансу із поділом загальних опадів за агрегатним станом: умовно кажучи, на сніг $P_{\text{СНІГ}}$ та дощ $P_{\text{ДОЩ}}$, а також поділом річкового стоку води на стік весняного водопілля $R_{\text{ВОДОПІЛЛЯ}}$ та сумарний стік меженних сезонів $R_{\text{МЕЖ}}$, як різницю між сумарним стоком R та стоком періоду весняного водопілля, тоді рівняння водного балансу матиме наступний вигляд:

$$P_{\text{СНІГ}} + P_{\text{ДОЩ}} = E + R_{\text{ВОДОПІЛЛЯ}} + R_{\text{МЕЖ}} \pm \mu. \quad (6)$$

Результати таких розрахунків наводяться в табл. 7

Таблиця 7. Деталізований річний водний баланс басейну р. Ворскла за 1961-2015 рр

Річка-пост	Період	Характеристика					
		$P_{\text{СНІГ}}$	$P_{\text{ДОЩ}}$	E	$R_{\text{ВОДОПІЛЛЯ}}$	$R_{\text{МЕЖ}}$	μ
р. Мерло-м.Богодухів	КН*	90	474	525	33	36	-31
	СП**	67	519	554	28	50	-45
	різниця	-23	48	29	-5	14	14
р. Ворскла - с.Чернеччина	КН*	115	478	512	47	44	-10
	СП**	90	473	526	34	38	-34
	різниця	-25	5	14	-7	6	24
р. Ворскла – м.Кобеляки	КН*	106	475	518	37	38	-16
	СП**	80	495	542	29	41	-38
	різниця	-26	20	24	-8	3	22

Примітка. КН*-період кліматичної норми 1961-1990 рр.; СП**-сучасний період 1991-2015 рр.

В першу чергу варто відмітити, що реакція на зміну клімату досить суттєво залежить від розміру річкового басейну. Так найменший басейн р. Мерло найбільш різко відреагував на зростання температури повітря та пов'язане з ним збільшення дощової і зниження снігової складових у прихідній частині водного балансу через зниження частки весняного водопілля та найвище в басейні р. Ворскла (майже 50%)

зростання сумарного стоку води меженних сезонів. Такі ж зміни намітилися і на більших за розміром водозборах, однак проходять вони поки що менш різко. Тобто, зниження частки снігу в середньому по басейну на 25 мм супроводжується зростанням кількості рідких опадів на 20 мм, але ці зміни відбуваються більш неоднорідно. Так само, зниження стоку води періоду весняного водопілля супроводжується його зростанням у меженні сезони. І лише величина сумарного випаровування стабільно зростає по всьому басейну і цей процес відбувається інтенсивніше у його південній частині.

Висновки та обговорення. Головною спільною рисою усіх досліджуваних водних балансів є зростання температури повітря в межах басейнів і пов'язаної з ним величин сумарного випаровування, яке є більш відчутним у південній частині водозбору, як наслідок зменшення частки твердих та збільшення частки рідких опадів, що призводить до зниження стоку води весняного водопілля та збільшення сумарного стоку меженних сезонів.

В загальному випадку про виведення зі стану динамічної рівноваги водно-балансової системи басейну р. Ворскла (переважно за рахунок наявності локальних проявів глобальних змін клімату) свідчить значне зростання величини нев'язки у кожному з водних балансів. Така тенденція до зростання величини нев'язок більше ніж вдвічі характерна не лише для басейну р. Ворскла, вона була зафіксована також на р. Західний Буг [8]. На вказані зміни найбільш різко реагують менші за розміром річкові басейни.

Список літератури

1. Бабіченко В. М., Дячук В. А. та ін. (ред). Клімат України. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2003. 564 с.
2. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Под ред. Н.Г. Галущенко. К.: Вища школа, 1987. 248 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Под ред. М.С. Каганера. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 884 с.
4. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б. И. Стрельца. К.: Урожай, 1987. 304 с.
5. Мірошніченко К. А., Чорноморець Ю. О. Вплив змін клімату на водний баланс та динаміку стоку води річки Ворскла Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. Т. 2(41). С. 58-68.
6. Adam J.C., Hamlet A.F. and Lettenmaier D.P., 2009: Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrol. Processes*, 23, 962–972, doi:10.1002/hyp.7201.
7. Barnett T.P. and Coauthors, 2008: Human-induced changes in the hydrology of the western United States. *Science*, 319, 1080–1083, doi:10.1126/science.1152538.
8. Havryliuk Yuliia, Chornomorets Yuliia The influence of climate changes on the water balance in the Western Bug River basin – Kamianka Buzka// Air and water components of the environment Cluj-Napoca, Romania, 17-19th of March, 2017. P. 211-218.
9. Hamlet A.F., Mote P.W., Clark M.P. and Lettenmaier D.P., 2005: Effects of temperature and precipitation variability on snowpack trends in the western United States. *J. Climate*, 18, 4545–4561, doi:10.1175/JCLI3538.1.
10. Healy R.W., Winter T.C., LaBaugh J.W., Franke O.L., 2007. Water budgets: foundations for effective water-resources and environmental management. *US Geol Surv Circ* 1308, 90 pp.
11. Hidalgo, H. G. and Coauthors, 2009: Detection and attribution of streamflow timing changes to climate change in the western United States. *J. Climate*, 22, 3838–3855.
12. Mote, P. W., Hamlet A.F., Clark M. P. and Lettenmaier D.P., 2005: Declining mountain snowpack in western North America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 39–45.
13. Pierce, D. W. and Coauthors, 2008: Attribution of declining western U.S. snowpack to human effects. *J. Climate*, 21, 6425–6444.
14. Rasmussen, R.M. and Coauthors, 2011: High-resolution coupled climate runoff simulations of seasonal snowfall over Colorado: A process study of current and warmer climate. *J. Climate*, 24, 3015–3048.
15. Rasmussen R., Ikeda K., Liu C., Gochis D., Clark M., Da A., Gutmann E., Dudhia J., Chen F., Barlage M., Yates D. and Zhang G., 2014: Climate Change Impacts on the Water Balance of the Colorado Headwaters: High-Resolution Regional Climate Model Simulations, *J. Hydrometeorol.*, 15, 1091–1116.
16. Stewart, I.T., 2009: Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountain regions. *Hydrol. Processes*, 23, 78–94.
17. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on "climate normal".
18. IPCC, 2013: "Fifth

Assessment Report - Climate Change 2013". **19.** WMO, 2007: "The role of climatological normals in a changing climate", World Climate Data and Monitoring Programme -No. 61, WMO-TD No. 1377. **20.** http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf.

References

1. Babichenko V. M., Diachuk V. A. *ta in. (red). Klimat Ukrainy. Ukrains'kyj naukovo-doslidnyj hidrometeorologichnyj instytut, 2003. 564 c.* **2.** Hidrologicheskie i vodno-balansovye raschety / Pod red. N.G. Galushhenko. K.: Vishha shkola, 1987. 248 s. **3.** Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T.6. Ukraina i Moldavija. Pod red. M.S. Kaganera. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 884 s. **4.** Spravochnik po vodnym resursam / Pod red. B. I. Strel'ca. K.: Urozhaj, 1987. 304 s. **5.** Miroshnichenko K. A., Chornomorets' Yu. O. *Vplyv zmin klimatu na vodnyj balans ta dynamiku stoku vody richky Vorskla Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroeкологиia, 2016. T. 2(41). S. 58-68.* **6.** Adam J. C., Hamlet A.F. and Lettenmaier D.P., 2009: Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrol. Processes*, 23, 962–972, doi:10.1002/hyp.7201. **7.** Barnett T.P. and Coauthors, 2008: Human-induced changes in the hydrology of the western United States. *Science*, 319, 1080–1083, doi:10.1126/science.1152538. **8.** Havryliuk Yuliia, Chornomorets Yuliia The influence of climate changes on the water balance in the Western Bug River basin – Kamianka Buzka/ Air and water components of the environment Cluj-Napoca, Romania, 17-19th of March, 2017. P. 211-218. **9.** Hamlet A. F., Mote P. W., Clark M. P. and Lettenmaier D. P., 2005: Effects of temperature and precipitation variability on snowpack trends in the western United States. *J. Climate*, 18, 4545–4561, doi:10.1175/JCLI3538.1. **10.** Healy R.W., Winter T.C., LaBaugh J.W., Franke O.L., 2007. Water budgets: foundations for effective water-resources and environmental management. *US Geol Surv Circ* 1308, 90 pp. **11.** Hidalgo, H. G. and Coauthors, 2009: Detection and attribution of streamflow timing changes to climate change in the western United States. *J. Climate*, 22, 3838–3855. **12.** Mote, P.W., Hamlet A.F., Clark M.P. and Lettenmaier D.P., 2005: Declining mountain snowpack in western North America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 39–45. **13.** Pierce, D.W. and Coauthors, 2008: Attribution of declining western U. S. snowpack to human effects. *J. Climate*, 21, 6425–6444. **14.** Rasmussen, R.M. and Coauthors, 2011: High-resolution coupled climate runoff simulations of seasonal snowfall over Colorado: A process study of current and warmer climate. *J. Climate*, 24, 3015–3048. **15.** Rasmussen R., Ikeda K., Liu C., Gochis D., Clark M., Da A., Gutmann E., Dudhia J., Chen F., Barlage M., Yates D. and Zhang G., 2014: Climate Change Impacts on the Water Balance of the Colorado Headwaters: High-Resolution Regional Climate Model Simulations, *J. Hydrometeorol.*, 15, 1091–1116. **16.** Stewart, I.T., 2009: Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountain regions. *Hydrol. Processes*, 23, 78–94. **17.** WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on "climate normal". **18.** IPCC, 2013: "Fifth Assessment Report - Climate Change 2013". **19.** WMO, 2007: "The role of climatological normals in a changing climate", World Climate Data and Monitoring Programme -No. 61, WMO-TD No. 1377. **20.** http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf.

Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли)

Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.

У статті представлені результати дослідження сніго-дощового співвідношення живлення річок та водного балансу басейну р. Ворскла. Для розрахунків використані результати спостережень на трьох гідрологічних постах і чотирьох метеорологічних станціях. Спільний період спостережень за кожною характеристикою – 1961-2015 рр. З метою порівняння та виявлення змін використано сучасний період і період кліматичної норми (1961-1990 рр.). Для визначення середніх по басейну значень метеорологічних компонентів та складових водного балансу застосовано метод зважування за площами Нев'язки розрахунку водних балансів не перевищують 8% від загальної кількості опадів. Температура повітря в басейні р. Ворскла зросла на 1 °C порівняно з періодом кліматичної норми. Запас вологи в снігові знизився на 25 мм. У сніго-дощовому співвідношенні живлення частка твердих опадів знизилася на 4%. Сумарне випаровування зросло в середньому на 20 мм. Стік весняного водопілля знизився на 7 мм та підвищився сумарний стік меженних сезонів. Нев'язка розрахунку водних балансів в сучасний період зросла в середньому на 20 мм за рахунок витратних складових водних балансів. Коефіцієнти посушливості та стоку змінюються у двох взаємно протилежних напрямках. Так, викликане

зростанням температури повітря, збільшення коефіцієнту посушливості становить 0,06. При цьому лише приблизно третина цього підвищення компенсується відповідним зниженням коефіцієнту стоку води річки. Це обумовлює зростання величини невязок за рахунок витратної частини рівнянь водного балансу. На вказані зміни найбільш різко реагують менші за розміром річкові басейни.

Ключові слова: басейн р. Ворскла, водний баланс, атмосферні опади, стік води,, сумарне випаровування. кліматичні зміни, сніго-дощове співвідношення живлення річок.

Влияние современных изменений в соотношении снегодождевого питания рек на структуру водного баланса их бассейнов (на примере речного бассейна Ворсклы)

Черноморец Ю.А., Лукьянец О.И.

В статье представлены результаты исследования снегодождевого соотношения питания рек и водного баланса бассейна р. Ворскла. Для расчетов использованы результаты наблюдений на трех гидрологических постах и четырех метеорологических станциях. Общий период наблюдений за каждой характеристикой - 1961-2015 гг. В целях сравнения и выявления изменений использован современный период и период климатической нормы (1961-1990 гг.). Для определения средних по бассейну значений метеорологических компонентов и составляющих водного баланса использован метод взвешивания по площадям. Невязка расчета водных балансов не превышает 8% от общего количества осадков. Температура воздуха в бассейне р. Ворскла выросла на 1 °С по сравнению с периодом климатической нормы. Запас влаги в снеге снизился на 25 мм. В снегодождевом соотношении питания доля твердых осадков снизилась на 4%. Суммарное испарение возросло в среднем на 20 мм. Сток весеннего половодья снизился на 7 мм и повысился суммарный сток меженных сезонов. Невязка расчета водных балансов в современный период выросла в среднем на 20 мм за счет расходных составляющих водных балансов. Коэффициенты засушливости и стока изменяются в двух взаимно противоположных направлениях. Так, вызванное ростом температуры воздуха, увеличение коэффициента засушливости составляет 0,06. При этом лишь примерно треть этого повышения компенсируется соответствующим снижением коэффициента стока воды реки. Это обуславливает рост величины невязок за счет расходной части уравнений водного баланса. На указанные изменения наиболее резко реагируют меньшие по размерам речные бассейны.

Ключевые слова: бассейн р. Ворскла, водный баланс, атмосферные осадки, сток воды,, суммарное испарение, климатические изменения, снегодождевое соотношение питания рек.

Influence of the modern changes in the snow-rain partitioning on the water balance in the rivers basins (on the Vorskla River basin exsample)

Chornomorets Y.O., Lukianets O.I.

This paper presents the results of examinations of snow-rain partitioning and water balance in the Vorskla River basin. Used for calculations have been the results of observations at three hydrological staff gauges and four meteorological stations. A common observation period for each of the characteristics has been the period of 1961-2015. Calculated for each of the hydrological staff gauges have been weight coefficients obtained at the above meteorological stations. The modern period and the period of the climatic norm (1961-1990) has been used for comparison. Closure errors of the water balances equation have not exceed 8% of the total precipitation. The air temperature in the Vorskla River basin has increased by 1°C compared with the period of the climate norm. Because of this, the snow water equivalent has dropped by 25 mm. In the snow-rain partitioning part of solid precipitation has decreased by 4%. On the average, evapotranspiration has increased by 20 mm. The spring runoff has decreased by 7 mm, while the total amount of dry seasons runoff has increased. On the average, the closure error of the equation has increased by 20 mm due to the influence of outflow components of the water balances. The coefficient aridity and runoff coefficient has varied in two opposite directions. The increase in the coefficient aridity in the Vorskla River basin has been near 0.06 while only about one third of this increase has been offset by a corresponding decrease in the runoff coefficient. This has caused an increase in the closure error due to the outflow part of the equations of water balance. The most rapid reaction to the above changes has been observed in the smallest river basins.

Key words: Vorskla River basin , water balance, precipitation, runoff, evapotranspiration, snow-rain partitioning .

Надійшла до редколегії 14.08.2019

Почаєвець О.О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ ГІРСЬКИХ РІЧОК: РЕТРОСПЕКТИВА, ОГЛЯД І ПЕРСПЕКТИВА

Ключові слова: мінімальний стік, межень, генетична однорідність, гірські річки, карта мінімального стоку, забезпеченість мінімального стоку.

Вступ. В контексті кліматичних змін все більше активізуються небезпечні гідрологічні явища, до яких відносяться як паводки так і посухи.

Якщо дослідженню максимумів водопіль та паводків присвячено досить багато досліджень, розроблена ціла низка прогностичних моделей, які враховують різну гідрометеорологічну інформацію, то проблематиці досліджень періодів мінімального стоку, особливо в не посушливих регіонах, присвячено не так багато праць. Проте головним, на нашу думку, є відсутність єдиного уявлення про мінімальний стік, його періоди настання та тривалість, врахування особливостей його формування в різних кліматичних та фізико-географічних умовах, особливо в гірських регіонах.

Вихідні передумови. Якщо заглибитись в історію дослідження цього питання, то можна прослідкувати неоднозначність підходів та формулювань, починаючи з базової термінології. Так, у вітчизняній літературі ще з радянських часів існує поняття межені. На початку XX століття серед гідрологів виникали розбіжності, які не до кінця вирішені і до цього дня. Проблема полягає в формулюванні терміну «межень», «мінімальний стік» і виборі адекватних характеристик. Так, Б.В. Поляков вважав межень періодом, який спостерігаються при відсутності яскраво виражених паводків [39], Д.Л. Соколовський [45], як і А.І. Чеботарьов [49], вважали, що мінімальний стік води настає тоді, коли річки переходять на ґрунтове живлення. Через відсутність єдиних підходів до формулювання в практиці розробки методів розрахунку мінімального стоку під спільними термінами приймалися характеристики, що мають різний гідрологічний сенс. В.А. Уриваєв [47] за основну характеристику приймав «середні багаторічні величини мінімального річного стоку», маючи на увазі найменшу за рік величину незалежно від сезону; натомість Л.Н. Попов [7] для карт ізолій мінімального літнього та зимового стоку води використовував величину середнього багаторічного модуля стоку за місяць, і тоді мінімальний стік виходив близьким до норми річного стоку і відповідав середній витраті літнього сезону в цілому, а не межені. Н.Д. Антонов [3] ототожнював з величиною зимового добового мінімуму значення середніх місячних мінімумів. Таким чином, стає зрозуміло, що невизначеність понять веде до ототожнення генетично різних характеристик мінімального стоку.

Найбільш популярними у сучасній гідрологічній науці є визначення О.М. Владімірова [13-17], згідно якого межень вважається фаза водного режиму, яка спостерігається в маловодні сезони – зимовий, або літньо-осінній, і характеризується тривалими стійкими низькими значеннями витрат води. Межений стік – це стік води, який спостерігається в маловодні періоди за умов відсутності тривалих паводків. В період межені виділяється проміжок часу, в який спостерігається найменша кількість стоку води, тобто його мінімальний стік.

Період мінімального стоку може тривати від 1 до 30 діб, коли річки переважно переходять на підземне живлення. Важливо також враховувати, що величини мінімального стоку в теплий та холодний період є генетично різними, тому їх

необхідно досліджувати окремо. Тривалість періоду мінімального стоку залежить від стійкості межені. Взимку межень характеризується тривалістю періоду з від'ємними температурами, під час яких зупиняється поверхневий стік води. В літньо-осінній період тривалість меженого періоду залежить від кількості та інтенсивності опадів, що формують паводки [13-17].

В середині 50-х років Н.П.Чеботарьовим [49] була розроблена схема, яка враховувала площу водних поверхонь, втрат на випаровування та льодоутворення. В той самий час питанням мінімального стоку займався А.М. Владіміров [15,16], який в свої роботах звернув увагу не лише на розрахунок мінімального стоку, але і на параметри його мінливості – коефіцієнти варіації та асиметрії. В основу його розрахунків також були покладені залежності модуля мінімального від ерозійного візру або площі водозбору [8, 9, 16, 33, 43].

Наступним кроком в розвитку досліджень мінімального стоку було врахування генетичної однорідності формування мінімумів. На це звернули увагу у 50-тих роках ХХ ст. Враховувати такі особливості стало можливо з використанням гідролого-гідрогеологічного підходу [34,42]. Проте, придатної для практичного застосування схеми розрахунку не було вироблено, що пов'язано з неможливістю на той момент врахувати всі локальні особливості водозбору.

Значний внесок у вивчення мінімального стоку внесли роботи А.М. Владімірова [13,14]. Ним вперше була розглянута комплексна проблема оцінки тимчасових, кількісних і якісних характеристик мінімального стоку в різні сезони, з урахуванням впливу господарської діяльності людини. У його роботах проведено повний аналіз процесу формування стоку в маловодний період, класифіковані стокоутворюючі фактори, проведено визначення розрахункових характеристик стоку річок у меженний період при наявності гідрометричних спостережень і розглянута проблема розрахунку при їх нестачі або відсутності [13]. На початку 70-х років на тлі зростаючого інтересу до питань дослідження мінімального стоку методи його розрахунку вдосконалювались. Велике значення набув метод перехідних коефіцієнтів, що дозволяє більш точно визначити стік необхідної забезпеченості для невивчених річок. Можна вважати, що в 70-80-х роках були закладені основи теоретичних уявлень про закономірності формування меженний стоку води річок в різні сезони і в різних природних умовах, а також запропоновані методи його розрахунків при різному обсязі і доступності гідрометеорологічної інформації [4].

Ще в 30-х роках почали використовувати статистичні методи та метод гідрологічної аналогії в дослідженнях мінімального стоку [45]. Ці дослідження були продовжені рядом вчених в наступні десятиліття, що призвело до формування нового напрямку в дослідженні багаторічних коливань стоку, в тому числі мінімального, на основі стохастичного моделювання [25, 27, 28].

Варто відмітити, що детально загальний огляд досліджень мінімального стоку було розглянуто в роботі [23].

Міжнародні дослідження мінімального стоку. Щодо питання визначення мінімального стоку за кордоном, то тут прослідковуються різні тенденції як щодо термінології, так і до методів розрахунків.

Міжнародний гідрологічний словник визначає термін “low flow” як стік води протягом тривалого посушливого періоду – посухи (drought). Виділяють декілька типів посух – метеорологічна, сільськогосподарська та гідрологічна, також є поняття соціально-економічної посухи [53]. Також в зарубіжній літературі існує таке поняття як базисний стік (base flow), який відповідає генетичній компоненті стоку води, що формується за рахунок підземного живлення. В періоди низької водності річок витрати води формуються переважно підземними водами, а в період підвищеної –

базисним і так званим «швидким» стоком. Базисний стік відповідає підземному стоку, який виділяється методом розчленування гідрографа. В якості розрахункових характеристик найчастіше використовується індекс низького стоку – мінімальна витрата води за n -днів за кожен рік окремо. В США та Великобританії найчастіше використовують мінімальну витрату води за 7 діб повторюваністю за 2 та 10 років. Закордонні гідрологи також оцінюють мінімальний стік за генетично однорідні періоди [55].

Можливі наслідки кліматичних змін для мінімального стоку були предметом інтенсивних досліджень в останні роки в зарубіжжі. В основному ці дослідження були сфокусовані на змінах середніх багаторічних показників. Лібхер [58] продемонстрував різний ефект кліматичної нестабільності. Він проілюстрував регіональні варіації цього впливу на низький стік в різних частинах басейну Рейну, використовуючи довгі ряди спостережень. В роботі [59] виявлено зменшення значень середньорічних мінімальних витрат води річок Словаччини в останні десятиліття. Використовуючи дані для річок басейну Міссісіпі, Теліс [69] показав, що циклічна структура рядів стоку відповідає циклічності випадання опадів, і запропонував метод розрахунку характеристик низького стоку відповідно до кліматичних циклів. Вуд [72] запропонував інженерам-гідрологам залучати до розрахунків палеогідрологічні дані, щоб поліпшити точність оцінки повеней і засух. Арнелл [52] вивчав можливі зміни в частоті появи гідрологічних екстремумів в Європі. Він зауважив, що існує проблема виявлення таких змін з спостережених даних, оскільки ряди спостережень занадто короткі. Зв'язок між виявленим збільшенням кількості сухих і теплих років і зниженням мінімального стоку не очевидна. Маловоддя було дуже низьким в Європі в середині 70-х, і тільки місцями в Данії і півночі Британії дуже низькі значення були зафіксовані в 1980-х роках. Здається, що спостережені зміни низького стоку і кліматичних показників узгоджені, проте в [52] було зроблено висновок, що модель, яка використовує історичні дані про стік, нереалістична. Уілбі [71] розробив модель, яка б пов'язала прогнози кліматичних змін, одержувані з моделей загальної циркуляції і прогнози гідрологічних компонент в масштабі водозборів. Ним було використано цілу низку кліматичних сценаріїв, і вплив цих сценаріїв на квантілі низького стоку було показано на річках Великобританії.

Виходячи з вище викладено, *метою* наших досліджень є дослідження підходів та врахування особливостей мінімального стоку на гірських річках в умовах кліматичних змін.

Ретроспектива досліджень мінімального стоку. На першому етапі важливо розглянути загальні існуючі підходи щодо дослідження мінімального стоку. Ми розглянемо лише основоположні праці та ті, що стосуються підходів для оцінки мінімального стоку саме гірських річок.

Період 20-30х років XX ст. вважається початком дослідження мінімального стоку на річках Європейської території колишнього СРСР. [25, 43,50].

На наступному етапі дослідження мінімального стоку стали більш комплексними за рахунок включення гідрогеологічної складової. Це дозволило диференціювати умови формування мінімального стоку по території. Так з'явилися схеми районування території Європейської території колишнього СРСР на основі карт районів залягання підземних вод. [42]. Це дало можливість встановити, що модулі мінімального стоку води всередині відносно однорідних по гідрогеологічним умовам районів збільшуються пропорційно глибині ерозійного врізу або площі басейну річки, оскільки ці величини є тотожними.

В 1941 році В.А. Уриваєвим була запропонована емпірична залежність для обліку озерного впливу, йому ж належить робота з аналізу кривих тривалості

добових витрат [47]. Значний внесок у розробку емпіричних розрахункових залежностей вніс Н.Д. Антонов. Він розглянув основні фактори, що впливають на формування мінімального стоку і, на підставі фактичних даних за ЄТС розробив емпіричні залежності для розрахунку мінімальних середньодобових модулів стоку за зиму і літо окремо [2]. Так само, як і Шевельов [51], він запропонував використовувати непрямий метод розрахунку статистичних параметрів (C_s і v_C) рядів мінімального стоку, що дозволило визначати мінімальний стік різної забезпеченості. Дослідження сезонного стоку здійснювалися в розрізі вивчення внутрішньорічного розподілу стоку. Це обумовлювало необхідність призначення певних і постійних термінів початку і кінця сезонів для річок окремих регіонів. Ухвалення постійних термінів стало умовною мірою, викликану вимогами практики. Таке припущення сильно ускладнило здійснення наукових узагальнень в зв'язку з генетичною неоднорідністю сезонного стоку, яка погіршувала схематичність призначення меж сезонів.

Найбільший внесок в розвиток розрахункових методів сезонного стоку вніс В.Г. Андреянов [2], який побудував карти ізоліній середнього багаторічного шару сезонного стоку за літньо-осінній та зимовий сезони для річок ЄТС, в тому числі і гірських. Ним була розроблена схема визначення сезонного стоку різної забезпеченості для невивчених річок, заснована на використанні параметрів кривої забезпеченості річного стоку і перехідних коефіцієнтів від цих параметрів до відповідних параметрів сезонного стоку. Рекомендації В.Г. Андреянова слугували основою регіональних описів сезонного стоку в аспекті його внутрішньорічного розподілу.

Низка робіт присвячена сучасним змінам мінімального стоку річок [1, 6, 11] та інших, зокрема річкам Республіки Білорусь [18].

Важливим аспектом є просторовий розподіл мінімального стоку по території. Для цього створювались карти ізоліній модуля мінімального стоку [5]. Одними з перших спроб узагальнення були карти Ураваєва [47], Норватова [34], які не враховували генетичні особливості мінімального стоку та об'єднувала літньо-осінні та зимові мінімуми. В 1966 р. В.А. Баранов и Л.Н. Попов [7] розробили низку карт мінімального стоку.

Закордонними вченими також проведено ряд досліджень щодо різних розрахункових періодів мінімального стоку. Велика кількість дослідників схильється до використання мінімальних витрат води за 7 діб для однорідних періодів різної забезпеченості [62-70].

Дослідження мінімального стоку води річок України. Перші ґрунтовні дослідження мінімального стоку річок України здійснено в середині 50-х років минулого сторіччя в роботі Чіппінг Г.О. та Лисенко К.А. [31-33, 50]. Авторами виділено в межах України 13 районів за однорідністю гідрогеологічних умов формування мінімального стоку. На думку авторів головним фактором, що зумовлює величину мінімального стоку у межах одного району є вертикальна гідродинамічна зональність підземних вод та величина ерозійного врізання долини річки. Вплив інших чинників, що впливають на мінімальний стік (рельєфу, заболоченості, залісненості та ін.) на думку авторів обумовлює відхилення від середніх значень по району. На підставі проведених досліджень було розроблено рекомендації для визначення мінімальних витрат розрахункової забезпеченості, якими можна користуватися при відсутності матеріалів спостережень.

В роботі [12] проаналізовано зміни мінімального стоку води річок України, які відбувались у 90-х роках ХХ століття.

Паралельно дослідження мінімального стоку річок України проводились в Одеському державному екологічному університеті. Вчені гідрологи приділяли увагу

дослідженням змін мінімального стоку під впливом кліматичних змін, зокрема в басейні Дунаю. Також проводилась оцінка посушливості Закарпаття та розроблялись прогнози значення за сценаріями глобального потепління [10, 29, 30].

Комплексні дослідження коливань мінімального стоку річок України, в тому числі гірських районів, проводяться вченими УкрГМІ, в контексті багаторічних коливань під впливом кліматичних змін [19,54].

Дослідження мінімального стоку гірських річок України. Щодо гірських річок, то для басейну річок Пруту була виконана оцінка умов формування та розрахунки мінімального стоку [46]. Дослідження межени на річках басейну Дністра розглянуті в гідрохімічному та екологічному розрізі з урахуванням впливу господарської діяльності [48]. Також активно застосовуються статистичні методи оцінки мінімального стоку зимової межени річок Верхнього Дністра.

Колектив вчених-гідрологів Київського національного університету імені Тараса Шевченка в різні роки присвячували свої дослідження вивченню проблематики мінімального стоку рівнинних річок України [20, 21,22]. Останні роки активізувались дослідження мінімального стоку гірських річок, особливо в басейні Тиси [35-37, 41].

Результати досліджень багаторічних коливань стоку засвідчують, що на сучасному етапі, враховуючи кліматичні зміни та природні коливання стоку, на річках України на початку 2000-х років прослідковується маловодна фаза. Також це не оминуло і найбільш водозабезпеченні території України – річки Українських Карпат, а саме басейн Тиси. Саме через значну водозабезпеченість регіону дослідженням мінімального стоку гірських річок і зокрема річок басейну Тиси, приділялась незначна увага.

Перспективні підходи до визначення основних розрахункових характеристик мінімального стоку гірських річок. До основних розрахункових характеристик при гідрологічних розрахунках, згідно [38] вважається середня витрата води за період межени, 30-добові витрати, які визначають по середньому значенню за 30 діб всередині літньо-осінньої або зимової межени, мінімальні добові витрати (або мінімальні) витрати води розрахункових забезпеченостей (75%, 90%, 95%, 97%, 99%).

Для вирішення водогосподарських питань використовується величини лімітуючого стоку, тобто витрат води в маловодний сезон, в який спостерігають найбільші проблеми з водопостачанням.

Таким чином, головним недоліком існуючих методів розрахунку низького стоку на сьогоднішній день, як і раніше визнається недостатня точність визначення характеристик існуючими методами. Це обумовлено, по-перше, відносно малим об'ємом даних спостережень на мережі гідрологічних постів, значними погрішностями визначення мінімальних витрат; по-друге, великою проблемою для розрахунків є генетична неоднорідність мінімального стоку. У розрахунках фахівців змушені використовувати ряди різної тривалості без обґрунтування вибору репрезентативного періоду; дослідження таких важливих показників мінімального стоку як стаціонарність, однорідність і автокореляція виробляються вкрай рідко [24].

Враховуючи паводковий режим гірських річок, вибір основного розрахункового період тривалістю 30 діб не є доцільним, у зв'язку з тим, що він часто переривається випадінням опадів. Згідно досліджень [56, 57, 60, 61, 63] для гірських річок пропонується використовувати значення мінімальної витрати води за 7 діб, яка встановлюється для генетично однорідних маловодних сезонів (зимового та літньо-осіннього), як середнє значення за період з найменшим стоком води. Апробація запропонованих підходів була проведена для річок басейну Тиси [36]. За нашими

дослідженнями було встановлено, що модулі мінімальних витрат води гірських річок басейну Тиси в межах України знаходяться в тісному зв'язку із висотою та площею водозбору. Також було проведено узагальнення просторового розподілу мінімальних витрат води для басейну Ужа у вигляді карт ізоліній мінімального літньо-осіннього та зимового сезонів.

В даний час одним із перспективних завдань є розробка методів розрахунку характеристик мінімального стоку при різному обсязі вихідної інформації з урахуванням кліматичних змін і антропогенного навантаження, розрахунок перехідних коефіцієнтів та розробка карт просторового розподілу для визначення мінімального стоку річок невивчених територій.

Висновки. При розгляді проблематики досліджень мінімального стоку було встановлено, що існують значні розбіжності у визначеннях для описання періодів мінімального стоку та основних розрахункових величин, як у вітчизняних так і закордонних вчених. Також значна увага була приділена врахуванню генетичних особливостей формування мінімального стоку.

Детально проаналізовано та встановлено недоліки раніше створених та нині діючих карт просторового розподілу мінімального стоку води.

На фоні загальної оцінки мінімального стоку були розглянуті роботи, присвячені дослідженням мінімального стоку рівнинних та гірських річок території України, зокрема басейну Тиси. Враховуючи паводковий характер річок басейну цей регіон досить рідко потрапляв під увагу вчених, які займалися дослідженнями мінімального стоку. Лише в останні десятиріччя, враховують кліматичні зміни та збільшення тривалості та інтенсивності посушливих періодів загалом, вченими були розпочаті комплексні дослідження мінімального стоку води річок басейну Тиси. Була врахована генетична однорідність межених періодів, значна увага приділяється використанням сучасних методів оцінки просторово-часової динаміки мінімального стоку, створенню сучасних карт мінімального стоку різної забезпеченості.

Список літератури

1. Амусья А.З., Ратнер Н.С., Соколов Б.Л. Минимальный сток рек: состояние и перспективы исследований. Труды ГГИ, 1991. Вып. 355. С. 3-28.
2. Андреянов В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. Л. : Гидрометеиздат, 1960. 328 с.
3. Антонов Н.Д. Минимальный сток рек Европейской части СССР. Труды НИУ ГУГМС, 1941. Вып. 2. С. 23–26.
4. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России. СПб.: РГГМУ, 2001. 209 с.
5. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. М.: ГУГК, 1978. 183 с.
6. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне р. Волги// Водное хозяйство России, 2014. №3. С. 83-99
7. Баранов В.А. Попов Л.Н. Карты минимального стока рек Европейской территории СССР. Тр.ГГИ., 1966.Вып.133. С.112-147.
8. Боголюбов С.Н., Богомазова З.П. Вертикальная зональность подземных вод как основной фактор формирования стока. Метеорология и гидрология, 1955. Вып. 6. С.28-49.
9. Боголюбов, С.Н., Богомазова З.П. О роли подземного питания в годовом стоке рек и временных водотоков. Тр. ГГИ. Л. : Гидрометеиздат, 1956. Вып. 52 (106). С. 5–41.
10. Божок Ю. В., Лобода Н. С. Вплив посушливості клімату на стік річок Карпатського регіону в сучасних та майбутніх умовах. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (проблеми охорони та раціонального використання)». Львів: ЛьвДЦНІІ, 2013. С.193-196.
11. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги. Метеорология и гидрология, 2014. №3. С. 75-85.
12. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. К.: Ніка-центр, 2003. 324 с.
13. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года. Л.:Гидрометеиздат,1976. 295 с.
14. Владимиров, А.М. Минимальный сток рек СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1970. 214 с.
15. Владимиров А.М. Об «указаниях по определению

расчетных минимальных расходов воды рек при строительном проектировании». Метеорология и гидрология, 1967. Вып. 2. С. 91–93. **16. Владимиров А.М.** Особенности формирования и расчет минимального стока малых рек СССР. Тр. ГГИ, 1966. Вып.133. С. 148–174. **17. Владимиров А.М.** Связь минимального стока малых рек севера Европейской территории СССР с подземным питанием. Тр. ГГИ, 1964. Вып. 114. С. 119–136. **18. Волчек А.А., Грядунова О.И.** Минимальный сток рек Беларуси. Брест: БрГУ, 2010. 169 с. **19. Горбачова Л.О.** Гідролого-генетичний аналіз просторово-часових закономірностей водного стоку річок України: методологія, тенденції, прогноз: автореф. дис ... докт. геогр. наук: 11.00.07 / Людмила Олександрівна Горбачова. Київ, 2017. 40 с. **20. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О.** Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 1(52). С.36-50. **21. Гребінь В.В.** Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-Центр, 2010. 316 с. **22. Гребінь В.В., Бойко В.М., Адаменко Т.І.** Гідрологічна посуха 2015 року в Україні: чинники формування, перебіг та можливі наслідки Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. Т. 3(38). С. 44-54. **23. Жовнір В.В., Гребінь В.В.** Аналітичний огляд досліджень мінімального стоку води. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія, 2018. №1(48), 16-24. **24. Ковалевський В.С.** Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. М.:Наука, 1983. 205 с. **25. Колпачева М.П.** Об определении сезонного стока заданной обеспеченности при расчете внутригодового распределения стока рек ЦЧО. Сборник работ по гидрологии, 1970. Вып.9. С. 62-70. **26. Кочерин Д.И.** Низкие и наименьшие расходы воды на территории Европейской части СССР. Труды Московского института инженеров транспорта, 1929. Вып. 29. С. 67-85. **27. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с. **28. Курдов А.Г.** Минимальный сток рек (основные закономерности формирования и методы расчета). Воронеж: ВГУ, 1970. 252 с. **29. Лобода Н.С., Хохлов В.М., Божок Ю.В.** Оцінка характеристик посушливості Закарпаття в сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління)/ Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2011. Т. 2(23). С. 49-56. **30. Лобода Н.С.** Расчеты минимального стока зимней межени Верхнего Днестра на основе метода множественной регрессии. Метеорология, кліматологія та гідрологія. 2004. Вып. 48. С. 468-472. **31. Лысенко К. А.** Минимальный сток рек Украины и Молдавии. Труды УкрНИГМИ. 1966. Вып. 64. С. 143–154. **32. Лысенко К. А.** Колебания минимального стока рек Украины. Труды УкрНИГМИ. 1969. Вып. 76. С. 131–135. **33. Лысенко К. А.** Минимальный сток малых рек Карпат и его расчеты. Труды УкрНИГМИ. 1976. Вып.149. С.130–141. **34. Норватов А.М.** Минимальный сток малых рек Европейской территории СССР. Труды ГГИ. Л.: Гидрометеиздат, 1956. Вып. 52 (106). С. 42-74. **35. Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Заварзін М.А.** Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 1(40). С. 60-69. **36. Ободовський О.Г., Сурай К.С., Почаєвець О.О.** Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2018. № 2(49). С. 6-15. **37. Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г.** Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України): монографія. К.: Прінт сервіс, 2018. 193 с. **38.** Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01.14-83. Введ. 01.07.1984. М., 1985. **39. Поляков Б.В.** Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов. М.: Госэнергоиздат, 1948. 303 с. **40. Попов О.В.** Подземное питание рек. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 290 с. **41. Почаєвець О.О., Ободовський О.Г.** Оцінка впливу основних гідрографічних характеристик водозборів річок басейну Тиси (в межах України) на формування мінімального стоку води. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2018. № 4(51). С. 76-86. **42. Распопов М.П.** Районирование подземных вод равнины Европейской части СССР по условиям их стока в реки. Труды ГГИ, 1950. Вып. 27 (81). С. 5–56. **43. Сакович В.М.** Исследование роли эрозионного вреза в формировании минимального стока рек (на примере рек бассейна р. Шелони). Водные ресурсы Северо-Западного региона России: Сб. науч. тр. РГГМУ, 1999. Вып. 121. С. 45–48. **44. Сибирцева Л.А.** Минимальный сток и его распределение на территории Европейской части СССР. Исследование рек СССР, 1937. Вып. 10. С. 105–127. **45. Соколовский Д.Л.** Применение кривых распределения в установлении вероятных колебаний годового стока рек Европейской части СССР. Л.: ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

Гостехиздат, 1930. 77 с. **46. Соловей Т.В.** Характеристика мінімального стоку річок басейну Прута. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: тези доп. II Всеукр. наук. конф. .К.: Ніка-Центр, 2003. С. 76-77. **47. Урываев В.А.** Обеспеченность расходов в году рек Европейской части СССР. Труды НИУ ГУГМС. 1941. Вып.2. С.53-71. **48. Цепенда М. В.** Мінімальний стік карпатських і подільських допливів Дністра як індикатор їх екологічного стану. Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету. Сер. Географія, 2004. Т.2 (1). С. 114–119. **49. Чеботарев Н.П.** Теория и метод определения минимального стока. Труды всесоюзного совещания по изучению стока, регулирования стока и зимнему режиму, 1954. **50. Чиппінг Г.О., Лисенко К.А.** Річний та мінімальний стік на території України. К.: Вид-во АН УРСР, 1959. 164 с. **51. Шевелев М.Э.** Метод расчета обеспеченных минимумов речного стока//Метеорология и гидрология», 1937. Вып. 8. С.31-39. **52. Arnell N.W.** Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications, 1989. No.187. P.237-249. **53. Dracup J.A., Lee K.S.& Paulson E.G.Jr.** On the definition of droughts. Water Resour.Res., 1980. Vol.16(2). P.297-302. **54. Gorbachova L.O. Nabyvanets Yu.B.** Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. EGU Leonardo, 2012, 87 с. URL: www.Eguleonardo2012polito.it/stuff/Abstracts_Book.pdf. **55. Hisdal H., Tallaksen L. M.** Drought event definition. Technical Report to the ARIDE project. University of Oslo, Norway, 2002. No. 6. **56. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)** URL: <https://www.coservationgateway.org/ConversationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/>. **57. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1. User`s Manual.** The Nature Conservancy, 2009. **58. Liebscher H.J.** The use of long-term river level and discharge records in the study of climatic variations in the Federal Republic of Germany. Proceedings of the Symposium on Variations in the Global Water Budget. Reidel, Oxford, 1983. P.173-184. **59. Majercakova O., Fendekova M., Leskova D.** The variability of hydrological series due to extreme climate conditions and possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change. Regional Hydrology: concepts and models for sustainable Water Resource Management, 1997. No.246. P.59-66. **60. Opperman, J.** Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River. The Nature Conservanc, 2006. P.1-19. **61. Opperman, J.** Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR. The Nature Conservanc, 2006. P.1-5. **62. Querner E., Tallaksen L.M., Kasperek L., Lanen H.A.J. van.** Impact of land-use, climatic change and groundwater abstractions on streamflow droughts using physically-based models. Regional Hydrology:concepts and models for sustainable Water Resourse Management, 1983 No.246. P.171-179. **63. Reilly C., Kroll N. C.** Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. Water resources research, 2003. V.30. p. 1–10. **64. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P.** A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology, 1996, V.10(4), 1163-1174. **65. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., and Braun, D.P.** How much water does a river need? Freshwater Biology, 1997, V.37, p.231-249. **66. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Braun, D.P. and Powell, J.** A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Regulated Rivers: Research & Management, 1998, V. 14, p.329-340. **67. Smakhtin, V.Y.** Low flow Hydrology: a reiew. J.Hydrol, 2001. V.240. P.147-186. **68. Smakhtin V.Y., Watkins D.A.** Low-flow estimation in South Africa. Water Research Comission Report, Pretoria, South Africa, 1998. 494/1/97. **69. Telis P.A.** Improving estimates of low-flow characteristics for streamflow stations affected by climatic cycles. Proceedings of the 20th Mississippi 160 Water resources Conference. Jackson, Mississippi: Water Research Institute, Mississippi State Universit, 1990. P.37-40. **70. Tokarczyk T.** Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. Acta Geophysica. 2013. №61. p. 404–421. **71. Wilby R., Greenfield B., Glenny C.** A coupled synoptichydrological model for climate change impact assessment. J.Hydrol. 1994. Vol.153. P.265-290. **72. Wood T.R.** Present-day hydrology of the River Severn. Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis, 1987. Wiley, New York. P.79-97.

Reference

1. Amusya A.Z., Ratner N.S., Sokolov B.L. Minimalnyi stok rek: sostoyanie i perspektivy issledovaniy. Trudyi GGI, 1991. Vyip. 355. S. 3-28. **2. Andrejanov, V.G.** Vnutrigodovoe raspredelenie rechnogo stoka. L. : Gidrometeoizdat, 1960. 328 s. **3. Antonov N.D.** Minimalnyi

ISSN:2306-5680 **Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia. 2019. № 4 (55)**

stok rek Evropeyskoy chasti SSSR. Trudy NIU GUGMS, 1941. Vyp. 2. S. 23–26. **4. Arzhakova S.K.** Zimniy stok rek kriolitozoni Rossii. SPb.: RGGMU, 2001. 209 s. **5.** Atlas prirodnih usloviy i estestvennykh resursov Ukrainy SSR. M.: GUGK, 1978. 183 s. **6. Bolgov M.V., Trubeckova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A.** Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh harakteristik i veroyatnostnaya ocenka izmeneniy minimal'nogo stoka v bassejne r. Volgi// Vodnoe hozjajstvo Rossii, 2014. №3. S. 83-99. **7. Baranov V.A. Popov L.N.** Kartyi minimal'nogo stoka rek Evropeyskoy territorii SSSR. Tr.GGI., 1966.Vyp. 133. S.112-147. **8. Bogoljubov S.N., Bogomazova Z.P.** Vertikalnaya zonalnost podzemnykh vod kak osnovnoy faktor formirovaniya stoka. Meteorologiya i gidrologiya, 1955. Vyp. 6. S.28-49. **9. Bogoljubov S.N. Bogomazova Z.P.** O roli podzemnogo pitaniya v godovom stoke rek i vremennykh vodotokov. Tr. GGI. L. : Gidrometeoizdat, 1956. Vyp. 52 (106). S. 5–41. **10. Bozhok Yu. V., Loboda N. S.** Vplyv posushlyvosti klimatu na stik richok Karpatskoho rehionu v suchasnykh ta maibutnykh umovakh. Materialy XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu (problemy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia)». Lviv: LvDTsNII, 2013. S.193-196. **11. Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubeckova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A.** Sovremennye izmeneniya minimal'nogo stoka na rekah bassejna r. Volgi. Meteorologiya i gidrologiya, 2014. №3. S. 75-85. **12. Vyshnevskiy V.I., Kosovets O.O.** Hidrolozhichni kharakterystyky richok Ukrainy. K.: Nika-tsent, 2003. 324 s. **13. Vladimirov A.M.** Ctok rek v malovodnyy period goda. L.:Gidrometeoizdat, 1976. 295 s. **14. Vladimirov A.M.** Minimal'nyy stok rek SSSR. L. : Gidrometeoizdat, 1970. 214 s. **15. Vladimirov A.M.** Ob «ukazaniyah po opredeleniyu raschetnykh minimal'nykh rashodov vody rek pri stroitel'nom proektirovanii». Meteorologiya i gidrologiya, 1967. Vyp. 2. S. 91–93. **16. Vladimirov A.M.** Osobennosti formirovaniya i raschet minimal'nogo stoka malyykh rek SSSR. Tr. GGI, 1966. Vyp. 133. S. 148–174. **17. Vladimirov A.M.** Svjaz' minimal'nogo stoka malyykh rek severa Evropeyskoj territorii SSSR s podzemnym pitaniem. Tr. GGI, 1964. Vyp. 114. S. 119–136. **18. Volchek A.A., Grjadunova O.I.** Minimal'nyy stok rek Belarusi. Brest: BrGU, 2010. 169 s. **19. Horbachova L.O.** Hidroloho-henetychnyi analiz prostorovo-chasovykh zakonornosti vodnogo stoku richok Ukrainy: metodolohiia, tendentsii, prohnoz: avtoref. dys ... dokt. heohr. nauk: 11.00.07 / Liudmyla Oleksandrivna Horbachova. Kyiv, 2017. 40 s. **20. Hrebin V.V., Obodovskiy O.G., Zhovnir V.V., Mudra K.V., Pochaievets O.O.** Otsiniuvannia odnoridnosti riadiv stokovykh kharakterystyk richok raioniv richkovykh baseyniv ta subbaseyniv Ukrainy. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2019. № 1(52). S. 36-50. **21. Hrebin V.V.** Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolozhichniy analiz). K.: Nika-Tsent, 2010. 316 s. **22. Grebin V.V. Bojko V.M., Adamenko T.I.** Gidrologichna posuxa 2015 roku v Ukraini: chy`nny`ky` formuvannya, perebig ta mozhly`vi naslidky` Hidrologiya, gidroximiya i gidroekologiya. 2015. T. 3(38). S. 44-54. **23. Zhovnir V.V., Hrebin V.V.** Analitichnyi ohliad doslidzhen minimal'nogo stoku vody. Hidrolohiia, hidrokhimiia, hidroekolohiia, 2018. №1(48), 16-24. **24. Kovalevskiy V.S.** Mnogoletnjaja izmenchivost' resursov podzemnykh vod. M. : Nauka, 1983. 205 s. **25. Kolpacheva M.P.** Ob opredelenii sezonnogo stoka zadannoj obespechennosti pri raschete vnutrigodovogo raspredeleniya stoka rek CChO. Sbornik rabot po gidrologii, 1970. Vyp.9. C. 62-70. **26. Kocherin D.I.** Nizkie i naimen'shie rashody vody na territorii Evropeyskoj chasti SSSR. Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov transporta, 1929. Vyp. 29. S. 67-85. **27. Krickij S.N., Menkel' M.F.** Gidrologicheskie osnovy upravleniya rechnym stokom. – M.: Nauka, 1981. 255 s. **28. Kurdov A.G.** Minimal'nyy stok rek (osnovnye zakonornosti formirovaniya i metody rascheta). Voronezh: VGU, 1970. 252 s. **29. Loboda N. S., Khokhlov V.M., Bozhok Yu.V.** Ocinka harakteristik posushlivosti Zakarpattja v suchasnykh ta majbutnykh umovakh (za scenariem global'nogo poteplinnja)/ Hidrologiya, gidrokhimiya i gidroekologiya. 2011. T. 2(23). S. 49-56. **30. Loboda N.S.** Raschety minimal'nogo stoka zimnej mezheni Verhnego Dnestra na osnove metoda mnozhestvennoj regressii. Meteorologiya, klimatologiya ta gidrologiya. 2004. Vip. 48. S. 468-472. **31. Lysenko K. A.** Minimal'nyy stok rek Ukrainy i Moldavii. Trudy UkrNIGMI. 1966. Vyp. 64. S. 143–154. **32. Lysenko K. A.** Kolebaniya minimal'nogo stoka rek Ukrainy. Trudy UkrNIGMI. 1969. Vyp. 76. S. 131–135. **33. Lysenko K. A.** Minimal'nyy stok malyykh rek Karpat i ego raschety. Trudy UkrNIGMI. 1976. Vyp. 149. S. 130–141. **34. Norvatov A.M.** Minimal'nyy stok malyykh rek Evropeyskoj territorii SSSR. Trudy GGI. L.: Gidrometeoizdat, 1956.Vyp. 52 (106). S. 42-74. **35. Obodovskiy O.G. Pochaievets O O. Zavarzin M A.** Otsinka zviazkiv minimal'nogo ta serednogo stoku vody richok Ukrainy Karpats. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2016. T. 1(40). S. 60-69. **36. Obodovskiy O G. Surai K.S., Pochaievets O.O.** Otsinka minimal'nogo stoku vody richok

subbaseinu Uzha (basein richky Tysa). Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2018. № 2(49). S. 6-15. **37. Obodovskiy Yu.O. Khilchevskiy V.K., Obodovskiy O.G.** Hidromorfoekolohichna otsinka ruslovykh protsesiv richok verkhnoi chastyny baseinu Tysy (v mezhakh Ukrainy): monohorafiia. K.: Print servis, 2018. 193 s. **38.** Opredelenie raschetnykh gidrologicheskikh karakteristik: SNiP 2.01.14-83. Vved. 01.07.1984. M., 1985. **39. Poljakov B.V.** Gidrologicheskie raschety pri proektirovanii sooruzhenij na rekah malyh bassejnov. M.: Gosjenergoizdat, 1948. 303 s. **40. Popov O.V.** Podzemnoe pitanie rek. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 290 s. **41. Pochaievets O.O., Obodovskiy O.G.** Otsinka vplyvu osnovnykh hidrografichnykh kharakterystyk vodozboriv richok basseinu Tysy (v mezhakh Ukrainy) na formuvannia minimalnogo stoku vody. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2018. № 4(51). S. 76-86. **42. Raspopov M.P.** Rajonirovanie podzemnykh vod ravniny Evropejskoj chasti SSSR po uslovijam ih stoka v reki. Trudy GGI, 1950. Vyp. 27 (81). S. 5-56. **43. Sakovich V.M.** Issledovanie roli jerozionnogo vreza v formirovanii minimal'nogo stoka rek (na primere rek bassejna r. Sheloni). Vodnye resursy Severo-Zapadnogo regiona Rossii: Sb. nauch. tr. RGGMU, 1999. Vyp. 121. S. 45-48. **44. Sibirceva L.A.** Minimal'nyj stok i ego raspredelenie na territorii Evropejskoj chasti SSSR. Issledovanie rek SSSR, 1937. Vyp. 10. S. 105-127. **45. Sokolovskij D.L.** Primenenie krivykh raspredelenija v ustanovlenii verojatnykh kolebanij godovogo stoka rek Evropejskoj chasti SSSR. L.: Gostehizdat, 1930. 77 s. **46. Solovei T.V.** Kharakterystyka minimalnogo stoku richok baseinu Pruta. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia: tezy dop. II Vseukr. nauk. konf. .K.: Nika-Tsentr, 2003. S. 76-77. **47. Uryvaev V.A.** Obespechennost' rashodov v godu rek Evropejskoj chasti SSSR. Trudy NIU GUGMS. 1941. Byp.2. C.53-71. **48. Tsependa M.V.** Minimalnyi stik karpatskykh i podilskykh doplyviv Dnistra yak indykator yikh ekolohichnogo stanu. Naukovi zapysky Ternopil'skoho derzhavnoho pedahohichnogo universytetu. Ser. Heohrafiia, 2004. T.2 (1). S. 114-119. **49. Chebotarev N.P.** Teorija i metod opredelenija minimal'nogo stoka. Trudy vsesojuznogo soveshhanija po izuchenija stoka, regulirovanija stoka i zimnemu rezhimu, 1954. **50. Chippinh G.O., Lysenko K.A.** Richnyi ta minimalnyi stik na terytorii Ukrainy. K.: Vyd-vo AN URS, 1959. 164 s. **51. Shevelev M.Je.** Metod rascheta obespechennykh minimumov rechnogo stoka//Meteorologija i gidrologija», 1937. Vyp. 8. S.31-39. **52. Arnell N.W.** Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. FRIENDS in Hydrology, IAHS Publications, 1989. No.187. P.237-249. **53. Dracup J.A., Lee K.S. & Paulson E.G.Jr.** On the definition of droughts. Water Resour.Res., 1980. Vol.16(2). P.297-302. **54. Gorbachova L.O. Nabyvanets Yu.B.** Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change. EGU Leonardo, 2012, 87 c. URL: www.Eguleonardo2012polito.it/stuff/Abstracts_Book.pdf. **55. Hisdal H., Tallaksen L. M.** Drought event definition. Technical Report to the ARIDE project. University of Oslo, Norway, 2002. No. 6. **56. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)** URL: <https://www.coservationgateway.org/ConversationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/>. **57. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1. User's Manual.** The Nature Conservancy, 2009. **58. Liebscher H.J.** The use of long-term river level and discharge records in the study of climatic variations in the Federal Republic of Germany. Proceedings of the Symposium on Variations in the Global Water Budget. Reidel, Oxford, 1983. P.173-184. **59. Majercakova O., Fendekova M., Leskova D.** The variability of hydrological series due to extreme climate conditions and possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change. Regional Hydrology: concepts and models for sustainable Water Resource Management, 1997. No.246. P.59-66. **60. Opperman, J.** Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River. The Nature Conservanc, 2006. P.1-19. **61. Opperman, J.** Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR. The Nature Conservanc, 2006. P.1-5. **62. Querner E., Tallaksen L.M., Kasperek L., Lanen H.A.J. van.** Impact of land-use, climatic change and groundwater abstractions on streamflow droughts using physically-based models. Regional Hydrology:concepts and models for sustainable Water Resource Management, 1983 No.246. P.171-179. **63. Reilly C., Kroll N. C.** Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. Water resources research, 2003. V.30. p. 1-10. **64. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P.** A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology, 1996, V.10(4), 1163-1174. **65. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., and Braun, D.P.** How much water does a river need? Freshwater Biology, 1997, V.37, p.231-249. **66. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Braun, D.P., and Powell, J.** A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network.

Regulated Rivers: Research & Management, 1998, V. 14, p.329-340. **67.** Smakhtin, V. Y. Low flow Hydrology: a review. J.Hydrol, 2001. V.240. P.147-186. **68.** Smakhtin V.Y., Watkins D.A. Low-flow estimation in South Africa. Water Research Commission Report, Pretoria, South Africa, 1998. 494/1/97. **69.** Telis P.A. Improving estimates of low-flow characteristics for streamflow stations affected by climatic cycles. Proceedings of the 20th Mississippi 160 Water resources Conference. Jackson, Mississippi: Water Research Institute, Mississippi State University, 1990. P.37-40. **70.** Tokarczyk T. Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. Acta Geophysica. 2013. № 61. p. 404–421. **71.** Wilby R., Greenfield B., Glenny C. A coupled synoptichydrological model for climate change impact assessment. J.Hydrol. 1994. Vol.153. P.265-290. **72.** Wood T.R. Present-day hydrology of the River Severn. Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis, 1987. Wiley, New York. P.79-97.

Дослідження мінімального стоку води гірських річок: ретроспектива, огляд і перспектива

Почаєвець О.О.

В статті розглянуті підходи до визначення поняття мінімального стоку. Проведено аналітичний огляд попередніх досліджень мінімального стоку в цілому, та гірської місцевості зокрема. Проаналізовано досвід вітчизняних та закордонних авторів щодо вибору рахункових характеристик мінімального стоку. Було розглянуті розбіжності у термінології для описання періодів мінімального стоку та основних розрахункових величин, як у вітчизняних так і закордонних вчених. Також значна увага приділена врахуванню генетичних особливостей формування мінімального стоку в теплий та холодний період року. Для просторової оцінки мінімального стоку були розглянуті карти модулів мінімального стоку, які створювались на різних етапах дослідження. Детально проаналізовано та встановлено недоліки раніше створених та нині діючих карт просторового розподілу модуля мінімального стоку води.

Окремо розглянуто попередні та сучасні дослідження мінімального стоку рівнинних та гірських річок території України. При дослідженні акцентується увага на гірській річці, зокрема басейну Тиси. Оскільки, Враховуючи паводковий характер річок басейну, цей регіон досить рідко потрапляє під увагу вчених, які займалися дослідженнями мінімального стоку, то лише в останні десятиріччя, враховуючи кліматичні зміни та збільшення тривалості та інтенсивності посушливих періодів загалом, різними вченими та нашими дослідженнями були розпочаті комплексні оцінки мінімального стоку води річок басейну Тиси. Була врахована генетична однорідність меженних періодів, значна увага приділяється використанню сучасних методів оцінки просторово-часової динаміки мінімального стоку, створенню сучасних карт мінімального стоку різної забезпеченості.

Ключові слова: мінімальний стік, межень, генетична однорідність, гірські річки, карта мінімального стоку, забезпеченість мінімального стоку.

Исследования минимального стока воды горных рек: ретроспектива, обзор, перспектива

Почаевец Е.А.

В статье рассмотрены подходы к определению понятия минимального стока. Проведен аналитический обзор предыдущих исследований минимального стока в целом, и горной местности в частности. Проанализирован опыт отечественных и зарубежных авторов по выбору расчетных характеристик минимального стока. Проанализировано особенности использования минимальных расходов воды за 7 дней различной обеспеченности для оценки стока в летне-осенний и зимний меженьные периоды.

Ключевые слова: минимальный сток, межень, генетическая однородность, горные реки, карта минимального стока, обеспеченность минимального стока.

Research on the minimum flow of mountain rivers:retrospective, overview and perspective
Pochaievets O.O.

Approaches to defining the concept of minimum runoff are considered in the article. An analytical review of previous studies of minimum runoff in the whole and mountainous terrain in particular was conducted. The experience of domestic and foreign authors on the choice of calculating characteristics of the minimum runoff is analyzed. Discrepancies in terminology were considered to describe the periods of minimum runoff and basic calculation values, both in domestic and foreign scientists. Considerable attention is also given to the genetic features of minimum runoff formation during the warm and cold seasons. For spatial estimation of the minimum runoff, maps of the minimum runoff modules, which were created at different stages of the study, were considered. The shortcomings of the previously created and

currently operating maps of the spatial distribution of the minimum water runoff module are analyzed in detail.

Previous and modern studies of the minimum runoff of plain and mountain rivers of the territory of Ukraine are considered separately. The study focuses on mountain rivers, in particular the Tisza basin. Given that the floodplain character of the rivers of the basin, this region has rarely received the attention of scientists engaged in minimal runoff studies, but in recent decades, given the climatic changes and the increase in the duration and intensity of droughts in general, different scientists and our studies have evaluated minimum drainage water of the Tisza River basins. The genetic homogeneity of the bounded periods was taken into account; considerable attention is paid to the use of modern methods of estimating the space-time dynamics of the minimum runoff, the creation of modern maps of the minimal runoff of different security.

Keywords: minimum runoff, low flow, genetic homogeneity, mountain rivers, minimum runoff map, minimum runoff probability

Надійшла до редколегії 07.10.2019

УДК 556.013

Больбот Г.В.¹, Гребінь В.В.²

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА СТІК ВОДИ РІЧОК

Ключові слова: стік води, зміни клімату, гідрологічні моделі.

Вступ. На початку ХХІ сторіччя водні ресурси набувають вирішального значення в економічній безпеці країн. Вони забезпечують усі сфери функціонування суспільства, виступають як важливий природний ресурс, що визначає можливості подальшого економічного та соціально-екологічного розвитку країни.

Величезна кількість наукових публікацій в світі присвячена дослідженню глобальних та регіональних змін клімату та їх впливу на водні ресурси. На нашу думку, в Україні даному питанню приділяється недостатня увага. Переважна кількість наукових досліджень виконана для оцінки сучасних тенденцій змін водного стоку річок, проте перспективні оцінки величини водних ресурсів України надано лише у декількох працях.

Мета роботи. В умовах глобальних та регіональних змін клімату особливо важливо мати уявлення про їх безпосередній вплив на водний режим річок. Зміни складових водно-теплого балансу викликають, у підсумку, зміни стоку річок. Вивчення цих змін стає однією з головних задач сучасної гідрології. Також постає не менш важливе завдання щодо отримання саме достовірних оцінок таких змін.

Результати досліджень та їх обговорення. Оцінка та прогнозування впливу кліматичних змін на зміни водного стоку річок стає вкрай актуальним завданням, особливо на сучасному етапі розвитку, який характеризується стрімким зростанням кількості населення й відповідно збільшенням навантаження на природні ресурси. Для дослідження даної проблематики науковцями використовуються різні підходи та методи.

Методи для вирішення поставленої задачі можна об'єднати в чотири основні групи:

1. Дослідження багаторічних рядів спостережень та палеогеографічних даних на предмет можливого «подовження» тенденцій, які було виявлено;

2. Дослідження чутливості гідрологічних моделей;

3. Використання глобальних та регіональних проекцій загальних моделей

циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) в якості вихідних даних в гідрологічну модель. Як правило, гідрологічні моделі потребують розширювальну здатність на рівні басейну, яку не можуть запропонувати існуючі МЗЦАО. Отже, зазвичай використовують різні методи зниження розмірності (downscaling) моделей. Останні дослідження з цього напрямку для моделювання стоку води річок використовують геоінформаційні технології, що надають задовільні результати.

4. Аналогові дослідження, що проводяться на основі існуючих гідрологічних даних і напрямків та пошуком подібних сценаріїв розвитку ситуацій.

Для оцінки впливу змін клімату на річковий стік у майбутньому використовують дві стратегії. Згідно із першою, розглядаються коливання кліматичних чинників формування стоку, за якими отримують висновки про коливання водності, тобто відбувається прогноз змін водних ресурсів за виявленою тенденцією змін кліматичних чинників. Згідно із другою стратегією дані кліматичних сценаріїв використовуються у математичних моделях формування стоку води.

Вченими Європейського Союзу до розрахунків стоку води річок в умовах глобального потепління переважно залучаються математичні моделі стоку, на вході яких використовується метеорологічна інформація. Саме такі моделі придатні для розрахунків і прогнозів змін водних ресурсів за даними сценаріїв глобального потепління. Певну проблему використання сучасних математичних моделей формування стоку становить недостатня роздільна здатність моделей.

Гідрологічні моделі із розподіленими параметрами, які залучають до розрахунків стоку води метеорологічні характеристики та характеристики водозбору, дозволяють отримувати ряди поверхневого та підземного стоку. Вони являють собою систему диференціальних рівнянь, представлених у частинних похідних, які описують процеси, що відбуваються у басейні річки.

Зокрема, напіврозподілена еко-гідрологічна модель SWIM (Soil and Water Integrated Model) описує взаємодію води і підстильної поверхні. Вона була розроблена на основі двох моделей: SWAT і MATSALU. Модель рекомендована для розрахунків гідрологічних процесів на річкових басейнах з площею від 100 км² до 200000 км². SWIM має трьохрівневу схему поділу: басейн - суббасейн – гідротоп. Передбачається, що ці гідротопи характеризуються рівномірною поведінкою процесів, пов'язаних із гідрологією, рослинністю і поживними речовинами.

Для відновлення даних про природний (непорушений водогосподарською діяльністю) стік у Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Гопченка Є.Д. та проф. Лободи Н.С. було розроблено модель — «клімат-стік», яка дозволяє виконувати розрахунки природного стоку за метеорологічними даними та переходити до визначення побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку на базі імітаційного стохастичного моделювання [12-14]. У другій половині минулого сторіччя розроблення такої моделі було актуальним через значну трансформацію стоку річок України водогосподарською діяльністю та нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так і порушених водогосподарською діяльністю умовах на півдні України. Починаючи з 80-х років минулого сторіччя актуальність, теоретична і практична значущість моделі посилилася внаслідок додавання до проблеми оцінки наслідків діяльності людини такого чинника як зміни глобального клімату.

Для моделювання водного стоку з водозбору за даними глобальних та регіональних моделей також використовується модель SWAT (The Soil & Water Assessment Tool). Однак, модель має різну якість калібрування в залежності від заданого водозбору.

Моделювання водного стоку також відбувається на основі модуля NAM моделі Rainfall-Runoff моделюючого програмного комплексу Mike 11 (Данія), який було

адаптовано до репрезентативних водозборів.

Актуальною задачею залишається як розробка методичних підходів щодо оцінки можливих майбутніх змін водних ресурсів за даними МЗЦАО, так і удосконалення самих МЗЦАО.

Найбільш відомими підходами щодо оцінки можливого впродовж ХХІ століття впливу кліматичних змін на водні ресурси з використанням даних МЗЦАО є водно-балансові методи та використання гідрологічних моделей різного класу. Однак, в дослідженнях для річок України, використовується тільки один з цих підходів. В деяких дослідженнях при адаптації тих чи інших методів до річок України не акцентується увага на адекватності відтворення цими методами водного стоку базового (минулого або сучасного) періоду.

У багатьох роботах вказується на те, що зміни клімату безпосередньо впливають на водний режим річок. В Україні вплив сучасних кліматичних змін на водний режим річок досліджували такі вчені як Вишневський В.І., Балабух В.О., Гопченко Є.Д., Гребінь В.В., Кіндюк Б.В., Лобода Н.С., Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Сніжко С.І. та ін.

Так, Вишневський В.І. оцінював зміни кліматичних показників та їх вплив на водний стік, термічний і льодовий режим річок. Зміни водного стоку річок України у роботі [4] досліджено за оцінкою значимості лінійних трендів рядів спостережень, спостерігаються позитивні тренди природного стоку, за винятком р. Дністер, які обумовлені збільшенням кількості опадів та зменшенням випаровування.

У роботах Гопченко Є.Д., Лободи Н.С. та ін. [12] досліджено багаторічні коливання водного стоку річок, у яких відмічається, що у рядах спостережень існують направлені часові тренди, які необхідно враховувати при гідрологічних розрахунках та прогнозах.

У своїх дослідженнях Балабух В.О., Лук'янець О.І., Ободовський Ю.О. [3, 30] для басейну р. Тиси в межах України встановили кореляційні взаємозв'язки річкового стоку води з визначальними його кліматичними факторами для річного проміжку часу, теплого та холодного періоду року. Отримані рівняння взаємозв'язку створюють можливість прогнозних оцінок змін стоку води в умовах сучасних змін клімату.

У роботах Лук'янець О.І., Ободовського О.Г. та ін. [27, 31] на основі виявлених стохастичних закономірностей коливань середнього багаторічного стоку гірських та передгірських річок Українських Карпат виконано прогнозні оцінки його мінливості на найближче майбутнє.

Сніжко С.І., Купріков І.В., Шевченко О.Г., Павельчук Є.М., Дідовець Ю.С. виконали оцінку можливих змін водного стоку на території України в ХХІ столітті. В основу розрахунків за допомогою водно-балансової моделі покладено результати прогнозування змін клімату України з використанням регіональної моделі REMO. Встановлено дві основні тенденції щодо використання водних ресурсів, відносно яких потрібно розробляти заходи адаптації водогосподарського управління в Україні: тенденція до зменшення водного стоку з території рівнинної частини України і стабілізація водного стоку гірських річок Карпатського регіону [11, 18, 19].

У роботі Гребеня В.В. виконано узагальнюючий аналіз впливу кліматичних змін на сучасний водний режим річок України та його внутрішньорічний розподіл на основі ландшафтно-гідрологічного аналізу. Встановлено єдину точку відліку для всієї території України, яку можна вважати початком періоду сучасних кліматичних змін – 1989 рік [6].

Мудра К.В. виконала перевірку чисельної кліматичної моделі REMO для території басейну Дністра. Для зменшення відхилень прогнозованих значень

запропоновано використання перехідного коефіцієнту, застосування якого дозволяє зменшити відсоток відхилень майже вдвічі [24].

Дослідження російських вчених, що присвячені зміні водності річок в умовах потепління клімату, вказують на іншу дату початку кліматичних змін - 1978 рік. Таку ситуацію можна пояснити тим, що зміни клімату, як зазначає Мартазінова В.Ф. у своїх роботах [15,16], обумовлені змінами великомасштабної циркуляції атмосфери, які раніше та більш активно проявилися у високих широтах.

Кіндюк Б.В. дослідив вплив сучасних коливань клімату на характеристики максимального дощового стоку в Карпатах. Виявлено наявність позитивних тенденцій в коливаннях водності річок, що може надалі супроводжуватися збільшенням інтенсивності зливових паводків та затопленням територій [8].

Оцінка можливих змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління виконана Гопченком Є.Д. та Лободою Н.С. (Одеський державний екологічний університет). За результатами дослідження очікується зниження стоку на 25% на території України; поряд із зниженням норми стоку буде спостерігатися посилення його багаторічної мінливості та асиметричності його розподілу [12].

Горбачова Л.О. виконала дослідження можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними чотирьох регіональних кліматичних моделей, а саме REMO/ESCHAM5, RCA3-E/ESCHAM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 для сценарію A1B на основі базового (1991-2010 рр.) та прогнозного (2031-2050 рр.) періодів. Для дослідження було залучено 31 басейн, які добре характеризують умови формування водного стоку річок на всій території України. Очікувані зміни середньорічного стоку води річок України на середину XXI століття найвірогідніше будуть перебувати в межах природних коливань водності [5].

Роботи Авгайтиса С.В., Ткаченко Т.Г. та Овчарук В.А. присвячені розрахункам максимального стоку води весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця та розробці нових методик його розрахунків [1, 17]

Степанян С.В. виконала комплексну оцінку дослідження реальних, об'єктивних гідрологічних і гідрохімічних характеристик басейну Сіверського Дінця за сучасними даними на основі системного підходу та створила системну модель оцінки і прогнозування екологічного стану за отриманими кількісними і якісними характеристиками [20].

На початку XXI століття більшої актуальності набули проблеми вивчення територіальних особливостей водно-ресурсного потенціалу регіону (Клименко В.Г., 2005 р.; Покологна Н.М., 1999 р.; Яковлев В. В., 2001 р.), впливу антропогенних чинників на екологічний стан річок урбанізованих регіонів (Дрозд Г.Я., Пашутіна Є.Н., 2006 р., Задніпровський В. В., 2003 р.).

Комплексну оцінку екологічного стану басейну Сіверського Дінця на основі узагальнення результатів багаторічних комплексних досліджень висвітлено Крайнюковим О. М. (Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна) [10].

Оцінка стану водних ресурсів р. Сіверський Донець, розрахована за сценаріями глобального потепління в роботі Бабаєвої О.В. Надається нове вирішення задачі розрахунків характеристик річного стоку р. Сіверський Донець (у межах України) в умовах недостатності даних спостережень, водогосподарських перетворень та змін глобального клімату для потреб водопостачання [2].

У дослідженні Лободи Н.С., Сербової З.Ф., Божок Ю.В. установлені основні тенденції зміни водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» з використанням низки сценаріїв A1B (M10) та представлено карти ізоліній коефіцієнтів зволоження, середніх багаторічних величин річного стоку та їх змін [13]. Отримані оцінки змін водних ресурсів річок України мають істотні розбіжності між

собою за періодом настання змін, їх значеннями та тенденціями.

Питання впливу змін клімату на водні ресурси почало висвітлюватися у публікаціях російських вчених у 80-х роках минулого століття. Статті, стосовно даної теми у з'являються на початку 90-х років. Розрахунки вчених Державного гідрологічного інституту (ДГІ) виявили, що очікуються значні зміни сезонного стоку річок колишнього СРСР. За результатами подальших досліджень було встановлено, що на значній території європейської частини колишнього СРСР відбуваються ідентичні зміни внутрішньорічного розподілу стоку – зростання водності у літньо-осінні та зимові місяці, зниження стоку весняного водопілля та деяке зростання річного стоку.

У доповідях вчених ДГІ Шикломанова І.А. та Георгієвського В.Ю. (Всесвітня конференція по змінам клімату, Москва, 2003 р.) висвітлено суттєве зростання стоку меженних місяців протягом останніх 20-25 років. Проведені ними розрахунки відмічають невизначеність в оцінках майбутніх змін стоку води для басейнів річок Дніпра та Дону.

Значного поширення набули праці щодо оцінки водних ресурсів на найближчі роки під впливом кліматичних змін та антропогенного впливу. Робота Кіреєвої М.Б. полягає в комплексному регіональному просторово-часовому узагальненні характеристик водного режиму річок басейну Дону з урахуванням сучасної гідрометеорологічної інформації, оцінці впливу сучасних і очікуваних змін клімату на водний режим річок і водогосподарський комплекс території [7].

В результаті проведеного дослідження Корнілова А.Г., Лебедевої М.Г., Решетнікова В.С. виявлено тренди до зниження річного та сезонного стоку р. Сіверський Донець на тлі прогресуючого дефіциту поверхневого і підземного живлення вод в регіоні, обумовленого впливом кліматичних і антропогенних чинників [9].

Фролова Н.Л., Кіреєва М.Б., Агафонова С.А., Евстігнєєв В.М., Ефремова Н.А., Повалішнікова Е.С. [21] аналізували сучасні особливості внутрішньорічного розподілу стоку рівнинних річок Європейської території Росії. Виявлено його значні переформування в басейнах Волги і, головним чином, Дону, які супроводжуються зменшенням стоку водопілля до 50% і збільшенням меженного стоку до 40-60%.

Увага щодо дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси приділяється вченими різних країн світу. В роботах вчених розглядаються питання впливу змін клімату на водні ресурси, елементи водного балансу, реакції коливань стоку на сценарії кліматичних змін.

За останні роки в світі було опубліковано велику кількість наукових праць, що безпосередньо стосуються впливу кліматичних змін на водні ресурси.

Групою вчених з різних країн Bryson Bates (Австралія), Zbigniew W. Kundzewicz (Німеччина), Shaohong Wu (Китай), Jean Palutikof (Великобританія) виконано роботу, що спрямована на вирішення проблеми нестачі прісної води в умовах зміни клімату, представлено адаптаційні заходи [23].

Антропогенного і кліматичного впливу на розподіл сезонного стоку стосувалось дослідження Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu (Китай). Аналіз щорічних і сезонних рядів показав, що стік мав тенденцію до зменшення, з різкою точкою зміни в 1979 році. Антропогенний вплив на зміни стоку більший, ніж вплив зміни клімату. Подібного висновку дійшли у своїй роботі «Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China» науковці з Китаю та США [25, 26].

У ряді зарубіжних робіт досліджується вплив кліматичних змін на компоненти водного балансу за допомогою моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Так у роботі T.V.Reshmidevi, D. Nagesh Kumar, R. Mehrotra, A. Sharma (Індія, Австралія) за результатами розрахунків виявлено граничне зниження річного стоку,

збільшення середньорічної кількості опадів та підвищення температури [34].

Oliver Moses, Wame L. Hambira встановили, що зміна клімату, ймовірно, призведе до подальшого збільшення сумарного випаровування. Основними кліматичними параметрами, необхідними в якості вхідних змінних в моделях були швидкість вітру, сонячна радіація та відносна вологість [32].

Зміни у компонентах водного балансу (та їх величина) є результатом взаємодії між зміною клімату та змінами у землекористуванні. Як наслідок, вплив зміни клімату в басейні залежить від господарської діяльності в конкретному басейні. Такий висновок був зроблений німецькими вченими Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux та ін. [28].

Дуже велика увага приділяється питанням адаптації до змін клімату та нестачі водних ресурсів. У дослідженні Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar (Індія) використано три регіональні моделі циркуляції RCP 4.5 і 8.5 для чотирьох майбутніх періодів P1 (2009–2031), P2 (2032–2053), P3 (2054–2075) та P4 (2076–2099). Відмінності в сценаріях порівнюються з базовим періодом 1980–2005 років. Прогнозовані опади та температура показують значну тенденцію до зростання, аналогічним чином прогнозується, що середньомісячний стік збільшиться [22].

Orlando B. у своїй роботі «Climate change and water adaptation issues» говорить про те, що зміни клімату будуть основною проблемою, з якою зіткнуться фахівці водогосподарської галузі протягом наступних 20-25 років. Також, автор детально розглядає адаптаційні заходи до змін клімату, що впливають на водні ресурси [33].

Висновки. В світі широко використовується ансамблевий підхід для підвищення достовірності оцінок можливих майбутніх змін клімату (водного стоку), тобто застосування даних декількох моделей ГKM (Глобальна кліматична модель) та РКМ (Регіональна кліматична модель) з подальшим осередненням їхніх результатів. Нажаль в Україні такий методологічний підхід не використовувався. За допомогою водно-балансового методу можна достатньо якісно оцінювати локальні прояви глобальних кліматичних змін в межах окремих водозборів. Для оцінки часової мінливості складових водного балансу використовується порівняння наявних гідрологічних та кліматичних характеристик сучасного періоду з періодом кліматичної норми, а також апарат різницевих інтегральних кривих, який відображає характерні тенденції в багаторічній динаміці окремих складових водного балансу.

Аналізуючи всі наявні підходи до дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси, можна зробити висновок, що найкращим є комплексний метод. Зважаючи на те, що в світі застосовується чимала кількість методів, достовірні оцінки можна отримати шляхом розробки саме уніфікованих та обґрунтованих методів і методик. Отже, першим кроком на такому шляху повинен бути порівняльний аналіз результатів, які отримані найбільш вживаними методами.

У сфері водних ресурсів зміни клімату можуть призвести до зміни кількості опадів, гідродинамічного режиму та водного балансу річок, збільшенню кількості катастрофічних паводків та надмірної посухи, дефіциту прісної води. Нажаль, в Україні дослідженню даного питання приділяється недостатня увага. Саме тому оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси та їх прогнозування є дуже актуальним завданням.

Список літератури

1. Авгайтис С.В. Використання формул об'ємного типу для нормування розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець: автореф. дис ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Сергій Володимирович Авгайтис. Одеса, 2011. 21 с. **2. Бабаєва О.В.** Річний стік в басейні Сіверського Дінця: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Олена Володимирівна Бабаєва. Одеса, 2009. 20 с. **3. Балабух В.О., Лук'янець О.І.** Зміна клімату та його наслідки у Рахівському районі Закарпатської області. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Т. 2, 2015. С. 132-148. **4. Вишневский В.И.** Влияние изменений климата на ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)**

гидрологический режим рек Украины. VI Всероссийский гидрологический съезд, 2004. С. 223-225. **5. Горбачева Л.О.** Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину XXI століття). *Культура народів Причорномор'я* № 267, 2014. С.89-94. **6. Гребін В.В.** Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ, 2010. 316 с. **7. Киреева М.Б.** Водный режим рек бассейна Дона в условиях меняющегося климата: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Мария Борисовна Киреева. Москва, 2013. 30 с. **8. Кіндюк Б.В.** Гідрографічна мережа та зливовий стік річок Українських Карпат: автореф. дис. ... докт. геогр. наук: 11.00.07 / Борис Володимирович Кіндюк. Київ, 2004. 30 с. **9. Корнилов А.Г., Лебедева М.Г., Решетников В.С.** Тренды изменения годового и сезонного стока р. Северский Донец за период инструментальных гидрологических наблюдений (на территории Белгородской области). *Научные ведомости, серия Естественные науки*. Выпуск 38, 2017. С.133-140. **10. Крайнюков О.М.** Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, № 3, 2015. С. 71-77. **11. Купріков І.** Вплив клімату на внутрірічний хід річкового стоку та атмосферних опадів в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. Вип. 56, 2009. С. 25–28. **12. Лобода Н.С.** Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку XXI сторіччя. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, Т. 18, 2010. С. 62-70. **13. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В.** Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В). *Український гідрометеорологічний журнал* №15, 2014. С.149-159. **14. Лобода Н.С., Пилип'юк В.В.** Визначення водних ресурсів річок Псел та Ворскла з урахуванням впливу підстильної поверхні на базі моделі «Клімат – Стік». *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія* Т.2, 2015. С. 48-55. **15. Мартазинова В.Ф., Остапчук В.В.** Особенности тропосферных и стратосферных атмосферных процессов при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года. *Наук. праці УкрНДГМІ*, Вип. 249, 2001. С. 24-34. **16. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А.** Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. *Труды УкрНИГМИ*, Вип. 248, 2000. С. 36-47. **17. Овчарук В.А.** Розрахункові характеристики максимального стоку весняної повені у басейні р.Сіверський Донець: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Валерія Анатоліївна Овчарук. Одеса, 1998. 27 с. **18. Павельчук Є. М.** Особливості гідрологічного і гідрохімічного режиму річок Житомирського Полісся в умовах зміни клімату: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Є. М. Павельчук. Київ, 2016. 22 с. **19. Сніжко С.І.** Багаторічна мінливість стоку основних річок басейну Чорного моря. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія.*, 2001. Т. 2. С. 373-378. **20. Степанян С.В.** Закономірності та екологічне значення гідрологічних та гідрохімічних характеристик басейну р.Сіверського Дінця: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / С.В. Степанян. Київ, 1999. 16 с. **21. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишнікова Е.С.** Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, № 4, 2015. С. 4–20. **22. Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar.** Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of The Total Environment*, Volume 650, Part 2, 2019, Pages 2685-2696. **23. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof.** Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 2008, pp. 210. **24. Greben V., Mudra K.** Use of a regional climate model (REMO) for water flow trends evaluation in the Dniester river basin. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka GEOGRAFIYA [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography]*, 1 (70), 2018. Pp.22-28. **25. Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu.** Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. *CATENA*, Volume 136, January 2016, Pages 182-188. **26. Jianxia Chang, Yimin Wang, Erkan Istanbuluoglu, Tao Bai, Qiang Huang, Dawen Yang, Shengzhi Huang.** Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China. *Quaternary International*, Volumes 380–381, September 2015, Pages 169-179. **27. Lukianets O., Obodovskiy O. Grebin V. Pochaievets O.** Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers in of the Prut and Siret basins (within Ukraine). Electronic book with full papers from XXVIII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and ISSN:2306-5680 **Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia. 2019. № 4 (55)**

Hydrological Bases of Water Management, Kyiv, 2019. P. 133-139. **28.** Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux. Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 13, October 2017, Pages 189-207. **29.** Olga Lukianets. Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 2017. Golden Sands, Bulgaria. P.280-290. **30.** Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, Kaunas, KTU. 2015. No. 71(1). P. 36-46. **31.** Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47. **32.** Oliver Moses, Wame L. Hambira. Effects of climate change on evapotranspiration over the Okavango Delta water resources. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 105, June 2018, Pages 98-103. **33.** Orlando B. Climate change and water adaptation issues. The European Environment Agency, EEA Technical Report No 2/2007 **34.** Reshmidevi, T. V. Nagesh Kumar, D. Mehrotra, R. Sharma, A. Yongan. Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. Journal of Hydrology, Volume 556, p. 1192-1204.

References

1. Avhaytis S.V. Vykorystannya formul ob'yemnoho typu dlya normuvannya rozrakhunkovykh kharakterystyk vesnyanoho vodopillya v baseyni r.Sivers'kyi Donets': avtoref. dys ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Serhiy Volodymyrovych Avhaytis. Odesa, 2011. 21 s. **2.** Babayeva O.V. Richnyy stik v baseyni Sivers'koho Dintsya: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Olena Volodymyrivna Babayeva. Odesa, 2009. 20 c. **3.** Balabukh V.O., Luk'yanets' O.I. Zmina klimatu ta yoho naslidky u Rakhivs'komu rayoni Zakarpat-s'koyi oblasti. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. T. 2, 2015. S. 132-148. **4.** Vyshnevskyy V.Y. Vlyyanye yzmenenyy klymata na hydrolohychesky rezhy m rek Ukrayny. VI Vserossyyskyy hydrolohycheskyy cezd, 2004. S. 223-225. **5.** Horbacheva L.O. Otsinka mozhlyvykh maybutnikh zmin vodnoho stoku richok Ukrayiny (na seredynu XXI stolittya). Kul'tura narodov Prychernomor'ya № 267, 2014. S.89-94. **6.** Hrebin' V.V. Suchasnyy vodnyy rezhy m richok Ukrayiny (landshaftno-hidrolohichnyy analiz). Kyiv, 2010. 316 s. **7.** Kyreeva M.B. Vodnyy rezhy m basseyna Dona v uslovyyakh menyayushchegosya klymata: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 25.00.27 / Maryya Borysova Kyreeva. Moskva, 2013. 30 c. **8.** Kindyuk B.V. Hidrografichna merezha ta zlyvovyy stik richok Ukrayins'kykh Karpat: avtoref. dys ... dokt. heohr. nauk: 11.00.07 / Borys Volodymyrovych Kindyuk. Kyiv, 2004. 30 s. **9.** Korniylov A.H., Lebedeva M.H., Reshetnykov V.S. Trendy yzmenenyya hodovoho y sezonnoho stoka r. Severskyi Donets za peryod ynstrumental'nykh hydrolohycheskykh nablyudenyy (na terrytoryy Belhorodskoy oblasti). Nauchnye vedomosti, seryya Estestvennye nauky. Vypusk 38, 2017. S.133-140. **10.** Kraynyukov O.M. Suchasnyy ekolohichnyy stan vodnykh ob'yektiv baseynu richky Sivers'kyi Donets'. Lyudyna ta dovkilliya. Problemy neoekolohiyi, № 3, 2015. S. 71-77. **11.** Kuprikov I. Vplyv klimatu na vnutryrichnyy khid richkovoho stoku ta atmosferynykh opadiv v Ukrayini. Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heohrafiya. Vyp. 56, 2009. S. 25–28. **12.** Loboda N.S. Zakonomirnosti kolyvan' richnoho stoku richok Ukrayiny pry zminakh klimatu na pochatku XXI storichchya. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, T. 18, 2010. S. 62-70. **13.** Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok YU.V. Vplyv zmin klimatu na vodni resursy Ukrayiny u suchasnykh ta maybutnikh umovakh (za stsenariyem hlobal'noho poteplinnya A1V). Ukrayins'kyi hidrometeorolohichnyy zhurnal №15, 2014. S.149-159. **14.** Loboda N.S., Pylyp'yuk V.V. Vyznachennya vodnykh resursiv richok Psel ta Vorskla z urakhuvannyam vplyvu pidstyl'noyi poverkhni na bazi modeli «Klimat – Stik». Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya T.2, 2015. S. 48-55. **15.** Martazynova V.F., Ostapchuk V.V. Osobennosti troposfernykh y stratosfernykh atmosferynykh protsessov pry rezkykh poteplenyyakh y pokholodanyyakh na terrytoryy Ukrayiny v tepley peryod hoda. Nauk. pratsi UkrNDHMI, Vyp. 249, 2001. S. 24-34. **16.** Martazynova V.F., Solohub T.A. Atmosfernaya tsyrkulyatsyya, formyruyushchaya zasushlyvye uslovyia na terytoryy

Ukrayny v kontse XX stolettya. Trudy UkrNYHMY, Vyp. 248, 2000. S. 36-47. **17. Ovcharuk V.A.** Rozrakhunkovi kharakterystyky maksimal'noho stoku vesnyanoi poveni u baseyni r.Sivers'kyy Donets': avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / Valeriya Anatoliyivna Ovcharuk. Odesa, 1998. 27 c. **18. Pavel'chuk YE. M.** Osoblyvosti hidrolohichnoho i hidrokhimichnoho rezhymu richok Zhytomyrs'koho Polissya v umovakh zminy klimatu: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / YE. M. Pavel'chuk. Kyiv, 2016. 22 c. **19. Snizhko S.I.** Bahatorichna minlyvist' stoku osnovnykh richok baseynu Chornoho morya. Hidrolohiya, hidrokhimiya ta hidroekolohiya. T. 2, 2001. S. 373-378. **20. Stepanyan S.V.** Zakonomirnosti ta ekolohichne znachennya hidrolohichnykh ta hidrokhimichnykh kharakterystyk baseynu r.Sivers'koho Dintsya: avtoref. dys ... kand. heohr. nauk: 11.00.07 / S.V. Stepanyan. Kyiv, 1999. 16 s. **21. Frolova N.L., Kyreeva M.B., Ahafonova S.A., Evstyhneev V.M., Efremova N.A., Povalyshnykova E.S.** Vnutryhodove raspredelenye stoka ravnynnykh rek Evropeyskoy terrytoryi Rossyy y eho yzmenenye. Vodnoe khozyaystvo Rossyy: problemy, tekhnolohyy, upravlenye, № 4, 2015. S. 4–20. **22. Aditya P. Nilawar, Milind L. Waikar.** Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. Science of The Total Environment, Volume 650, Part 2, 2019, Pages 2685-2696. **23. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof.** Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 2008, pp. 210. **24. Greben V., Mudra K.** Use of a regional climate model (REMO) for water flow trends evaluation in the Dniester river basin. Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka GEOGRAFIYA [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 1 (70), 2018. Pp.22-28. **25. Henian Wang, Lihua Chen, Xinxiao Yu.** Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. CATENA, Volume 136, January 2016, Pages 182-188. **26. Jianxia Chang, Yimin Wang, Erkan Istanbuluoglu, Tao Bai, Qiang Huang, Dawen Yang, Shengzhi Huang.** Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China. Quaternary International, Volumes 380–381, September 2015, Pages 169-179. **27. Lukianets O., Obodovskyi O. Grebin V. Pochaievets O.** Time series analysis and forecast estimates of the mean annual water runoff of rivers in of the Prut and Siret basins (within Ukraine). XXVIII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Book of abstract, Kyiv, 2019. P. 42. **28. Navneet Kumar, Bernhard Tischbein, Jürgen Kusche, Patrick Laux.** Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 13, October 2017, Pages 189-207. **29. Olga Lukianets.** Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 2017. Golden Sands, Bulgaria. pp.280-290. **30. Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi** Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, Kaunas, KTU. 2015. No. 71(1). P. 36-46. **31. Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets** Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47. **32. Oliver Moses, Wame L. Hambira.** Effects of climate change on evapotranspiration over the Okavango Delta water resources. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 105, June 2018, Pages 98-103. **33. Orlando B.** Climate change and water adaptation issues. The European Environment Agency, EEA Technical Report No 2/2007 **34. Reshmidevi, T. V. Nagesh Kumar, D. Mehrotra, R. Sharma, A. Yongan.** Estimation of the climate change impact on a catchment water balance using an ensemble of GCMs. Journal of Hydrology, Volume 556, p. 1192-1204.

**Аналітичний огляд досліджень впливу змін клімату на стік води річок
Большот Г.В., Гребін В.В.**

Розглянуто результати досліджень українських та закордонних вчених щодо дослідження впливу змін клімату на стік води річок. Дане питання в більшості досліджень висвітлюється за допомогою гідрологічного моделювання. Оцінці тенденцій майбутніх змін річкового стоку води, що відбуваються під впливом кліматичних змін в Україні, приділено недостатньо уваги. Для

отримання достовірних оцінок впливу кліматичних змін на водні ресурси рекомендується використовувати комплексний метод дослідження.

Ключові слова: стік води, дослідження, зміни клімату, гідрологічні моделі.

**Аналитический обзор исследований влияния изменений климата на сток воды рек
Большот А.В., Гребень В.В.**

Рассмотрены результаты исследований влияния изменений климата на сток рек украинских и зарубежных ученых. Данный вопрос в большинстве исследований освещается с помощью гидрологического моделирования. Оценке тенденций будущих изменений речного стока воды под влиянием климатических изменений в Украине уделено недостаточно внимания. Для получения достоверных оценок влияния климатических изменений на водные ресурсы рекомендуется использовать комплексный метод исследования.

Ключевые слова: сток воды, исследования, изменения климата, гидрологические модели.

**Analytical review of investigations of the climate change impact on river water flow
Bolbot Hanna, Grebin Vasyi**

A huge number of scientific researches in the world are devoted to the research of global and regional climate change and their impact on water resources. In Ukraine, this issue is receiving insufficient attention. Researches have been done to assess current trends in river runoff, but future estimates of changes in Ukraine's water flow have been presented in only a few papers. Present studies of this issue are conducted using hydrological modeling. The ensemble approach is widely used to increase the reliability of estimates of possible future changes in water runoff, that is, the use of data from several GCM and RCM models, with subsequent averaging of their results. Unfortunately, this methodological approach was not used in Ukraine. Using the water-balance method, local manifestations of global climate change within individual catchments can be estimated with sufficient quality. To estimate the temporal variability of the components of the water balance, a comparison of the available hydrological and climatic characteristics of the current period with the period of the climatic norm is used, as well as the method of differential integral curves, which reflects characteristic tendencies in the long-term dynamics of individual components of the water balance.

Analyzing all available approaches to research on the impact of climate change on water flow, we can conclude that a complex method is the best for this investigation. Given that a large number of methods are used in the world, reliable estimates can be obtained by developing unified and validated methods and techniques. Therefore, the first step in this way should be a comparative analysis of the results obtained by the most commonly used methods.

In the field of water, climate change can lead to changes in rainfall, hydrodynamic regime and water balance of rivers, increase of catastrophic floods and excessive drought, shortage of fresh water. Unfortunately, there is insufficient attention paid to the study of this issue in Ukraine. That is why assessing the impact of climate change on water flow and forecasting them is a very necessary task.

Key words: river runoff, researches, climate change, hydrological models.

Надійшла до редколегії 14.10.2019

УДК 556.5 + 556.18

Хильчевский В.К.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ РЕК ЛЫБЕДЬ И ПОЧАЙНА В БАССЕЙНЕ ДНЕПРА И ВОЛГИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Ключевые слова: *малые реки, общее гидроэкологическое состояние, ревитализация, антропогенная нагрузка, Лыбедь, Почайна, Днепр, Ока, Волга.*

Вступление. В отличие от «великих исторических рек» [14] большинство малых рек, которые много веков назад были осями или центрами притяжения, вокруг которых формировались города, давно превратились в утраченные объекты природного наследия регионального уровня [1, 23]. Хотя и продолжают играть определенную роль элементов культурного ландшафта (например, река Почайна в Киеве).

Электронная петиция киевлян от 5 ноября 2015 г. в Киевский городской совет, в которой была выражена озабоченность гидроэкологическим состоянием реки Лыбедь набрала более 10 тыс. подписей, необходимых для ее рассмотрения городским советом. Петиция называлась: «Признать долину русла реки Лыбедь зоной экологического бедствия и начать принятие неотложных мер по восстановлению экосистемы реки Лыбедь и окружающей территории» [3].

В ответе Киевской городской государственной администрации (КГГА) от 22 марта 2016 г. отмечено, что легендарная река Лыбедь - вторая по величине река города (после Днепра – *автор*), которая является свидетелем знаменательных исторических событий древнего Киева и символом города, сегодня незаслуженно забыта, хотя и остается важной составляющей городской среды. Киевский городской совет считает целесообразным организовать инвестиционный конкурс по реализации проекта ревитализации реки Лыбедь и инициировать разработку целевой программы по благоустройству и экологическому оздоровлению бассейна реки [3].

В июне 2019 г. пресс-служба КГГА сообщила, что на р. Лыбедь предусмотрены реконструкция гидротехнических сооружений, работы по берегоукреплению, расчистке берегов, возможное раскрытие участков русла за счет изменения типа берегоукрепления, очистки дождевых сточных вод, создание общественного пространства для отдыха, благоустройство в пределах прибрежных защитных полос. Отмечается, что осуществление проекта запланировано до 31 декабря 2021 г. [2].

Заказчиком работ по р. Лыбедь определено коммунальное предприятие «Плесо» (КП КГГА по охране, содержанию и эксплуатации земель водного фонда Киева). Уже разработано ТЭО, выполнено проектирование на участке, длиной в 670 м, расположенном на р. Лыбедь выше моста по проспекту Дружбы Народов, на котором в 2019 г. должны производиться строительные работы. Также запланированы проектные работы на участках «1-я очередь» (длиной 1950 м) и «2-я очередь» (длиной 864 м), начало проектирования по другим участкам.

Сейчас еще трудно сказать, что это будет - экологически ориентированное восстановление, природоприближенная реконструкция, ренатурирование, ревитализация (специальная терминология, обозначающая степень улучшения

экологической ситуации на водном объекте или в его бассейне) [7, 8].

О ревитализации рек (обзор). Практика преобразования рек в каналы и заключение их в трубы с целью защиты городской территории от затопления или из-за создания в их долинах инфраструктурных объектов, получившая широкое распространение в XIX в., привела к уничтожению малых рек, значительному ухудшению условий существования всех водотоков и экосистем на территории городов.

В наше время во многих странах мира пришли к осознанию того, что городские реки нельзя рассматривать только с позиций потенциальной угрозы затопления во время наводнения или паводка. Ведь реки способны благоприятно влиять на эколого-эстетические свойства местности, могут использоваться как рекреационные зоны. Формирование привлекательной речной сети в пределах города возможно при условии: максимального сохранения речных долин; отказа от спрямления русел и бетонирования берегов; сохранения непрерывности речной сети (отказ от заключения участков рек в коллекторы); сохранения видового биоразнообразия. Соблюдение этих условий способствует действию механизма саморегуляции природных комплексов, самоочищения рек, сохраняет их привлекательность для горожан [15, 21, 22].

В гидрологию и гидроэкологию термин «ревитализация» пришел с урбанистики. Обобщая положения, изложенные в работах разных авторов [12, 21, 22], можем сформулировать следующее определение понятия «ревитализация рек». *Ревитализация рек – это полное восстановление водотоков или определенных их участков на уровне периода времени, предшествовавшего индустриальному освоению данного региона, когда не была нарушена русловая сеть реки и не осуществлялись централизованные или массовые точечные сбросы сточных вод* [26]. В Украине пока нет нормативных терминов «ревитализация» или «восстановление» реки. В Российской Федерации термин «восстановление реки» с 2017 г. включен в соответствующий ГОСТ: «частичное возвращение реки в состояние ненарушенных условий (например, изменением вида в плане канализированных участков реки или озеленением прибрежной зоны)» [6].

В европейских странах вопросом ревитализации рек, в первую очередь в городской среде, начали заниматься еще с середины 1990-х гг. В результате были разработаны и реализованы соответствующие проекты по конкретным рекам или же отдельным речным участкам в Германии, Великобритании. В течение 2007-2013 гг. Европейский Союз реализовывал в Центральной Европе проект «Revitalization of Urban River Spaces» (REURIS) - в частности в Германии, Польше и Чехии [12].

Работы по ревитализации выполнялись на реках с различными морфометрическими характеристиками. Так, длина реки Панке (ФРГ) – 27 км (площадь бассейна 201 км²); р. Изар (ФРГ) – 295 км (9000 км²); р. Морава (Чехия) – 354 км (26658 км²); р. Скерне (Великобритания) – 40 км; р. Черный ручей (Чехия) – 5 км. То есть представлены все градации водосборных площадей рек по типологии Водной рамочной директивы ЕС: очень большие реки - свыше 10 тыс. км²; большие - 1,0-10 тыс. км²; средние - 100-1000 км²; малые - 10 - 100 км² [31].

Соответственно, ревитализации поддавались: участки рек в городской черте (р. Панке в Берлине, р. Морава в г. Оломоуц); более длительные участки (р. Изар в районе г. Мюнхен, р. Скерне в районе г. Хауфтон-ла-Скерне и г. Дарлингтон); весь водоток (Черный ручей в природном заповеднике в Рудных горах). Вопросы, которые при этом решались по водным объектам тоже разные: создание на реке зон высокого экологического качества; возвращение реки к природоприближенному состоянию; внедрение более природосообразных методов управления рекой в городских условиях [12].

Надо отметить, что подобные проекты зачастую начинались по инициативе общественных организаций, но дальше подключались органы власти, поскольку для их реализации требовалось серьезное финансирование.

Достаточно показательным является американский проект по ревитализации р. Лос-Анджелес (длина – 77 км, площадь бассейна 2142 км²), протекающей в штате Калифорния и впадающей в Тихий океан. Значительная часть реки протекает по городу Лос-Анджелес в бетонном канале, построенном в начале XX в. после нескольких разрушительных наводнений. В 2007 г. усилиями общественных экологических организаций появился план ревитализации реки «Los Angeles River Revitalization Master Plan» (улучшение качества воды, озеленение, создание рекреационных зон и благоустройство территории вдоль берегов реки в пределах города). В 2014 г. к разработке проекта подключились специалисты Инженерного корпуса армии США, которые оценили реализацию проекта в 1 млрд. долларов, что необходимо вложить в течение 20 лет [33].

К сожалению, в Украине пока не осуществлены подобные проекты. Реализован лишь фрагментарно проект ревитализации по малой реке Сапалаевка на участке в центральной части г. Луцк (длина реки - 12,4 км, площадь водосбора - 39,2 км²). На этом притоке р. Стырь (бассейн Припяти) лучане также организовали городской мониторинг качества воды [10]. Много лет дискутируется вопрос по р. Полтва (приток Западного Буга) во Львове, городской участок которой уже свыше 100 лет заключен в канализационный коллектор, вода очень загрязнена (длина реки - 12,4 км, площадь водосбора - 39,2 км²) [32].

Из публикаций неизвестно об успешной реализации подобных проектов и на территории стран постсоветского пространства.

Поэтому опыт с проведением ревитализации малой исторической реки Лыбедь (если это произойдет) - будет очень важным.

Цель работы: обзорное исследование современного общего гидроэкологического состояния малых исторических рек Лыбедь и Почайна, известных со времен Средневековья (X-XI вв.) в бассейне Днепра на территории Киева (Украина) и одноименных малых рек в бассейне Волги, протекающих на территории городов Владимир, Рязань и Нижний Новгород (Российская Федерация). Эти реки много веков назад были теми осями или центрами притяжения, вокруг которых сформировались указанные города.

Использованные материалы: по рекам Лыбедь и Почайна в Киеве использовались некоторые собственные наработки [18, 25-29], а также материалы научных публикаций различных авторов, касающиеся гидроморфологических, гидрохимических и гидроэкологических характеристик; по рекам Лыбедь и Почайна на территории Российской Федерации использовались материалы, доступные на интернет-ресурсах (научные публикации по ним рекам не удалось обнаружить).

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

1. Общая морфометрическая характеристика рассматриваемых рек. На территории Киева протекает известная со времен Средневековья река Лыбедь (правый приток Днепра), а также остались фрагменты р. Почайна, трансформированной в систему озер Опечень (табл. 1).

В Российской Федерации на территории г. Владимир протекают малые реки Лыбедь и Почайна, впадающие в Клязьму (Клязьма - Ока – Волга). В Рязани имеется малая река Лыбедь, впадающая в Трубеж, далее – Ока – Волга. На территории г. Нижний Новгород имеется малая река Почайна (полностью заключенная в коллектор еще в XIX в.), впадающая в Волгу.

Таблица 1. Современная гидрографическая характеристика исторических рек Лыбедь и Почайна в бассейне Днепра Волги

№ п/п	Название реки	Длина реки, км	Площадь бассейна, км ²	Состояние русла реки	В коллекторе, %	Куда впадает	Страна, область, город
1	Лыбедь *(п)	17,1	66,2	6,5 км в коллекторе: 4,5 км – в верховье и 2 км – в низовье	41	Днепр - Черное море	Украина, г. Киев
2	Почайна (п)	**8,0	16	во второй половине XX в. река превращена в систему озер Опечень (6 озер на юго-запад от жилого массива Оболонь), местами в коллекторе		Днепр - Черное море	Украина, г. Киев
3	Лыбедь (л)	4,5	7	2,5 км - в коллекторе	55	Клязьма (л) – Ока (п) – Волга – Каспийское море	Россия, г. Владимир
4	Почайна (п)	3,5	***-	2,6 км - в коллекторе	74	Рпень (л) – Клязьма (л) – Ока (п) – Волга – Каспийское море	Россия, г. Владимир
5	Лыбедь (п)	1,7	-	1,5 км - в коллекторе	88	Трубеж (п) – Ока (п) – Волга – Каспийское море	Россия, г. Рязань
6	Почайна (п)	-	-	полностью заключена в коллектор в середине XIX в.	100	Волга – Каспийское море	Россия, г. Нижний Новгород

Примечание. * (п), (л) – правый или левый приток главной реки; ** - данные по длине и площади водосбора р. Почайна в Киеве - цифры условные, поскольку река превратилась в систему озер Опечень; *** - нет данных.

Согласно общей классификации рек по площади бассейна, принятой в Украине и в Российской Федерации (малые реки - до 2 тыс. км²; средние - 2-50 тыс. км², большие - свыше 50 тыс. км²), рассматриваемые в данной статье реки принадлежат к малым. Если использовать ГОСТ Р 57567-2017 по определению гидроморфологических показателей состояния рек, то они относятся к рекам очень малого размера (до 200 км²) и очень малой водности (до 2 м³/с) [6].

2. Малые исторические реки в бассейне Днепра

2.1. Река Лыбедь (правый приток Днепра, г. Киев, Украина). Лыбедь – малая река в г. Киев, правый приток Днепра, длина - 17,1 км (из них 6,5 км - в коллекторе, 41 %), площадь бассейна 66,2 км². Самая известная среди свыше 30 малых рек Киева (рис. 1). Считается, что река получила название от женского имени Лыбедь, которое имела сестра легендарных братьев-основателей Киева (Кий, Щек и Хорив). Река известна с «Повести временных лет». Повествуя об осаде Киева печенегами в 968 г. летописец отмечал, что «негде на Лыбеди коня напоить...».

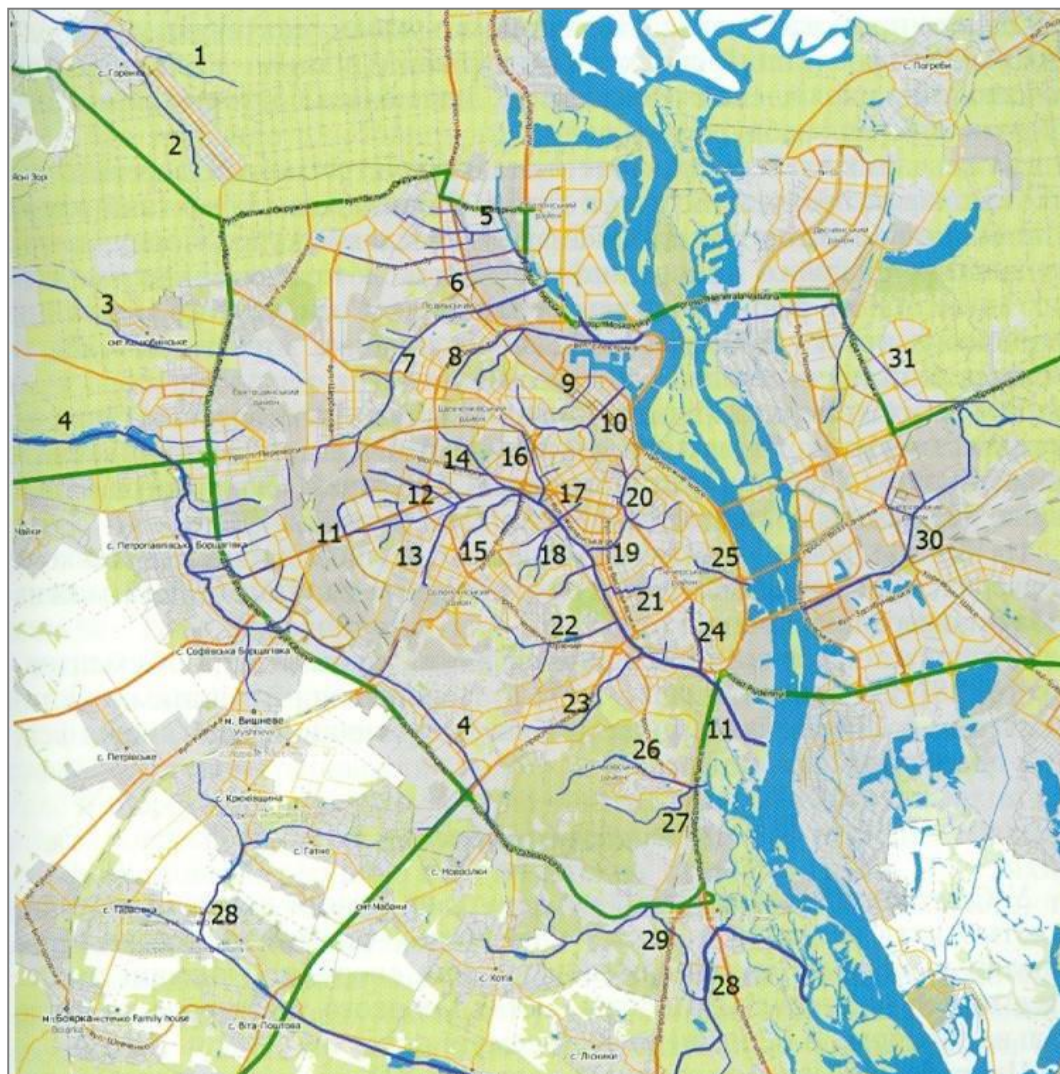


Рис 1. Картосхема расположения малых рек Киева [16]:

1 – Горенка; 2 – Котурка; 3 – Любка; 4 – Нивка; 5 – Коноплянка; 6 – Куриный Брод; 7 – Сырец; 8 – Кирилловский ручей; 9 – Юрковица; 10 – Глубочица; 11 – Лыбедь; 12 – Волочаевский ручей; 13 – Вершинка; 14 – ручей Песчаный; 15 – Кадетский Гай; 16 – Скоморох; 17 – ручей Ботанический; 18 – Мокрая (ручей Мокрый); 19 – Клов; 20 – Крещатик; 21 – Ямка; 22 – Совка; 23 – Ореховатка; 24 – Бусловка; 25 – ручей Народнический; 26 – ручей Голосеевский; 27 – ручей Китаевский; 28 – Вита; 29 – ручей Вита (Хотовский); 30 – Дарница; 31 – Северо-Дарницкий мелиоративный канал

Хронология антропогенного влияния в бассейне р. Лыбедь. Издавна Лыбедь использовали как источник энергии: в XVIII-XIX вв. на ней стояли водяные мельницы [4, 24]. Об удовлетворительном качестве воды в реке в середине XIX в. свидетельствует тот факт, что Лыбедь использовали в качестве источника водоснабжения. Так, в 1857 г. была построена локальная система водоснабжения для

Киевского Владимирского кадетского корпуса (сейчас здание Министерства обороны Украины) из забором воды из запруды на р. Лыбедь и подачей ее паровыми насосами в баки на территории кадетского корпуса [25].

Объективный анализ истории развития городской инфраструктуры вынуждает признать, что осязаемое антропогенное влияние на бассейн р. Лыбедь (гидроморфологию, гидрологический режим и качество воды) началось около 150 лет назад - во второй половине XIX в. И это давало мало шансов реке остаться частью экологического каркаса города. Скорее наоборот - она начала становится частью инфраструктурного каркаса.

Хронологически в росте антропогенного влияния в бассейне р. Лыбедь можно выделить четыре условных периода (табл. 2) [26].

I). До первой половины XIX в. включительно - период референсных условий для р. Лыбедь. Проявление антропогенного вмешательства - минимальное (строительство прудов и водяных мельниц).

II). Вторая половина XIX в. - начало антропогенных изменений на водосборе р. Лыбедь. В связи с развитием Киева поверхность бассейна и само русло р. Лыбедь начали претерпевать значительные изменения.

Таблица 2. Условные хронологические периоды в росте антропогенного влияния на водосборе р. Лыбедь (г. Киев, бассейн Днепра)

№ п/п	Период времени	Условное название периода	Характеристика изменений на водосборе
I	до 1-й половины XIX в. включительно	период референсных условий	строительство прудов и водяных мельниц
II	2-я половина XIX в.	начало антропогенных изменений на водосборе	поверхность бассейна и само русло реки начали претерпевать значительные изменения; около 1870 г. в пойме р. Лыбедь проложены железнодорожные пути
III	1-я половина XX в.	усиление антропогенного влияния на качество воды	1909 г. - введен Лыбедский коллектор с подачей сточных вод на отстойники в низовье реки; 1918 г. – разрушение взрывом очистных сооружений; 1939 г. – построен Ново-Лыбедский коллектор, сброс сточных вод в низовье Лыбеди, затем в Днепр (до 1965 г.)
IV	2-я половина XX в. – до настоящего времени	«бетонный период»	река протекает, практически, полностью в бетонном русле; 41 % длины реки – в закрытом коллекторе; 2002 г. - создание в низовье реки памятника природы местного значения "Природное русло р. Лыбедь" площадью 0,3 га

Около 1870 г. в пойме р. Лыбедь проложены железнодорожные пути (Курско-Киевская железная дорога). В 1872 г. в Киеве впервые сооружен централизованный водопровод с забором воды из Днепра. При этом, система канализации в центральной части города появилась лишь в 1894 г.

III). Первая половина XX в. - усиление антропогенного влияния на качество воды р. Лыбедь. После вспышки эпидемии холеры в Киеве в 1907 г. (через расположенные выше Киева в пойме Днепра очистные сооружения канализации) с 1908 г. в городской водопровод подавалась только артезианская вода. Очистные сооружения перенесли ниже города. В 1909 г. был введен в эксплуатацию канализационный коллектор, проложенный в пойме р. Лыбедь. Лыбедский коллектор подавал сточные воды города на очистные сооружения (отстойники), расположенные на правом берегу Лыбеди под

Лысой горой. После очистки сточные воды сбрасывались в Днепр. Так продолжалось до 1918 г., когда взрыв на артиллерийских складах не разрушил очистные сооружения. Киев еще много лет сбрасывал сточные воды в Днепр с минимальной очисткой в низовьях р. Лыбедь [25]. В 1939 г. был построен Ново-Лыбедский канализационный коллектор. В этот период началось закрепление берегов реки бетоном.

IV). Со второй половины XX в. и до нашего времени («бетонный период») - р. Лыбедь протекает, практически, полностью в бетонном канале (рис.2). В 1965 г. на левобережье Днепра введена в действие Бортническая станция аэрации (БСА) по очистке сточных вод. На правом берегу в районе устья р. Лыбедь по дну Днепра проложены трубы для перекачки сточных вод правобережья Киева на БСА. Почти все русло р. Лыбедь закреплено бетонным каналом, а на отдельных участках заключено в закрытый коллектор. Участок р. Лыбедь вдоль Саперно-Слободской улицы закрыли в коллектор в конце 1980-х гг., когда прокладывали прямой путь на Южный мост через Днепр, открытый в 1990 г.

Определенным положительным фактом является то, что на единственном небольшом участке реки, который не канализован (около 150 м в низовье), решением Киевского городского совета в 2002 г. был создан комплексный памятник природы местного значения "Природное русло р. Лыбедь", площадью 0,3 га.

Современная гидроло-гидрохимическая характеристика р. Лыбедь. Бетонный канал, в котором течет река, построен для защиты от затопления прилегающей к р. Лыбедь территории. Он имеет высоту стенок 2-3 м, ширину 4-10 м. По его дну проложен более узкий лоток: глубина 0,8 м; ширина от 1,2 м в верховьях и до 3,5 метров в низовьях реки. Лоток обеспечивает прохождение меженного стока и его условно можно назвать руслом.

Дно широкого канала выполняет функции низкой поймы и частично затапливается при формировании ливневого стока. Скорости течения р. Лыбедь довольно значительные (благодаря спрямлению русла): от 0,3-0,5 м/с (в межень) до 2,2-2,8 м/с (в паводок). Средний многолетний расход воды р. Лыбедь - 0,12 м³/с. А самый высокий прогнозируемый расход воды может достигать 39,6 м³/с. Средний многолетний объем стока воды - 3760000 м³/год [26].

Гидрохимики уделяют внимание состоянию качества воды р. Лыбедь [9, 16]. По нашим исследованиям, выполненным ранее [18, 27], по химическому составу вода р. Лыбедь гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией около 583 мг/дм³ и жесткостью воды 6,6 мг-экв/дм³. Эти показатели по главным ионам и биогенным соединениям мало изменились и в настоящее время (табл. 3, 4).

Таблица 3. Среднее содержание главных ионов, минерализация (мг/дм³) и жесткость (мг-экв/дм³) воды р. Лыбедь и р. Днепр (Киев)

Река	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Минерализация	Жесткость
Лыбедь	226	76,9	116	85,1	29,9	48,4	583	6,6
Днепр	170	24,2	17,4	50,2	15,1	14,1	291	4,4

Таблица 4. Среднее содержание биогенных веществ (мг/дм³), значения бихроматной окисляемости (БО, мгО/дм³) и pH в воде р. Лыбедь и р. Днепр (Киев)

Река	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe _{общ.}	Si	PO ₄ ³⁻	БО	pH
Лыбедь	3,5	0,41	1,31	1,47	2,6	14,1	75,4	7,4
Днепр	0,65	0,023	0,41	0,17	3,8	0,37	24	7,9

Вода имеет высокую мутность (взвешенные вещества составляют 46,1 мг/дм³), низкое качество - V категория (грязная) [9]. Это обусловлено попаданием сточных вод по неконтролируемым врезкам в реку, таянием загрязненного снега, собранного с городской территории и складированного в накопителях на территории бассейна, дождевыми водами, смывающими загрязняющие вещества с поверхности.

2.2. Река Почайна (исчезнувший правый приток Днепра, г. Киев, Украина) – имела длину 8 км и площадь водосбора 16 км² [11]. Сейчас – это система озер Опечень. Почайна начиналась на Оболони, от Днепра была отделена песчаной косой. В нее впадали притоки Сетомль, Сырец, Глубочица.

По мнению некоторых исследователей, именно в Почайне происходило крещение киевлян князем Владимиром в 988 г. Устье Почайны называли Притыкой, здесь причаливали суда. Гавань Почайны считалась одной из важнейших на водном пути «из варяг в греки».

В 1712 г. в косе, отделявшей Почайну от Днепра был прорыт канал. В XIX ст., когда основное течение Днепра направили к правому берегу, коса полностью была размыта и Днепр «поглотил» устье Почайны.

Сейчас в бассейне Почайны находится жилой массив Оболонь, для строительства которого осуществлялся намыв песка с целью поднятия уровня поверхности территории. Это строительство (1970-1980 гг.) окончательно «решило судьбу» Почайны – русло реки исчезло с поверхности города, превратившись в систему озер Опечень (см. рис. 2). Исчезло и название реки с карты Киева.

Благодаря деятельности общественных активистов, в 2016 г. решением Киевского городского совета остаткам водотока между озером Иорданское и днепровским заливом Вовкуватый возвращено название - р. Почайна, станция метро «Петровка» переименована на «Почайна».

В озерную систему Опечень входит 6 озер: Иорданское (площадь зеркала – 15,3 га, максимальная глубина – до 17 м); Кирилловское (18 га, до 15 м); Андреевское - 7,7 га; Птичье - 0,8 га; Опечень – 10,7 га; Минское – 8,2 га (с названиями некоторых из них существует неоднозначность).

По данным исследований, вода в озёрах имеет загрязнения химического и бактериологического характера [30].

Купание в этих озёрах запрещено санитарными органами, но киевляне, проживающие в этом районе, используют некоторые из водоемов в рекреационных целях.

Восстановить Почайну, как реку, уже невозможно. Но общественность борется за предоставление статуса исторического ландшафта землям вдоль бывшего русла р. Почайна, что помогло бы уберечь от застройки прилегающие территории [5].

3. Малые исторические реки в бассейне Волги

3.1. Река Лыбедь (левый приток Клязьмы, г. Владимир, Российская Федерация). Лыбедь – малая река в г. Владимир, левый приток Клязьмы, которая впадает в Оку. Длина р. Лыбедь - 4,5 км, из них 2,5 км - в коллекторе (55 %). Исток реки находится в Вороновом овраге неподалёку от Университетской улицы. В верхнем течении на протяжении 1,3 км Лыбедь протекает в естественном русле. В северной части Детского парка на реке имеется каскад из трёх прудов, предназначенных для полива коллективных садов. В районе Стрелецкой улицы река переходит в бетонный коллектор длиной 2,5 км, проходящий под Октябрьским проспектом, в районе улиц Верхнелыбедской, Задний Боровок, Юрьевского переулка, и далее под примыкающим к чётной стороне улицы Луначарского Лыбедским оврагом и площадью Фрунзе. В районе Линейной улицы Лыбедь выходит из коллектора, на протяжении 0,7 км протекает в естественном русле и впадает в Клязьму.



А). Памятник основателям Киева над Днепром – Кий, Щек, Хорив и сестра их Лыбедь



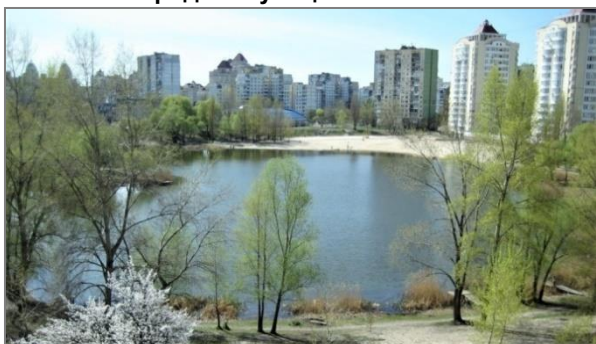
Б). Река Лыбедь, правый приток Днепра (Киев) - в бетонном канале



В). Река Лыбедь (Киев) - накопители убранный с городских улиц снега зимой



Г). Река Лыбедь (Киев) в низовье - выход с коллектора



Д). Озеро Опечень – на месте р. Почайна в Киеве



Е). Канал - фрагмент р. Почайна (Киев)



Ж). Сапалаевка, приток р. Стырь, (бассейн Припяти) – ревитализованный участок реки в Луцке



Рис. 2. Виды малых рек Лыбедь, Почайна (притоки Днепра, г. Киев) и Сапалаевка (приток р. Стырь, бассейн Припяти, г. Луцк), Украина

До середины XX века Лыбедь являлась притоком р. Рпень и была на 500 м короче современной реки. При строительстве новых корпусов химзавода и ТЭЦ для р. Рпень было сооружено искусственное русло, её устье переместилось на 3,5 км ниже по течению Клязьмы, а Лыбедь в своих низовьях стала протекать по части старого русла Рпени и впадать в Клязьму.

Река Лыбедь являлась естественной границей древнего Владимира с севера и востока. Она имела глубокую долину с крутыми склонами, которые были укреплены насыпными валами [13].

Научных сведений о качестве воды реки в опубликованных источниках или электронных ресурсах не обнаружено.

3.2. Река Почайна (правый приток р. Рпень – притока Клязьмы, г. Владимир, Российская Федерация). Почайна – малая река в г. Владимир, является правым притоком Рпени, которая с левого берега впадает в Клязьму. Длина Почайны - 3,5 км, из них 2,6 км - в коллекторе (74 %). Верховье реки находится в первом Коллективном проезде. На значительном своем протяжении Почайна помещена в коллектор, который открывается в Рпени. Ее условно естественное русло составляет около 900 м, находится в Собачьем поселке. В настоящее время река сильно обмелела и загрязнена [19].

Научных сведений о качестве воды реки в опубликованных источниках или электронных ресурсах не обнаружено.

3.3. Река Лыбедь (правый приток Трубежа, г. Рязань, Российская Федерация). Лыбедь – река в Рязани, правый приток р. Трубеж. Длина реки - 1,7 км, из них 1,5 км - в коллекторе, сооруженном в 1970-е гг. (88 %). Начало берёт из Рюмина пруда, на поверхности находятся небольшие участки реки: вблизи истока и возле впадения в Трубеж - правый приток Оки. В настоящее время река сильно обмелела и загрязнена, какого-либо хозяйственного значения не имеет. Ширина на поверхности не более 3 м [20]. В междуречье Трубежа и Лыбеди, на высоком холме естественного происхождения находится Рязанский кремль - древний исторический центр города.

Научных сведений о качестве воды реки в опубликованных источниках или электронных ресурсах не обнаружено.

3.4. Река Почайна (правый приток Волги, г. Нижний Новгород, Российская Федерация). Почайна — правый приток Волги, малая подземная река, текущая около стен кремля в Нижнем Новгороде по каменной трубе. Была полностью заключена в коллектор в середине XIX в. Считается, что в месте слияния Волги с Почайной был основан Нижний Новгород. В настоящее время об этой малой реке напоминают только название улицы Почаинской и одноимённый овраг.

Научных сведений о параметрах подземной реки Почайна и о качестве ее воды в опубликованных источниках или электронных ресурсах не обнаружено.

Выводы

1). По гидроморфологическим показателям состояния рек (площадь водосбора и водность) исследованные исторические одноименные реки Лыбедь и Почайна в бассейне Днепра в Украине и в бассейне Волги в Российской Федерации относятся к рекам очень малого размера и очень малой водности.

2). Значительная часть русла этих рек заключена в коллектор (41-100 %).

3). Гидроэкологическое состояние этих рек – неудовлетворительное, вода подвержена загрязнению.

4). Река Почайна - приток Днепра в Киеве (Украина) и река Почайна - приток Волги в Нижнем Новгороде (Российская Федерация) превратились в утраченные объекты природного наследия.

5). Учитывая вовлеченность в городскую инфраструктуру, морфометрические параметры рассмотренных шести рек наибольшие предпосылки быть в той или иной

мере ревиталізованої існують в р. Либідь - правого притока Дніпра в Києві (Україна).

Список литературы

1. Бронников Д.И. Утраченные исторические реки и возможности их возрождения / Новые идеи нового века: мат. междунар. науч. конф. Хабаровск. Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. 2011. Т. 1. С. 151-155.
2. В Києві будуть "оживляти" річку Либідь [Електронний ресурс]. - URL: <https://news.liga.net/kyiv/news/v-kyieve-budut-ozivlyat-reku-lybid> [дата звернення: 18.10.2019].
3. Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха... / Електронна петиція киян до Київської міської ради від 05.11.2015 р. - URL: <https://petition.kievcity.gov.ua/petition/?pid=376> [дата звертання: 18.10.2019].
4. Вортман Д.Я., Никитина В.И. Малоизвестный план окрестностей Киева 1753 г. [Електронний ресурс]. - URL: <https://www.myslenedrevo.com.ua/ru/Sci/Kyiv/Plan1753.html> [дата звернення: 18.10.2019].
5. Гончаренко А.В. Река Почайна: антропогенные изменения русла на протяжении веков. Современные проблемы архитектуры и градостроительства. 2016. Вып. 46. С. 254-264 (укр.).
6. ГОСТ Р 57567-2017. Качество воды. Определение гидроморфологических показателей состояния рек. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146374> [дата звернення: 18.10.2019].
7. Дмитриева И.Л., Гурьевич Т.Б. Малые реки Москвы: диагностика состояния и рекомендации по природоприближенному восстановлению. Гидротехническое строительство. 2015. № 5. С. 10-16.
8. Емельянова Е.К., Горошко Н.В. Ретроспектива экологической проблемы приречных пространств малых рек в городской черте Новосибирска. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2018. №4 (15). С. 1-12. - URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2018/4/00640.pdf> [дата звернення: 18.10.2019].
9. Жежеря В.А., Линник П.Н., Жежеря Т.П. Особенности миграции и трансформации биогенных веществ и соединений металлов в воде р. Либедь (г. Киев). Научные труды Укр. гидрометеорол. ин-та. 2014. Вып. 266. С. 45-57 (укр.).
10. Забокрицкая М.Р., Хильчевский В.К. Водные объекты Луцка: гидрография, локальный мониторинг, водоснабжение и водоотведение. Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. 2016. Т. 3 (42). С. 64-76 (укр.).
11. Киев. Энциклопедический справочник / Под ред. А.В. Кудрицкого. 3-е изд., доп. Киев. Глав. ред. УСЭ. 1986. С. 408.
12. Крамер Д.А., Неруда М., Тихонова И.О. Европейский опыт ревитализации малых рек. Научный диалог. 2012. № 2. 2012. С. 112-128.
13. Легендарные реки исторических столиц русского государства. Владимир - мой город, № 45. февраль 2007 г.
14. Мечников Л.И. Цивилизация и великие исторические реки: географическая теория развития современных обществ. Москва. Директ-Медиа. 2014. 225 с.
15. Орлов М.С., Авилова К.В. Долины малых рек Москвы: прошлое, настоящее, будущее / Геоэкология урбанизированных территорий. Москва. ЦПГ. 1996. 108 с.
16. Осипенко В.П., Евтух Т.В. Гидрохимические исследования реки Либеди – правого притока Днестра. Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. 2015. Т. 3 (38). С. 55-60.
17. Парникоза И.Ю. Гидрография долины Днестра в Киеве / Киевские острова и прибрежные урочища на Днестре – взгляд сквозь века. [Електронна монографія]. - URL: <https://www.myslenedrevo.com.ua/ru/Sci/Kyiv/Islands/Nature/1-4-gidrologija.html> [дата звернення: 18.10.2019].
18. Пелешенко В.И., Горев Л.Н., Хильчевский В.К. Качественная оценка вод водоемов и малых водотоков Киева и Киевской области. Физическая география и геоморфология. 1981. Вып. 25. С. 102-108.
19. Реки города Владимир и области [Електронний ресурс]. - URL: <https://oreke.ru/evraziya/rossiya/reki-goroda-vladimir> [дата звернення: 18.10.2019].

20. Реки, которые никому не нужны [Электронный ресурс]. - URL: <https://62info.ru/history/node/10952> [дата обращения: 18.10.2019].
21. Тихонова И.О. Экологический мониторинг малых рек г. Москва. Вода: химия и экология. № 7. 2011. С. 80–87.
22. Тихонова И.О., Салимгареева А.Р. Экологическая практика ревитализации малых рек. Вестник РХТУ им. Д.И. Менделеева. Гуманитарные и социально-экономические исследования. Т. 2. Социально-экономические исследования. 2015. Вып. VI. С. 138-146.
23. Троценко А.В. Утраченные объекты природного наследия (на примере Днепропетровской области Украины). Псковский регионалистический журнал. 2014. № 20. С. 96-105.
24. Флиз Д.П. Подробная статистика каждой деревни государственных имуществ Киевского округа [Электронный ресурс]. Киев, 1854. - URL: <https://fotki.yandex.ru/users/andcvet/album/162953/> [дата обращения: 18.10.2019].
25. Хильчевский В.К. Водоснабжение и водоотведение: гидроэкологические аспекты. Киев. ВПЦ "Киевский университет". 1999. 319 с. (укр.).
26. Хильчевский В.К. Гидроэкологические проблемы ревитализации рек на территории городских агломераций - международный и украинский опыт. Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. 2017. Т. 2 (45). С. 6-13. (укр.).
27. Хильчевский В.К., Бойко О.В. Гидрохимическая характеристика малых рек г. Киев. Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. 2000. Т. 1. С. 106-112 (укр.).
28. Хильчевский В.К., Осадчий В.И., Курило С.М. Основы гидрохимии. Киев. Ника-Центр, 2012. 326 с. (укр.).
29. Хильчевский В.К., Осадчий В.И., Курило С.М. Региональная гидрохимия Украины. Киев. ИПЦ «Киевский университет». 2019. 343 с. (укр.).
30. Экологическое состояние Киевских водоемов / О.А. Афанасьева, Т.С. Багацкая Л.Г. Оляницкая и др. Киев. Фитосоциоцентр. 2010. 256 с. (укр.).
31. 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 EU. L 327. 22/12/2000 P. 0001–0073. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060> [Retrieved: 18.10.2019].
32. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Sherstyuk N.P. Hydrography and hydrochemistry of the transboundary river Western Bug on the territory of Ukraine. Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2018. 27(2), 232-243. DOI: 10.15421/111848.
33. Los Angeles River Revitalization. - URL: <http://lariver.org/> [Retrieved: 18.10.2019].

References

1. Bronnikov D.I. Utrachennyye istoricheskie reki i vozmozhnosti ih vozrozhdeniya [Lost historical rivers and the possibility of their revival] / Novye idei novogo veka: mat. mezhdunar. nauch. konf. Habarovsk. Izd-vo Tihookean. gos. un-ta. 2011. T. 1. S. 151-155.
2. V Kieve budut "ozhivlyat" reku Lybed' [In Kiev will "revive" the river Lybed] [Elektronnyy resurs]. - URL: <https://news.liga.net/kyiv/news/v-kieve-budut-ozhivlyat-reku-lybid> [data obrascheniya: 18.10.2019].
3. Vyznaty dolynu rusla richky Lybid zonoiu ekolohichnoho lykha ... [Recognize the valley of the Lybid riverbed as a zone of ecological disaster] / Elektronna petytsiia kyian do Kyivskoi miskoi rady vid 05.11.2015 r.- URL: <https://petition.kievcity.gov.ua/petition/?pid=376> [data obrascheniya: 18.10.2019].
4. Vortman D. Ya., Nikitina V.I. Maloizvestnyy plan okrestnostey Kieva 1753 g. [A little-known plan of the surroundings of Kiev 1753] [Elektronnyy resurs]. - URL: <https://www.myslenedrevo.com.ua/ru/Sci/Kyiv/Plan1753.html> [data obrascheniya: 18.10.2019].
5. Goncharenko A.V. Reka Pochayna: antropogennyye izmeneniya rusla na protyazhenii vekov [Pochayna: anthropogenic changes in the channel over the centuries]. Sovremennyye problemy arhitektury i gradostroitel'stva. 2016. Vyp. 46. S. 254-264 (ukr.).
6. GOST R 57567-2017. Kachestvo vody. Opredelenie gidromorfologicheskikh pokazateley sostoyaniya rek [Water quality. Determination of hydromorphological indicators of the state of rivers]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146374> [data obrascheniya: 18.10.2019].

7. *Dmitrieva I.L., Gur'evich T.B.* Malye reki Moskvy: diagnostika sostoyaniya i rekomendacii po prirodopriblizhennomu vosstanovleniyu [Small rivers of Moscow: state diagnostics and recommendations on nature-based restoration]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2015. № 5. S. 10-16.
8. *Emel'yanova E.K., Goroshko N.V.* Retrospektiva ekologicheskoy problemy prirechnykh prostranstv mal'kh rek v gorodskoy cherte Novosibirsk [Retrospective of the ecological problem of riverine spaces of small rivers in the city of Novosibirsk]. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU*. 2018. №4 (15). S. 1-12. - URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2018/4/00640.pdf> [data obrascheniya: 18.10.2019].
9. *Zhezhera V.A., Linnik P.N., Zhezhera T.P.* Osobennosti migratsii i transformatsii biogennykh veshchestv i soedineniy metallov v vode r. Lybed' (g. Kiev) [Features of migration and transformation of nutrients and metal compounds in water Lybed (Kiev)]. *Nauchnye trudy Ukr. gidrometeorol. in-ta*. 2014. Vyp. 266. S. 45-57 (ukr.).
10. *Zabokrickaya M.R., Hil'chevskiy V.K.* Vodnye ob'ekty Lucka: gidrografiya, lokal'nyy monitoring, vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Water bodies of Lutsk: hydrography, local monitoring, water supply and sanitation]. *Gidrologiya, gidrokhimiya i gidroekologiya*. 2016. T. 3 (42). S. 64-76 (ukr.).
11. Kiev. *Enciklopedicheskiy spravochnik Kiev*. [Encyclopedic reference book]. Pod red. A.V. Kudrickogo. 3-e izd., dop. Kiev. Glav. red. USE. 1986. S. 408.
12. *Kramer D.A., Neruda M., Tihonova I.O.* Evropeyskiy opyt revitalizatsii mal'kh rek. [European experience in revitalizing small rivers]. *Nauchnyy dialog*. 2012. № 2. 2012. S. 112-128.
13. Legendarnye reki istoricheskikh stolits russkogo gosudarstva [Legendary rivers of the historical capitals of the Russian state]. *Vladimir — moy gorod*, № 45. fevral' 2007 g.
14. *Mechnikov L.I.* Tsivilizatsiya i velikie istoricheskie reki: geograficheskaya teoriya razvitiya sovremennykh obshchestv [Civilization and the great historical rivers: a geographical theory of the development of modern societies]. Moskva. Direkt-Media. 2014. 225 s.
15. *Orlov M.S., Avilova K.V.* Doliny mal'kh rek Moskvy: proshloe, nastoyashee, budushchee [The valleys of small rivers in Moscow: past, present, future] / *Geoekologiya urbanizirovannykh territoriy*. Moskva. CPG. 1996. 108 s.
16. *Osipenko V.P., Evtuh T.V.* Gidrokhimicheskie issledovaniya reki Lybedi — pravogo pritoka Dnepra [Hydrochemical studies of the Lybedi River - the right tributary of the Dnieper]. *Gidrologiya, gidrokhimiya i gidroekologiya*. 2015. T. 3 (38). S. 55-60.
17. *Parnikova I.Yu.* Gidrografiya doliny Dnepra v Kieve [Hydrography of the Dnieper Valley in Kiev] / *Kievskie ostrova i pribrezhnye urochischa na Dnepre — vzglyad skvoz' veka*. [Elektronnaya monografiya]. —
18. URL: <https://www.myslenedrevo.com.ua/ru/Sci/Kyiv/Islands/Nature/1-4-gidrologiya.html> [data obrascheniya: 18.10.2019].
19. *Peleshenko V.I., L.N. Gorev, Hil'chevskiy V.K.* Kachestvennaya ocenka vod vodoemov i mal'kh vodotokov Kieva i Kievskoy oblasti [Qualitative assessment of the waters of water bodies and small streams in Kiev and Kiev region]. *Fizicheskaya geografiya i geomorfologiya*. 1981. Vyp. 25. S. 102-108.
20. Reki goroda Vladimir i oblasti [The rivers of the city of Vladimir and the region] [Elektronnyy resurs]. - URL: <https://oreke.ru/evraziya/rossiya/reki-goroda-vladimir> [data obrascheniya: 18.10.2019].
21. Reki, kotorye nikomu ne nuzhny [Rivers that no one needs] [Elektronnyy resurs]. - URL: <https://62info.ru/history/node/10952>
22. *Tihonova I.O.* Ekologicheskiy monitoring mal'kh rek g. Moskva. [Ecological monitoring of small rivers in Moscow]. *Voda: himiya i ekologiya*. № 7. 2011. S. 80–87.
23. *Tihonova I.O., Salimgareeva A.R.* Ekologicheskaya praktika revitalizatsii mal'kh rek [Ecological practice of revitalizing small rivers]. *Vestnik RHTU im. D. I. Mendeleeva. Gumanitarnye i social'no-ekonomicheskie issledovaniya*. T. 2. Social'no-ekonomicheskie issledovaniya. 2015. Vyp. VI. S. 138-146.
24. *Trochenko A.V.* Utrachennyye ob'ekty prirodnogo naslediya (na primere Dnepropetrovskoy oblasti Ukrainy) [Lost objects of natural heritage (on the example of the Dnipropetrovsk region of Ukraine)]. *Pskovskiy regionalisticheskiy zhurnal*. 2014. № 20. S. 96-105.

25. Fliz D.P. Podrobnaya statistika kazhdoy derevni gosudarstvennyh imuschestv Kievskogo okruga [Detailed statistics of each village of state property of the Kiev district] [Elektronnyy resurs]. Kiev, 1854. - URL: <https://fotki.yandex.ru/users/andcvet/album/162953/> [data obrascheniya: 18.10.2019].
26. Hil'chevskiy V.K. Vodosnabzhenie i vodootvedenie: gidroekologicheskie aspekty [Water supply and sanitation: hydroecological aspects]. Kiev. VPC "Kievskiy universitet". 1999. 319 s. (ukr.).
27. Hil'chevskiy V.K. Gidroekologicheskie problemy revitalizatsii rek na territorii gorodskih aglomeratsiy - mezhdunarodnyy i ukrainskiy opyt [Hydroecological problems of river revitalization in urban agglomerations - international and Ukrainian experience]. Gidrologiya, gidrokhimiya i gidroekologiya. 2017. T. 2 (45). S. 6-13. (ukr.).
28. Hil'chevskiy V.K., Boyko O.V. Gidrohimiya harakteristika mal'kh rek g. Kiev. [Hydrochemical characteristics of small rivers in Kiev]. Gidrologiya, gidrokhimiya i gidroekologiya. 2000. T. 1. S. 106-112 (ukr.).
29. Hil'chevskiy V.K., Osadchiy V.I., Kurilo S.M. Osnovy gidrokhimii [The basics of hydrochemistry]. Kiev. Nika-Centr, 2012. 326 s. (ukr.).
30. Hil'chevskiy V.K., Osadchiy V.I., Kurilo S.M. Regional'naya gidrokhimiya Ukrainy [Regional hydrochemistry of Ukraine]. Kiev. IPC «Kievskiy universitet». 2019. 343 s. (ukr.).
31. Ekologicheskoe sostoyanie Kievskih vodoemov [The ecological status of Kiev reservoirs] / O.A. Afanas'eva, T.S. Bagackaya, L.G. Olyanickaya i dr. Kiev. Fitosociocentr. 2010. 256 s. (ukr.).
32. 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 EU. L 327. 22/12/2000 P. 0001-0073. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060> [Retrieved: 18.10.2019].
33. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Sherstyuk N.P. Hydrography and hydrochemistry of the transboundary river Western Bug on the territory of Ukraine. Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2018. 27(2), 232-243. DOI: 10.15421/111848.
34. Los Angeles River Revitalization. - URL: <http://lariver.org/> [Retrieved: 18.10.2019].

Гідроекологічне становище малих історических рек Либідь і Почайна в басейні Дніпра і Волги в початку ХХІ століття

Хильчевський В.К.

Виконано оглядове дослідження загального гідроекологічного стану історических однойменних малих річок Либідь і Почайна, відомих з часів Середньовіччя (Х-ХІ ст.) в басейні Дніпра в Україні та в басейні Волги в Російській Федерації (РФ). Ці річки багато століть тому були природними об'єктами, навколо яких формувалися міста, а в наш час вони виявилися «поглинутими» цими містами. Виконано аналіз стану шести малих річок: Либідь і Почайна - притоки Дніпра, м. Київ, Україна; Либідь і Почайна - притоки Клязьми (басейн Волги), м. Владимир, РФ; Либідь - притока Оки (басейн Волги), м. Рязань, РФ; Почайна - притока Волги, м. Нижній Новгород, РФ. Річки в значній мірі закриті в колектори, мають невисоке якість води. Річка Почайна - притока Дніпра в Києві (Україна) і річка Почайна - притока Волги в Нижньому Новгороді (РФ) превратились в утраченні об'єкти природного насліддя. В роботі затрагується також питання можливої ревіталізації малих рек.

Ключеві слова: малі річки, загальне гідроекологічне становище, ревіталізація рек, якість води, антропогенна навантаження, Либідь, Почайна, Дніпр, Ока, Волга

Гідроекологічний стан малих історических річок Либідь та Почайна в басейні Дніпра та Волги на початку ХХІ століття

Хильчевський В.К.

Виконано оглядове дослідження загального гідроекологічного стану історических однойменних малих річок Либідь і Почайна, відомих з часів Середньовіччя (Х-ХІ ст.) в басейні Дніпра в Україні та в басейні Волги в Російській Федерації (РФ). Ці річки багато століть тому були природними об'єктами, навколо яких формувалися міста, а в наш час вони виявилися «поглинутими» цими містами. Виконано аналіз стану шести малих річок: Либідь і Почайна - притоки Дніпра, м. Київ, Україна; Либідь і Почайна - притоки Клязьми (басейн Волги), м. Владимир, РФ; Либідь - притока Оки (басейн Волги), м. Рязань, РФ; Почайна - притока Волги, м. Нижній Новгород, РФ. Річки в значній мірі закриті в колектори, мають невисоку якість води. Річка Почайна - притока Дніпра в Києві (Україна) і річка Почайна - притока Волги в Нижньому Новгороді (РФ)

перетворилися на втрачені об'єкти природної спадщини. В роботі порушується питання ревіталізації малих річок.

Ключові слова: малі річки, загальний гідроекологічний стан, ревіталізація річок, антропогенне навантаження, якість води, Либідь, Почайна, Дніпро, Ока, Волга.

The hydroecological status of small historical rivers Lybed and Pochayna in the basin of the Dnieper and Volga at the beginning of the XXI century

Khilchevskiy V.K.

A survey study of the general hydroecological status of the historical small rivers of the same name Lybed and Pochayna, known since the Middle Ages (10th-11th centuries) in the Dnieper basin in Ukraine and in the Volga basin in the Russian Federation (RF), has been carried out. These rivers, many centuries ago, were natural objects around which cities formed, and in our time they turned out to be "absorbed" by cities. The state of six small rivers was analyzed: Lybed and Pochayna - tributaries of the Dnieper, Kiev, Ukraine; Lybed and Pochayna - Klyazma tributaries (Volga basin), Vladimir, Russia; Lybed - a tributary of the Oka (Volga basin), Ryazan, Russia; Pochayna - a tributary of the Volga, Nizhny Novgorod, Russia. According to hydromorphological indicators of the state of the rivers (catchment area and water content), the studied ones relate to rivers of very small size and very low water content. A significant part of the channel of these rivers is enclosed in a reservoir (41-100%). The hydroecological condition of these rivers is unsatisfactory, water is prone to pollution. The Pochayna River - a tributary of the Dnieper in Kiev (Ukraine) and the Pochayna River - a tributary of the Volga in Nizhny Novgorod (RF) turned into lost natural heritage sites. Given the involvement in urban infrastructure, the morphometric parameters of the six rivers considered are the greatest prerequisites for being more or less revitalized in the river Lybed - the right tributary of the Dnieper in Kiev (Ukraine).

Key words: small rivers, general hydroecological status, river revitalization, water quality, anthropogenic load, Lybed, Pochayna, Dnieper, Oka, Volga.

Надійшла до редколегії 27.09.2019

УДК [550.424:546.77:543.31](285.3)

Ігнатенко І. І.

Інститут гідробіології НАН України

ФОРМИ МІГРАЦІЇ МОЛІБДЕНУ У ВОДІ РІЧКИ ЛИБЕДІ, ЩО ПРОТІКАЄ В МЕЖАХ м. КИЄВА

Ключові слова: молибден; фізико-хімічні форми міграції молибдену; р. Либідь.

Вступ. З розвитком промисловості та урбанізованості території України зростає загроза антропогенного забруднення водних об'єктів. Особливої уваги потребують внутрішні водні об'єкти міста, які зазнають помітного забруднення.

Либідь – найбільша серед малих річок м. Києва, її довжина становить 16,05 км, ширина – 1,0–3,6 м, глибина 0,2–0,9 м, загальне падіння річки – 93,5 м, швидкість течії – 0,3–0,5 м/с, що у водопілля зростає до 2,2–2,8 м/с. Більша частина річки разом з притоками знаходяться в бетонному колекторі і протікають підземним шляхом. Площа водозбору річки складає 66,2 км², проте 80,4 % – це урбанізовані території. В районі водозбору р. Либеді знаходяться авто- і залізничний вокзали, автошляхи, молокозавод, кондитерська фабрика, маргариновий завод, ТЕЦ № 5 і багато дрібних промислових підприємств. Поверхневий стік з цих територій призводить до забруднення річки. Також джерелом забруднення є стічні води промислових підприємств, які складають 54% водного стоку р. Либеді [1]. А в роботі [2] р. Либідь відносять до зони екологічного ризику через техногенне забруднення ґрунтів заплави хімічними промисловими відходами.

Із стічними та ливневими водами до річки надходить значна кількість хімічних речовин, в тому числі важких металів. Їхнє попадання у водне середовище може бути небезпечним для біоти всіх рівнів організації, оскільки вони мають як пряму, так і побічну дію на них. Молибден належить до важких металів, що навіть в

ISSN:2306-5680 **Hidrolohii, hidrokimiia i hidroekolohii. 2019. № 4 (55)**

мікрограмових кількостях може впливати на життєздатність водяних організмів. Він забезпечує синтез аскорбінової кислоти, дихання тканин, вуглеводний та фосфорний обмін, обмін азоту в рослинах. Якщо живі організми отримують підвищені концентрації молібдену, то виникає хвороба «молібденова подагра», викликана порушенням обміну речовин і підвищенням вмісту сечової кислоти в крові. Одночасно можуть спостерігатися захворювання кісток, судин, скорочувальної здатності серця, зміни в печінці та нирках [5]. Дефіцит молібдену в рослинах знижує синтез білків, вітаміну С і каротину, впливає на їх ріст і розвиток.

Таким чином, надходження сполук молібдену до водного середовища може бути небезпечне для живих організмів.

Метою роботи є дослідження вмісту і форм знаходження молібдену у воді р. Либеді та Канівського водосховища, що дозволяє розглянути перспективи забруднення водойм і водотоків урбанізованих територій.

Матеріали та методи дослідження. Проби природної води відбирали з поверхневого горизонту р. Либеді у 2014 р.: біля залізничного вокзалу (станція 1), нижче впадіння р. Вершинка (станція 2), нижче впадіння р. Совка (станція 3), ~1,6 км від гирла, у місці скиду стічних вод ТЕЦ № 5 (станція 4), у гирловій ділянці (станція 5), у затоці Коник (станція 6), у Канівському водосховищі вище і нижче впадіння ріки (станції 7, 8). Завислу фракцію молібдену відокремлювали від розчиненої методом мембранної фільтрації, пропускаючи воду через мембранні фільтри "Synpor" (Чехія) з діаметром пор 0,4 мкм. Фільтрацію проводили відразу на місці відбору проби установкою УК 40–2М. У фільтраті цього ж дня визначали вміст молібдат-йонів каталітичним методом, описаним в [4]. Загальну концентрацію розчиненого молібдену у пробах природної води визначали після їхнього опромінення УФ-світлом з метою деструкції розчинених органічних речовин (POP), що описано в [3]. Для визначення концентрації молібдену у складі зависі мембранні фільтри "спалювали" у кварцевих склянках. Метод "мокрого" спалювання дозволяє перевести органічну і мінеральну завись у розчинну форму, в якій потім каталітичним методом визначити вміст молібдену. Хімічну природу та молекулярну масу комплексних сполук молібдену з POP досліджували за допомогою методів іоннообмінної та гель-хроматографії, детально описаних в роботі [3].

Результати досліджень та їхнє обговорення. Кисневий режим має велике значення для оцінки якості води природних водних об'єктів. Дефіцит кисню негативно впливає як на існування водних організмів, так і на інтенсивність протікання окисно-відновних біохімічних процесів у воді, кругообіг речовин, самоочищення водного середовища, що є надзвичайно важливо в умовах постійного антропогенного впливу. У воді р. Либеді концентрація розчиненого у воді кисню коливалася в межах 4,5–11,0 мг/дм³, у воді Канівського водосховища – 6,6–12,9 мг/дм³. Влітку за підвищених температур і зростання фотосинтетичної діяльності рослин відмічали надлишкове насичення води киснем (табл. 1).

Зниження вмісту розчиненого у воді кисню, зазвичай, відбувалося восени, коли він витрачався на інтенсивний розклад органічних решток живих організмів. Крім цього, слід відмітити зменшення насичення води киснем на ділянках впадіння р. Вершинка (65,0 %), р. Совки (46,2 %) і в гирлі р. Либеді (55,2 %). Вірогідно, на цих ділянках відбувалися значні витрати кисню на окиснення органічних і неорганічних речовин, що потрапляли у воду з побутовими і промисловими стоками. Так, восени на станції № 3 спостерігався найнижчий вміст розчиненого кисню 4,5 мкг/дм³, що склало 46,1 % насичення, при цьому величина рН становила 8,24. Загалом величина рН була нижчою на верхніх ділянках р. Либідь (станція 1, 2) та підвищувалася до гирла (станція 5).

Таблиця 1. Вміст розчиненого кисню, насичення води киснем, температура та величина рН води р. Либідь

№	Температура води, °С	Вміст O ₂ розчиненого у воді, мг/дм ³	Насичення води киснем, %	рН
березень				
2	9,9	10,0	91,4	7,86
3	8,6	11,0	97,3	7,68
4	—	—	—	—
5	8,8	10,1	93,4	8,17
6	8,4	9,7	85,5	8,03
7	5,2	11,5	101,5	6,96
8	5,6	12,9	105,8	8,06
червень				
1	—	10,5	127,9	7,84
2	18,2	10,2	110,8	7,89
3	19,0	10,9	120,6	8,02
4	31,2	—	—	6,69
5	19,5	8,7	97,2	7,96
6	19,7	9,1	102,1	7,98
7	22,8	10,4	124,2	8,04
8	22,4	9,1	107,8	7,92
жовтень				
1	15,7	8,1	89,5	8,02
2	15,6	6,3	65,0	8,09
3	15,6	4,5	46,1	8,24
4	—	—	—	—
5	15,0	5,5	55,2	8,22
6	15,0	7,3	73,5	8,24
7	14,3	8,3	82,3	8,29
8	14,5	6,6	65,6	8,27
грудень				
2	4,4	12,6	96,1	7,64
3	4,5	13,7	104,7	7,68

Загальна концентрація молібдену у воді р. Либеді, від місця її виходу на поверхню до гирлової ділянки, змінювалася нерівномірно і мала широкі межі коливань від 5,8 до 35,0 мкг/дм³ (табл. 2).

Вміст молібдену по всій довжині р. Либеді був вищим, ніж у воді Канівського водосховища. Зазвичай, у воді Канівського водосховища вміст молібдену становив 2,7–8,0 мкг/дм³ (див. табл. 2.). Зростання його концентрації у водосховищі спостерігалось лише під час весняного водопілля: 7,1–19,1 мкг/дм³ [6]. У воді р. Либідь вона зростала на ділянках: виходу річки з колектору на залізничному вокзалі (станція 1), впадіння р. Совки (станція 3), проте чіткої закономірності тут не помічено. Максимальна концентрація молібдену (35,0 мкг/дм³) була виявлена під час скиду стічних вод із ТЕЦ № 5 (м. Київ). Нижче за течією, р. Либідь впадає у затоку Коник, де концентрація склала 18,8 мкг/дм³, а потім Канівське водосховище – 8,0 мкг/дм³. Тобто на всьому проміжку річки від скиду стічних вод ТЕЦ № 5 до гирла вміст молібдену лишався підвищеним, незначне зменшення нього відмічено у воді затоки і лише у воді Канівського водосховища відбулося його розбавлення. Загалом, у воді Канівського водосховища нижче впадіння р. Либеді вміст молібдену лишався більшим, ніж на ділянці вище її впадіння (див. табл. 2.).

Таблиця 2. Вміст молібдену (VI) у воді р. Либідь і Канівського водосховища

№	Загальний вміст, мкг/дм ³	Розчинна форма		
		Мо _{розч} , мкг/дм ³	МоО ₄ ²⁻ , % Мо _{розч}	Мо _{зв'яз} , % Мо _{розч}
березень				
2	19,3	18,8	7,4	92,6
3	11,6	12	18	82
4	—	—	—	—
5	9,3	7,6	75,9	24,1
6	11,5	10,1	38,3	61,7
7	5,3	4,4	н.в.	100
8	7,3	6,8	н.в.	100
червень				
1	13,4	12,9	25,9	74,1
2	14,8	11,6	12,9	87,9
3	12,4	12,2	10,6	89,4
4	35	28,3	81,9	18,1
5	18,8	18,2	58,8	41,2
6	7,1	6,6	19,7	80,3
7	8	7,5	н.в.	100
8	7,4	6,8	н.в.	100
жовтень				
1	15,4	12,1	40,3	59,7
2	9,2	6,4	72,3	27,7
3	24,6	21,4	87,3	12,7
4	—	—	—	—
5	14,1	9,9	61,4	38,6
6	9,9	4,9	60,1	39,9
7	2,7	1,8	н.в.	100
8	4,0	2,6	н.в.	100
грудень				
2	8,7	8,1	81,3	18,7
3	5,1	4,8	56,9	43,1

Примітка: н.в. – не визначено.

Аналіз співвідношення розчинної та завислої форм молібдену показав, що у розчиненому стані знаходилося 80,9–97,3 % Мо_{заг}. Частка молібдену у складі завислої речовини р. Либеді становила лише 2,7–19,1 % Мо_{заг}. Отже, розчинні сполуки молібдену переважали у воді р. Либідь, що характерно для більшості природних поверхневих вод. Так, у водних об'єктах України розчинна форма становить, зазвичай 62,0–98,2 % Мо_{заг} [6].

Особливістю вод р. Либеді є наявність МоО₄²⁻-іонів, які є однією із розчинних форм молібдену. Їхня концентрація коливалась в межах 5,6–23,2 мкг Мо/дм³ (див. табл. 2). Молібдат-йони були виявлені на всіх досліджуваних ділянках р. Либеді, проте у воді Канівського водосховища вони або не визначалися, або їх концентрація була на межі похибки методу (0,5 мкг/дм³). Внаслідок надходження стічних вод промислових підприємств комунального господарства відбувалося забруднення р. Либідь МоО₄²⁻-йонами, оскільки у незабруднених водних об'єктах України зазначена форма молібдену не була виявлена [6]. Їхня частка становила від 46,9 до 81,9 % розчинного молібдену. Як видно з рис. 1., концентрація молібдат-іонів на всій досліджуваній ділянці р. Либеді перевищувала рибогосподарську ГДК. На третій та четвертій станціях р. Либеді вона була в 15 та 18 разів вищою. Певна річ,

це становить небезпеку для риб, що запливають сюди з водосховища й піднімаються по річці до теплої води, яку скидає ТЕЦ № 5.

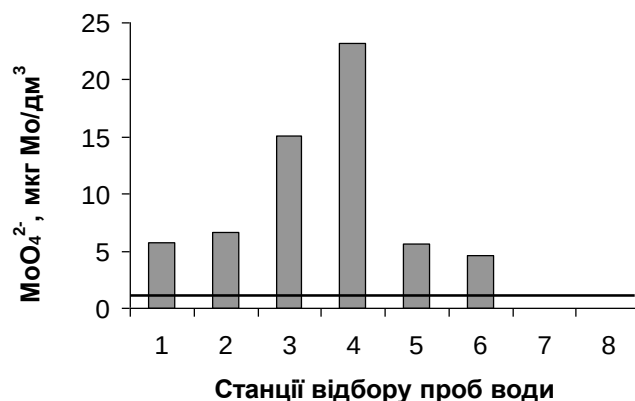


Рис. 1. Концентрація молібдат-іонів (MoO_4^{2-}) на різних ділянках р. Либідь (2014 р.) у порівнянні з ГДК для водойм рибогосподарського призначення ($1,2 \text{ мкг/дм}^3$; суцільна лінія).

Результати розподілу розчинних сполук молібдену за хімічною природою показали, що частина молібдену знаходилася у зв'язаному стані. Частка $\text{Mo}_{\text{зв'яз}}$ мала широкі межі коливань від 12,7 до 92,6 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$ (див. табл. 2.).

Це пов'язано як із сезонністю, так, вірогідно, зі скидами стічних та комунально-побутових вод у річку. Так, у місці виходу колектору ТЕЦ № 5 частка MoO_4^{2-} -іонів становила 81,9 %, проте у водах річки відбувалося їхнє поступове зв'язування до 58,8 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$ (див. табл. 2.).

Щоб дізнатися, які сполуки зв'язують молібден у комплекси, було проведено їхній розподіл на йонообмінних целюлозах. В результаті розподілу отримано три групи РОР: кислотну, основну і нейтральну, серед яких домінують, відповідно гумусові речовини (ГР), білковоподібні речовини та вуглеводи. Перевагу у зв'язуванні молібдену мали ГР, оскільки частка молібдену в кислотній групі РОР складала 12,5–27,5 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$ (рис. 2).

Досить незначним було зв'язування в інших групах органічних сполук: нейтральній й основній. Тут частка молібдену становила відповідно 0,8–13,6 та 0,6–2,5 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$. Влітку відмічали зростання частки молібдену в нейтральній групі РОР, що можна пояснити збільшенням вмісту вуглеводів у воді річки.

На відміну від р. Либеді у воді Канівського водосховища молібдат-йони не було визначено, їхній вміст знаходився нижче межі визначення високочутливим каталітичним методом [4]. Частка молібдену зв'язаного у комплекси з ГР виявилася навпаки максимальною – 69,0–79,9 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$ (рис. 3).

У складі комплексних сполук молібдену з РОР основної і нейтральної групи вона становила відповідно 1,7–7,0 та 18,4–23,9 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$. Можна відмітити, що головну роль у комплексоутворенні молібдену відіграють ГР. У воді Канівського водосховища фактично весь молібден знаходиться у комплексних сполуках з ними, а у воді р. Либеді, вірогідно, не вистачає РОР для зв'язування молібдат-іонів, що надходять зі стічними водами.

Висновки. Кисневий режим р. Либеді погіршувався восени внаслідок витрат кисню на процеси самоочищення водного середовища в умовах антропогенного забруднення. Навесні насичення води киснем було значним, за рахунок атмосферної аерації, влітку – завдяки фотосинтетичній діяльності водоростей.

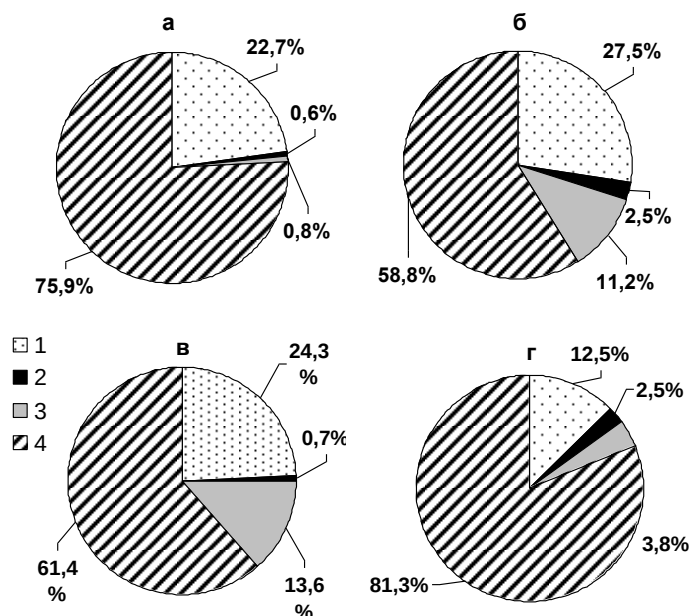


Рис. 2. Співвідношення розчиненого молібдену у складі різних груп РОР та молібдат-йонів у воді р. Либеді навесні (а), влітку (б), восени (в) та взимку (г); 1, 2, 3 та 4 – кислотна, основна, нейтральна групи РОР та MoO_4^{2-} -йони

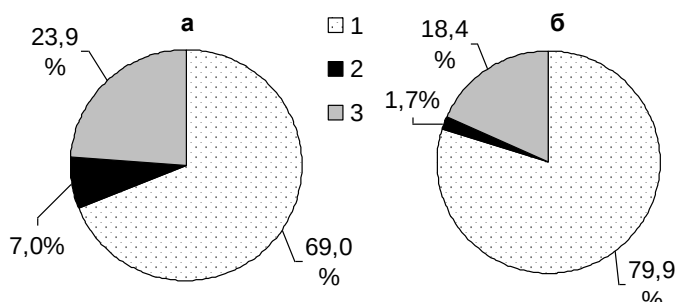


Рис. 3. Співвідношення розчиненого молібдену у складі різних груп РОР у воді Канівського водосховища вище (а) та нижче (б) впадіння р. Либідь; 1, 2, 3 – кислотна, основна, нейтральна групи РОР.

Загальний вміст молібдену у воді р. Либідь знаходився в широких межах коливань – від 5,8 до 35,0 мкг/дм³, що значно вище, ніж у воді Канівського водосховища 2,7–8,0 мкг/дм³. Співвідношення розчиненої і завислої форм молібдену становило 80,8–98,5 і 1,5–19,2 % $\text{Mo}_{\text{заг}}$. Особливістю р. Либеді було наявність у воді молібдат-йонів по всій її довжині, їхня частка становила 10,6–88,5 % $\text{Mo}_{\text{розч}}$. Таким чином, висока концентрація $\text{Mo}_{\text{розч}}$ обумовлена в основному MoO_4^{2-} -йонами, що свідчить про антропогенне походження молібдену у воді р. Либеді. У воді Канівського водосховища нижче затоки Коник MoO_4^{2-} -йони не визначалися, що, вірогідно, обумовлено їхнім розведенням та комплексоутворенням з РОР. Розподіл сполук молібдену на іонообмінних целюлозах показав, що у воді Канівського водосховища весь розчинний молібден знаходився серед комплексів з РОР. Проте у воді р. Либеді лише 18,8–41,2 % нього було зв'язано з органічними лігандами, а більша частина була у вигляді MoO_4^{2-} -йонів.

Список літератури

1. Вишневський В.І. Малі річки Києва. К. Інтерпрес ЛТД, 2013. 84 с.
2. Крижанівський О.А. Історико-містобудівний та еколого-геологічний аналіз території басейну річки Либідь. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2016. Вип. 46. С. 287–292.
3. Линник П.М., ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

Ігнатенко І.І. Співіснуючі форми молибдену в природних водах // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. К., 2006. Т. 8. С. 92–102. 4. Основы аналитической химии. / В.И. Фадеева, Т.Н. Шеховцова, В.М. Иванов и др.; под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высш. шк., 2001. 463 с. 5. Перепелиця О.П. Екохімія та ендеоекологія елементів. – К.: НУХТ: Екохім., 2004. 736 с. 6. Linnik P.N., Ignatenko I.I. Molybdenum in Natural Surface Waters: Content and Forms of Occurrence // Hydrob. Journal. 2015. V.51. I.4. P. 80–103.

References

1. Vyshnevskiy V.I. Mali richky Kyeva. K. Interpres LTD, 2013. 84 s. 2. Kryzhanivskiy O.A. Istoryko-mistobudivniy ta ekolooho-heolohichniy analis terytorii baseynu richky Lybid. // Suchasni problemy arhitektury ta mistobuduvannya. 2016. Vyp. 46. С. 287–292. 3. Lynnyk P.M., Ihnatenko I.I. Spivicnuyuchi phormy molibdenu v pryrodnyh vodah. // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. К., 2006. Т. 8. С. 92–102. 4. Osnovy analiticheskoy himii. / V.I. Phadeeva, T.N. Shehovcova, V.M. Ivanov i dr. /pod red. Ju.A. Solotova. M.: Vyssh. shk., 2001. 463 s. 5. Perepelyzha O.P. Ecohimia ta endoeekolohia elementiv. K.: NUHT: Ekohim., 2004. 736 s. 6. Linnik P.N., Ignatenko I.I. Molybdenum in Natural Surface Waters: Content and Forms of Occurrence // Hydrob. Journal. 2015. V.51. I.4. P. 80–103.

Форми міграції молибдену у воді річки Либеді, що протікає в межах м. Києва

Ігнатенко І.І.

Наведено результати дослідження форм міграції молибдену у воді р. Либеді, яка характеризується підвищеними концентраціями молибдену ($5,8\text{--}35,0\text{ мкг/дм}^3$) та наявністю MoO_4^{2-} -йонів у воді, що є ознакою її антропогенного забруднення. MoO_4^{2-} -йони виявлені по всій довжині річки, вони становили $46,9\text{--}81,9\%$ від розчинної форми молибдену, та завжди перевищували ГДК для водойм рибогосподарського призначення. Це може представляти певну небезпеку для розвитку гідробіоти, оскільки саме MoO_4^{2-} -йони є токсичними для живих організмів за їх високої концентрації.

Ключові слова: молибден; фізико-хімічні форми міграції молибдену; р. Либідь

Формы миграции молибдена в воде реки Либеди, протекающей в черте г. Киева

Игнатенко И.И.

Приведены результаты исследования форм миграции молибдена в воде р. Либеди, которая характеризовалась повышенными концентрациями молибдена ($5,8\text{--}35,0\text{ мкг/дм}^3$) и наличием MoO_4^{2-} -ионов в воде, что есть признаком ее антропогенного загрязнения. MoO_4^{2-} -ионы обнаружены в воде реки по всей длине, они составляли $46,9\text{--}81,9\%$ от растворенной формы молибдена, и всегда превышали ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения. Это может представлять определенную опасность для развития гидробиоты, поскольку именно MoO_4^{2-} -ионы характеризуются токсичностью для живых организмов в условиях их высокой концентрации.

Ключевые слова: молибден; физико-химические формы миграции молибдена; р. Либедь.

The molybdenum form migration in the Lybid river water, flowing through the city of Kyiv

Ignatenko I.I.

The research results of molybdenum form migration in the water of the Lybid river. The total molybdenum content was $5,8\text{--}35,0\text{ }\mu\text{g/dm}^3$, which is much higher than in the water of the Kaniv reservoir – $2,7\text{--}8,0\text{ }\mu\text{g/dm}^3$. The ratio of dissolved and suspended molybdenum forms was $80,8\text{--}98,5$ and $1,5\text{--}19,2\%$, respectively. The peculiarity of the Lybid river was the presence of molybdate-ions in all sections of the river. This caused a high concentration of dissolved molybdenum form and is an indication of anthropogenic pollution. Molybdate-ions are detected throughout the entire length of the river. They comprised of $5,6\text{--}23,2\text{ }\mu\text{g/dm}^3$ and always exceeded the maximum permissible concentration for fishery reservoirs ($1,2\text{ }\mu\text{g/dm}^3$). The molybdate-ion concentration was 15 and 18 times higher in the two sections of the Lybid river. Due to their high concentration this can be dangerous for the development of hydrobiota, because the MoO_4^{2-} -ions are toxins to living organisms.

In conclusion, the molybdate-ions in the water of the Lybid river were partly connected to complexes of dissolved organic matters (DOM). The main groups of which are carbohydrates and protein, humic substances. As a result of the processes of water dilution and complexation with DOM, in the water of the Kaniv reservoir, the MoO_4^{2-} -ions weren't detected. The humic substances played the primary role in the complexation of molybdate-ions.

Key words: molybdenum; physical and chemical migration molybdenum forms; Lybid river.

Надійшла до редколегії 09.10.2019

ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)**

УДК 551.577.21;551.577.36

Паламарчук Л.В.¹, Сокур К.С.², Заблоцька Т.М.¹.

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ДИНАМІКА ІНТЕНСИВНОСТІ ОПАДІВ ТА МЕЗОСТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ПОЛІВ У ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ НА РІВНИННІЙ ЧАСТИНІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Ключові слова: небезпечні та сильні опади, максимальна інтенсивність, хвилі підсилення, інтенсивність опадів за об'ємом води, типи опадів, повторюваність значень інтенсивності.

Вступ Вивченню процесів формування опадів та особливостям структури їх полів присвячена значна кількість наукових досліджень, які використовують різні методи, бази даних та наукові підходи. Особлива увага у роботах вітчизняних вчених [2, 10, 17] приділяється вивченню умов утворення, статистичним характеристикам небезпечних та сильних опадів, а також оцінці їх впливу на природне середовище. В роботах [3, 9, 15] переважно оцінюється динаміка сум опадів, їх просторовий розподіл, тривалість, повторюваність різної кількості опадів для окремих регіонів. Домінує думка [2, 5, 14], що основною умовою формування небезпечних та дуже сильних опадів є виникнення блокуючих синоптичних процесів, які на макросиноптичному рівні впливають на хмаро- та опадоутворення у східній та південно-східній Європі (в т.ч. в Україні). Значно менша увага в останні роки приділяється вивченню структури поля опадів для окремих синоптичних процесів, їх інтенсивності та динаміці, величинам поверхневого стоку, що утворюється при випадінні сильних опадів на різних типах підстильної поверхні. У зв'язку з високою повторюваністю в останні роки випадків затоплення під час злив, особливо в містах, виникає потреба встановлення причин утворення таких значних об'ємів поверхневого стоку. З цією метою необхідним є визначення характеристики окремих процесів опадоутворення, що приводять до катастрофічних наслідків, мезоструктурних неоднорідностей полів сильних опадів, їх часових та просторових параметрів з можливістю подальшого урахування отриманих результатів у містобудуванні та інших галузях господарства.

Подібні дослідження структури фронтальних полів хмарності та опадів для окремих синоптичних процесів з використанням чисельного моделювання для території України у холодний період року представлені в [12]. Результати моделювання дозволили виділити та представити смугово-коміркову структуру полів фронтальної хмарності та відповідних їм полів опадів. Смугово-коміркова структура властива практично усім полям фізичних параметрів, що формують процеси хмаро- та опадоутворення. Так, поле вертикальних рухів має розміри комірок від декількох до десятків кілометрів, приблизно такі ж масштаби областей додатної інтегральної швидкості конденсації. Найменші просторові розміри мають області з наявною та здатною до конденсації водяною парою – від декількох сотень метрів до декількох кілометрів. В [12,13] показано, що просторовий перетин і повторення комірок призводить до виникнення термодинамічно активних смуг, розташованих переважно вздовж наземних ліній фронтів, в межах яких і формуватимуться опади, але навіть в межах таких смуг інтенсивність

опадотворення є величиною змінною. Характерні розміри ділянок з однорідними властивостями атмосфери в межах шарувато подібних фронтальних хмарних систем становлять від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів, а у купчастих хмарах подібні зони з однорідними термодинамічними параметрами будуть на порядок меншими. Логічно очікувати, що структура поля опадів в основному відповідатиме структурі поля хмарності, яка формує опади.

Крім вказаних вище напрямків, дослідження інтенсивності та структури поля опадів теплої періоду в Україні виконувалися також на основі даних густої опадомірної мережі та радіолокаційних вимірювань, що проводилися на експериментальному метеорологічному полігоні (ЕМП) [7]. Дані спостережень використовувалися переважно для оцінки активних впливів на процеси опадотворення, але, крім того, проводилася типізація опадів за характером випадання та інтенсивністю, оцінювалася точність вимірювання опадів різними способами, їх просторова структура та інше [4,8].

Метою представленого дослідження є визначення інтенсивності опадів у теплий період року, в тому числі небезпечних та дуже сильних; виділення мезоструктурних неоднорідностей, їх просторово-часового розподілу; оцінка та врахування ролі таких неоднорідностей у формуванні поверхневого стоку; проведення типізації опадів теплої періоду на основі особливостей часової структури інтенсивності для конкретних процесів випадання опадів.

Використані дані та методичні підходи У роботі використовувалися дані спостережень гідрометеорологічної мережі за період 2005-2017рр. На основі даних ТМ-1 для цього періоду встановлювалися випадки небезпечних та дуже сильних опадів згідно з критеріями, наведеними в [11], для рівнинної частини території України. Для вибраних випадків за даними плювіографів визначалися інтенсивності опадів в межах кожного окремого процесу їх випадання. Крім того, в роботі використовувалися дані спеціального наукового експерименту по визначенню інтенсивності опадів, які були отримані за допомогою 4-х плювіографів, що розташовувалися на відстані 250-400 м один від одного (м. Київ, Багринова гора, теплий період 1969 р.). Спеціальне налаштування приладів дозволяло отримувати щохвилинні значення інтенсивності, які використовувалися для аналізу часової динаміки величини, а також для побудови карт просторового розподілу опадів. Крім того, дані експерименту були основою для порівняння з відповідними характеристиками процесів опадотворення у сучасний кліматичний період. Принагідно зазначимо, що величину інтенсивності опадів на сьогодні, можна визначити на основі вимірювань, проведених на стандартній чи спеціальній мережі опадоміром (плювіографом), або розрахувати, використовуючи значення радіолокаційної відбиваності, отриманої метеорологічним радіолокатором (МРЛ). Обидва підходи мають як переваги, так і недоліки. За результатами досліджень [23], отримано, що середні похибки вимірювань опадомірами (плювіографами) знаходяться у межах 9-12%. При вимірюванні плювіографом маємо трохи занижені, у порівнянні з опадоміром, суми опадів та меншу їх тривалість, що викликано відсутністю у плювіографів вітрового захисту [1, 23]. Цим же пояснюється і нечутливість приладу до дрібних опадів малої інтенсивності, зменшення кількості яких можливе на 30-40% [19, 23]. Тобто, особливо значні похибки вимірювання сум (інтенсивності) за допомогою плювіографів слід очікувати при випадінні мряки чи облогових опадів, повторюваність яких у теплий період невисока. При достатньо високій точності вимірювання опадомірами (плювіографами) сум опадів в окремій точці, цей спосіб не може бути репрезентативним для відтворення структури полів опадів, особливо літніх. Причиною є відстані між окремими точками вимірювання на стандартній гідрометеорологічній мережі, які становлять десятки або сотні

кілометрів. Тому результати вимірювань не можуть охопити усі просторові відмінності у кількості (чи інтенсивності) опадів. Як було зазначено вище, горизонтальні розміри однорідних ділянок у структурі поля опадів становлять від декількох сотень метрів до декількох кілометрів і залежать переважно від типу опадів. При визначенні інтенсивності опадів на основі радіолокаційних даних, похибки вимірювань змінюються від 20 до 90% [16, 19, 20] і залежать від якості калібрування, відстані точки спостережень від локатора, висоти радіолокаційного променя відносно земної поверхні та ін. Але перевага таких даних в тому, що у разі правильного вибору усіх параметрів і відносно точного визначення інтенсивності опадів, радіолокаційні вимірювання дозволяють репрезентативно представляти структуру поля опадів на значних площах. У випадку відсутності радіолокаційних даних відтворити структуру поля опадів можливо використовуючи безпосередньо дані густої опадомірної мережі або опосередковано через часові зміни їх інтенсивності в окремих точках вимірювання. Спроба реалізації такого підходу показана у представленому дослідженні.

Аналіз початкових масивів даних проводився стандартними статистичними методами, побудова графіків та карт виконувалася з використанням відповідного програмного продукту.

Обговорення отриманих результатів. Аналіз синоптичних матеріалів, що проводився авторами [5,14] показав, що у більшості випадків (60%) небезпечні та сильні опади на території України формуються внаслідок переміщення циклонів з південного-заходу (результат активності середземноморської гілки полярного фронту); під час переміщення холодних фронтів з заходу (15%), коли опади випадають переважно на півночі і в центрі країни; з фронтальних хмарних систем північно-західних циклонів (10 %), коли опади випадають у північних і східних регіонах країни; завдяки активізації малорухомих фронтів у районі Чорноморської депресії (10%) з опадами переважно на півдні країни та при формування над територією України малорухомих циклонів (блокування) (5%). У [5, 14] зазначається, що обов'язковою умовою формування небезпечних і дуже сильних опадів в Україні є виникнення та тривале існування блокуючих антициклонів на сході, північному сході або південному сході відносно території України. Іншою можливою умовою може бути просторове зближення основних фронтів – арктичного та полярного, що призводить до виникнення значних просторових градієнтів основних метеорологічних величин, активізації термодинамічних процесів та вологообміну. Небезпечні та дуже сильні опади практично завжди пов'язані з хмарними системами атмосферних фронтів, особливо таких, що розташовані близько точки оклюзії, на теплих хвилях основних фронтів та на холодних фронтах циклонів.

Для формування масиву випадків небезпечних та дуже сильних опадів використано дані спостережень 38 метеорологічних станцій за період 2005-2017 рр., показники яких достовірно відображають ситуацію для усієї рівнинної території країни. За досліджуваний період спостерігалось 97 випадків дуже сильних опадів (50 мм і більше за 12 год. і менше). Найбільша кількість їх відмічалася у 2010 р. (12 випадків), 2007, 2012, 2013 рр. (по 11 випадків), 2008 р. (10 випадків), найменше спостерігали у 2015, 2016 рр., а у 2017 р. не зафіксовано жодного процесу, що підпадав би під критерії дуже сильних опадів. За розглянутий період фіксували відносно нерівномірний розподіл повторюваності дуже сильних опадів у всіх адміністративних областях в межах рівнинної території. Так, найбільша повторюваність спостерігалася в Одеській (12 випадків), Вінницькій (9 випадків), Запорізькій, Кіровоградській (по 8 випадків), Херсонській (7 випадків) областях. Причиною більш високої повторюваності сильних опадів у цих регіонах можна вважати те, що на території цих областей пролягають траєкторії циклонів різного

географічного походження і, як наслідок, формується вища ймовірність фронтальних хмарних систем, здатних формувати сильні опади. У річному ході максимальна кількість випадків сильних дощів припадає на липень (27%), дещо менше на червень (21%), серпень та вересень (по 19%), травень (12%), а в жовтні та листопаді ймовірність зменшилася до 1%. Добовий хід небезпечних та сильних опадів в досліджуваному періоді чітко не проявлявся. Можна зробити деяке узагальнення: у зв'язку з тим, що небезпечні та сильні опади утворюються переважно при проходженні атмосферних фронтів, тобто залежать від циркуляційних процесів, то їх початок, максимальний розвиток і завершення може припадати на будь-який час доби.

Просторове поширення дуже сильних опадів має деякі особливості: в окремих випадках вони локалізовані на незначних площах, а інколи охоплюють декілька областей. Висловлюється думка [2, 10, 14], що значне просторове поширення сильних опадів, зазвичай, обумовлене виходом на територію України південних або південно-західних циклонів. Як приклад розглянемо подібну синоптичну ситуацію, коли дуже сильні опади було зафіксовано в центральних областях України 07-08.08.2005 р. Аналізувалися спостереження проведені на станції Яготин (Київська обл.) та Канів (Черкаська обл.). Так, величина інтенсивності (мм/хв.) визначалася за даними плювіографів, це дало можливість розраховувати масу води, яка випадає на одиницю площі ($\text{кг}/\text{м}^2$) та інтенсивність опадів за об'ємом води на одиницю площі ($\text{л}/\text{с}$ на га або $\text{л}/\text{с}$ на м^2). На станції Яготин (07-08.08.2005 р) за 6 годин 30 хвилин при середній інтенсивності 0,62 мм/хв випало $66,9 \text{ кг}/\text{м}^2$ опадів; середня інтенсивність по об'єму води становила $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$ на м^2 . Найбільше значення інтенсивності спостерігали на початку процесу (0,7 мм/хв.; $116,7 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$ на м^2), коли за 10 хвилин випала маса води $7,0 \text{ кг}/\text{м}^2$. На станції Канів (07-08.08.2005 р) за 10 годин 43 хвилини випало $58,3 \text{ кг}/\text{м}^2$ опадів; середня інтенсивність по об'єму становила $15,0 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$ на м^2 ; максимальна – $153,4 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$ на м^2 , в цьому випадку за 30 хвилин (19.50-20.20) випало $9,2 \text{ кг}/\text{м}^2$ дощової води. З наведених розрахунків видно, що величини інтенсивності опадів і, відповідно, поверхневого стоку відзначаються значною мінливістю впродовж одного процесу, а основна маса дощової води випадає за відносно короткі проміжки часу.

Крім дослідження окремих випадків сильних опадів, для детального вивчення часової структури інтенсивності опадів було виокремлено 3 випадки небезпечних опадів (15-49 мм за 12 год. і менше) [11], зафіксованих на метеостанції Київ у 2014 р. А для порівняння значень та характеру просторово-часових змін інтенсивності у сучасний та минулі кліматичні періоди додатково проводився аналіз 26 випадків опадів теплого періоду в м. Києві: коли з використанням спеціально тарифікованих плювіографів визначалися суми та щохвилинні значення інтенсивності опадів, які спостерігали за період вимірювань. На рис. 1а, б, рис. 2а,б, рис 3 а, б та рис. 4, рис. 5, рис. 6 представлено часову динаміку інтенсивності опадів, її максимальні значення та поля інтенсивності для окремих моментів випадання опадів. Детальний аналіз результатів включав: виявлення подібних ознак у часовому ході інтенсивності опадів, оцінку форм кривих розподілу, порівняння значень максимальних та середніх величин інтенсивності, виділення хвиль підсилення опадів, визначення їх кількості та значень амплітуд. Виявлялися та враховувалися також і особливості структури просторового розподілу інтенсивності опадів. Висновки та закономірності, отримані у результаті аналізу, стали основою для проведення додаткової типізації процесів випадання опадів у теплий період на рівнинній території. Відомо, що існують декілька підходів та критеріїв для виділення певного типу опадів (зливові, облогові, мряка), які залежать від методики та завдань конкретного дослідження. Як приклад, можна навести одну з типізацій

опадів, створену на основі даних густої опадомірної мережі ЕМП [8]; де запропоновано поділяти опади на облогові та зливові, користуючись такими критеріями: якщо інтенсивність - $I_{\max} \geq 0,2 \text{ мм/хв.}$, а сума опадів $\geq 1,5 \text{ мм}$, тоді опади відносять до зливових, коли ж відповідні величини менші вказаних значень, опади вважаються облоговими. Аналіз наукових джерел [1,8,18] показав, що існує певна неоднозначність та незавершеність подібних класифікацій і, відповідно, можливість представити власну класифікацію, запропонувавши нові критерії поділу. У нашому дослідженні при проведенні типізації опадів такими критеріями були: значення середньої максимальної інтенсивності, наявність та кількість смуг підсилення опадів у часовому ході, характер початку випадіння опадів. Такий підхід дозволив виділити три основні типи опадів для теплого періоду року: *зливові*, для яких середні максимальні інтенсивності $\geq 1,0 \text{ мм/хв}$, відмічається раптовість початку (максимальні значення інтенсивності на початку випадіння опадів), існує одна, інколи дві, хвилі підсилення опадів з *різними* амплітудами. Раптовість та значні інтенсивності на початку випадіння опадів, а також раптовість закінчення можна розглядати як додатковий критерій виділення злив; *облогові*, з середніми максимальними значеннями інтенсивності $\geq 0,1 \text{ мм/хв.}$, при цьому виділяється кілька (2-4) хвиль підсилення з незначними, але *однаковими* амплітудами та «мікс» облогових і зливових опадів при розвитку фронтальних шаруватих хмар з включеннями конвективних, коли середні максимальні інтенсивності $\leq 1,0 \text{ мм/хв.}$ та існує кілька хвиль підсилення з *різною* амплітудою.

Нижче наведено аналіз окремих процесів випадіння небезпечних та дуже сильних опадів, що виділялися за критеріями вказаними [11]. На рис. 1а показана динаміка інтенсивності для 27-28.05 2006 р. (ст. Одеса), коли за 7 год 25 хв випало 62,2 мм опадів. У часовому ході прослідковується три хвилі підсилення опадів: перша тривалістю 20-25хв з $I_{\max} = 0,59 \text{ мм/хв}$, за цей час була сформована маса дощової води близько $7,3 \text{ кг/м}^2$, друга (основна) хвиля тривала 40-45хв з інтенсивністю $I_{\max} = 1,47 \text{ мм/хв}$, маса води, що випала на земну поверхню, була $37,9 \text{ кг/м}^2$, третя хвиля підсилення опадів тривала близько 40 хв, сформувавши шар опадів висотою 5.9 мм. Відмітимо, що опади значної інтенсивності ($\geq 1,0 \text{ мм/хв}$) спостерігали близько 10 хв, що становить 2% від тривалості випадіння опадів у межах досліджуваного процесу. Представлений часовий розподіл інтенсивності вказує на поєднання різних типів процесів опадоутворення, які виникли у цьому випадку, коли на фоні незначних швидкостей висхідних рухів, що формують шарувату хмарність, утворювалися окремі області динамічної конвекції або ж підсилювалася уже існуюча термічна конвекція. Такі процеси призводять до утворення осередків конвективних хмар в масивах шаруватих і, відповідно, до утворення комірок зливових опадів на фоні облогових. У [5] показано, що саме процеси блокування призводять до підсилення існуючих або формування нових областей висхідних рухів за рахунок динамічної конвекції. Очевидно, процеси блокування відповідають також за збільшення довжини (тривалості) хвиль підсилення опадів (друга хвиля на рис.1а) та збільшення інтенсивності опадів (динамічна конвекція) в їх межах. Описаний вище процес, згідно запропонованої типізації, відносимо до облогових опадів з включеннями зливових, що випадають з конвективних хмар.

01.07.2013 р., на ст. Запоріжжя (рис.1б) за 4 години 12 хв на земну поверхню випало 57,5 мм опадів, при чому основна маса сформувалася протягом періоду з 9 год 45хв до 10 год 15хв. Довжина хвилі підсилення опадів становила близько 30-35 хвилин, а сума опадів за цей час дорівнювала 51 мм. Максимальну інтенсивність $I_{\max} = 1,88 \text{ мм/хв}$, що відмічалася 1-2 хвилини можна розглядати як амплітуду хвилі. За час підсилення опадів величина інтенсивності змінювалася в межах $0,40 \div 1,88$

мм/хв на висхідній гілці і в межах 1,88-0,29 мм/хв – на низхідній. Відмітимо, що опади значної інтенсивності $\geq 1,0$ мм/хв відмічалися близько 5% від усього часу випадання опадів у межах досліджуваного процесу. У часовому ході інтенсивності ще одна хвиля підсилення інтенсивності опадів формувалася з 12 год 10 хв і тривала близько 25 хв з $I_{\max} = 0,11$ мм/хв. Маса води, що досягла земної поверхні під час другої хвилі становила близько 1,2 кг/м². В інші моменти випадіння опадів значення інтенсивності та маси води, що досягла земної поверхні несуттєві. У [14] вказується, що опади 01.07.2013р. пов'язані з меридіонально орієнтованими хмарними системами фронтів північно-західного циклону. Значення інтенсивності опадів та їх часовий розподіл дозволяє процес їх формування та випадіння віднести до зливових, де є основна та додаткова хвиля з незначним підсиленням опадів.

Динаміка інтенсивності опадів 01-02.07.2011р. (ст. Яготин), коли за 1 год 30 хв випало 55,5 мм опадів наведена на рис.2а. Виділяється одна хвиля підсилення опадів тривалістю 30-35 хв з $I_{\max} = 2,92$ мм/хв. За цей час утворився шар опадів близько 45,9 мм (або 45,9 кг/м² води), середня за проміжок часу інтенсивність за об'ємом становила $165,4 \cdot 10^{-4}$ л/с м⁻². Опади інтенсивністю >1 мм/хв спостерігали близько 20 хв, що становило 24% загальної тривалості випадання опадів у межах процесу. За величинами інтенсивності та характером часового розподілу цей випадок, відповідно до запропонованої типізації, відносимо до зливових опадів. Екстремальні максимальні інтенсивності розглядаємо як результат підсилення термічної конвекції та «вимушеного» підйому повітряних мас за рахунок процесів блокування.

Максимальна інтенсивність, що спостерігали 01-02.07.2011р. є найбільшою серед детально розглянутих випадків небезпечних та сильних опадів на рівнинній території України за період 2005-2017рр. Аналіз даних наукового експерименту 1969 року також показав, що з усього масиву результатів тільки 11.08.1969р. (точка «обсерваторія») на п'ятій хвилині зливи спостерігали $I_{\max} = 2,70$ мм/хв, вимірювання ж у всі інші моменти часу і для усіх випадків показали менші значення інтенсивності. Для минулих кліматичних періодів на основі багаторічних спостережень встановлено, що *середні максимальні інтенсивності* небезпечних та дуже сильних опадів у теплий період року в Україні досягають 1,24 – 1,74 мм/хв. При детальних вимірюваннях в окремі моменти (впродовж 1-2 хв) значення інтенсивності опадів могли досягати $3,0 \div 4,0$ мм/хв. [6]. Порівняння отриманих у представленому дослідженні максимальних величин інтенсивності опадів та аналогічних значень, отриманих в минулі кліматичні періоди, показало, що порядок величини не змінюється, а їх значення практично співпадають. Можливо висловити припущення, що існує широтна (зональна) «верхня межа» інтенсивності процесів опадоутворення та вологозапасу хмар, що забезпечує сталість величини інтенсивності опадів у часі, навіть в умовах сучасних кліматичних змін.

Проводився також аналіз динаміки інтенсивності при формуванні небезпечних опадів (15-49 мм за 12 год. і менше) [11], що спостерігалися 18.05, 11.07 та 16.08 2014р. на метеорологічній станції Київ. Часовий розподіл інтенсивності (рис. 2 б, рис. 3 а, б) показує, що основна маса дощової води формується під час хвилі підсилення опадів. В кожному з розглянутих випадків маємо по одній (основній) хвилі тривалістю близько 35-45 хв. та 1-2 додаткові, коли значення інтенсивності значно менші. Максимальні інтенсивності в межах основних хвиль становили відповідно 1,73, 1,38, 1,40 мм/хв., а маса води, яка випала на одиницю площі за період підсилення опадів відповідно – 28,5; 29,0 та 18,7 мм/м². За типом часового розподілу значень інтенсивності перший і третій випадки відносимо до злив, а другий – до облогових опадів зі зливовими включеннями.

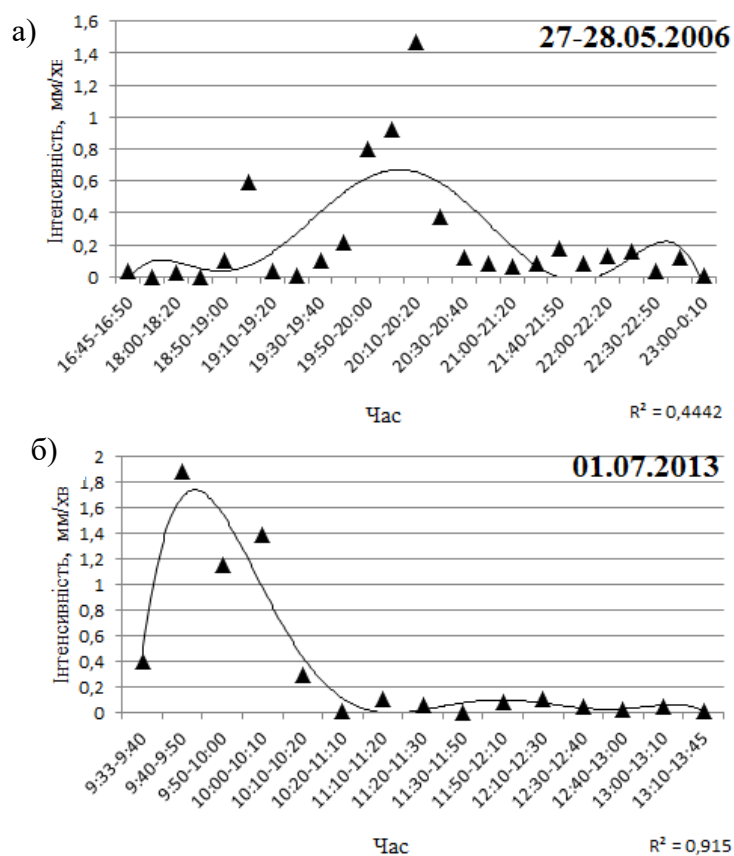


Рис. 1. Динаміка інтенсивності опадів: а) 27-28.05.2006(ст. Одеса), б) 01/07/2013 (ст. Запоріжжя)

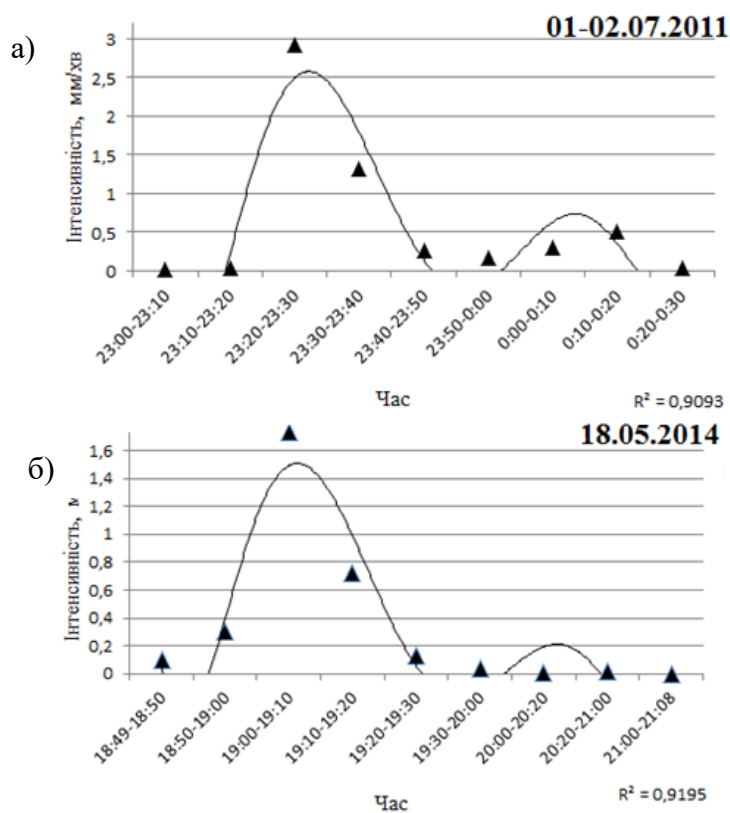


Рис. 2. Динаміка інтенсивності опадів: а) 01-02.07.2011(ст. Яготин), б) 18.05.2014 (ст. Київ)

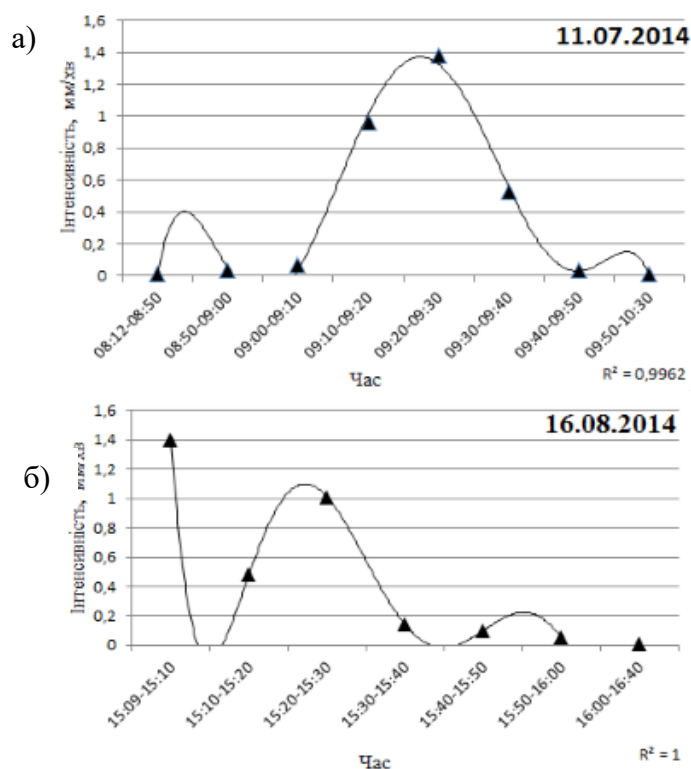


Рис. 3. Динаміка інтенсивності опадів: а) 11/07/2014, б) 16/08/2014 (ст. Київ)

Результати аналізу наукового експерименту наведено на рис.4–6, де представлена часова динаміка інтенсивності та її просторові розподіли для моментів часу, що відмічені вертикальною лінією на часовому розподілі. Поле величини отримано за рахунок одночасних вимірювань інтенсивності опадів в 4-х точках, відстані між якими становили 250-400 м. Часовий розподіл значень для 4-х точок вимірювань (рис.4, 14.07.1969 р). показує існування трьох хвиль підсилення опадів. Перша хвиля тривала 20-22 хв, максимальні значення інтенсивності змінювалися в межах $1,20 \div 0,70$ мм/хв. Виділяється чітка висхідна гілка основної хвилі з початковими значеннями інтенсивності 0,1-0,2 мм/хв, що характерно для випадків формування комірок зливових опадів в загальному масиві облогових.

Як буде показано нижче, на початку типової зливи частіше утворюється тільки низхідна гілка у розподілі інтенсивності. Також відмічається і зміщення екстремумів у просторі в межах основної хвилі на 10-12 хв. Друга хвиля тривала 12-15 хв, з максимальною інтенсивністю- 0,22 мм/хв, в межах останньої, третьої хвилі підсилення, максимальна інтенсивність не перевищувала 0,14 мм/хв. Під час першої хвилі підсилення опадів (12.02-12.23) на точці «локатор» випало 4,36 мм опадів, що склало 81,4% від усієї суми опадів за весь період їх випадання. Подібні результати отримано і для інших точок спостережень.

Просторовому розподілу опадів притаманна значна неоднорідність. Максимальні просторові градієнти (між 3 та 4 точками) становлять 0,09-0,11 мм/хв на 100 м відстані. В зв'язку з цим у структурі поля інтенсивності опадів можна виокремити неоднорідності у розподілі значень, які мають різні масштаби від декількох десятків до декількох сотень метрів.

Часовий хід та просторовий розподіл, представлений на рис.5, типовий для зливових опадів. Особливістю таких процесів є значна інтенсивність саме на початку ($I_{\max}=0,70$ мм/хв), з подальшим швидким зменшенням.

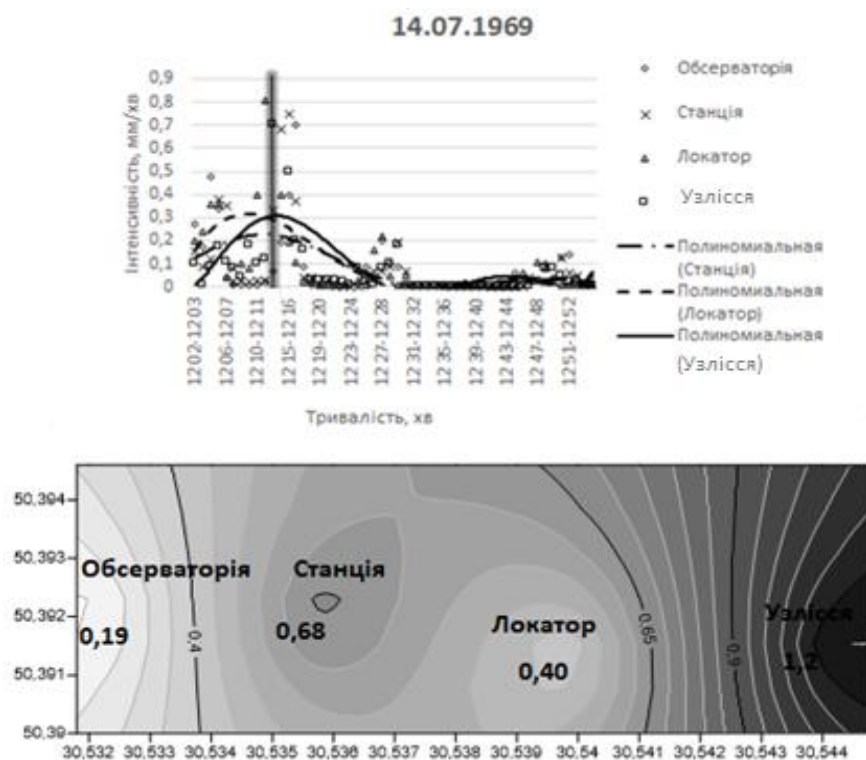


Рис. 4. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – облогові опади з включеннями зливи

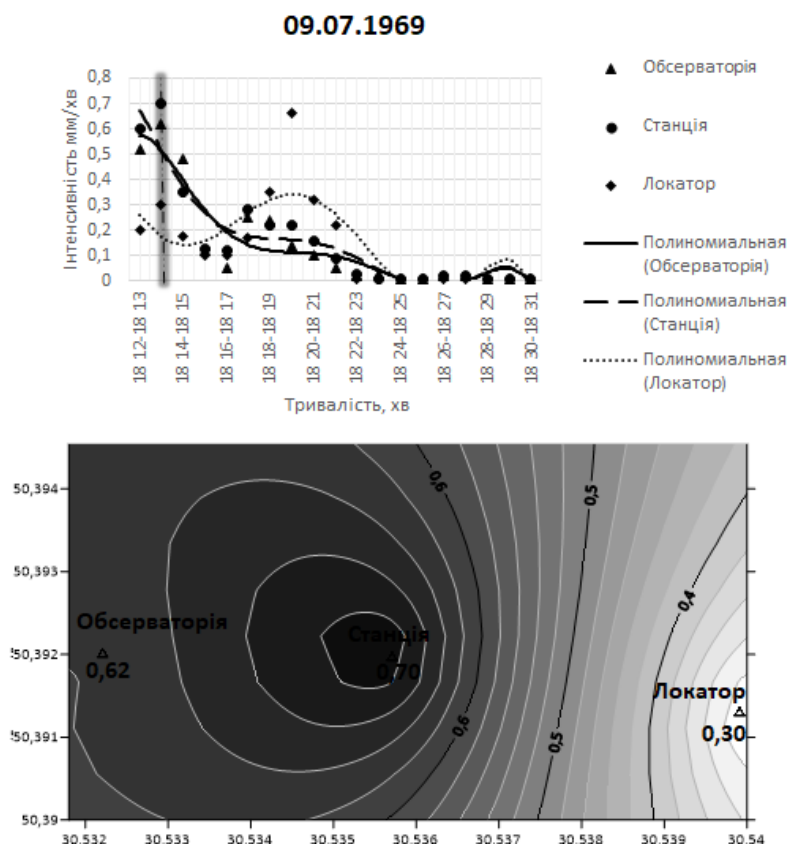


Рис. 5. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – зливові опади

На рис.5 виділяється низхідна гілка (півхвиля). Незважаючи на те, що максимальні значення інтенсивності для цього процесу нижчі, ніж середні для виділеного типу, саме раптовість початку дозволяє віднести опади до зливи. Існує друга хвиля підсилення інтенсивності тривалістю близько 10 хв, значення максимальної інтенсивності на двох з трьох точок спостережень зменшуються в цей час у 2-2,5 рази. Близько 96% загальної суми опадів (2,99 мм, точка «станція») сформувалися за перші 9 хв. Їх випадіння, загальна тривалість якого-19хв. Для незначних просторових розмірів ділянки вимірювань отримуємо відносно однорідний розподіл величини інтенсивності, хвиля підсилення має масштаби 250÷300 м, а найбільші просторові градієнти 0,1-0,14 мм/хв на 100 м.

На рис. 6 показано просторово-часовий розподіл інтенсивності для облогових опадів. Отримано порівняно малі значення величин ($I_{\max}=0,13$ мм/хв), при цьому спостерігаються коливання величини і виділяються періоди збільшення інтенсивності.

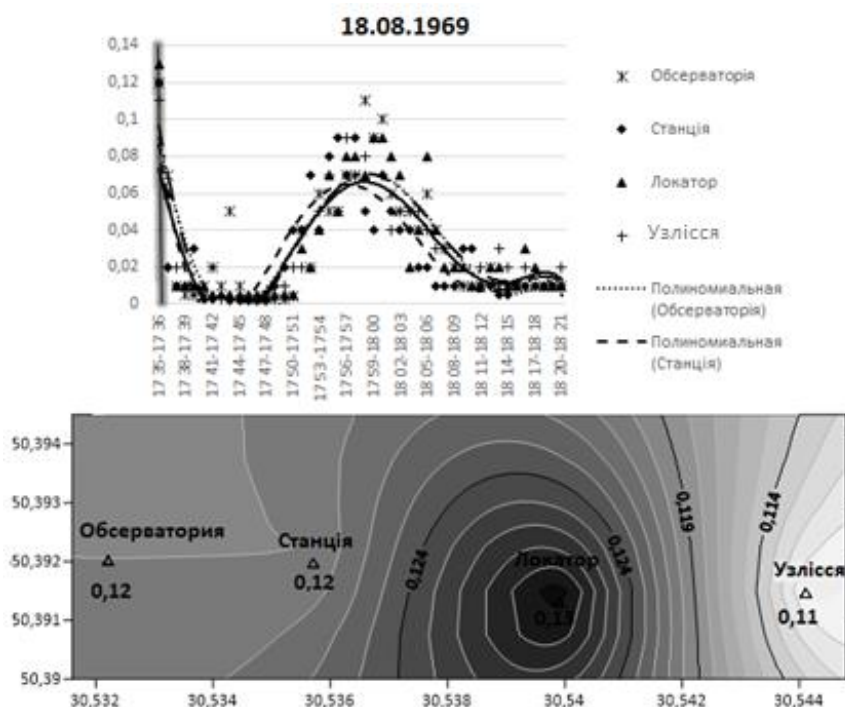


Рис. 6. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – облогові опади

В даному випадку відмічаємо існування декількох хвиль підсилення (17.33,17.59 на рис. 6) з близькими значеннями тривалості та амплітуди. У період з 17.47 до 18.14, коли спостереження зафіксували хвилю підсилення опадів, їх сума складала 0,88 мм, що становило 59,9% від загальної суми опадів за час. Максимальні просторові градієнти - 0,008 – 0,01мм/хв на 100 м. Наведені результати показують значну просторово-часову варіабельність інтенсивності опадів, залежність змін від особливостей формування опадів та підтверджують теоретичні положення про хвильову природу процесів опадоутворення, що притаманна кожному з визначених типів опадів.

Повторюваності значень інтенсивності опадів, осереднених за 10-хвилинні інтервали, для усіх масивів даних наведено в табл.1а.

Зазначимо, що максимальні значення інтенсивності для кожного типу опадів спостерігаються впродовж 1-5 хвилин, що підтверджує обернену залежності тривалості опадів від величини інтенсивності. Проведене осереднення величин

інтенсивності опадів (табл.1) зменшило максимальні значення, у порівнянні з отриманими для конкретних процесів їх випадіння. Величини інтенсивності при випадінні небезпечних та сильних опадів (табл.1а) знаходяться переважно в інтервалах $\leq 0,1-0,29$ мм/хв (75%) , 21% випадків у межах значень $0,3-1,0$ мм/хв, крім того, виділяється градація інтенсивності $>1,0$ мм/хв (4%). Незважаючи на те, що інтенсивності, які перевищують $>0,3$ мм/хв, мають повторюваність близько 25% у більшості випадків основна маса дощової води випадає під час утворення основних хвиль підсилення інтенсивності, що тривають незначний період часу у порівнянні з періодом випадіння опадів в цілому (табл.2).

Таблиця 1. Повторюваність (%) значень інтенсивності опадів, осередненої за 10-хв інтервали. Теплий період року

а) небезпечні та сильні опади – 2005-2017рр.

Градації інтенсивності, мм/хв	<0,1	0,1-0,29	0,3-0,49	0,5-1	>1
Кількість вимірювань	276	216	81	61	26
Повторюваність, %	42	33	12	9	4

б) науковий експеримент (1969р.)

Градації інтенсивності, мм/хв	<0,1	0,1-0,29	0,3-0,49	0,5-1	>1
Кількість вимірювань, (зливові опади)	23	18	10	2	4
Повторюваність, %	40,4	31,6	17,5	3,5	7,0
Кількість вимірювань(облогові опади)	192	1	-	-	-
Повторюваність, %	99,5	0,5	-	-	-
Кількість вимірювань(облогові опади з включеннями зливових)	155	33	4	-	-
Повторюваність, %	80,7	17,2	2,1	-	-

Таблиця 2. Характеристика випадіння опадів для різних типів процесів

Тип опадів	Середні та максимальні значення інтенсивності, мм/хв	Часова довжина хвилі, час, хв	Просторова довжина хвилі, м	Величина поверхневого стоку, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$
Злизові	1,22 (1,39)*	11,2 (32,6)*	50-300	$2 \cdot 10^{-2} (2,3 \cdot 10^{-2}) *$
Облогові	0,11	21,8	250-300	$2 \cdot 10^{-3}$
Облогові зі зливовими включеннями	0,49 (0,67)*	23,1 (40,8)*	80-200	$1 \cdot 10^{-2} (1,1 \cdot 10^{-2}) *$

Примітка. * – відповідні значення, окремо для випадків дуже сильних опадів сучасного періоду.

Узагальнені результати наукового експерименту показують, що максимальні величини інтенсивності для зливових опадів становлять $\geq 1,0$ мм/хв і спостерігаються у 7% випадків. Для облогових опадів зі зливовими включеннями найвищі значення знаходяться у діапазоні $0,3-0,49$ мм/хв, їх повторюваність становить 4%. При випадінні облогових опадів у 99% випадків вимірювань спостерігають інтенсивність менше, ніж $0,1$ мм/хв, а максимальні значення знаходяться у діапазоні $0,1-0,29$ мм/хв.

Як показано у табл. 2, для випадків облогових опадів осереднена максимальна інтенсивність становить $I_{\max} = 0,11$ мм/хв. При наявності затопленої конвекції середні максимальні значення зростають до $0,49$ мм/хв., відповідно для злив – $1,22$ мм/хв. Величини поверхневого стоку, що формуються при опадах різних типів істотно різняться між собою і теж являються своєрідною характеристикою, що підкреслює принципову різницю фізичної природи формування опадів різних типів. Так,

величина поверхневого стоку при зливових опадах більша за величину поверхневого стоку при облогових опадах з затопленою конвекцією в два рази, а величина поверхневого стоку при зливових опадах більше на порядок величини поверхневого стоку при облогових опадах.

Для небезпечних та сильних опадів теплого періоду року у минулі кліматичні періоди [6] отримано наступний розподіл інтенсивності: для 25% випадків величина інтенсивності знаходиться у діапазоні 0,06-0,10 мм/хв, для 70% випадків – 0,10-1,0 мм/хв і тільки для 3% випадків інтенсивність більшою 1,0 мм/хв. Відносно коректним може бути порівняння наведених вище даних та результатів, показаних у табл.1а, де виключені випадки облогових опадів. Так, у сучасний період, для 42% вимірювань значення інтенсивності $\leq 0,1$ мм/хв, для 54% – у діапазоні 0,1÷1,0 мм/хв і для 4% вимірювань – $\leq 1,0$ мм/хв. Тобто, у сучасний період спостерігають перерозподіл повторюваності інтенсивності в бік збільшення ймовірності опадів з нижчими значеннями величини. Безумовно, для остаточного висновку потрібні додаткові дослідження на більших масивах даних та з однаковими методичними підходами при оцінюванні для усіх кліматичних періодів.

Аналіз даних інтенсивності опадів для періоду 2005-2017рр та у науковому експерименті 1969 р. підтвердив існуючі теоретичні положення про те, що величину інтенсивності опадів, у широкому розумінні, визначають особливості та характер термодинамічних процесів у фронтальних хмарних системах, їх вологозапас, особливості фізичних процесів опадоутворення на атмосферних фронтах, які, в свою чергу, визначаються типом синоптичного процесу, траєкторією переміщення циклону, стадією його розвитку, регіоном формування.

Повторюваність інтенсивності опадів у межах визначених інтервалів значень (табл.1а) дає змогу розрахувати та представити емпіричну та теоретичну інтегральні криві розподілу досліджуваної величини. Отриманий результат можна використати для попереднього прогнозування, а саме, визначення ймовірності настання інтенсивності опадів вище заданого порогового значення. На рис. 7 показані інтегральні криві, що побудовані з використанням значень інтенсивності при випаданні небезпечних та сильних опадів у 2005-2017рр. за різних методичних підходів у їх розрахунках. Для визначення координат точок емпіричної інтегральної кривої використовувалося співвідношення:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (1)$$

де P_m – забезпеченість у (%), n – кількість випадків вимірювань величини, m – порядковий номер членів статистичного ряду.

Оцінити ступінь достовірності отриманої емпіричної кривої можливо шляхом її порівняння з теоретичною кривою забезпеченості, яка розраховується з використанням таких статистичних параметрів як середні значення інтенсивності ($\bar{x}$), коефіцієнту варіації C_v , та коефіцієнту асиметрії. Названі показники розраховувалися на основі даних спостережень за досліджуваний період з використанням стандартних результатів їх обробки та нижче наведених співвідношень:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{x_i}{\bar{x}} - 1)^2}{n-1}} = 0,58 \quad (2)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{nC_v^3} = 1,19, \quad (3)$$

де $k = \frac{x_i}{\bar{x}}$.

Побудова теоретичної кривої забезпеченості дозволила оцінити достовірність

емпіричної кривої та з більшою точністю встановити ймовірність настання прогнозованих величин інтенсивності опадів. Представлені на рис.7 криві забезпеченості показують задовільну співставність, що забезпечує достатній рівень точності для визначення ймовірності будь-яких значень середньої інтенсивності опадів. Повторюваність (P) того чи іншого значення інтенсивності можна розрахувати за формулами:

$$\text{при } P \leq 50\% \quad N = \frac{100}{P}, \quad (4)$$

$$\text{при } P \geq 50\% \quad N = \frac{100}{100-P}, \quad (5)$$

де N- кількість випадків.

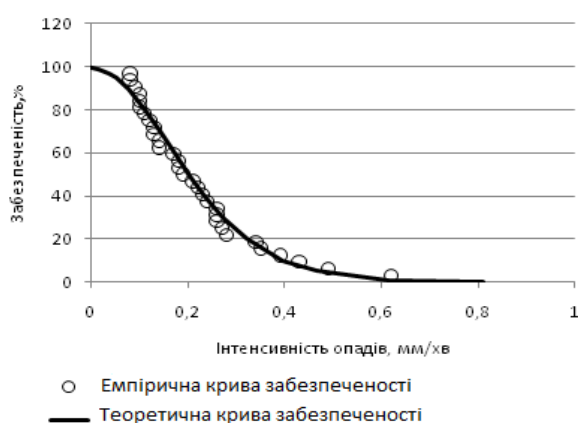


Рис. 7. Інтегральна крива забезпеченості для значень інтенсивності небезпечних та дуже сильних опадів, мм/хв

На основі представлених розподілів проведено оцінювання ймовірності настання величин інтенсивності опадів при різних рівнях забезпеченості. Результати показали, що при випаданні небезпечних та дуже сильних опадів 100%-у забезпеченість матимуть інтенсивності в інтервалі < 0,1 мм/хв, опади інтенсивністю 0,1 мм/хв мають забезпеченість 55%, далі зі збільшенням інтенсивності забезпеченість різко падає. Так, інтенсивність 0,3 мм/хв має забезпеченість 30%, 0,5 мм/хв – близько 20%, 1,0 мм/хв. – 5% випадків.

Висновки. Проведене дослідження небезпечних та дуже сильних опадів у теплий період року на рівнинній території України показало, що вони формуються за умови виникнення блокуючих циркуляційних процесів у регіоні і безпосередньо пов'язані з фронтальними хмарними системами циклонів. Часовий розподіл значень інтенсивності опадів у теплий період, в тому числі. небезпечних та дуже сильних, має хвильову структуру, що є підтвердженням теоретичних висновків про особливості процесів хмаро- та опадоутворення. Тривалість (довжина) хвилі підсилення опадів та її амплітуда (значення $I_{\max}$) залежать від макросиноптичних процесів та фізичних процесів хмаро- і опадоутворення. Виділяються зливові опади, для яких середні максимальні інтенсивності становлять 1,22–1,39 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 11,2 до 32,6 хв, облогові – з середньою максимальною інтенсивністю 0,11 мм/хв, тривалість хвиль підсилення – 20,8 хв; облогові зі зливовими включеннями, коли середні максимальні інтенсивності змінюються від 0,49 до 0,69 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 21,1 до 40,8 хв. Основна маса води, що формує поверхневий стік утворюється переважно під час хвиль підсилення інтенсивності опадів, за цей час може утворитися від 60 до 90% поверхневого стоку. Аналіз динаміки значень інтенсивності опадів для періоду 2005-2017 рр., порівняння з відповідними величинами, отриманими в науковому експерименті 1969р та даними, наведеними у наукових джерелах для минулих кліматичних періодів, показує, що величини максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди

спостережень співпадають. Очевидно, що існує зональна «верхня межа» інтенсивності процесів опадоутворення та запасів вологи у хмарах, що забезпечує відносну сталість інтенсивності опадів у часі. У випадку формування небезпечних та сильних опадів сучасного періоду відмічаємо збільшення довжини (тривалість періодів) хвиль підсилення опадів та кількості таких хвиль, що очевидно приводитиме до збільшення сум опадів, які випадають протягом окремого процесу. Отримані залежності потребують додаткового вивчення на більших масивах даних як сучасних, так і минулих кліматичних періодів із застосуванням однотипних методів аналізу.

Список літератури

1. Алибегова Ж.Д. Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Л. Гидрометеиздат, 1985. 228 с.
2. Балабух В.О. Траектории циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. Вип. 253. с. 37-49.
3. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів та сильних злив в Україні. Наукові праці УкрНДГМІ, 2008. Вип. 257. с. 61-72.
4. Гладуш Н.В., Корниенко Е.Е., Ченакал Ж.И. О структуре поля интенсивности летних осадков. Труды УкрНИГМИ, 1976, вып. 146. С. 79 - 90.
5. Заболоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М. Небезпечно сильні опади в Україні та можливі причини їх утворення. Наукові праці УкрНДГМІ, 2006. Вип. 255. С. 25-40.
6. Климат Украины/ под редакцией Г.Ф. Прихотько, А.В.Ткаченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 с.
7. Корниенко Е.Е. О динамике выпадения ливневых осадков. Труды УкрНИГМИ, 1971. Вып. 101. с. 84-91.
8. Курейко И.А. О разделении ливневых и обложных осадков. Труды УкрНИГМИ, 1978. Вып. 161. С. 97-102.
9. Кульбіда М., Бабіченко В., Ніколаєва Н., Гущина Л. Особливості просторово-часового розподілу дуже сильного дощу в Україні за останнє двадцятиріччя // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Т. III. К.: Обрії, 2004. С. 138-140.
10. Логвинов К.Т., Бабіченко В.Н., Кулаковская М.Ю. Опасные явления погоды на Украине. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 236 с.
11. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. К.: Держ. гідрометеорологічна служба, 2003. 30 с.
12. Паламарчук Л.В., Пирнач А.М. Исследование внутренней структуры фронтальных зон при помощи трехмерных полуэмпирических моделей. Труды УкрНИГМИ, 1992. Вып. 243. С. 107-124.
13. Паламарчук Л.В., Краковська С.В., Пирнач Г.М., Шпиг В.М. Чисельне дослідження бароклінної та гідродинамічної нестійкості на різних стадіях розвитку фронтальних хмар. Наукові праці УкрНДГМІ, 2006, Вип. 255. С. 69-79.
14. Паламарчук Л.В., Сокур К.С. Синоптичні умови формування сильних опадів у теплий період року. Збірник матеріалів Міжнар. наук. практик. конференції «Географія в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка: 85 років – досягнення та перспективи», м. Київ, 30-31 березня 2018 р. К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2018. С. 259-262.
15. Проведення просторового аналізу тенденцій зміни частоти і інтенсивності гідрометеорологічних явищ на території України внаслідок зміни клімату. УкрГМІ. 2013. URL: [//uhmi.org.ua/prject/rvndr/climate.pdf](http://uhmi.org.ua/prject/rvndr/climate.pdf)
16. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5, РД 52.04.320-91. Спб: Гидрометеиздат. 1993. 356 с.
17. Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005pp.). К.: Ніка-Центр, 2006. 311 с.
18. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 454 с.
19. Brandes, E.A. Optimizing rainfall estimates with aid of radar. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №7. P. 1339-1345.
20. Cotton W. R. Modification of Precipitation from Warm Clouds. Bulletin American Meteorological Society, 1982. Vol. 63 №2. P. 146-160.
21. Rudolph J.V., Friedrich K. Dynamic and Thermodynamic Predictors of Vertical Structure in Radar-Observed Regional Precipitation. J. Climate, 2014. Vol 27. P. 2143-2158.
22. Willems P., Arnbjerg-Nielsen K., Olsson J., Nguyene V.T.V. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. Atmospheric Research, 2012. Vol 103. P. 106-118.
23. Woodley W.L., Olsen A.R., Herndon A., Winggent V. Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №5. P. 909-928.

References

1. *Alibegova Zh.D.* Prostranstvenno-vremennaja struktura polej zhidkih osadkov. L.:Gidrometeoizdat, 1985. 228 s. 2. *Balabukh V.* Traiektorii tsykloniv, scho zumorovluiuť nebezpechnu i stykhiynu kil'kist' opadiv v Ukraini u teplyj period roku. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2004. Vyp.253, S.37-49. 3. *Balabukh V.* Minlyvist' duzhe syl'nykh doschiv ta syl'nykh zlyv v Ukraini. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2008. Vyp.257. s.61-72. 4. *Gladush N.V., Kornienko E.E., Chenakal Zh.I.* O strukture polja intensivnosti letnih osadkov. Trudy UkrNIGMI,1976. Vyp. 146. S.79-90. 5. *Zabolots'ka T.M., Pidhurs'ka V.M., Shpytal' T.M.* Nebezpechno syl'ni opady v Ukraini ta mozhlyvi prychny ikh utvorennia. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2006. Vyp.255. S. 25-40. 6. *Klimat Ukrainy/ pod redakciej G.F. Prihot'ko, A.V.Tkachenko.* L.: Gidrometeoizdat,1967. 413 s. 7. *Kornienko E.E.* O dinamike vypadenija livnevnyh osadkov. Trudy UkrNIGMI, 1971. Vyp.101. S.84-91. 8. *Kurejko I.A.* O razdelenii livnevnyh i oblozhnyh osadkov. Trudy UkrNIGMI, 1978. Vyp.161. S. 97-102. 9. *Kul'bida M., Babichenko V., Nikolaieva N., Huschyna L.* Osoblyvosti prostorovo-chasovoho rozpodilu duzhe syl'noho doschu v Ukraini za ostannie dvadtsiatyrichchia// Ukraina: heohrafichni problemy staloho rozvytku. T.III. K.: Obrii, 2004. S.138-140. 10. *Logvinov K. T., Babichenko V.N., Kulakovskaja M.Ju.* Opasnye javlenija pogody na Ukraine.L.: Gidrometeoizdat,1972. 236 s. 11. *Nastanova po sluzhbi prohnoziv ta poperedzhen' pro nebezpechni ta stykhiyni iavyscha pohody.* K.: Derzh. hidrometeorologichna sluzhba, 2003. 30 s. 12. *Palamarchuk L.V., Pirnach A.M.* Issledovanie vnutrennej struktury frontal'nyh zon pri pomoshhi trehmernyh polujempiricheskikh modelej. Trudy UkrNIGMI, 1992. Vyp. 243. S.107-124. 13. *Palamarchuk L.V., Krakovs'ka S.V., Pirnach H.M., Shpyh V.M.* Chysel'ne doslidzhennia baroklynnoi ta hidrodynamichnoi nestijkosti na riznykh stadiakh rozvytku frontal'nykh khmar. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2006. Vyp. 255, S. 69-79. 14. *Palamarchuk L.V., Sokur K.S.* Synoptychni umovy formuvannia syl'nykh opadiv u teplyj period roku. Zbirnyk materialiv Mizhnar. nauk. praktyk. konferentsii «Heohrafiia v Kyivs'komu natsional'nomu universyteti imeni Tarasa Shevchenka: 85 rokiv – dosiahnennia ta perspektyvy», m. Kyiv, 30-31 bereznia 2018 r. K. :Kyivs'kyj natsional'nyj universytet imeni Tarasa Shevchenka, 2018. S.259-262. 15. *Provedennia prostorovoho analizu tendentsij zminy chastoty i intensyvnosti hidrometeorologichnykh iavysch na terytorii Ukrainy vnaslidok zminy klimatu.* UkrHMI. 2013. URL://uhmi.org.ua/prjct/rvndr/climate.pdf. 16. *Rukovodstvo po proizvodstvu nabljudenij i primeneniju informacii s neavtomatizirovannyh radiolokatorov MRL-1, MRL-2, MRL-5, RD 52.04.320-91-Spb:* Gidrometeoizdat, 1993. 356 s. 17. *Stykhiyni meteorologichni iavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005rr.).* K.:Nika-Tsentr, 2006. 311s. 18. *S.P.Khomov, L.I.Mamontova* Meteorologicheskij slovar. L.: Gidrometeoizdat,1972, 454 s.. 19. *Brandes,E.A.* Optimizing rainfall estimates with aid of radar. Journal of Applied Meteorology,1975, Vol. 14. №7, 1339-1345. 20. *Cotton W. R.* Modification of Precipitation from Warm Clouds. Bulletin American Meteorological Society, 1982. Vol. 63. №2. P. 146-160. 21. *Rudolph J.V., Friedrich K.* Dynamic and Thermodynamic Predictors of Vertical Structure in Radar-Observed Regional Precipitation. J. Climate,2014, Vol 27. P. 2143-2158. 22. *Willems P., Arnbjerg-Nielsen K., Olsson J., Nguyene V.T.V.* Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. Atmospheric Research, 2012. Vol 103. P. 106-118. 23. *Woodley W.L., Olsen A.R., Herndon A., Winggent V.* Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №5. P. 909-928.

Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України

Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заблоцька Т.М.

В роботі розглянуто структуру часових змін інтенсивності опадів та просторовий розподіл величини для окремих процесів випадіння небезпечних та сильних опадів теплового періоду року. Аналіз виконувався на основі даних спостережень гідрометеорологічної мережі за період 2005-2017рр та результатів, отриманих в ході спеціального наукового експерименту (м. Київ, Багринова гора, теплий період 1969 року). Встановлено 123 випадки опадів такого типу, складена характеристика їх просторового поширення, сезонного та добового ходу. Для окремих процесів, на основі плювіометричних спостережень, визначалися максимальні інтенсивності опадів, час їх настання, наявність та кількість періодів (хвиль) підсилення опадів та їх часові і просторові параметри. Розраховувалася маса дощової води, що надходить на одиничну площу поверхні та інтенсивність опадів за об'ємом води для моментів максимальних значень або хвиль

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

підсилення опадів. Аналіз просторових і часових флуктуацій значень інтенсивності в межах окремих процесів дозволив виокремити три типи опадів теплої пори року: зливові (максимальні інтенсивності ≥ 1 мм/хв., частіше спостерігаються на початку процесу; наявність однієї/двох хвиль підсилення опадів з різними амплітудами; облогові – максимальні інтенсивності $\approx 0,1$ мм/хв., існує кілька (3-5) хвиль підсилення опадів з незначними, але однаковими амплітудами, а також «мікс» облогових і зливових опадів за умови їх формування у фронтальних шаруватих хмарах з «затопленою» конвекцією, тоді максимальні інтенсивності ≤ 1 мм/хв., існує кілька хвиль підсилення різної амплітуди. Порівняння характеристик випадіння опадів в умовах сучасного кліматичного періоду та за минулі періоди показало, що величини максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди спостережень практично співпадають. Очевидно, існує зональна «верхня межа інтенсивності процесів опадоутворення та вологозапасу хмар, що забезпечує сталість у часі характеристик опадів у межах відповідної широтної зони. Для остаточного підтвердження такого висновку необхідні додаткові дослідження на більш широкій базі даних.

Ключові слова: небезпечні та сильні опади; максимальна інтенсивність; хвилі підсилення; інтенсивність опадів за об'ємом води; типи опадів; повторюваність значень інтенсивності.

Динамика интенсивности осадков и мезоструктурные особенности их полей в теплый период года на равнинной части территории Украины

Паламарчук Л.В., Сокур Е.С., Заблоцкая Т.Н.

В работе рассмотрено структуру временных изменений интенсивности осадков и пространственное распределение характеристики для отдельных процессов выпадения опасных и сильных осадков теплой поры года. Анализ проводился с использованием данных наблюдений гидрометеорологической сети за период 2005-2017 гг. и результатов, полученных в специальном научном эксперименте (г. Киев, Багринова гора, теплый период 1969 года). Выявлено 123 случая осадков такого типа, составлены характеристики их пространственного распределения, годового и суточного хода. Для отдельных процессов на основании pluviометрических наблюдений устанавливались максимальные интенсивности осадков, время их наблюдения, наличие и количество периодов (волн) усиления осадков, а также их часовые и пространственные параметры. Рассчитывались масса дождевой воды, которая выпадает на единичную площадь поверхности, а также интенсивность осадков по объему воды для моментов максимальных значений или волн усиления осадков. Анализ пространственных и временных флуктуаций значений интенсивностей в пределах отдельных процессов позволил выделить три типа осадков теплой поры года: ливневые с максимальными интенсивностями $\geq 1,0$ мм/мин, которые наблюдаются в начале выпадения, существование одной(двух) волн усиления осадков с разными амплитудами; обложные осадки с максимальными интенсивностями $\approx 0,1$ мм/мин, существует несколько волн (3-5) усиления осадков с незначительными и равными амплитудами, а также «микс» обложных и ливневых осадков при условии их образования во фронтальных слоистообразных облаках с «затопленной» конвекцией, тогда максимальные интенсивности $\leq 1,0$ мм/мин, существует несколько волн усиления с разной амплитудой. Сравнение характеристик выпадения осадков в условиях современного климата и прошлых периодов показало, что величины максимальных значений интенсивности совпадают. Очевидно существует верхний зональный «предел» интенсивности процессов осадкообразования и влагозапаса облаков, который обеспечивает относительную стабильность во времени основных характеристик осадков. Для окончательного подтверждения таких выводов необходимы дополнительные исследования на более обширной базе данных.

Ключевые слова: опасные и сильные осадки; максимальная интенсивность; волны усиления; интенсивность осадков по объему воды; типы осадков; повторяемость значений интенсивности.

Dynamics of rainfall intensity and mesostructural characteristics of their fields in the warm period of the year in the plain part of Ukraine

Palamarchuk L., Sokur K., Zabolotska T.

The research deals with the structure of temporal changes in rainfall intensity and the spatial distribution of magnitude within separate processes of fallout of dangerous and heavy rainfalls in the warm season. The analysis based on the data from the Ukrainian hydrometeorological observation network (2005-2017) and the data obtained during a special scientific experiment (Kyiv, Bagrynova Mt., warm period 1969). It has been determined 97 cases of such rainfalls, the characteristics of their spatial distribution, seasonal and daily variations. For individual processes, on the basis of pluviometric measurements there were determined the maximum rainfall intensities, the time of their occurrence, the presence and the number of waves (periods) of rainfall amplification and their temporal and spatial parameters. The mass of

rainwater per unit area and the volumetric intensity were calculated for moments of maximum intensity or amplification waves. The analysis of spatial and temporal fluctuations of intensity values within a separate process allowed to distinguish three types of rainfall during the warm period of the year: heavy precipitations (maximum intensities greater than 1 mm/min., such intensities more often observed at the beginning of the process; it notes the presence of one/two waves of amplification of rainfall with different amplitudes), slight precipitations (maximum intensities are approximately equal to 0.1 mm/min, several (3-5) waves of amplification of rainfall with small but equal amplitudes), and a "mix" of heavy and slight precipitations during the development of frontal stratus with so-called "flooded" convection (maximum intensities less than 1 mm / min; there are several waves of amplification of different amplitude). Conditions for the formation of heavy precipitations of the last type are the combination of mechanisms of thermal and dynamic convection, which is manifested in the enhancement of vertical lifting of air masses due to the blocking processes. It was made a comparison of the intensity and nature of precipitation in the current climatic period and in previous periods. It was found that the values of the maximum intensity for the same type of precipitation during the different observation periods practically coincide. Obviously, there is a zone of "upper limit" of the intensity of the processes of precipitation and moisture storage of clouds, which ensures the constant intensity of rainfall over time. There is some increase in number and length of waves of rainfall amplification, as well as an increase in the frequency of rainfalls with "flooded" convection. The research shows the recurrence of rainfall intensity for certain types within certain gradations of their values. On this basis an integral providing curve is created, which makes it possible to estimate the probability or recurrence of given precipitation intensity values at different levels of providing.

Keywords: dangerous and heavy rainfalls, maximum intensity, amplification waves, volumetric intensity, types of rainfalls, recurrence of intensity values.

Надійшла до редколегії 28.08.2019

УДК 551.570.04

Дячук В.А., Баштаннік М.П., Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Надточій Л.М.
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЄВІ ТА НАПРЯМКИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря, викиди, концентрації, забруднюючі речовини, якість повітря, система спостережень.

Вступ. Моніторинг забруднення атмосферного повітря великого промислового міста має свої особливості, які пов'язані зі складністю механізму взаємодії сукупності забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу від різних джерел викидів (промислові підприємства, автотранспорт тощо) та енергетикою граничного шару атмосфери, яка призводить до розсіювання домішок [10-13,16]. Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря в Києві є складовою частиною багаторівневої системи управління якістю повітря, спрямованої на забезпечення її відповідно до національних стандартів щодо умов проживання населення й стану природного середовища. Основною складовою інформаційного забезпечення є дані приземних концентрацій пріоритетних забруднюючих домішок достатнього просторово-часового розподілу, які отримано шляхом вимірювань або розрахунків у приземному шарі повітря. Під час організації моніторингу враховується кількість населення, розміщення основних джерел викидів, перелік пріоритетних речовин та деякі кліматичні характеристики їх розсіювання. Діюча на сьогодні Державна система моніторингу забруднення атмосферного повітря потребує свого удосконалення (згідно з [7] кожні три роки).

Вихідні дані та методика дослідження. Для вирішення питання удосконалення системи моніторингу забруднення атмосферного повітря сумісно аналізували матеріали інвентаризації джерел викидів, просторовий розподіл концентрацій ЗР протягом 2000-2016 рр., характеристики потенціалу забруднення

атмосфери, демографічні особливості міста, репрезентативність розташування стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря (ПСЗА).

В основу роботи покладено архівні дані метеорологічні, радіозондування станції Київ, приземні концентрації ЗР на стаціонарних постах, а також звіти Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО) про стан забруднення атмосферного повітря, матеріали Державної служби статистики України та Міністерства екології та природних ресурсів України.

Виклад основного матеріалу. Моніторинг у Києві здійснюється на 16 стаціонарних постах (рис.1), що дозволяє отримувати разові, середньомісячні та річні концентрації забруднюючих домішок.

Основним документом, яким ЦГО керувалось у процесі формування моніторингу повітря і якого продовжує дотримуватись, забезпечуючи функціонування системи спостережень, є «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» РД 52.04.189-9, підготовлене в 1979 р. та доповнене й перевидане в 1989 р.

Більшість пунктів спостережень мережі ЦГО (дев'ять) у Києві належать до категорії «автотранспортних», оскільки розташовані біля великих автомагістралей або на місцевості зі значним впливом пересувних джерел; чотири пункти – промислові і три - «фонові» (один із них організовано на березі Дніпра, де переважає долинна мікрокліматична циркуляція атмосфери).

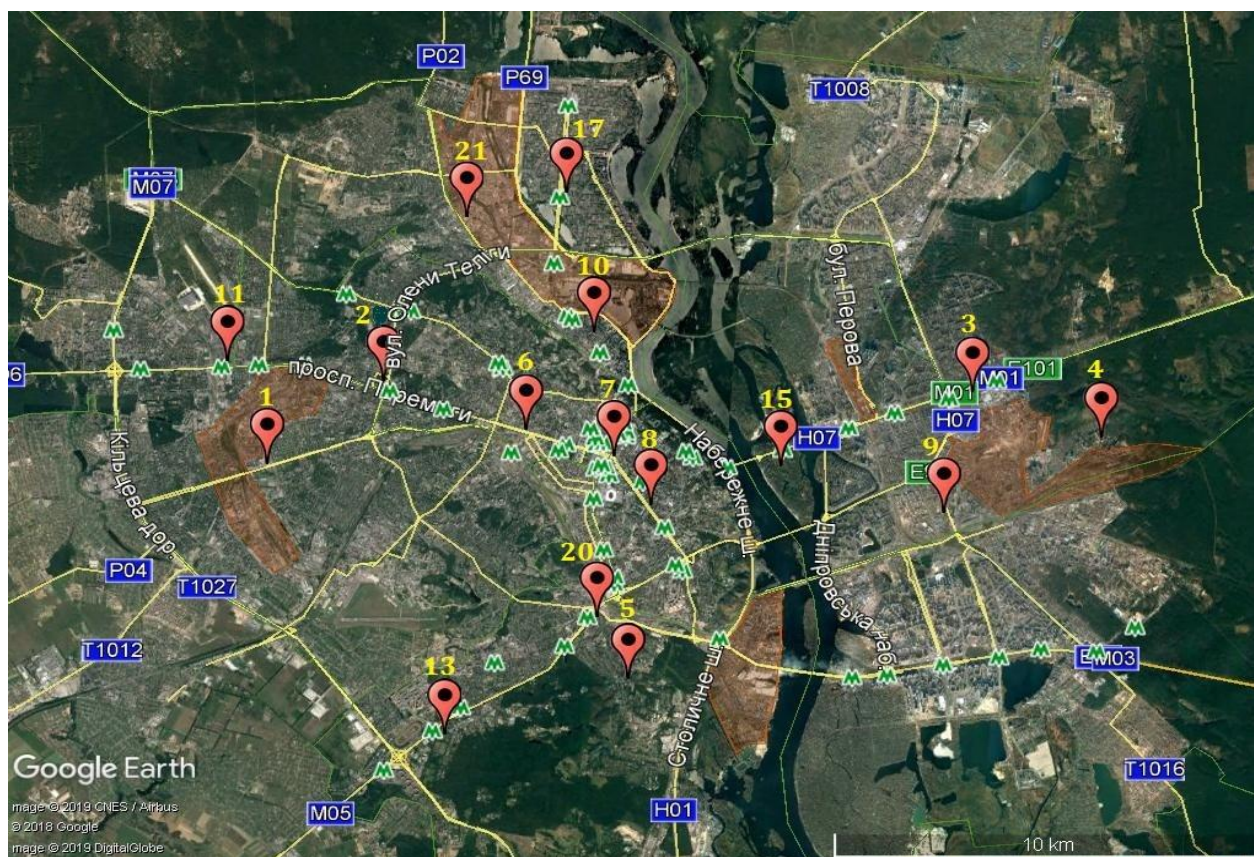


Рис. 1. Розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря

Пункти спостережень на території адміністративних районів розташовано нерівномірно: шість із них не репрезентативні щодо основної селітебної зони (табл.1).

Таблиця 1. Кількість пунктів спостережень в адміністративних районах Києва

Район	Кількість пунктів	Розташування пунктів
Голосіївський	3	У північній частині району, в межах селітебної зони
Дарницький	-	Пункт спостережень відсутній
Деснянський	1	Спостереженнями район майже не охоплено. Пункт на межі з Дніпровським районом
Дніпровський	3	Пункти рівномірно розташовуються по території району
Оболонський	2	Один пункт у центрі району; інший на межі з Подільським районом
Печерський	2	Один пункт у південній частині, інший на межі з Шевченківським районом
Подільський	1	У крайній південно-східній частині району
Святошинський	1	Район спостереженнями практично не охоплено, один пункт на межі з Шевченківським районом
Солом'янський	2	Пункти розташовано на північному заході району. Один з пунктів на межі з Шевченківським районом
Шевченківський	1	Район спостереженнями не охоплено. Єдиний пункт на крайньому півдні на межі з Солом'янським районом

Багаторічний досвід використання результатів моніторингу повітря підтвердив, що в Києві реалізовано ефективний свого часу метод захисту атмосферного повітря, який базується на «управлінні» джерелами викидів («управління трубою» за термінологією ВООЗ [5]) з метою контролю дотримання гігієнічних нормативів. Інформаційне забезпечення даними приземних концентрацій забруднюючих речовин дозволило регулярно відслідковувати довготривалі ситуації погіршення якості повітря, розробляти та впроваджувати заходи з її покращення.

Актуальність оптимізації системи спостережень у місті зумовлено необхідністю подолання недоліків її функціонування, які накопичились за роки існування системи, та отримання детальніших даних про забруднення атмосферного повітря для вирішення нових завдань, як того вимагають національні нормативи та Директиви ЄС [7,14,15].

До основних недоліків системи моніторингу повітря можна віднести такі:

- дискретний метод спостережень зі значними інтервалами між вимірюваннями не гарантує надійної реєстрації найбільших концентрацій речовин, у результаті чого зменшується точність і забезпеченість статистичних характеристик рядів спостережень та знижується оцінка максимумів і квантилів високого порядку;
- застаріла технологія збору даних (на поглиначі) виключає можливість оперативного використання інформації для невідкладного реагування у випадках різкого погіршення якості повітря;
- пункти розміщено не репрезентативно щодо основної селітебної зони.

Серед першочергових завдань, вирішення яких вимагає якісно нового інформаційного забезпечення, є надання детальних і повних даних про концентрації речовин у зонах перебування людей для достовірного виявлення зв'язків погіршення здоров'я населення із впливом забрудненого атмосферного повітря, визначення його експозиції, установлення ризиків і прогнозування наслідків. Об'єктом моніторингу за новою методологією визначається не джерело викидів (труба), як це зберігається в Україні, а ступінь впливу забрудненого повітря на людину.

Якщо в разі першого підходу [7] захист населення досягається регулюванням викидів, то при другому [14,15] рекомендується зменшувати експозицію людини на забруднених територіях. Для розрахунку експозиції необхідні детальні дані про

концентрації речовин достатньої розподільної здатності в просторі й часі та інформація про щільність розподілу населення, його міграцію. В кожному масиві, де щільно проживає або перебуває значна кількість людей, повинні вестись репрезентативні спостереження за вмістом забруднюючих речовин. Оскільки їх вплив на здоров'я людей може проявлятися «гостро» чи поступово, збір даних повинен здійснюватись із частотою, що гарантує виявлення шкідливого впливу на ранніх стадіях (концентрацій оксиду вуглецю кожні 10 хвилин і більше [5]). ВООЗ рекомендувала для країн Європи переглянуті й оновлені критерії якості повітря, розширені за рахунок кількісних співвідношень між експозицією окремих речовин і відповідною реакцією на них населення. Критерії вже впроваджено в країнах - членах ЄС і рекомендовано для інших країн, в тому числі і в Україні.

Оптимізацію державної системи моніторингу повітря в Києві з метою отримання надійної інформації як для вирішення традиційних завдань (контролю недопущення випадків перевищення ГДК окремих домішок), так і назрілих нових (виявлення впливу забруднення повітря на здоров'я людей), доцільно проводити, керуючись такими принципами:

- здійснювати удосконалення моніторингу повітря, поєднуючи рекомендації [7] та концепції Директив ЄС [1,8,14-15]. Крім того, підписання Угоди про асоціацію між Україною з одного боку та Європейським Союзом з іншого потребує впровадження європейських стандартів щодо якості атмосферного повітря[1].
- забезпечити збереження нині діючої системи моніторингу повітря як такої, що має на більшості пунктів довгі ряди спостережень, дозволяє відслідковувати динаміку забруднення повітря залежно від зміни об'ємів викидів, метеорологічних умов, розробляти прогноз стану атмосфери на найближчу перспективу і тренди концентрацій на більш віддалену;
- організувати відкриття нових пунктів тільки за обґрунтованою необхідністю таким чином, щоб кожен із них мав змістовне навантаження й відповідав завданням, для вирішення яких він організовувався згідно з типологією [5] (автотранспортний, промисловий, селітебний, фоновий).

Тільки оптимізована, добре спланована й відпрацьована система отримання даних забруднення атмосферного повітря з одночасним використанням матеріалів вимірювань та результатів розрахунків здатна забезпечувати вирішення поточних і перспективних завдань управління якістю повітря. Тому, в межах єдиного цілісного підходу сумісно проаналізовано матеріали інвентаризації джерел викидів, характеристики потенціалу забруднення атмосфери, дані вимірювань приземних концентрацій шкідливих речовин; демографічні особливості міста.

Структура розподілу середнього поля забруднення атмосферного повітря над територією міста обумовлена впливом усіх джерел викидів, їх характером розміщення, особливостями рельєфу, кліматичними умовами перенесення та розсіювання домішок.

Результати інвентаризації джерел викидів. Техногенні чинники є визначальними в забрудненні атмосферного повітря. Їх характеристики встановлюються в процесі детальної інвентаризації джерел викидів. Для всього міста середні концентрації шкідливих домішок за тривалий період (рік або декілька років) визначаються сумарною потужністю викидів промислових та пересувних джерел. Обсяги промислових викидів поступово зменшуються від 56,8 тис.т. у 1997 р. до 26,7 тис.т. у 2015 р. Найбільшу частку в забрудненні атмосферного повітря вносять підприємства енергетики (структури АК «Київенерго»– ТЕЦ-6, ТЕЦ-5, ЗАТ «ДАР Теплоцентраль», «Теплові мережі», завод «Енергія» та інші) викиди яких, наприклад, у 2009 р. становили більше ніж 85,4% від загальної кількості викидів стаціонарних джерел.

Забруднюючі речовини від енергетичних підприємств надходять в атмосферу із джерел висотою від 105 до 270 м. Серед інших забруднювачів повітря підприємства будматеріалів, нафтохімічної, хімічної, харчової, метало- і деревообробної промисловості тощо.

Щільність сумарних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в розрахунку на квадратний кілометр території міста значно перевищує середній по території України показник [2,6,9].

За даними [6] в місті Києві значно переважають обсяги викидів від пересувних джерел (переважно від автотранспортних засобів за умовами викидів, віднесених до типу низьких та холодних), (табл. 2).

Тенденція до збільшення забруднення атмосферного повітря від автотранспорту збережеться в результаті зростання кількості транспортних засобів. Також впливає ослаблення протягом останнього кліматичного періоду природного механізму самоочищення атмосфери. Сказане вище зумовлює необхідність розробки та впровадження захисних заходів щодо таких забруднюючих речовин, як оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів, фотохімічні перетворення яких сприяють утворенню вторинних речовин токсичніших, ніж первинні (приземного озону та інших). «Зони ризиків» з вузьких смуг біля доріг (50-100м) поступово переміщуються в селітебні зони, де зростає «загазованість» повітря, особливо вірогідна й небезпечна за стійких несприятливих умов у атмосфері (наявності смогу, задимлення тощо).

Таблиця 2 . Обсяги викидів стаціонарних (промислових) і пересувних джерел

Роки	Загальні обсяги викидів, тис. т.	Зокрема від:		Відношення викидів автотранспорту до загальних, %
		стаціонарних, тис. т.	пересувних, тис.т.	
2000	170,4	32,6	137,8	80,9
2001	173,9	27,8	146,1	84,0
2002	181,6	31,6	150	82,6
2003	199,2	31,6	167,6	84,1
2004	209,9	34,8	175,1	83,4
2005	220,5	33,6	186,9	84,8
2006	227,1	26,4	200,7	88,4
2007	230,5	26,5	204,0	88,5
2008	275,2	27,0	248,2	90,2
2009	277,9	43,0	234,9	84,5
2010	265,3	28,6	236,7	89,2
2011	254,5	33,3	221,2	86,9
2012	259,2	32,9	226,3	87,3
2013	247,7	31,9	215,8	87,1
2014	214,2	31,4	182,8	85,3
2015	171,0	26,7	144,3	84,4
2016*	-	34,3	-	-

Примітка: * у 2016 році розрахунки щодо обсягів викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел не проводились.

Основними речовинами, що забруднюють атмосферне повітря в місті, є завислі частки, діоксид та інші сполуки сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту, леткі органічні сполуки. Тонкодисперсні, нерідко високо електризовані аерозолі $\text{PM}_{2,5}$; PM_{10} (в атмосферу попадають після електростатичного очищення в конденсаторах на ТЕЦ, підприємстві «Енергія» тощо) відзначаються надзвичайно строкатою структурою приземних полів, що зумовлює необхідність автоматизованого збору даних у районах найбільшого їх вмісту.

Високотоксичні речовини (бенз(а)пірен, важкі метали) достатньо довго зберігаються в атмосфері й тому здатні переноситись на значні відстані від джерел викидів (їх моніторинг пов'язаний з фільтруванням великих об'ємів повітря і тому обмежений в періодичності відбору проб). У зв'язку з цим взяття проб необхідне не тільки в селітебних зонах, але і вздовж переважного переносу в райони фонових і приміських територій.

Зміна паливного балансу підприємств (насамперед енергетичних) у бік зростання частки вугілля й мазуту зумовлює погіршення якості повітря (особливо в зонах «кліматичних максимумів»), інтенсивність якого буде посилюватись із зменшенням частки чистішого палива (газу). Значні об'єми викидів від пересувних та стаціонарних джерел зумовили формування потужних атмосферних навантажень забруднюючих речовин, територіальний розподіл яких на ряду з антропогенним фактором формується під впливом метеорологічних умов.

Метеорологічні фактори, що впливають на рівень забруднення атмосферного повітря. Основними метеорологічними факторами розсіювання забруднюючих речовин є режим вітру й термічна стратифікація атмосфери. Аналіз цих факторів свідчить про їх значний вплив на формування режиму забруднення повітря, тому їх необхідно враховувати під час оптимізації системи моніторингу повітря. Вплив атмосферних процесів на забруднення повітря проявляється так, що велика ймовірність слабких вітрів 0-1 м/с сприяє накопиченню речовин від низьких і більшості неорганізованих джерел викидів та зумовлює значне погіршення якості повітря. Ситуація погіршується в разі поєднання приземних і низьких припіднятих інверсій та слабого вітру біля поверхні землі, т.з. «застоїв» повітря [4]. В умовах неефективного природного механізму самоочищення атмосфери (зі значною повторюваністю стійко-стратифікованої атмосфери і слабких вітрів) у разі оптимізації системи моніторингу повітря необхідно забезпечувати отримання повних достовірних даних, насамперед, у районах щільного проживання населення і густої сітки автомобільних доріг з інтенсивним рухом.

Накопичення домішок в атмосфері при інверсіях і слабких вітрах посилюється туманами. Рідкі краплини, які накопичують забруднюючі речовини із різних за висотою шарів хмар, погіршують якість повітря атмосфери [3,8].

«Очищувальна» роль опадів мінлива в часі у зв'язку зі значним коливанням їх річної та сезонної кількості [3,4].

Орографічні особливості території. Орографія території Києва надзвичайно складна поєднанням природного й міського ландшафтів. Наявність різноманітних орографічних структур (улоговин, височин, лісових масивів, широкої річки та переважно високих будинків), які порушують однорідність та рівномірність розповсюдження домішок, сприяє значній строкатості мікрокліматичних особливостей і різній інтенсивності забруднення повітря. Формування мережі спостережень у такій місцевості є одним зі складних завдань моніторингу атмосфери. Складність полягає у виборі місць розташування пунктів спостережень, які б одночасно репрезентативно характеризували не тільки умови локальних зон, але й забруднення повітря над цією територією загалом.

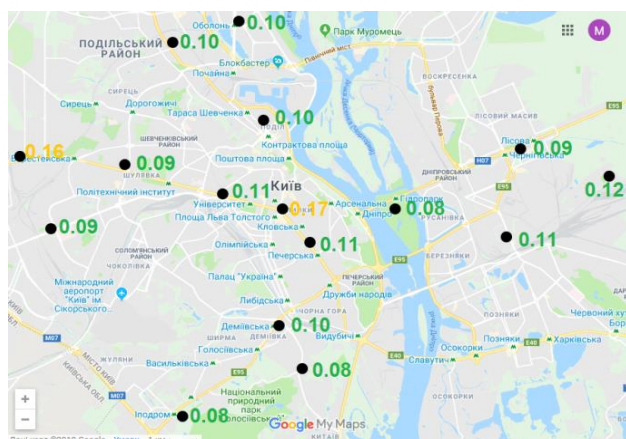
Урахування орографічних особливостей міста в процесі оптимізації системи моніторингу повітря спрямовано переважно на забезпечення достовірних даних, для чого в мікрокліматичних зонах пункти спостережень розміщуються на майданчиках, репрезентативних щодо типової форми рельєфу місцевості:

- на випуклих формах (горбах, височинах) – на характерних елементах орографії в тих місцях, де відсутні локальні значні перешкоди перенесенню домішок;
- у ввігнутих формах (ярах, улоговинах, різного типу заглибленнях) – у їх центрі, на майданчиках, параметри яких вибираються залежно від завдань;

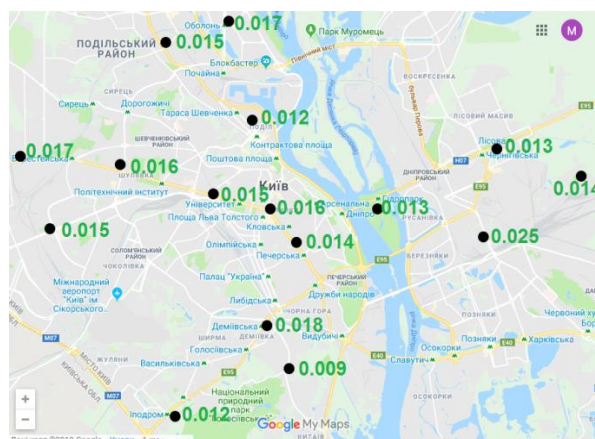
- у лісових масивах – на галявинах на відстані 5-10 – кратної середньої висоти дерев;
- серед будівель різної конфігурації – на відстані від будівель, величина якої залежить від їх параметрів, але не ближче 5-10 – кратної висоти будівель.

Для забезпечення репрезентативності даних на території зі складною орографією та аналізу забруднення повітря за допомогою осереднених характеристик спостереження повинні здійснюватись у пунктах, розміщених на певній відстані від перешкод. Величина відстані залежить від масштабу нерівностей і зумовлюється їх параметрами (крутизною схилів, їх довжиною й висотою, розмірами будівель тощо) [8].

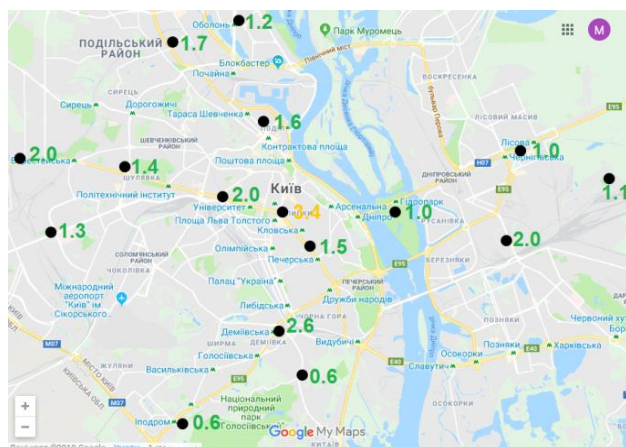
Результати просторово-часової мінливості концентрацій ЗР у повітрі міста. Основними чинниками в ході організації моніторингу атмосфери крім емісійних параметрів, метеорологічних та топографічних характеристик, демографічної ситуації, цілей і завдань є особливості просторової мінливості полів приземних концентрацій забруднюючих речовин. Інформацію про просторові мінливості концентрацій домішок отримували за результатами аналізу даних спостережень ЦГО ім. Бориса Срезневського (рис.2) і математичного моделювання розсіювання домішок.



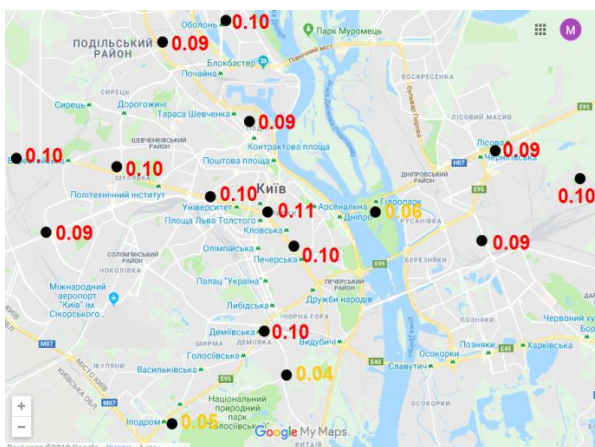
а



б



в



г

Рис. 2. Розподіл річних концентрацій (мг/м^3) основних домішок на території міста за період 2000-2016 рр. (а- завислі речовини, б- діоксид сірки, в- оксид вуглецю, г- діоксид азоту). Зелений колір - концентрації нижче ГДК_{с.д.}, жовтий – на рівні ГДК_{с.д.}, червоний - вище ГДК_{с.д.}

Найзабрудненіші зони відмічено в районах значних обсягів викидів промислових (Дніпровському, Голосіївському, Деснянському) та автотранспортних (Шевченківському, Печерському, Подільському, Солом'янському) районах. Сумісні викиди зумовлюють найбільші концентрації оксиду вуглецю на територіях, прилеглих до великих автомагістралей та їх перехрестях, де майже цілодобово порушується транспортний потік унаслідок заторів – Бессарабська, Деміївська (Московська), Дарницька, Харківська площі, площа Перемоги, вулиці Хрещатик, Гагаріна та ряд інших.

Значно менш забруднені-територія Національного комплексу «Експоцентр України», Гідропарк, лісова зона «Голосіївський ліс», Багринова Гора та ін.

Для деталізації просторової мінливості концентрацій домішок доцільно використовувати моделювання. Такі розрахунки, для визначення приземних концентрацій від викидів середніх і високих джерел, виконано за допомогою методики, розробленої на базі комбінованої дифузійної моделі IEM [8]. За середніми річними концентраціями з урахуванням викидів від основних енергетичних джерел (ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, станцій теплопостачання, «Укр-кан-ПАУЕР») побудовано з кроком $0,01^\circ$ поле середніх річних концентрацій основних забруднюючих речовин (CO , SO_2 , NO_x) повітря по кожній із домішок. Взаємне розташування забруднених територій і його інтенсивність зумовлена емісійними параметрами й кліматичними характеристиками розсіювання речовин. Розташування «зон ризиків» далі зіставлялось із житловими масивами щільного проживання (перебування) населення, дислокацією постів спостережень і полями забруднення повітря за даними спостережень на цих постах. Достовірність розрахованої структури загального міського поля забруднення повітря окремими речовинами підтверджено результатами аналізу даних спостережень.

Таким чином, згідно [8] у межах густонаселених районів Києва виділено декілька забруднених зон з «кліматичними максимумами» приземних концентрацій CO , SO_2 , NO_x та завислих речовин [8]:

- на Троєщині - Деснянський район (пости спостережень ЦГО відсутні);
- у Печерському районі (підтверджується пунктом спостережень ЦГО №8);
- на Оболоні (пункт 17 не репрезентативний ні щодо «кліматологічного» максимуму, ні щодо більшої частини території забрудненої зони);
- у Дарницькому районі - масиви Позняки, Осокорки (пунктів спостережень ЦГО немає),
- на межі Дніпровського й Дарницького районів (масиви ДВРЗ, Нова Дарниця) – підтверджується постами ЦГО №3 і №4.

У зв'язку з тим, що в розрахунках враховано характеристики тільки високих джерел ($\approx 70\%$ обсягів промислових викидів), розраховані значення концентрацій становлять нижню межу їх можливих величин [8].

Тривалі вимірювання концентрацій забруднюючих речовин на мережі ЦГО дозволили отримати дані, необхідні та достатні для:

- оцінки якості повітря в місті та виявлення випадків перевищення концентрацій речовин над діючими нормативами;
- аналізу динаміки змін інтенсивності забруднення повітря залежно від обсягів викидів і впровадження природоохоронних заходів (насамперед, закриття чи винесення найпотужніших забруднювачів повітря за межі Києва, спрямування транспортних автомобільних потоків у обхід міста, масовий перехід на екологічно безпечний вид палива – газ та інші);
- побудови полів приземних концентрацій речовин для виявлення «ризикових» зон найбільшого забруднення повітря, розробки захисних заходів у системі

управління його якістю, корегування Програми моніторингу й оптимізації мережі спостережень.

Отже, однотипність просторових структур полів забруднення повітря дає підстави використовувати результати моделювання для удосконалення і організації мережі спостережень на території міста.

При цьому вимірювані дані мають вищу достовірність у ході оцінки дійсних концентрацій, у зв'язку з чим вони першочергово необхідні як для інформаційного забезпечення системи управління якістю повітря, особливо в разі загрозливих ситуацій, так і для апроксимації робочих методик дифузійних розрахунків.

Висновки. Функціонуюча мережа спостережень ЦГО забезпечує даними про концентрації речовин у більшості селітебних зон, які необхідні для контролю якості атмосферного повітря і діагностики перевищення. Будівництво нових житлових масивів та забудова й збільшення кількості населення старих масивів, зумовлює необхідність удосконалення мережі спостережень, оскільки в більшості нових районів спостереження за якістю повітря не проводяться, а в старих – пункти спостережень виявились на окраїнах і втратили репрезентативність щодо всього масиву.

Сумісне використання результатів моделювання й спостережень дозволяє суттєво збільшити достовірність оцінки якості повітря та оптимізувати мережу з мінімально необхідною кількістю репрезентативних пунктів.

Проведення на сучасному рівні регулярних спостережень за якістю повітря у районах міста забезпечить інформацією, необхідною для виконання в повному обсязі наявної Програми моніторингу атмосферного повітря і нових завдань, рекомендованих Директивами ЄС.

Список літератури

1. Баштаннік М.П., Дворецька І.В., Онос Л.М., Савенець М.В. Основні засади виділення зон якості атмосферного повітря на території України та їх класифікація згідно з вимогами директив 2004/107/ЄС та 2008/50/ЄС. Наукові праці УкрНДГМІ, 2016. Вип. 269 С. 123-137. 2. Головне управління статистики в м. Києві. URL: <http://kiev.ukrstat.gov.ua/r.php3?c=1730&lang=1> 3. Кліматичний кадастр України. УкрНДГМІ та ЦГО. К., 2005. 4. Клімат Києва. За ред. Осадчого В.І., Косовця О.О., Бабіченко В.М, Київ «Ніка-центр», 2010. 319 с. 5. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, №85 Копенгаген. 2001. 293 с. 6. Регіональні доповіді про стан навколишнього середовища //Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <http://www.menr.gov.ua/dopovidi/regionalni/4756-rehionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnoho-prirodnoho-seredovyshcha-u-2014-rotsi>. 7. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.189-91, М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1991. 605 с. 8. Удосконалення системи моніторингу забруднення атмосферного повітря та розроблення методів його прогнозування. Звіт НДР (проміжний) УкрНДГМІ МНС України; керівник В.А. Дячук, відп. вик. М.П. Баштаннік. Київ, 2009. 60 с. 9. Клебанова Н.С., Клебанов Д.О. Вплив пересувних та стаціонарних джерел викидів забруднювальних речовин на якість атмосферного повітря в місті Києві в 2009-2010 роках. Наук. праці УкрНДГМІ, 2011. №260. С. 235-249. 10. Лосєва І.Д., Владимірова О.Г., Верлан В.А. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста: методи аналізу, прогнозу, регулювання. Монографія. Одеса: Екологія, 2010. 224 с. 11. Сніжко С.І., Шевченко О.Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ : Обрії, 2011. 297 с. 12. Andersson C., Langner J. Inter-annual variations of ozone and nitrogen dioxide over Europe during 1958–2003 simulated with a regional CTM. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 7, 2007. 15-23p. doi:10.1007/s11267-006-9088-4. 13. Baklanov A. et al. Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.181 p. 14. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union, L 23/3. 15. Directive ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, L 152/1. **16.** Hou, P., Wu S. Long-term Changes in Extreme Air Pollution Meteorology and the Implications for Air Quality. Sci. Rep. 6, 23792; doi: 10.1038/srep23792

References

1. Bashtannik M.P., Dvoret's'ka I.V., Onos L.M., Savenets' M.V. Osnovni zasady vydilennia zon iakosti atmosferного povitria na terytorii Ukrainy ta ikh klasyfikatsiia zghidno z vymohamy Dyrektyv 2004/107 ta 2008/50. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2016. Vyp. 269. S. 123–137. **2.** Holovne upravlinnia statystyky v m. Kyievi. URL: <http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=1730&lang=1> **3.** Klimatychnyj kadastr Ukrainy. UkrNDHMI ta TSHO. K., 2005. **4.** Klimat Kyieva. Za red. Osadchoho V.I., Kosovtsia O.O., Babichenko V.M., Kyiv, «Nika-tsentr» 2010. 319s. **5.** Monitoring kachestva atmosferного vozduha dlja ocenki vozdeystviya na zdorov'e cheloveka. Regional'nye publikacii VOZ, Evropejskaja serija, №85 Kopengagen, 2001. 293 s. **6.** Rehional'ni dopovidi pro stan navkolyshn'oho seredovyscha //Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. URL: <http://www.menr.gov.ua/dopovidi/regionalni/4756-rehionalni-dopovidi-pro-stand-navkolyshnoho-pryrodnoho-seredovyscha-u-2014-rotsi>. **7.** Rukovodstvo po kontrolju zagriznenija atmosfery RD 52.04.189-91. M.: Gosudarstvennyj komitet SSSR po gidrometeorologii, 1991. 605 s. **8.** Udoshkonalennia systemy monitorynhu zabrudnennia atmosferного povitria ta rozroblennia metodiv joho prohnozuvannia. Zvit NDR (promizhnyj) UkrNDHMI MNS Ukrainy; Kerivnyk V.A. Diachuk, vidp. vyk. M.P. Bashtannik. Kyiv, 2009. 60 s. **9.** Klebanova N.S., Klebanov D. O. Vplyv peresuvnykh ta statsionarnykh dzherel vykydiv zabrudniuval'nykh rehovyn na iakist' atmosferного povitria v misti Kyievi v 2009-2010 rokakh. Nauk. pratsi UkrNDHMI, 2011. №260. S.235-249. **10.** Loieva I.D., Vladymyrova O.H., Verlan V.A. Otsinka stanu zabrudnennia atmosferного povitria velykoho mista: metody analizu, prohnozu, rehuliuвання. Monohrafiia. Odesa: Ekolohiia, 2010. 224 s. **11.** Snizhko S.I., Shevchenko O.H. Urbometeorologichni aspekty zabrudnennia atmosferного povitria velykoho mista. Kyiv, Obrii, 2011. 297 s. **12.** Andersson, C., Langner J. Inter-annual variations of ozone and nitrogen dioxide over Europe during 1958–2003 simulated with a regional CTM. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 7, 2007. 15-23p. doi: 10.1007/s11267-006-9088-4. **13.** Baklanov A. et al. Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 2009. 181 p. **14.** Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union, L 23/3. **15.** Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, L 152/1. **16.** Hou P., Wu S. Long-term Changes in Extreme Air Pollution Meteorology and the Implications for Air Quality. Sci. Rep. 6, 23792; doi: 10.1038/srep23792

Дослідження системи моніторингу забруднення атмосферного повітря в місті Києві та напрямки її удосконалення

Дячук В.А., Баштанник М.П., Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Надточій Л.М.

Досліджено стан моніторингу забруднення атмосферного повітря в місті Києві. Обговорено актуальність оптимізації системи спостережень, переваги та недоліки сучасної мережі спостережень за забрудненням атмосферного повітря міста. Розглянуто принципи оптимізації системи моніторингу забруднення атмосферного повітря.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря, викиди, концентрації, забруднюючі речовини, якість повітря, система спостережень.

Исследование системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городе Киев и направления ее усовершенствования

Дячук В.А., Баштанник М.П., Киптенко Е.М., Козленко Т.В., Надточий Л.М.

Исследовано состояние мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городе Киеве. Рассмотрена актуальность оптимизации системы наблюдений, преимущества и недостатки существующей сети наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха города. Рассмотрены принципы оптимизации системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, выбросы, концентрации, загрязняющие вещества, качество воздуха, система наблюдений.

**Study of the air pollution state monitoring and directions for its improvement in Kiev city
Dyachuk V.A., Bashtannik M.P., Kiptenko E.M., Kozlenko T.V., Nadtochii L.M.**

The state of air pollution monitoring in Kyiv city was investigated. There were discussed the relevance of observation system optimization, advantages and disadvantages of the current monitoring network for air pollution in the urban atmosphere. The united complex approach was used for justification of mentioned optimization, which was combined with emission inventories databases, meteorological air pollution potential characteristics, ratified ground-based measurements data of main pollutants, and demographic urban features. The paper discusses main meteorological parameters which drive pollutants' dispersion. Analysis provide evidence of its huge impact for the pollution regime formation and tendency to the decline of air quality, which must be taken in consideration during optimization for atmospheric air monitoring. The process of optimization for atmospheric air monitoring takes into account the orographic urban features used mainly for the purpose of statistically valid data provision. Therefore, in small microclimatic zones the monitoring sites are located within relief bodies, which are representative for the area. The research estimates results of boundary pollutants' content caused by middle and high stationary emission sources, defined from the methodology connected with combined IEM diffusive model. Analysis of observations confirms the accuracy of defined structure for urban pollution fields. The combine usage of modeling results and observations allows increasing of atmospheric air quality estimations and helps to optimize the network with minimal amount of necessary representative sites.

Keywords: air pollution, emissions, concentrations, pollutants, air quality, observational system

Надійшла до редколегії 01.08.2019

УДК 551.576.3

Заболоцька Т.М.¹, Шпиг В.М.¹, Ціла А.Ю.^{1,2}

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ХМАРНОГО ПОКРИВУ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ
ВПРОДОВЖ ПЕРІОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, регіон, повторюваність, ковзні, флуктуації.

Вступ. Глобальне потепління, що почалося з другої половини ХХ ст., продовжується до теперішнього часу. Серед причин, що зумовлюють його, називають вплив антропогенного фактору та природну мінливість клімату великої значущості. Остаточного стверджуючого висновку щодо причин потепління поки що не досягнуто, тому дослідження різних кліматичних параметрів з використанням багаторічного статистичного матеріалу є доцільним.

Хмарність є однією з важливих характеристик клімату. Знаючи режим хмарності, можна визначати особливості циркуляції атмосфери, планетарне альbedo кліматичної системи, ефективно випромінювання підстильної поверхні, можливий розподіл опадів, тому кількісна оцінка змін хмарності в сучасних умовах є актуальною.

Досліджень змін хмарного покриву виконано небагато. Особливості кліматичних змін загальної хмарності над всіма континентами та островами визначали американські вчені [10]. За міжнародним проектом ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) вивчали мінливість глобальної осередненої хмарності [9]. В Росії досліджували зміни загальної та нижньої хмарності окремо над європейською та азійською частинами [8]. В [1-6] наведені результати досліджень щодо оцінки змін хмарного покриву над територією України.

В усіх цих роботах використано різні як роки спостережень, так і показники хмарного покриву, тому тенденції змін, тим більше, над різними континентами важко зіставити. Єдиним результатом, що можна виділити, є більша мінливість нижньої хмарності порівняно із загальною.

Мета та методика дослідження. Метою даної роботи є узагальнення даних спостережень за хмарністю на території України впродовж 1961-2017 рр. та визначення кліматичних змін основних показників хмарного покриття: кількість загальної та нижньої хмарності, повторюваність різного стану неба та повторюваність основних форм хмар.

Методика дослідження – це аналіз кліматичних змін річних значень загальної та нижньої хмарності, середніх місячних та сезонних значень повторюваності різного стану неба (ясний, напівясний, похмурий) та річних значень повторюваності основних форм хмар над територією України за даними спостережень на 27 метеорологічних станціях впродовж 1961-2017 рр. й додатково на 3-х станціях (Сімферополь, Донецьк, Луганськ) за 1961-2013 рр. Довгоперіодичну складову змін визначено за 30-річними ковзними: 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 й 1991-2017 рр., а флуктуації – за 10-річними середніми значеннями.

Результати дослідження. Зміни покриття небосхилу хмарами відрізняються за загальною та нижньою хмарністю. Побудовані тренди свідчать, що впродовж періоду глобального потепління в Україні спостерігали як зростання, так і зменшення кількості хмар, проте за загальною хмарністю переважає незначне її зростання (0,07 %/10 років), в той час як за нижньою переважає зменшення (-0,5 %/10 років). Рівень достовірності трендів загальної хмарності тільки для третини станцій (27 %) був у межах 0,15-0,25 (тобто тренди повністю охоплювали коливання), а для нижньої – в межах 0,15-0,61 для 57 % станцій. Зменшення загальної хмарності більше фіксували на півночі та сході, за нижньою – на півночі, в центрі та на півдні.

Більш точною та поширеною кількісною характеристикою хмар є повторюваність ясного (0-2 бали), напівясного (3-7 балів) та похмурого (8-10 балів) стану неба. Відповідний стан неба фіксують у кожний з 8-ми строків спостережень за добу. Для всіх 30 станцій були розраховані середні місячні, середні сезонні та річні значення, надалі за цими даними – середні десятирічні та тридцятирічні ковзні як за загальною, так і за нижньою хмарністю.

Зміни стану неба по різному проявлялися на території України. Отримані дані були згруповані для 5-ти регіонів (захід, північ, центр, схід, південь), табл.1.

Таблиця 1. Зміни повторюваності (%) ясного, напівясного та похмурого стану неба між 30-річними ковзними за загальною та нижньою хмарністю

Регіон	Стан неба								
	ясний			напівясний			похмурий		
	між I та II	між II та III	між III та IV	між I та II	між II та III	між III та IV	між I та II	між II та III	між III та IV
загальна хмарність									
захід	-0,9	-1,0	-1,3	1,9	3,1	1,8	-1,0	-2,1	-0,4
північ	-0,4	-1,0	-0,6	2,2	2,0	0,8	-1,6	-0,8	-0,2
центр	-1,7	-1,5	-0,5	2,5	2,3	2,0	-1,0	-0,7	-1,5
схід	-1,0	-1,8	-2,0	3,0	3,2	2,5	-2,0	-1,5	-0,5
південь	-1,2	-0,7	-0,2	2,0	1,8	0,6	-0,5	-1,5	-0,2
нижня хмарність									
захід	-0,2	-1,3	-1,8	1,8	1,3	0,7	-1,6	0,0	1,3
північ	1,2	0,6	0,6	2,8	2,2	0,6	-4,0	-2,8	-1,4
центр	0,3	-0,9	-1,0	2,0	2,3	1,8	-2,3	-1,7	-0,7
схід	0,3	-0,8	0,0	0,8	2,5	2,0	-1,0	-1,8	-2,0
південь	0,7	0,5	-1,2	2,7	1,8	1,8	-3,3	-2,3	-0,6

Ясний стан неба за загальною хмарністю зменшувався у всіх регіонах, проте з різною інтенсивністю. На заході та сході це зменшення посилювалося з часом. На півдні та в центрі, навпаки, довгоперіодичні зміни вказували на поступове призупинення зменшення. На півночі відмічали зростання повторюваності ясного неба в третьому 30-річчі й суттєве призупинення в четвертому.

Зміни частоти ясного неба за нижньою хмарністю були більш складними. Тільки на заході хід змін був таким як і за загальною хмарністю, тобто фіксували інтенсивніше з часом зменшення повторюваності 0-2 балів. В інших регіонах зміни не мали спрямованого напрямку, були різнонаправленими: на півночі спостерігали весь час зростання повторюваності, на півдні також переважало зростання, проте зменшення в кінці досліджуваного періоду (четверте 30-річчя). Більш менш подібні зміни були в центрі та на сході – невелике зростання у другому 30-річчі, надалі зменшення у третьому й подальше зменшення в центрі та без змін на сході.

Похмурий стан неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю зменшувався впродовж досліджуваного періоду в усіх регіонах. Винятком є західний регіон за нижньою хмарністю. Зменшення частоти хмарності 8-10 балів спостерігали тільки в другому 30-річчі, в третьому повторюваність залишалася без змін, а в четвертому, навпаки, зросла. За загальною хмарністю можна стверджувати єдине: на всій території країни повторюваність похмурого стану неба зменшувалася з різною інтенсивністю як в просторі, так і в часі. Зміни повторюваності похмурого стану неба за нижньою хмарністю були більш виражені: для всіх регіонів, крім сходу, характерне поступове зниження інтенсивності зменшення. Також можна відмітити, що найсуттєвіше зменшення повторюваності похмурого неба спостерігали на півночі та півдні.

Напівясний стан неба впродовж досліджуваного періоду тільки збільшувався, як за загальною, так і за нижньою хмарністю, проте з різною інтенсивністю в часі. За загальною хмарністю зростання повторюваності 3-7 балів фіксували впродовж I-III тридцятиріч і тільки в IV це зростання стало повільнішим. За нижньою хмарністю характер змін був подібним, дещо менш інтенсивним порівняно із загальною хмарністю, крім півночі та півдня. В цих регіонах зростання частоти напівясного неба за нижньою хмарністю було більшим ніж за загальною хмарністю.

Загалом для всієї території України відмінності між 30-річними ковзними за критерієм Стюдента були статистично значущі з ймовірністю 93-99 %. На сьогодні кліматичні зміни, що почалися з 70-х рр. XX ст., продовжуються, тому має інтерес порівняння двох послідовних тридцятиріч (1961-1990 та 1991-2017 рр.), табл. 2.

Повторюваність **ясного стану неба** за загальною хмарністю зменшувалася впродовж 1991-2017 рр. в усіх регіонах, особливо в січні (7%), вересні (6,4%) та жовтні (5,8%). За нижньою хмарністю це зменшення було менш виражене. Максимальне зменшення в усіх регіонах було в січні (8,2%). Загалом, тільки на заході впродовж усього року частота ясного неба зменшувалася, в інших регіонах, особливо на півночі та півдні, фіксували її зростання або незмінність. **Напівясний стан неба** збільшувався на всій території країни, частіше за загальною хмарністю.

Повторюваність **похмурого стану неба** за загальною хмарністю майже по всій країні та впродовж усього року зменшувалася, особливо на сході (до 6%), найбільше у листопаді та грудні. Виділяється жовтень, коли на більшій частині території (центр, схід, південь) зростала повторюваність похмурого неба. За нижньою хмарністю частота похмурого неба майже протилежна: на заході вона тільки зростала (7%), в інших регіонах зменшувалася – найбільше на півночі (8%) та півдні (6%). Найсуттєвіші зменшення характерні холодному періоду року.

Таблиця 2. Річний хід змін повторюваності (%) різного стану неба між послідовними періодами 1961-1990 та 1991-2017 рр. за загальною (жирним шрифтом) та нижньою (курсивом) хмарністю

Регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
ясний стан неба													
захід	-6 <i>-11</i>	-4 <i>-4</i>	-3 <i>-4</i>	-2 <i>-2</i>	-2 <i>-2</i>	-4 <i>-2</i>	-3 <i>-3</i>	-4 <i>-1</i>	-6 <i>-5</i>	-6 <i>-6</i>	-1 <i>-1</i>	-1 <i>-1</i>	-4 <i>-3</i>
північ	-8 <i>-8</i>	-4 <i>-2</i>	-1 <i>3</i>	0 <i>1</i>	-2 <i>-3</i>	-2 <i>-2</i>	0 <i>1</i>	0 <i>2</i>	-4 <i>-1</i>	-3 <i>-1</i>	-1 <i>1</i>	-1 <i>1</i>	-2 <i>0</i>
центр	-8 <i>-9</i>	-3 <i>-1</i>	-3 <i>-1</i>	-1 <i>-1</i>	-3 <i>-2</i>	-5 <i>-2</i>	-3 <i>1</i>	-3 <i>0</i>	-7 <i>-3</i>	-6 <i>1</i>	-2 <i>2</i>	-1 <i>-4</i>	-4 <i>-1</i>
схід	-8 <i>-9</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>2</i>	-3 <i>1</i>	-2 <i>1</i>	-7 <i>0</i>	-4 <i>2</i>	-5 <i>2</i>	-7 <i>-2</i>	-7 <i>-3</i>	0 <i>3</i>	-1 <i>2</i>	-2 <i>-1</i>
південь	-5 <i>-4</i>	0 <i>5</i>	-1 <i>4</i>	0 <i>2</i>	1 <i>1</i>	-4 <i>-1</i>	-1 <i>2</i>	-2 <i>1</i>	-8 <i>3</i>	-7 <i>-3</i>	0 <i>0</i>	-1 <i>0</i>	-2 <i>0</i>
напівясний стан неба													
захід	7 <i>7</i>	7 <i>5</i>	6 <i>5</i>	6 <i>2</i>	7 <i>3</i>	8 <i>3</i>	8 <i>2</i>	8 <i>2</i>	6 <i>1</i>	7 <i>4</i>	8 <i>4</i>	8 <i>5</i>	6 <i>6</i>
північ	4 <i>8</i>	5 <i>7</i>	6 <i>7</i>	5 <i>6</i>	5 <i>4</i>	5 <i>6</i>	5 <i>2</i>	5 <i>2</i>	4 <i>4</i>	4 <i>6</i>	5 <i>8</i>	5 <i>9</i>	5 <i>6</i>
центр	9 <i>11</i>	8 <i>8</i>	6 <i>7</i>	6 <i>7</i>	5 <i>6</i>	6 <i>5</i>	7 <i>4</i>	8 <i>2</i>	5 <i>4</i>	6 <i>6</i>	8 <i>7</i>	10 <i>11</i>	7 <i>6</i>
схід	7 <i>6</i>	7 <i>6</i>	8 <i>6</i>	8 <i>4</i>	8 <i>2</i>	9 <i>3</i>	7 <i>2</i>	7 <i>1</i>	8 <i>2</i>	5 <i>3</i>	9 <i>6</i>	9 <i>8</i>	8 <i>4</i>
південь	6 <i>8</i>	6 <i>8</i>	5 <i>8</i>	4 <i>5</i>	4 <i>6</i>	4 <i>3</i>	3 <i>3</i>	2 <i>2</i>	4 <i>4</i>	3 <i>5</i>	4 <i>7</i>	7 <i>9</i>	4 <i>6</i>
похмурий стан неба													
захід	-1 <i>9</i>	-3 <i>6</i>	-4 <i>3</i>	-4 <i>5</i>	-5 <i>5</i>	-4 <i>3</i>	-5 <i>7</i>	-4 <i>5</i>	0 <i>11</i>	-1 <i>9</i>	-7 <i>3</i>	-7 <i>9</i>	-4 <i>7</i>
північ	4 <i>-3</i>	-1 <i>-8</i>	-6 <i>-15</i>	-4 <i>-11</i>	-3 <i>-5</i>	-3 <i>-6</i>	-6 <i>-7</i>	-4 <i>-6</i>	0 <i>-4</i>	-1 <i>-8</i>	-5 <i>-11</i>	-5 <i>-13</i>	-2 <i>-8</i>
центр	-1 <i>-3</i>	-5 <i>-8</i>	-5 <i>-9</i>	-4 <i>-6</i>	-2 <i>-4</i>	-1 <i>-3</i>	-4 <i>-6</i>	-1 <i>-2</i>	-2 <i>1</i>	1 <i>-2</i>	-6 <i>-8</i>	-8 <i>-10</i>	-4 <i>-5</i>
схід	-9 <i>1</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>-8</i>	-5 <i>-5</i>	-5 <i>-4</i>	-3 <i>-3</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>-3</i>	-1 <i>-1</i>	1 <i>0</i>	-9 <i>-9</i>	-7 <i>-9</i>	-6 <i>-4</i>
південь	-1 <i>-5</i>	-7 <i>-12</i>	-4 <i>-8</i>	-4 <i>-9</i>	-3 <i>-6</i>	0 <i>-4</i>	-2 <i>-5</i>	-1 <i>-3</i>	5 <i>-1</i>	4 <i>-2</i>	-5 <i>-9</i>	-7 <i>-9</i>	-2 <i>-6</i>

Про квазіперіодичний коливальний характер змін повторюваності різного стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю свідчать і флуктуації змін між десятиріччями в різні сезони року. Повторюваність того чи іншого стану неба могла збільшуватися чи зменшуватися або залишатися без змін (різниця до 2%) між послідовними десятиріччями. Відповідна характеристика змін подано в табл. 3, 4.

Ясний стан неба за загальною хмарністю. Та чи інша кількість хмар зумовлена дією циркуляційних процесів, радіаційних факторів та особливостями підстильної поверхні, які по різному проявляються на території країни. Представлені дані свідчать про складний квазіперіодичний характер змін ясного неба. Впродовж досліджуваного періоду майже вдвічі переважало (66 проти 34 %) зменшення частоти ясного неба, проте практично в половині випадків ці зміни були незначними (на 1-2 %). Суттєве збільшення частоти 0-2 балів по всій території країни спостерігали взимку впродовж 1971-1980 рр., менш істотно весною та восени впродовж 1981-1990 рр. та влітку впродовж 2011-2017 рр. Характерною рисою змін повторюваності ясного неба є тривалість періоду одного знаку змін: а) **взимку** зменшення частоти 0-2 балів спостерігали по всій території впродовж трьох десятиріч (з 1981 до 2010 р.); **весною** впродовж майже всього періоду досліджень фіксували невизначеність (зміни незначні й різного знаку в окремих регіонах), тільки

в 1991-2000 рр. по всій території було зменшення частоти 0-2 балів; **влітку** невизначеність була характерна з 1981 до 2000 р., зменшення частоти 0-2 балів у 1971-1980 та 2001-2010 рр. та зростання в 2011-2017 рр.; **восени** зменшення повторюваності 0-2 балів було в 1971-1980 та 1991-2010 рр., переважно зростання в 1981-1990 рр. й невизначеність у 2011-2017 рр.

Таблиця 3. Зміни повторюваності ясного та похмурого стану неба в різні сезони року за загальною хмарністю

Регіон	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ясний стан неба										
захід	+	—*	—*	—	—*	—*	+	—	—*	—*
північ	+	—	—*	—	0	+	+	—	—*	+
центр	+	—	—*	—	+	+	—*	—	+	+
схід	+	—	—*	—*	—*	+	+	—	+	—
південь	+	—*	—*	—*	+	—*	+	—	+	—*
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—*	—*	—	+	—	+	—	—*	—
північ	—*	—*	+	—*	+	—*	—*	—*	—	—*
центр	—	—*	+	—*	+	—	+	—	—	+
схід	—	+	—	+	—*	—	+	—*	—	0
південь	—	+	+	—*	+	—	+	—	—	+
похмурий стан неба										
	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—	—	+	+	+	—	+	—*	—*
північ	—	+	—*	+	—*	—	—	+	—	—
центр	—	—*	—	+	—	—*	—*	+	—	—*
схід	—	0	—	+	—	—*	—	+	—	—
південь	—	—*	—	+	—	+	—	+	—	—*
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	+	—	—	+	—	+	—	+	—*	+
північ	+	—*	—*	+	—*	+	—	—*	+	—*
центр	+	—*	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
схід	+	—	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
південь	+	—	—*	0	—	+	—	+	+	—

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр. ; + зростання повторюваності; – зменшення; * незначні зміни (1-2 %) або коли більшість станцій регіону фіксують визначений знак змін.

Похмурий стан неба за загальною хмарністю. Знак змін повторюваності похмурого стану неба був протилежним та більш чітким відносно повторюваності ясного неба. Також зменшення переважало зростання частоти похмурого неба (68 проти 32 %). Суттєве зростання повторюваності 8-10 балів по всій території фіксували взимку в 2001-2010, влітку та восени в 1971-1980 рр. Також зростання, проте незначне, відмічали весною 1991-2000 та восени в 2001-2010 рр. Суттєве зниження повторюваності 8-10 балів по всій території було взимку в 1971-1980, весною, літом та восени в 1981-1990, взимку та літом у 1991-2000 та протягом усього року впродовж 2011-2017 рр.

Таблиця 4. Зміни повторюваності ясного та похмурого стану неба в різні сезони року за нижньою хмарністю

Регіон	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ясний стан неба										
захід	+	+	—*	—	+	+	+	—	+	—*
північ	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+
центр	+	—*	—*	—	+	+	+	—	+	+
схід	+	—*	—*	—	+	—*	+	—	+	+
південь	+	+	—*	—	+	—*	+	—*	+	—
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—*	—*	—*	—	+	—*	+	—	—*	—*
північ	+	—	+	0	+	—*	+	+	—	+
центр	—	—*	+	+	+	—	+	—	—	+
схід	—	—*	+	+	+	—	+	0	—	+
південь	—	+	+	—*	—*	—*	+	—	—	+
похмурий стан неба										
	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—	—*	+	—*	—*	—	+	+	+
північ	—	—	—	+	—*	—	—	—*	—	+
центр	—	—*	—	+	—	—*	—	+	—	—*
схід	—	0	—	+	—	+	—	+	—	—
південь	—	—	—	+	—	—*	—	+	—	+
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—*	—*	+	+	—*	—*	—	+	+	+
північ	—	—*	—*	—*	—*	—*	—	—*	—*	+
центр	+	+	—*	—	—*	+	—	—*	+	—*
схід	+	+	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
південь	+	—	—*	—*	+	—*	—	—*	+	—*

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр.; + зростання повторюваності; – зменшення; * незначні зміни (1-2 %) або коли більшість станцій регіону фіксують визначений знак змін.

Ясний стан неба за нижньою хмарністю. Незначне зростання повторюваності ясного стану неба найчастіше спостерігали в такій послідовності: весна, зима, літо, осінь (тобто мало місце збільшення впливу антициклоніальних умов). Найбільше зростання (інтенсивне й по всій території України) фіксували взимку 1971-1980 рр., весною та восени 1981-1990 рр.; незначне збільшення, також по всій території, відмічали взимку, влітку та восени в 2011-2017 рр., крім того, весною в 2001-2010 та влітку в 1991-2000 рр. Зменшення частоти ясного неба по всій території було взимку в 2001-2010, весною в 1991-2000, влітку в 1971-1980 (крім півночі) й незначно в 1981-1990, восени в 1971-1980 й 2001-2010 рр.

Похмурий стан неба за нижньою хмарністю. Повторюваність похмурого стану неба переважно зменшувалася (70 проти 30 %). Взимку зменшення спостерігали впродовж всього досліджуваного періоду, крім 2001-2010 рр. В це десятиріччя вона суттєво збільшувалася на всій території. Збільшення повторюваності похмурого неба (незначно) на всій території, крім півночі, фіксували також весною в 1991-2000 та восени 2001-2010 рр. Найбільше зменшення частоти 8-10 балів відмічали взимку в 1971-1980, весною та восени в 1981-1990 рр. Загалом, весною, влітку, восени зменшення повторюваності похмурого стану неба було практично вдвічі частішим за зростання, а взимку – в чотири рази.

В [7] зазначено, що впродовж 1961-2017 рр. в просторовому розподілі приземного атмосферного тиску виділяються два десятиріччя: майже повсюдне зростання тиску в 1971-1980 та зниження в 2001-2010 рр., тобто, перевага відповідно антициклональних та циклональних умов. Розвитку хмарності в таких умовах повністю відповідають флуктуації повторюваності стану неба, а саме: на всій території країни в 1971-1980 рр. спостерігали зростання повторюваності ясного та зменшення похмурого стану неба й, навпаки, в 2001-2010 рр. – зростання похмурого й зменшення ясного стану як для загальної, так і нижньої хмарності. В інші десятиріччя зростання тиску фіксували на 60 % території, відповідно зменшення на 40 %, що сприяло більш складному розподілу показників хмарного покриття.

Флуктуації змін повторюваності основних форм хмар впродовж 1961-2017 рр. представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Зміни повторюваності основних форм хмар між десятиріччями в різних регіонах території України

Регіон	Нумерація між десятиріччями	Основні форми хмар										
		Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Fr nb
захід	1	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	–
	3	+	+	+	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	+	+	0	–	–	–	+	–	+	–	–
	5	+	+	–	–	+	–	–	+	+	+	–
північ	1	–	–	–	+	–	–	+	+	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	–
	3	–	–	–	+	–	+	+	–	+	–	–
	4	+	+	+	–	–	+	+	–	–	–	–
	5	+	+	+	–	+	–	–	–	–	+	+
центр	1	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–
	3	–	–	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	–	–	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	5	+	+	+	+	+	–	–	+	–	+	+
схід	1	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	+
	2	–	–	–	–	–	+	+	–	+	–	+
	3	+	+	–	+	+	–	–	–	+	–	+
	4	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+
	5	+	+	+	+	+	+	–	+	–	+	+
південь	1	+	+	–	+	–	–	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	+	+	–
	3	+	+	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	+	+	–	+	–	+	+	–	+	–	+
	5	–	+	–	–	–	–	+	–	+	–	–

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр.; + зростання повторюваності; – зменшення.

У всіх регіонах, крім сходу, переважало зменшення повторюваності основних форм хмар: захід – 56, північ – 60, центр – 62, південь – 55 %. На сході, навпаки, кількість хмар збільшувалася, випадків зі зростанням повторюваності було більше (58 проти 42 %). Для таких регіонів як захід, північ та центр найбільше зменшувалася

повторюваність хмар у 1971-1980 рр. (75 %), а зростала в 2011-2017 рр. (55 %); на сході – зменшення в 1981-1990 рр. (36 %), зростання – впродовж 2001-2017 рр. (75-85 %); на півдні – зменшення в 2011-2017 рр. (75 %), а зростання – в 2001-2010 рр. (65 %).

Якщо аналізувати еволюцію хмарності по всій території України послідовно між десятиріччями, то досить чітко проявляється послідовне зростання кількості хмар, табл. 6.

Таблиця 6. Характеристика змін повторюваності основних форм хмар між десятиріччями

Десятиріччя, між якими визначено зміни повторюваності різних форм хмар, рр.	Тип змін повторюваності основних форм хмар	
	зменшення (%)	зростання (%)
1961-1970 ÷ 1971-1980	67	33
1971-1980 ÷ 1981-1990	58	42
1981-1990 ÷ 1991-2000	56	44
1991-2000 ÷ 2001-2010	51	49
2001-2010 ÷ 2011-2017	42	58

Наведені дані свідчать, що значне зменшення хмарності відбулося між першим та другим десятиріччями, саме тоді, коли на всій території (90 %) зростав приземний атмосферний тиск (тобто переважав розвиток антициклональних умов) [7]. Надалі впродовж двох послідовних десятиріч (до 2000 р.) відбувалося повільне зменшення і вже в 2001-2010 рр. практично зрівнялися повторюваності зменшення та зростання (відповідно 51 та 49 %), тому що в цьому десятиріччі за даними [7] на більшій частині території (86%) знижувався приземний тиск, тобто посилювався циклогенез. В останньому десятиріччі вже переважало зростання повторюваності хмар (58 проти 42 %). Тип змін повторюваності основних форм хмар представлено в табл. 7.

Таблиця 7. Тип змін повторюваності основних форм хмар над територією країни

Тип змін, %	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Frnb
зростання	52	56	24	72	44	36	76	36	48	20	32
зменшення	48	44	76	28	56	64	24	64	52	80	68

Впродовж досліджуваного періоду над територією країни зростала повторюваність Cb, Ac, Cc та Ci (відповідно 76, 72, 56, 52 %). Хмари інших форм зменшували свою повторюваність в такій послідовності Ns, Cs, Fr nb, St, Cu, As, Sc (80, 76, 68, 64, 64, 56, 52 %). На заході найбільше зростала повторюваність Ci, Cc, Ac, Cb; на півночі та в центрі – Ac, Cb; на сході – Ci, Cc, Ac, As, Cu, Fr nb; на півдні – Ci, Cc, Ac, Cb, Sc. Загалом відносно повторюваності всіх форм хмар зростання становило 45, а зменшення – 55 %.

За досліджуваний період найбільше зростала повторюваність Ac та Cb. Обидві форми хмар виникають внаслідок динамічної нестійкості атмосфери: Ac утворюються на хвилях Кельвіна–Гельмгольца, Cb – в повітряних масах з підвищеною турбулентністю та нестійкою стратифікацією. Всі отримані дані свідчать про квазіперіодичну динамічну нестійкість, яка в досліджуваний період охоплювала всю атмосферу.

Висновки. Впродовж досліджуваного періоду загальна хмарність незначно зростала (0,07 %/10 років), нижня хмарність зменшувалася (-0,5 %/10 років).

Кількісні зміни показників хмарного покриву мали квазіперіодичний коливальний характер. За даними 30-річних ковзних **ясний стан неба** за загальною

хмарністю зменшувався у всіх регіонах з різною інтенсивністю, в той час як за нижньою хмарністю відповідні зміни не мали спрямованого напрямку та відрізнялися між регіонами. **Похмурий стан неба** як за загальною, так і за нижньою хмарністю зменшувався впродовж досліджуваного періоду в усіх регіонах; найсуттєвіше зменшення повторюваності похмурого неба спостерігали на півночі та півдні. **Напівясний стан неба** тільки збільшувався як за загальною, так і за нижньою хмарністю, проте з різною інтенсивністю в часі.

Квазіперіодичний коливальний характер змін повторюваності різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю підтверджується флуктуаціями змін між десятиріччями в різні сезони року. Повторюваність того чи іншого стану неба могла збільшуватися чи зменшуватися або залишатися без змін (різниця до 2 %) між послідовними десятиріччями. Міждесятирічні зміни повторюваності різного стану неба були зіставні з відповідними змінами приземного атмосферного тиску.

У всіх регіонах, крім сходу, переважало зменшення повторюваності основних форм хмар: захід – 56, північ – 60, центр – 62, південь – 55 %. На сході, навпаки, кількість хмар збільшувалася, випадків зі зростанням повторюваності було більше (58 проти 42 %).

Зниження повторюваності основних форм хмар послідовно між десятиріччями зменшувалося до 2000 р. У 2001-2010 рр. зниження й зростання були майже рівнозначні, у 2011-2017 рр. переважало зростання повторюваності.

Впродовж досліджуваного періоду над всією територією України зростала повторюваність С_b, А_s, С_s та С_i (відповідно 76, 72, 56, 52 %). Загалом відносно повторюваності всіх форм хмар зростання становило 45, а зменшення – 55 %.

Найбільше зростала повторюваність А_s та С_b. Обидві форми хмар виникають внаслідок динамічної нестійкості атмосфери, яка квазіперіодично змінювалася в досліджуваний період.

Список літератури

1. Заблоцька Т.М. Динаміка змін хмарного покриття над територією України в умовах сучасного клімату. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2010. Вип. 259. С. 91-103. 2. Заблоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М. Особливості змін хмарного покриття над територією України протягом 1961-2008 рр. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2011. Вип. 260. С. 54-66. 3. Заблоцька Т.М., Шпиталь Т.М. Кліматичні зміни повторюваності основних форм хмар. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2011. Вип. 261. С. 87-104. 4. Заблоцькая Т.Н., Подгурская В.Н., Шпиталь Т.Н. Особенности изменений облачного покрова над территорией Украины. В кн. Глобальные и региональные изменения климата. 2011. К.: Ника-Центр. С. 174-183. 5. Заблоцька Т.М., Шпиталь Т.М. Кліматичні зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2013. Вип. 265. С. 7-14. 6. Заблоцька Т.М., Шпиг В.М. Кількісні зміни хмарності як індикатор періоду глобального потепління. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2015. Вип. 267. С. 23-27. 7. Заблоцька Т.М., Ціла А.Ю. Кліматичні зміни атмосферного тиску на території України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. Т. 2 (53). С. 66-74. 8. Хлебникова Е.И., Сааль И.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России. Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 5-13. 9. Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. № 85. P.167-172. 10. Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations, 1971-96. Climate. 2007. № 20. P. 717-738.

References

1. Zabolotska T.M. Dynamika zmin khmarnogo pokryvu nad terytorieyu Ukrainy v umovakh suchasnogo klimatu. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2010. Vyp. 259. S. 91-103. 2. Zabolotska T.M., Pidgurska V.M., Shpytal T.M. Osoblyvosti zmin khmarnogo pokryvu nad terytorieyu Ukrainy protiyagom 1961-2008 rr. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2011. Vyp. 260. S. 54-66. 3. Zabolotska T.M., Shpytal T.M. Nayk. Klimatychni zminy povtoriuvanosti osnovnykh form khmar. Nayk. Pr.

UkrNDGMI. 2011. Vyp. 261. S. 87-104. **4.** Zabolotskaya T.M., Podgurskaya V.M., Shpital T.M. Osobennosti izmeneniy oblachnogo pokrova nad territoriy Ukrainy. V kn. Globalnye i regionalnye izmeneniya. 2011. K.: Nika-Centr. S. 174-183. **5.** Zabolotska T.M., Shpytal T.M. Klimatychni zminy povtoriuvanosti yasnogo i pokhmyrogo stanu neba za zagalnoyu ta nuzhnyoyu khmarnistiu. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2013. Vyp. 265. S. 7-14. **6.** Zabolotska T.M., Shpyg V.M. Killisni zminy khmarnosti yak indykator periodu globalnogo poteplinnia. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2015. Vyp. 267. S. 23-27. **7.** Zabolotska T.M., Tsila A.Yu. Klimatychni zminy atmosfernogo tysku na terutorii Ukrainy. Hidrologiya, gidrokimiya i gidroekologiya. 2019. T. 2 (53). S. 66-74. **8.** Khlebnikova E.I., Saal I.A. Osobennosti klimaticheskikh izmenenii oblachnogo pokrova nad territoriy Rossii. Meteorologiya i gidrologiya. 2009. № 7. S. 5-13. **9.** Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. № 85. P.167-172. **10.** Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations, 1971-96. Climate. 2007. № 20. P. 717-738.

Зміни показників хмарного покриву над територією України впродовж періоду глобального потепління

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А.Ю.

Визначено та проаналізовано зміни показників хмарного покриву (кількість загальної та нижньої хмарності, повторюваність ясного, напівясного, похмурого стану неба та повторюваність основних форм хмар) впродовж 1961-2017 рр. Використано довгоперіодичну складову (30-ти річні ковзні) та флуктуації між десятиріччями. Визначені зміни зіставні з відповідними змінами приземного атмосферного тиску.

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, регіон, повторюваність, ковзні, флуктуації.

Изменения показателей облачного покрова над территорией Украины в течение периода глобального потепления

Заболоцкая Т.Н., Шпиг В.М., Цила А.Ю.

Определены и проанализированы изменения показателей облачного покрова (количество общей и нижней облачности, повторяемость ясного, полужасного, пасмурного неба и повторяемость основных форм облаков) в течение 1961-2017 гг. Использованы длиннопериодические составляющие (30-ти летние скользящие) и флуктуации между десятилетиями. Определенные изменения согласуются с наблюдаемыми изменениями приземного атмосферного давления.

Ключевые слова: общая и нижняя облачность, состояние неба, основные формы облаков, регион, повторяемость, скользящие, флуктуации.

The changes of cloud cover characteristics over territory of Ukraine during of the global warming

Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu.

The statistical estimation of changes of the cloud cover characteristics was made by the data of the meteorological observations over Ukraine during 1961-2017. Such characteristics as the quantity of total and lower cloudiness, the frequency of clear and overcast sky, the frequency of main cloud forms were analyzed. Monthly, seasonal and annual observational data were used for computation of the trends, the sliding of thirty years (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 2001-2017) and the fluctuations between successive decades in regions (west, north, central, east and south). The clear sky frequency for total cloudiness was decreasing with different intensity in all regions. This decreasing was forcing all time on west and east and against the gradually stopping on central and south and forcing in third sliding of thirty years and stopping in fourth on north. The clear sky frequency for lower cloudiness was more complex and indeterminate. The overcast sky frequency for total and lower cloudiness was decreasing all time in all regions with different intensity in space and time. The half-clear sky frequency for total and lower cloudiness was forcing all time in all regions with different intensity in space and time. The quasi-periodicity changes of the cloud cover characteristics for total and lower cloudiness confirm the fluctuations of the changes between the successive decades. These changes agree with the corresponding changes of air pressure on level sea. The decreasing of the frequency of main cloud forms was 55 %, the increasing was 45 %. The increasing of the frequency Cb, Ac, Cc and Ci was all time over all territory

Key words: total and clear cloudiness, sky condition, main cloud forms, region, frequency, sliding of thirty years, fluctuations.

Надійшла до редколегії 10.09.2019

ПРИВЕДЕННЯ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ДО УМОВ ВІДКРИТОЇ МІСЦЕВОСТІ

Ключові слова: швидкість вітру, вертикальний профіль, закритість горизонту, шорсткість підстильної поверхні

Вступ. Кліматологічна/метеорологічна інформація про характеристики вітру (швидкість та напрям) широко використовується у різних галузях економіки, зокрема у будівництві, вітроенергетиці та ін. [1, 2]. Як відомо, найголовнішим чинником, що формує вітер є структура баричного поля, що визначає характер глобальної та регіональної циркуляції атмосфери. Вплив локальних факторів, таких як рельєф місцевості, тип та характер підстильної поверхні також суттєвий, особливо в умовах складного ландшафту [3]. Різного роду об'єкти на місцевості (дерева, споруди тощо) виступають у ролі перешкод для вітрового потоку у нижньому приземному шарі атмосфери. Вертикальний масштаб зони впливу таких перешкод приблизно утричі більший за їх висоту, а горизонтальний досягає відстані, що перевищує висоту об'єктів у 30-40 разів [11].

В Україні найбільш повним, об'єктивним та деталізованим у часі та просторі джерелом емпіричної інформації про вітер є строкові дані вимірювань (кожні 3 години) на мережі метеорологічних станцій Гідрометслужби. Проте характер найближчого оточення та відкритість горизонту на вимірювальних майданчиках можуть значно відрізнятися (навіть на сусідніх станціях). Тому залишається відкритим питання щодо репрезентативності метеорологічних даних про вітер щодо фізико-географічного району/області, у якій вони отримані. По-друге, висота розміщення приладу на деяких станціях відрізняється від стандартного рівня (10 м), що теж визначає величину виміряних значень швидкості вітру [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним зі шляхів отримання об'єктивного просторового розподілу швидкості вітру є приведення виміряних значень до умов відкритої місцевості. З цією метою у багатьох дослідженнях, в основному радянського періоду, використана класифікація місцевості за мірою відкритості метеостанції (всього 24 класи), розроблена В.Ю. Мілевським [4]. В її основу покладені ступінь відкритості вимірювального приладу в залежності від характеру оточуючих перешкод, відстані до водних об'єктів, та форми рельєфу на якій розміщений метеомайданчик. На основі багаторічних експедиційних вимірювань у [5] розраховано коефіцієнти зміни швидкості вітру на різних формах рельєфу порівняно із відкритим рівним місцем за умов стійкої та нестійкої термічної стратифікації атмосфери. Зокрема у [6], отримані перевідні коефіцієнти використані при приведенні виміряних швидкостей на метеорологічних станціях України.

На сьогоднішній день, популярним та ефективним підходом у вирішенні задачі визначення просторового розподілу вітрових характеристик є моделювання вітрового потоку з використанням прикладного метеорологічного забезпечення. Для цього можуть бути використані мезомасштабні чисельні прогностичні моделі або простіші моделі, які не включають у розрахунок рівняння термогідродинаміки [13]. Перші є точнішими, але вимагають значної обчислювальної потужності, яка швидко зростає зі зменшенням просторового кроку моделі. Слід зауважити, що врахування ефектів, зумовлених впливом рельєфу, типу підстильної поверхні та об'єктів на невеликій ділянці території, наприклад 10×10 км, можливе лише при моделюванні

із кроком розрахункової сітки ~ 100 м і менше. З огляду на це, такі розрахунки зазвичай проводять у два етапи із залученням чисельної прогностичної моделі та подальшим використанням діагностичної (негідродинамічної) моделі, що здійснює розрахунок поля вітру з високою просторовою роздільною здатністю [14]. Наявність сіткових (заданих у вузлах розрахункової сітки) даних про висоту рельєфу, рослинний покрив/категорії землекористування з відповідним рівнем деталізації є необхідною умовою для проведення моделювання. Зазначимо, що в роботах [7, 15] одну з діагностичних метеорологічних моделей було застосовано для моделювання поля вітру на території України.

Постановка завдання. Поле осередненої за багаторічний період швидкості вітру за даними мережі регулярних спостережень на території України (рис. 1) може суттєво відрізнятися від фактичного просторового розподілу цього показника. Даний висновок впливає із того, що отримана карта має строкатий (плямистий) характер. Різкі перепади зон слабких та відносно сильних вітрів на рівнинній території викликають сумніви.

На невеликих просторових масштабах за умов відносно рівного рельєфу (не приймаючи до уваги гірські райони) швидкість вітру змінюється слабо, особливо якщо мова йде про осереднену за великий проміжок часу величину. Винятком є ділянки зі значними елементами захищеності, такими як лісові масиви, парки, будівлі тощо. Більш ймовірно те, що різниця у вимірних значеннях швидкості пояснюється різним ступенем репрезентативності метеорологічних станцій та різною висотою розміщення вимірювального приладу, а ніж впливом синоптичних факторів.

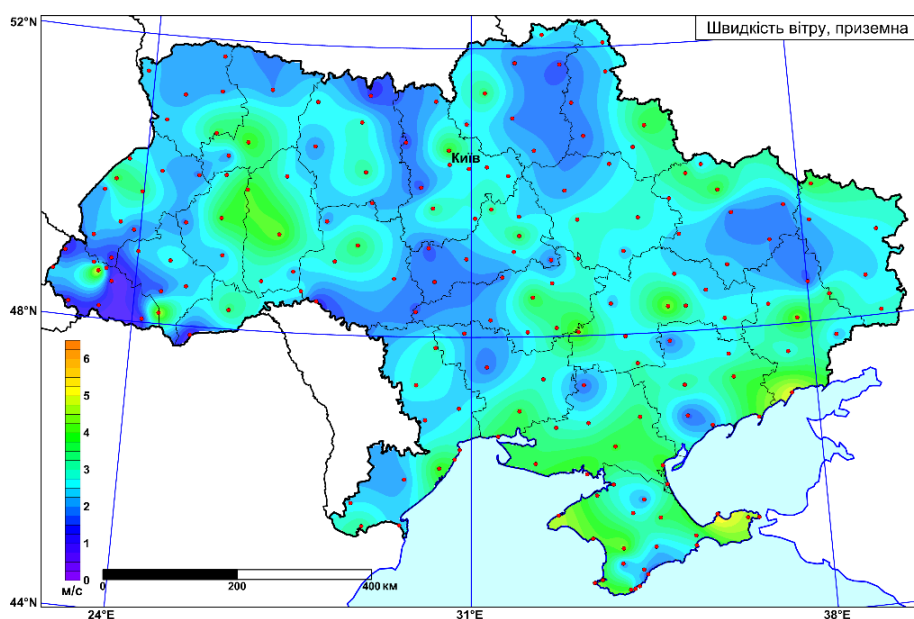


Рис. 1. Середня за період 1981-2010 рр. швидкість приземного вітру за даними мережі регулярних спостережень (метеорологічні станції зображено точками)

Метою даної роботи є приведення вимірних значень швидкості вітру за період 1981-2010 рр. до умов відкритого горизонту та стандартної висоти вимірювань. Проведення коректної інтерполяції та побудова Атласу вітроенергетичних ресурсів України значною мірою залежить від вирішення поставленої задачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Репрезентативність станцій щодо вимірювань характеристик вітру була оцінена за допомогою кута закритості

горизонту β та опису найближчого оточення метеомайданчиків, до якого увійшла інформація про навколишні об'єкти на місцевості, а саме їх висота, відстань, напрям відносно майданчика та, додатково, довжина самої перешкоди. Ці дані представлені у фізико-географічному описі метеорологічних станцій України [8]. У ході виконання роботи значення β (для 8 румбів) були оцифровані для кожної метеорологічної станції де наявні дані, а також розраховано його середнє значення для усього горизонту від 0° до 360° . Просторовий розподіл цієї осередненої величини (побудований за усіма діючими за період 1981-2010 рр. станціями) зображений на рис. 2. Зазначимо, що усі представлені в роботі карти побудовані у програмному пакеті Surfer 10 з допомогою інтерполяції методом простого крігінгу.

Інформація про закритість горизонту в довіднику зазвичай подана за окремі роки, коли ймовірно, проводилась зйомка місцевості навколо станції. Зрозуміло, що у зв'язку зі зміною у часі характеру елементів захищеності, наприклад збільшенням висоти оточуючих дерев, появою нових будинків, ця інформація потребує регулярного оновлення. У випадку перенесення метеомайданчика в інше місце, як на деяких станціях України, проведення нової зйомки є необхідним. Виходячи з того, що дане дослідження охоплює 30 років, кут закритості горизонту β визначався на основі доступної інформації на графіку як осереднене значення за цей період. На деяких станціях ця інформація є застарілою, тому її потрібно звіряти із описом найближчого оточення.

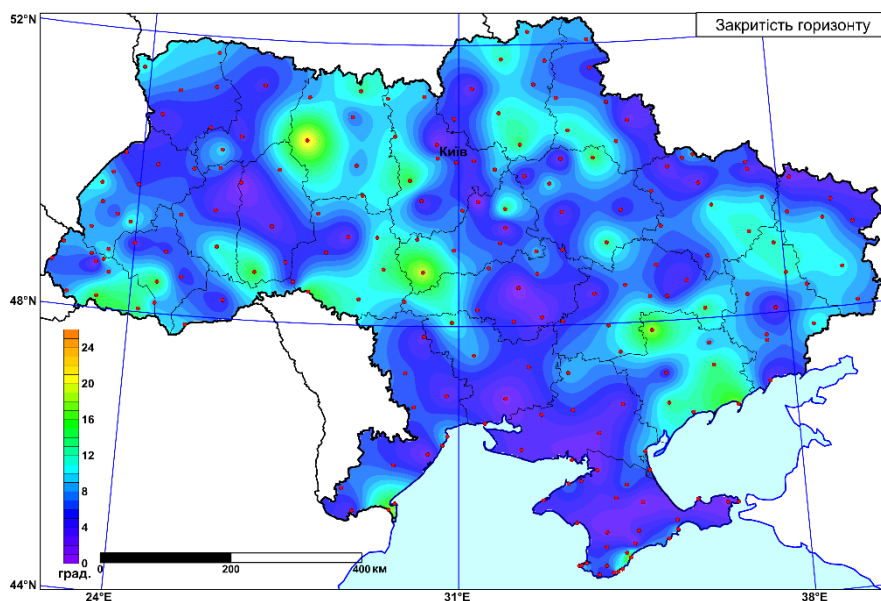


Рис. 2. Осереднена за всіма румбами закритість горизонту (в градусах) на метеорологічних станціях України

З аналізу обох карт можна відмітити, що середня багаторічна швидкість вітру і середній кут закритості горизонту на станції мають сильний зв'язок, про що свідчить статистично значущий коефіцієнт кореляції Пірсона $r = -0.58$.

Нажаль, інформацію про закритість горизонту неможливо безпосередньо використати у розрахунках, проте вона може бути залучена для визначення параметру шорсткості підстильної поверхні z_0 .

Відомо, що вертикальний профіль швидкості вітру в приземному шарі атмосфери змінюється за логарифмічним законом, і за умов нейтральної термічної стратифікації може бути виражений у вигляді [9]:

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad z \geq z_0 \quad (1)$$

де u – швидкість вітру на висоті z , u_* – динамічна швидкість (швидкість тертя), параметр який залежить від величини турбулентних пульсацій компонент вітру, k – стала Кармана (~ 0.4), z_0 – параметр шорсткості підстильної поверхні (вимірюється в метрах), який визначається типом її покриття (рослинність чи забудова), його щільністю та лінійними розмірами. Зауважимо, що профіль швидкості суттєво залежить від величини z_0 у нижньому приземному шарі атмосфери (декілька десятків метрів), де вплив підстильної поверхні відіграє велику роль [9].

Залежність параметру шорсткості z_0 від кута закритості горизонту β була встановлена статистично за інформацією на 10-ти метеостанціях.

Існує декілька підходів до визначення параметру шорсткості, які за своєю суттю є різними, і за однакових умов топографії та підстильної поверхні можуть давати досить різні значення. У даній роботі використаний один із морфометричних (геометричних) методів, що базується на інформації про середню висоту перешкод $\overline{z_H}$, і який виражений формулою [16]:

$$z_0 = f_0 \overline{z_H} \quad (2)$$

де f_0 – емпіричний коефіцієнт, який в роботі задається рівним 0.1.

Враховуючи значний горизонтальний масштаб впливу перешкод на вітровий потік, при визначенні параметру шорсткості слід приймати до уваги усі елементи захищеності у радіусі 250 м [17]. Також зазначимо, що об'єкти на місцевості зазвичай не є рівновіддаленими по відношенню до анемометру чи анеморумбометру. З метою коректних розрахунків окрім висоти об'єктів, була врахована відстань до них від метеомайданчика на кожному із 8-ми напрямів. Середня висота перешкод була розрахована як:

$$\overline{z_H} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \frac{l'}{l_i} H_i \quad (3)$$

де H_i та l_i – висота та відстань до перешкоди на i -му напрямі (румбі), l' – умовна відстань, що співвідноситься із розмірами майданчика. Суть останньої формули полягає у тому, щоб привести висоту усіх наявних об'єктів до такої «ефективної» висоти, яка була би у випадку їх розташування на однаковій відстані l' від приладу. В розрахунках задано $l' = 50$ м виходячи із розмірів майданчика 26×26 м на станціях з повною програмою спостережень [10]. Використані дані в основному узяті з кліматологічного довідника. Знімки місцевості, отримані із сервісу Google Earth [18] слугували додатковою інформацією. Однією із переваг даного сервісу є зручне обчислення відстані між точками безпосередньо на карті, що має цінність з точки зору співставлення інформації. Географічні координати та кількісні характеристики аеродинамічної шорсткості в околицях відібраних станцій представлені в табл. 1.

Між параметрами z_0 і β виявлено нелінійну залежність (рис. 3), що може бути апроксимована функціональною залежністю:

$$z_0 = 2(1 - \exp(\frac{-\beta^2}{a^2})) \quad (4)$$

де підгоночний параметр $a = 11.84$. Коефіцієнт детермінації R^2 рівний 0.955.

Таблиця 1. Середній кут закритості горизонту β та параметр шорсткості z_0 на 10-ти метеорологічних станціях України

Станція	Широта, φ	Довгота, λ	β	z_0
Кропивницький	48°32'37"	32°17'00"	0.75	0.121
Асканія Нова	46°27'04"	33°52'47"	2.88	0.142
Кривий Ріг	48°03'12"	33°12'40"	5.38	0.204
Конотоп	51°14'27"	33°11'13"	7.88	0.597
Одеса	46°26'27"	30°46'13"	10.13	1.226
Гайсин	48°48'01"	29°23'44"	12.75	1.318
Яремче	48°27'10"	24°33'11"	15.00	1.851
Бердянськ	46°45'13"	36°46'50"	17.25	1.594
Умань	48°46'01"	30°13'59"	19.75	1.817
Новоград-Волинський	50°35'34"	27°36'35"	22.38	1.784

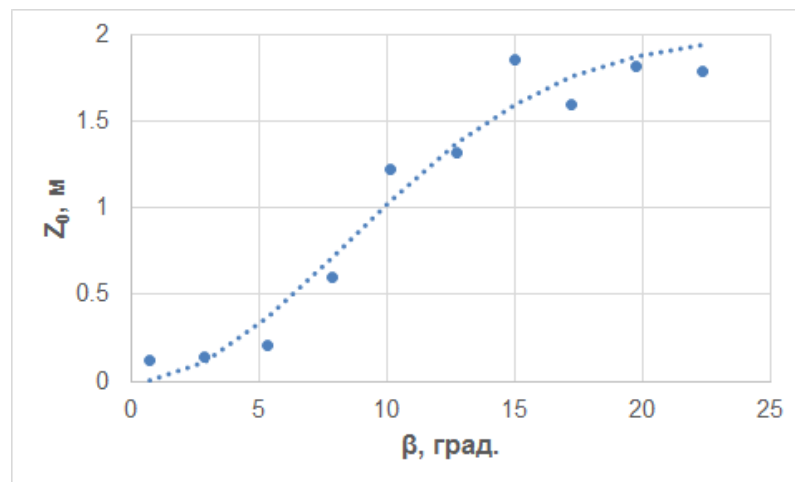


Рис. 3. Залежність параметру шорсткості z_0 від закритості горизонту β

Використовуючи рівність (4) було розраховано значення z_0 майже для всіх метеостанцій України для кожного румба. На трьох станціях, де відсутні дані про закритість горизонту (Крижопіль, Усть-Дунайськ, Червоний Лиман) цю величину визначено на основі регресійної залежності між значеннями середньої швидкості вітру і z_0 на сусідніх станціях, а також використовуючи класифікацію типів місцевості за приблизним оціночним значенням z_0 , представлену в [12, 17, 19]. У розрахунок були використані усі станції, період роботи яких припадає на проміжок часу з 1981 по 2010 роки включно.

Враховуючи те, що у деяких випадках наявна інформація про закритість горизонту може не відображати реальний ступінь захищеності вимірювального приладу на окремому напрямі чи, навіть, на усьому горизонті, отримані значення параметру шорсткості співставлялись зі знімками оточуючої місцевості та інформацією із довідника. У результаті було виявлено деякі невідповідності та перераховано z_0 для ряду метеорологічних станцій та для кожного заданого румбу за формулою (2).

Заключним етапом коригування швидкостей вітру був, власне, їх перерахунок за формулою [19]:

$$u_r = u_s \frac{\ln(60/z_0) \ln(10/z_{0(r)})}{\ln(z_s/z_0) \ln(60/z_{0(r)})} \quad (5)$$

де u_s – виміряна швидкість на висоті z_s , $z_{0(r)}$ – значення параметру шорсткості, яке відповідає умовам відкритої місцевості. У даному випадку u_r є приведеною швидкістю до рівня 10 м та умов при заданому значенні $z_{0(r)}$, яке в роботі приймається рівним 0.1 м. Зауважимо, що згідно інформації поданої у [19], коректним значенням $z_{0(r)}$ за умов відкритої місцевості на значній площі можна вважати 0.03 м. Проте, якщо в досліджуваному районі є лісові масиви чи забудована територія, більш обґрунтованим є $z_{0(r)} = 0.1$ м. Формулу (5) можна отримати з рівності (1) і припущення, що на верхній межі приземного шару (~60 м) зміни шорсткості підстильної поверхні не впливають на просторовий розподіл швидкості вітру у радіусі кількох кілометрів [20]. Слід відмітити, що за оцінками приведеними у [19] достовірність результатів отриманих за формулою (5) може бути гарантована на висоті $20z_0$ і більше, оскільки нижче вітер характеризується значною просторовою неоднорідністю. Незважаючи на це, використаний метод має цінність з точки зору приведення даних до одного вертикального рівня.

У результаті проведених розрахунків отримано нові ряди строкових даних про швидкість вітру на метеорологічних станціях України, діючих за період 1981-2010 рр. (усього 207 станцій). Карту осередненого за 30 років просторового розподілу перерахованих швидкостей представлено на рис. 4.

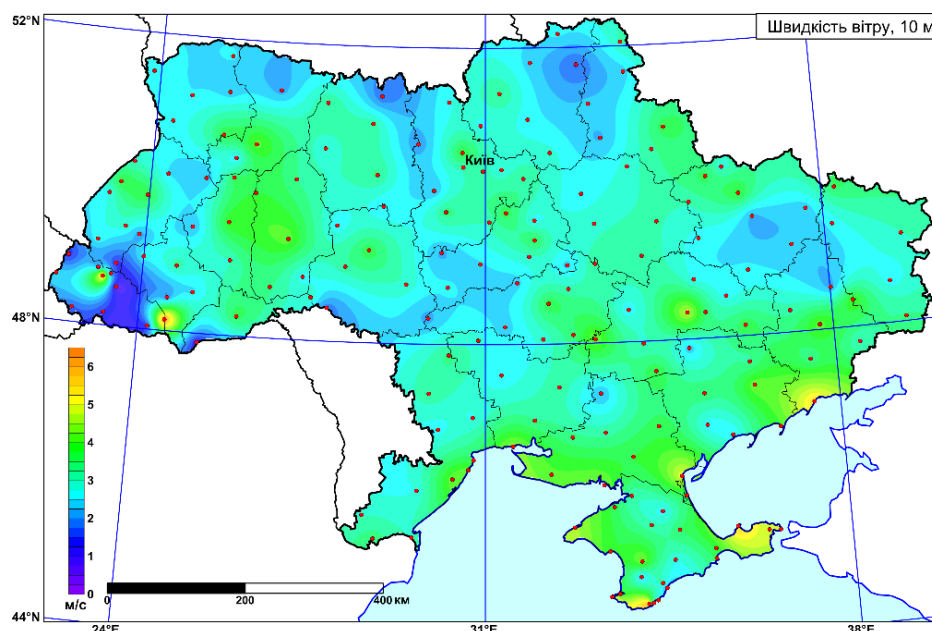


Рис. 4. Приведена до умов відкритого горизонту середня швидкість вітру за період 1981-2010 рр.

При візуальному порівнянні даного розподілу із тим, що приведений на рис. 1, можна відмітити, що середня багаторічна скоригована швидкість є більш рівномірно розподіленою по площі порівняно із осередненими даними мережі регулярних

спостережень. Крім того, її величина в середньому за територією України є вищою на ~ 0.35 м/с, про що може свідчити розподіл середніх відхилень від даних вимірювань на рис. 5. Зазначимо, що використаний метод не змінює нульові значення (штиль), хоча при наявності значних перешкод поблизу вітер є теоретично можливим.

У проведеному аналізі не були враховані такі важливі чинники як перенесення метеорологічного майданчика, зміна у часі найближчого оточення станції та коректність роботи приладу. Незважаючи на це, вплив мікро-масштабних особливостей підстильної поверхні на покази вимірювань був дещо нівельований. Це дозволяє провести більш адекватне картографування (просторову інтерполяцію) та районування території України за характеристиками вітру.

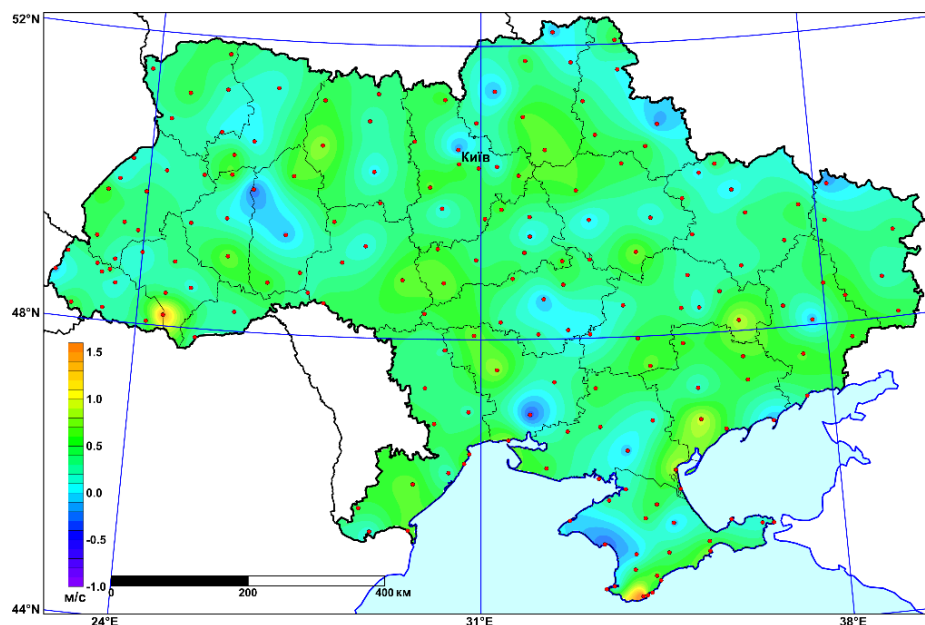


Рис. 5. Середнє за період 1981-2010 рр. відхилення приведеної до умов відкритої місцевості швидкості вітру від вимірних значень

Висновки. У ході виконаної роботи отримано часові ряди приведеної до умов відкритого горизонту та стандартної висоти швидкості вітру з часовою дискретністю 3 години на усіх метеорологічних станціях України, що функціонували за період з 1981 по 2010 рр. За результатами порівняльного аналізу отриманих значень із даними мережі регулярних спостережень за весь період дослідження, поле скоригованої швидкості є більш просторово однорідним та, в середньому по Україні, характеризується більшими значеннями. Є підстави стверджувати, що нові ряди даних краще характеризують режим швидкості вітру на території України, а отже можуть слугувати джерелом для проведення більш коректної інтерполяції та побудови Атласу вітрових енергетичних ресурсів України.

Список літератури

1. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология: Учебник. СПб.: Гидрометеиздат, 2005.
2. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
3. Климатология: Учебник. / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева [и др]. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
4. Милевский В.Ю. Вероятность ветра различной скорости на территории СССР // Труды ЛГМИ. 1961. Вып. 12. С. 58-97.
5. Романова Е.Н. Возможности пространственной интерполяции скорости ветра в приземном слое воздуха в горах // Труды ГГО. 1973. Вып. 306. С. 108-113.
6. Швень Н.И. Про приведення швидкості вітру до умов

відкритого рівного місця // Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 97-103. **7.** Вітрові ресурси Тернопільської області / *В.І. Осадчий, О.Я. Скринник, Д.О. Ошурок, О.А. Скринник* // Геоінформатика. 2017. №4(64). С. 50-61. **8.** Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України: Кліматологічний довідник / *за ред. О. Косовця та Н. Швеня*. Київ, 2011. **9.** *Зилитинкевич С.С.* Динаміка пограничного слоя. Л.: Гидрометеоздат, 1970. **10.** Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. 1: Метеорологічні спостереження на станціях. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. **11.** *Troen I., Lundtang Petersen E.*, European wind atlas. Roskilde: Risø National Laboratory, 1989. 656 p. **12.** Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. **13.** *Brower M.C.* Wind resource assessment: a practical guide to developing a wind project. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 290 p. **14.** *Beaucage P., Brower M.C., Tensen J.* Evaluation of four numerical wind flow models for wind resource mapping // *Wind Energy*. 2014. Vol. 17. P. 197-208. **15.** *Giaiotti D., Oshurok D., Skrynyk O.* The Chernobyl nuclear accident Cs-137 cumulative depositions simulated by means of the CALMET/CALPUFF modelling system // *Atmospheric Pollution Research*. 2017. Vol. 9. P. 502-512. **16.** *Grimmond C.S.B., Oke T.R.* Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. P. 1262-1292. **17.** *Leroy M.* Site classification. Technical note. No. 35. Meteo-France, 1999. **18.** Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/> (дата звернення: 25.07.2019). **19.** *Wieringa J.* Representativeness of wind observations at airports // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1980. Vol. 61, No. 9. P. 962-971. **20.** *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1986. Vol. 112. P. 867-869.

References

1. *Handozhko L.A.* Jekonomicheskaja meteorologija: Uchebnik. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. **2.** *Byzova N.L., Garger E.K., Ivanov V.N.* Jeksperimental'nye issledovanija atmosfernoj diffuzii i raschety rassejaniya primesi. L.: Gidrometeoizdat, 1991. **3.** *Klimatologija: Uchebnik. / O.A. Drozdov, V.A. Vasil'ev, N.V. Kobysheva [i dr].* L.: Gidrometeoizdat, 1989. **4.** *Milevskij V.Ju.* Veroyatnost' vetra razlichnoj skorosti na territorii SSSR // *Trudy LGMI*. 1961. Vyp. 12. S. 58-97. **5.** *Romanova E.N.* Vozmozhnosti prostranstvennoj interpoljacii skorosti vetra v prizemnom sloe vozduha v gorah // *Trudy GGO*. 1973. Vyp. 306. S. 108-113. **6.** *Shven' N.I.* Pro pryvedennia shvydkosti vitru do umov vidkrytoho rivnoho mistsia // *Naук. прати UkrNDHMI*. 2006. Вип. 255. С. 97-103. **7.** Вітрові ресурси Тернопільської області / *В.І. Осадчий, О.Я. Скринник, Д.О. Ошурок, О.А. Скринник* // Геоінформатика. 2017. №4(64). С. 50-61. **8.** Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України: Кліматологічний довідник / *за ред. О. Косовця та Н. Швеня*. Київ, 2011. **9.** *Зилитинкевич С.С.* Динаміка пограничного слоя. Л.: Гидрометеоздат, 1970. **10.** Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. 1: Метеорологічні спостереження на станціях. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. **11.** *Troen I., Lundtang Petersen E.*, European wind atlas. Roskilde: Risø National Laboratory, 1989. 656 p. **12.** Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. **13.** *Brower M.C.* Wind resource assessment: a practical guide to developing a wind project. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 290 p. **14.** *Beaucage P., Brower M.C., Tensen J.* Evaluation of four numerical wind flow models for wind resource mapping // *Wind Energy*. 2014. Vol. 17. P. 197-208. **15.** *Giaiotti D., Oshurok D., Skrynyk O.* The Chernobyl nuclear accident Cs-137 cumulative depositions simulated by means of the CALMET/CALPUFF modelling system // *Atmospheric Pollution Research*. 2017. Vol. 9. P. 502-512. **16.** *Grimmond C.S.B., Oke T.R.* Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. P. 1262-1292. **17.** *Leroy M.* Site classification. Technical note. No. 35. Meteo-France, 1999. **18.** Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/> (дата звернення: 25.07.2019). **19.** *Wieringa J.* Representativeness of wind observations at airports // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1980. Vol. 61, No. 9. P. 962-971. **20.** *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1986. Vol. 112. P. 867-869.

Приведення даних вимірювань швидкості вітру до умов відкритої місцевості
Ошурок Д.О., Скриник О.Я.

Достовірність результатів багатьох прикладних досліджень із використанням інформації про вітер базується на якості вхідних даних. Також відомо, що виміряні на метеорологічних станціях України швидкості вітру часто є не репрезентативними відносно району спостережень через різний характер оточення у безпосередній близькості до вимірювального приладу. З метою вирішення цієї проблеми строкові дані про швидкість вітру, отримані на мережі метеостанцій Гідрометслужби за період 1981-2010 рр., були приведені до умов відкритого горизонту та стандартної висоти вимірювань. У результаті проведених розрахунків отримано строкові ряди даних, які відповідають умовам однорідної підстильної поверхні. Ця інформація може бути залучена для проведення більш коректної просторової інтерполяції та побудови Атласу вітроенергетичних ресурсів України.

Ключові слова: швидкість вітру, вертикальний профіль, закритість горизонту, шорсткість підстильної поверхні.

Приведение данных измерений скорости ветра к условиям открытой местности
Ошурок Д.О., Скриник О.Я.

Достоверность результатов многих прикладных исследований с использованием информации про ветер базируется на качестве входных данных. Также известно, что измеренные на метеорологических станциях Украины скорости ветра часто являются не репрезентативными относительно района наблюдений из-за разного характера окружения в непосредственной близости к измерительному прибору. С целью устранения этой проблемы срочные данные скорости ветра, полученные на сети метеостанций Гидрометслужбы Украины за период 1981-2010 гг., были приведены к условиям открытого горизонта и стандартной высоты измерений. В результате проведенных расчетов получены срочные ряды данных, соответствующие условиям однородной подстилающей поверхности. Эта информация может быть использована для проведения более корректной пространственной интерполяции и построения Атласа ветроэнергетических ресурсов Украины.

Ключевые слова: скорость ветра, вертикальный профиль, закрытость горизонта, шероховатость подстилающей поверхности.

Correction of wind speed data according to the open terrain conditions
Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.

Wind speed spatial distribution over the territory of Ukraine built based on weather stations measurements has been analyzed. Interpolated field of wind speed averaged over 1981-2010 indicated fairly heterogeneous structure with a number of artificial spots of larger/smaller values compared to surrounding areas. The main reason of such heterogeneity might be associated with representativeness of observation site regarding the landscape zone. It is well known that surrounding obstacles have a great impact on wind flow in horizontal direction.

In order to solve this problem we have corrected sub-daily wind speed data measured at 207 meteorological stations of Ukraine for the period of 1981-2010 according to the open terrain conditions and the standard height (10 m). Generally, aerodynamic characteristics (e.g. surface roughness length) of measurement sites are needed in order to perform such adjustment. However, the only usable parameter available at a climatological reference book is horizon closure degree. The research revealed significant relationship between this characteristic and wind speed records (Pearson correlation coefficient equals - 0.58). Given that horizon closure degree could not be used in correction procedure directly, surface roughness length has been calculated for 10 stations and statistical relationship has been determined between these two parameters. Based on the obtained relation and additional information we have found roughness length for all 207 stations at eight directions. Supplementary materials for analysis included observation sites description and Google Earth snapshots as well. In the final step, there has been applied a correction formula derived from the neutral logarithmic profile of wind speed in the atmospheric surface layer.

The output of the research is new database of corrected wind speed measurements for the multiyear period. These results have been compared with observations. Mean 30-yr corrected speeds are featured by more homogeneous distribution over Ukraine and mostly higher values (with positive mean spatial bias ~0.35 m/s).

The applied method allowed us to remove uncertainties related to differences in vertical level of measurements and considerably eliminate influence of the micro-scale terrain inhomogeneity. Obtained datasets may facilitate to perform spatial interpolation and further development of Ukrainian Wind Atlas.

Keywords: wind speed, vertical profile, horizon closure degree, surface roughness length.

Надійшла до редколегії 02.09.2019

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

Пясецька С.І., Гребенюк Н.П., Савчук С.В.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ

ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ОКРЕМИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИМИ ВЕЛИЧИНАМИ У ДАТИ ПОЧАТКУ ВІДКЛАДЕННЯ ОЖЕЛЕДІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПО МІСЯЦЯХ ХОЛОДНОГО ПЕРІОДУ РОКУ ПРОТЯГОМ 2001-2013 рр. ТА ЇХ ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ

Ключові слова: відкладення ожеледі, метеорологічні параметри, статистично значущий кореляційний зв'язок, коефіцієнт кореляції, місяці холодного періоду року.

Вступ. На Україні відкладення ожеледі відбуваються у року кожного року переважно у місяці холодного періоду. Проте вони можуть бути наявні і у окремі місяці теплого періоду, як наприклад у квітні та жовтні. У ці місяці вони здебільшого спостерігаються не кожного року та мають місце у окремих місцях де для них створюються відповідні сприятливі умови. Загалом відкладення ожеледі відносяться до несприятливих погодних явищ, які у більшості випадків погіршують, а відкладення категорії НЯ та СГЯ перешкоджають безперебійній роботі ряду галузей економіки, таких як транспорт, електроенергетика, зв'язок та комунальна сфера та призводять до значних економічних збитків, а у окремих випадках навіть до трагічних наслідків. На території України існують регіони, де вплив таких погодних явищ найбільш виражений, а відповідно існують кліматовразливі райони, які знаходяться під впливом цього несприятливого явища. Зважаючи на різкі зміни клімату протягом останнього часу актуальним є дослідження мінливості у часі та просторі кліматовразливих районів на території України натеper та найближчому майбутньому для забезпечення сталого розвитку країни.

Об'єкт, предмет, мета та методи дослідження. *Об'єктом* дослідження є відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка. *Предметом* дослідження є розповсюдження відкладень ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка на території України на сучасному етапі зміни клімату протягом 2001-2013 рр. та *Метою* дослідження є встановлення кореляційного зв'язку між окремими метеорологічними параметрами у дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка для побудови прогнозу кліматичних змін екстремальних погодних величин та явищ. *Методи дослідження* – загальним методом дослідження є емпірико-статистичний, а також метод кореляційного аналізу.

Представлена робота є логічним продовженням раніше розпочатого дослідження з визначення статистично значущих залежностей між окремими парами метеорологічних величин у дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка на метеорологічних станціях України протягом окремих сезонів 2001-2013 рр., результати якого були представлені у попередньому випуску журналу. Робота виконана у межах теми 1/18 «Прогнозування мінливості кліматовразливих районів на території України в найближчі десятиліття» плану НДР Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (номер державної реєстрації 0118U000554).

Характеристика вихідного матеріалу. Для аналізу було використано матеріали спостережень за ожеледо-паморозевими відкладеннями розміщеними у відповідних таблицях Метеорологічного щомісячника Ч. 2, Вип. 10 Україна. Період спостереження охоплював роки з 2001 по 2013 рр. Як вже попередньо було

зазначено такий період було обрано не випадково у першу чергу тому що, він відповідає сучасному стану кліматичної системи, а також тому що у цей період спостереження проводились на усіх 187 станціях країни, на відміну від подальшого, коли внаслідок незаконної анексії АР Крим Російською Федерацією та проведення Антитерористичної операції на сході країни частина метеорологічних станцій (23 в АР Крим та 5 на території Луганської та Донецької областей) та їх інформація для України була втрачена.

Огляд стану проблеми. Дослідженнями фізичних особливостей виникнення ожеледо-паморозевих відкладень займалися багато видатних вчених фахівців з фізики атмосфери та особливо її приземного шару, метеорологів таких як В.І. Вернадський (1933), Б.П. Вайнберг (1940), Заморський О. Д. (1955). Подальші дослідження, які стосувались фізико-географічних особливостей просторового розподілу ожеледо-паморозевих відкладень зокрема на території України розвинуто у роботах А.М. Раєвського [14-21] та М.М. Волевахи [1]. Із врахуванням відносної висоти місцевості, ступеня захищеності по відношенню до переважаючих при відкладенні ожеледі вітрам, експозиції самого мікросхилу на якому знаходиться пункт спостереження встановлено 7 основних типів рельєфу. Визначено, що V-VII типи рельєфу є найбільш ожеледонебезпечні, проте у Карпатах та Криму (переважно VII тип) чіткий зв'язок між абсолютними висотами та частотою і розмірами ожеледо-паморозевих відкладень [19], виявлено для пунктів які знаходяться на одному схилі та в однакових умовах.

Особливості виникнення, стан розповсюдження та розробка схем прогнозування ожеледо-паморозевих відкладень, зокрема ожеледі на території України протягом кінця 30-х – початку 70-х років XX століття представлено у роботах О.М. Кошенка [4-8] та у монографіях групи співробітників УкрГМІ під керівництвом В.М. Бабіченко [9, 11, 12]. Ця робота була продовжена у дослідженнях, що проводились в УкрГМІ та які відносяться до періоду з середини 70-х років до кінця XX століття, який був присвячений сучасному на той час клімату України та суміжною з нею територією Молдавії [10, 22]. Останньою фундаментальною роботою з дослідження ряду стихійних метеорологічних явищ на Україні у тому числі і ожеледо-паморозевих відкладень, особливо сильної ожеледі, налипання мокрого снігу та складних відкладень є монографія [23], в якій досліджено стан інтенсивності та розповсюдження цих стихійних явищ протягом 1985-2005 рр.

Прогнозування ожеледо-паморозевих утворень розпочате О.М.Кошенком було продовжене у роботах В.О. Волевахи та інш. [2, 3] на основі дискримінантного аналізу. У цих роботах було здійснено спробу залучення апарату математичної статистики, яка була здійснена для прогнозування інтенсивності відкладень ожеледі у тому числі помірної та сильної. Цей метод було запропоновано для розробки альтернативного методу прогнозу наявності чи відсутності явища помірної чи сильної ожеледі, якому передував відбір параметрів для характеристики стану атмосфери із залученням ряду показників на ізобаричних поверхнях від землі до 700 гПа та інформації про стан самого відкладення. Ця робота була продовжена у дослідженні прогнозування діаметрів відкладень помірної та сильної ожеледі на території рівнинної частини України. Натепер методи дискримінантного аналізу з прогнозування зледеніння біля поверхні землі, визначення фазового стану випадання переохолоджених опадів та їх діагностування, а також розподіл їх по видам та визначення класу зледеніння метеостанції було застосовано для метеорологічних станцій південного регіону на прикладі Одеської області в роботах Хоменко І. А. [24, 25]. Як результат було отримано емпіричні формули для розрахунку інтенсивності осадження окремих крапель води в залежності від її вмісту в повітрі, швидкості вітру та тривалості часу для окремих видів приземного

зледеніння (ожеледо-паморозових відкладень) та дискримінантні функції, які відокремлюють різні типи атмосферного зледеніння в залежності від температури та вітру.

Для визначення імовірного стану клімату в Україні та встановлення мінливості розташування кліматовразливих районів на її території від окремих явищ постає необхідність його передбачення шляхом прогнозу окремих показників. Одним з чільних місць у цьому дослідженні належить дослідженню несприятливих метеорологічних явищ, зокрема таких як ожеледо-паморозові відкладення, які є не тільки несприятливими явищами взагалі але й можуть мати небезпечний та стихійний характер.

Обговорення основних результатів. На відміну від попереднього дослідження де матеріалами були данні про дати початку відкладень ожеледі на території України та метеорологічні показники у ці дати по окремих сезонах року для даного дослідження було обрано подібну інформацію в масштабах кожного окремого місяця. Таким чином для аналізу було обрано наступні 5 місяців: січень, лютий, березень, листопад та грудень. Для таких місяців як квітень та жовтень кількість даних не відповідала граничним умовам для проведення аналізу, а саме кількість дат була менша за 30. Для вищезгаданих місяців було отримано кореляційну залежність між парами ряду метеорологічних величин - добова температура повітря (середня, максимальна, мінімальна), середня відносна вологість повітря та відносна максимальна вологість повітря, швидкість вітру (середня та максимальна з 8 строків спостережень), тиск на рівні моря, добова кількість опадів, висота снігового покриву у дати початку відкладення ожеледі дротах стандартного ожеледного станка. Аналіз проводився для кожної метеорологічної станції окремо. Враховуючи об'єм вибірки було визначено рівень значущості, при якому можна говорити про те що зв'язок між парами метеорологічних величин існує є значення коефіцієнту кореляції, який становить $K \pm 0,6$, тобто він може бути додатним, або від'ємним. Таким чином було отримано області, де найбільше спостерігалось значущих кореляційних залежностей між окремими комбінаціями пар метеорологічних величин у дати початку відкладень ожеледі.

Зимовий сезон. Січень. У січні встановлено декілька варіантів пар кореляційних залежностей між окремими метеорологічними величинами, де коефіцієнт кореляції був статистично значущим і становив $\pm 0,6$. При чому найбільш розповсюдженою є залежність між добовою температурою повітря (середньою, максимальною та мінімальною) та відносною вологістю повітря (середньою, максимальною) яка є додатною ($K \geq 0,6$). Така залежність встановлена на станціях областей Лівобережжя України та її центральної частини. Найбільше станцій з такою залежністю спостерігалось у областях у напрямку із північного сходу на південний схід: Чернігівській, Сумській, Харківській, Луганській, Донецькій, Полтавській, Запорізькій та Дніпропетровській (рис.1. I (a)).

Серед інших комбінацій пар метеорологічних величин було встановлено статистично значущу від'ємну кореляційну залежність ($K \leq -0,6$) між температурою повітря (середньою, максимальною, мінімальною) та тиском на рівні моря. Така залежність спостерігалась на станціях у Донецькій та Луганській областях поодинокі, але найбільше у АР Крим (рис. 1. I (б)). Крім того було встановлено ще один варіант комбінації зв'язку метеорологічних величин в дати початку відкладень ожеледі, а саме статистично значущий від'ємний зв'язок між швидкістю вітру (середнього та максимального з 8 строків спостережень) з відносною середньою вологістю повітря. Такий зв'язок було встановлено на станціях Закарпатської,

Львівської та Івано-Франківської областей, причому здебільшого у Закарпатській Львівській областях (рис. 1. I (в)).

Лютий. У лютому здебільшого було встановлено 2 види пар комбінацій метеорологічних величин між якими у дати початку відкладень ожеледі було визначено статистично значущий коефіцієнт кореляційного зв'язку. Перша комбінація для пари метеорологічних показників - температура (середня, мінімальна) та відносна вологість повітря (середня, максимальна). Для неї було отримано значущий додатний коефіцієнт кореляційного зв'язку ($K \geq 0,6$). Територіально він має місце на станціях, які розташовані у областях сходу країни у напрямку від північного сходу (Сумська область) на схід (Харківська, Луганська, Донецька області) та південний схід (Запоріжжя) і південь (АР Крим). Крім того таке поєднання спостерігалось на станціях окремих центральних областей таких як Полтавська та Дніпропетровська області (рис. 1. II (а)). Встановлено, що у цілому найбільше таких станцій на території Харківської, Луганської та Донецької областей. Інша комбінація становила пару метеорологічних параметрів між швидкістю вітру (середня) та відносною середньою вологістю вітру. Статистично значущий коефіцієнт кореляції між ними був від'ємним і становив $K \leq -0,6$. Станції на яких була виявлена така комбінація спостерігались у Криму та на Закарпатті (рис 1. II (б)). Крім того у Одеській області на декількох окремих станціях спостерігалася ще одна комбінація метеорологічних параметрів між якими було встановлено статистично значущий від'ємний зв'язок, а саме - температура повітря (середня, максимальна, мінімальна) та висота снігу.

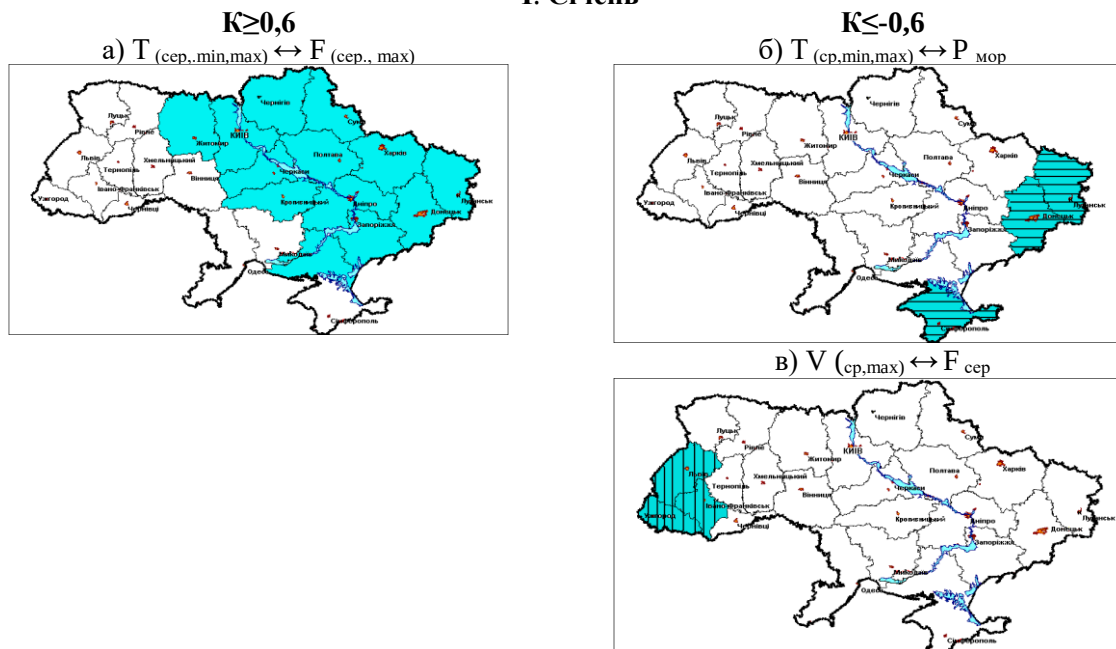
Грудень. У грудні встановлено здебільшого 2 вида пар комбінацій метеорологічних величин у дати початку відкладення ожеледі. Перша комбінація метеорологічних величин включає у собі температуру повітря (середня, максимальна, мінімальна) та відносну вологість повітря (середня, максимальна). Цей зв'язок має додатний характер і є статистично значущим ($K \geq 0,6$). Територіально такий зв'язок спостерігався на станціях областей сходу країни від Чернігівської області на півночі, а далі на північний схід (Сумська, Харківська області) та схід (Луганська область). Крім того такий зв'язок встановлено і на станціях окремих центральних областей – Полтавської та Дніпропетровської (рис. 1. III (а)). Інший встановлений вид комбінації метеорологічних величин – температура повітря (середня, мінімальна) та висота снігового покриву. Цей зв'язок статистично значущий має від'ємний знак ($K \leq -0,6$). Територіально станції на яких подібний зв'язок було встановлено розташовуються у Донецькій області та на Закарпатті (рис. 1. III (б)). Крім того встановлено ще 2 вида пар комбінацій зв'язку окремих метеорологічних величин, а саме статистично значущий від'ємний кореляційний зв'язок між швидкістю вітру (середня) та середньою відносною вологістю повітря (АР Крим), а також між висотою снігу та тиском на рівні моря (Одеська область). Проте ці дві комбінації метеорологічних параметрів спостерігаються лише на окремих станціях вищезгаданих областей.

Весняний сезон. Березень. Для аналізу у весняному сезоні було обрано тільки березень місяць, тому що для квітня кількість даних не відповідала граничним умовам. У березні протягом 2001-2013 рр. на метеорологічних станціях України було встановлено 6 варіантів пар комбінацій метеорологічних величин, кореляційний зв'язок яких виявився статистично значущим. Переважно такий зв'язок мав обернений (від'ємний) знак. Перший варіант такого кореляційного зв'язку був між температурою повітря за добу (середня, максимальна) та відносною вологістю повітря (середня, максимальна) (рис.2 (а)). Такий варіант був поширений на станціях, які розташовувались в областях у напрямку із заходу (Івано-Франківська, Львівська області), центр (Вінницька область) на південний захід

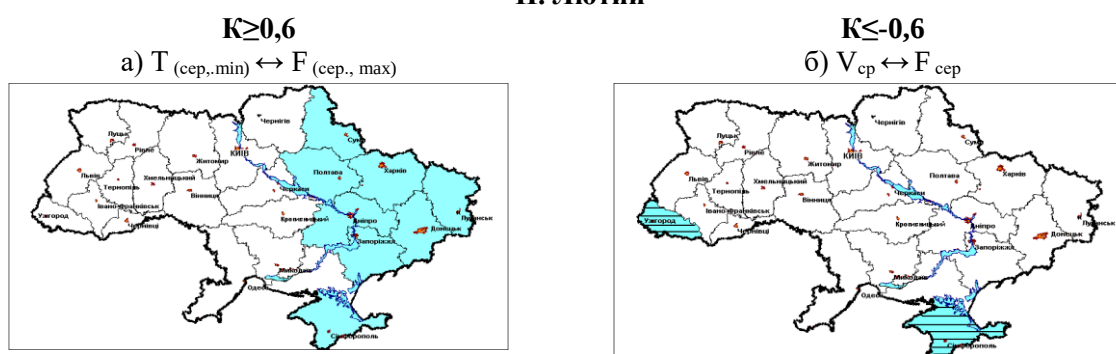
(Одеська область), південь (Херсонська область, АР Крим) та південний схід (Дніпропетровська, Запорізька, Донецька області). Найбільше станцій із такою залежністю спостерігалось на території АР Крим та в Одеській області.

Зимові місяці

I. Січень



II. Лютий



III. Грудень

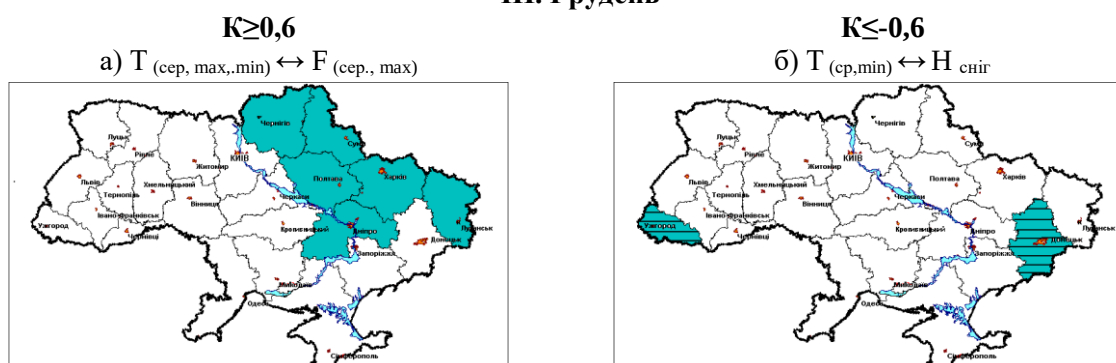


Рис. 1 Кореляційна залежність окремих параметрів в дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка у окремі зимові місяці протягом 20011-2013рр.

Весняні місяці
Березень

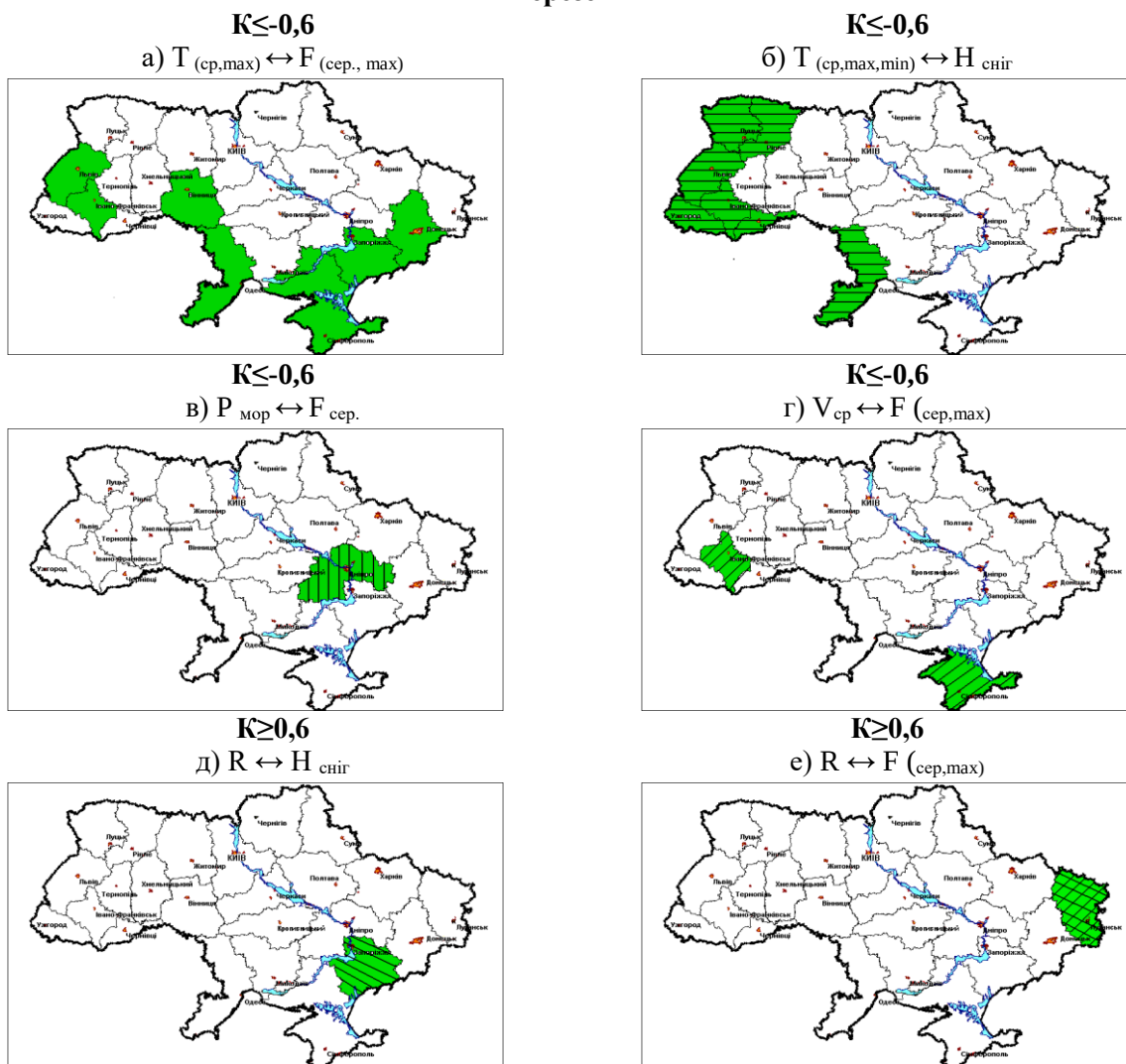


Рис. 2. Кореляційна залежність окремих параметрів в дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка навесні (березень) протягом 20011-2013рр.

Наступний варіант кореляції пар метеорологічних величин стосувався температури повітря за добу (середня, максимальна, мінімальна) та висотою снігового покриву (рис.2 (б)). Територіально станції на яких встановлено такий статистично значущий від'ємний зв'язок знаходились переважно у областях західної частини України від Волині до Закарпаття, а також на території Одеської області. Третій варіант кореляції пар метеорологічних величин спостерігався між тиском на рівні моря та відносною середньою вологістю повітря (рис. 2. (в)). Територіально станції із подібною статистично значущою кореляційною залежністю ($K \leq -0,6$) спостерігались на Дніпропетровщині. Четвертим варіантом статистично значущої залежності ($K \leq -0,6$) між окремими парами метеорологічних величин є зв'язок між середньою швидкістю вітру та відносною вологістю повітря (середньою, максимальною). Станції із таким видом зв'язку територіально розміщені у АР Крим та на Івано-Франківщині (рис. 2 (г)). Однак таких станцій небагато.

Крім того виявлено додатний статистично значущий зв'язок ($K \geq 0,6$) між окремими парами метеорологічних величин. Так, було встановлено подібний

статистично значущий кореляційний зв'язок між добовою кількістю опадів та висотою снігу. Цей зв'язок спостерігався поодиноким у Запорізькій області (рис. 2 (д)). Наступний статистично значущий додатний зв'язок виявлено між добовою кількістю опадів та відносною вологістю повітря (середньою, максимальною). Такий вид зв'язку поодиноким спостерігався у Луганській області (рис. 2 (е)).

Осінній сезон. Листопад. Для аналізу у осінньому сезоні було залучено відповідні данні по листопаду. Для жовтня таких даних було недостатньо для визначення статистично значущих кореляційних залежностей. У листопаді протягом 2001-2013 рр. виявлено ряд комбінацій пар метеорологічних величин. Загалом статистично значущих кореляційних зв'язків між парами метеорологічних величин було встановлено 8, причому 7 з них були від'ємними і лише у одному випадку додатними. Перший вид статистично значущого кореляційного зв'язку встановлено між температурою повітря (максимальна) та відносною вологістю повітря (середня, максимальна). Такий зв'язок був від'ємним ($K \leq -0,6$) та спостерігався на станціях АР Крим, а також на території областей західної частини України – Львівської, Івано-Франківської, Чернівецької та Закарпатської (рис 3 (а)).

Другий вид статистично значущого зв'язку (від'ємного за знаком) між парами метеорологічних величин був між температурою повітря та тиском на рівні моря. Станції з таким зв'язком у дати початку відкладень ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка спостерігались на території АР Крим та у Київській області (рис. 3 (б)).

Наступна пара метеорологічних величин між якими було встановлено значущий кореляційний зв'язок між швидкістю вітру (середня, максимальна з 8 строків) та тиском на рівні моря. Територіально така значуща залежність спостерігалась на станціях у окремих східних (Харківська, Луганська), центральних (Кіровоградська, Дніпропетровська) та південних областях (Одеська, Херсонська, Миколаївська, Запорізька та АР Крим) (рис. 3 (в)). Найбільше станцій з таким видом зв'язку спостерігалось на території Херсонської, Дніпропетровської областей та АР Крим.

Інший статистично значущий зв'язок (від'ємний за знаком) було встановлено між швидкістю вітру (середня) та відносною вологістю повітря (середня). Такий зв'язок було встановлено на поодиноких станціях на території АР Крим (рис. 3 (г)).

Також було встановлено від'ємний статистично значущий зв'язок між температурою повітря (середня, максимальна, мінімальна) та висотою снігу. Такий зв'язок був встановлений на станціях у декількох областях, а саме на півночі у Київській та Чернігівській областях, заході – Івано-Франківській та Тернопільській, а на сході у Луганській областях (рис. 3 (д)).

Інші два від'ємні значущі зв'язки було встановлено між добовою кількістю опадів та тиском на рівні моря (рис. 3 (е)), а також між добовою кількістю опадів та максимальною швидкістю вітру обраною з 8 строків (рис. 3 (ж)). Перша з цих двох статистично значущих залежностей (добова кількість опадів – тиск на рівні моря) спостерігається на станціях в областях у напрямку з півночі від Чернігівської та Київської областей, через центр (Черкаська, Вінницька області) на південь (Одеська область). Друга з вищенаведених залежностей це статистично значуща залежність між добовою кількістю опадів та швидкістю вітру (максимальний з 8 строків). Такий кореляційний зв'язок було встановлено на окремих станціях у Одеській, Херсонській та Кіровоградській областях (рис. 3 (ж)).

Наступний вид статистично значущого кореляційного зв'язку додатного за знаком ($K \geq 0,6$) встановлено між кількістю опадів за добу та швидкістю вітру (середня, максимальна з 8 строків). Така залежність спостерігалась поодиноким на окремих станціях у Черкаській та Миколаївській областях (рис. 3. (з)).

Осінні місяці
Листопад

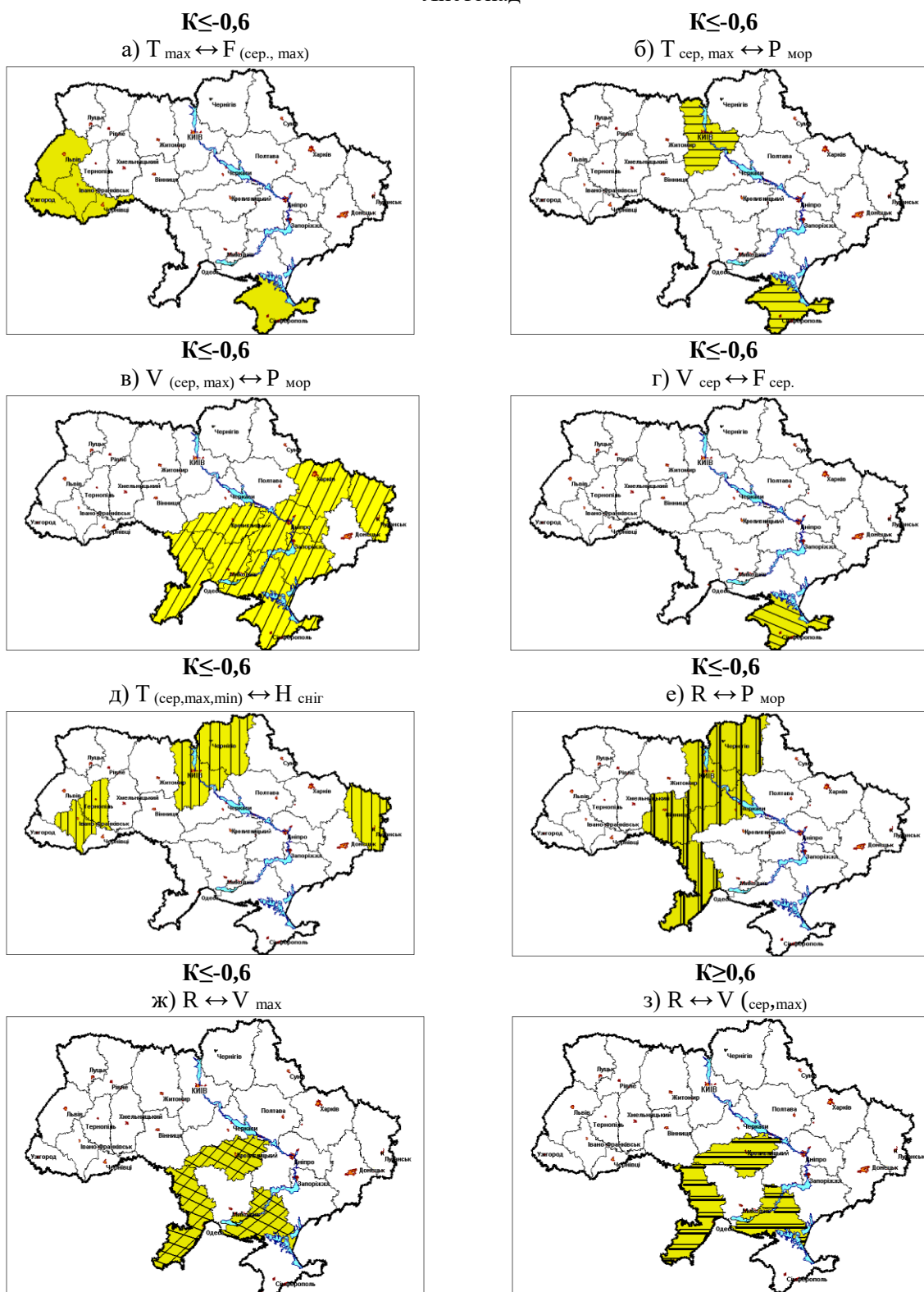


Рис. 3 Кореляційна залежність окремих параметрів в дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка восени (листопад) протягом 20011-2013рр.

Висновки. З вищенаведеного можна зробити ряд висновків, а саме:

1. Найбільш розповсюдженим варіантом статистично значущого зв'язку між окремими метеорологічними параметрами був зв'язок між температурою порвітря (середня, максимальна, мінімальна) та відносною вологістю повітря (середня, максимальна). Таким чином, практично для усіх досліджуваних місяців встановлено статистично значущий зв'язок між температурою порвітря (середня, максимальна, мінімальна) та відносною вологістю повітря (середня, максимальна). Для зимових місяців коефіцієнт кореляції цього зв'язку був додатним, а для березня та листопада від'ємним.

2. Поширеним варіантом статистично значущого зв'язку був зв'язок між температураю повітря (середня, максимальна, мінімальна) та висотою снігового покриву. Цей зв'язок для досліджуваних місяців виявився від'ємним.

3. Досить поширеними виявилися варіанти від'ємного статистично значущого зв'язку між середньою швидкістю вітру та середньою відносною вологістю повітря (січень, лютий, грудень), середньою та максимальною швидкістю вітру та тиском на рівні моря (листопад), а також між добовою кількістю опадів та висотою снігу (березень), добовою кількістю опадів та швидкістю вітру (середня, максимальна), а також тиском на рівні моря (листопад).

4. Протягом місяців холодного періоду року значно менш поширеними виявилися статистично значущі зв'язки між температурою повітря (середня, максимальна) та тиском на рівні моря (листопад), швидкістю вітру (середня, максимальна) та середньою вологістю повітря (січень, грудень), тиском на рівні моря та середньою відносною вологістю повітря (березень). Також поодинокими були випадки статистично значущого зв'язку між висотою снігу та тиском на рівні моря (грудень).

5. Найбільш часто статистично значущі зв'язки між метеорологічними величинами в дати відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка спостерігались на станціях в центральних, північно-східних, східних та окремих південних областях.

Список літератури

1. Волеваха Н.М. О влиянии орографии на гололедные отложения. Труды УкрНИГМИ, 1958. Вып. 13. С. 82-86. 2. Волеваха В.А., Волконская Н.К., Башкирова Л.Е. О возможности прогнозирования интенсивности отложения гололеда. Труды УкрНИГМИ, 1986. Вып. 219. С. 58-67. 3. Волеваха В.А., Прохоренко В.М. Рекомендации к прогнозу умеренного и сильного гололеда на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1991. Вып. 239. 48-55. 4. Кошенко А.М. Особо опасные гололеды на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1976. Вып. 134. С. 79-91. 5. Кошенко А.М. Особо опасные отложения гололеда в Горном Крыму. Труды УкрНИГМИ, 1977. Вып. 160. С. 3-12. 6. Кошенко А.М. Рекомендации к прогнозу особо опасных отложений гололеда внутримассового происхождения на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1977. Вып. 160. С. 13-20. 7. Кошенко А.М. Рекомендации к прогнозу фронтальных гололедов на Украине Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 113. С. 3-8. 8. Кошенко А.М. Некоторые характеристики внутримассовых гололедов на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 113. С. 9-18. 9. Клімат України [Монографія] / Под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 с. 10. Клімат України [Монографія] / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабиченко. К.: Вид-во. Раєвського, 2003. 343 с. 11. Опасные явления погоды на Украине / Под ред. К.Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 110. 235 с. 12. Природа Украинской ССР. Клімат [Монографія] / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. К.: Наукова думка, 1984. 231 с. 13. Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология, 1975. Вып. 11. С. 33-37. 14. Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Распределение и условия возникновения особо опасных отложений атмосферного льда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ, 1973. Вып. 124. С. 84-90. 15. Раевский А.Н. К вопросу о повторяемости гололеда. Метеорология

и гидрология, 1953. № 1. С. 28-31. **16. Раевский А.Н.** Влияние рельефа на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды ОГМИ, 1961. Вып. XXIII. С. 3-10. **17. Раевский А.Н.** О распределении гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ., 1961. Вып. 29. С. 50-62. **18. Раевский А.Н.** Влияние особенностей рельефа на распределение гололедных отложений. Труды ГГО, 1961. Вып. 122. С. 75-80. **19. Раевский А.Н.** К вопросу о влиянии рельефа на распределение отложений гололеда в Украинских Карпатах. Метеорология, климатология и гидрология, 1968. Вып. 3. С. 80-84. **20. Раевский А.Н., Вязовченко Е.А.** Синоптические условия образования значительного гололеда в Украинских Карпатах. Метеорология, климатология и гидрология, 1969. Вып. 5. С. 64-70. **21. Раевский А.Н.** К вопросу о влиянии характера рельефа и лесистости на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды УкрНИГМИ, 1967. Вып. 65. С. 113-117. **22. Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии [Монография] / Под ред. В.Н. Бабиченко.** Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 223 с. **23. Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) [Монография] / За ред. В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М. Бабіченко.** К.: Вид-во Ніка-Центр, 2006. 311 с. **24. Хоменко І.А.** Метеорологічні умови формування та зберігання льодових відкладень в Одеському регіоні. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2009. № 2(10). С. 72-85. **25. Хоменко І. А.** Умови та механізми утворення замерзаючих опадів та ожеледно-паморозевих явищ біля поверхні землі та на висотах над територією України. Автореферат дисертаційної роботи...на здобуття наукового ступеня к. геогр. н. за спеціальністю 11.00.09. Одеса, 2013. 17 с.

References

1. Volevakha N.M. O vliyanii orografii na gololednyye otlozheniya. Trudy UkrNIGMI, 1958. Vyp. 13. S. 82-86. **2. Volevakha V.A. Volkonskaya N.K, Bashkirova L.Ye.** O vozmozhnosti prognozirovaniya intensivnosti otlozheniya gololeda. Trudy UkrNIGMI, 1986. Vyp. 219. S. 58-67. **3. Volevakha V.A. Prokhorenko V.M.** Rekomendatsii k prognozu umerennogo i sil'nogo gololeda na Ukraine. Trudy UkrNIGMI, 1991. Vyp. 239. 48-55. **4. Koshenko A.M.** Osobo opasnyye gololedy na Ukraine. Trudy UkrNIGMI, 1976. Vyp. 134. S. 79-91. **5. Koshenko A.M.** Osobo opasnyye otlozheniya gololeda v Gornom Krymu. Trudy UkrNIGMI, 1977. Vyp. 160. S. 3-12. **6. Koshenko A.M.** Rekomendatsii k prognozu osobo opasnykh otlozheniy gololeda vnutrimassovogo proiskhozhdeniya na Ukraine. Trudy UkrNIGMI, 1977. Vyp. 160. S. 13-20. **7. Koshenko A.M.** Rekomendatsii k prognozu frontal'nykh gololedov na Ukraine TrudyUkrNIGMI, 1972. Vyp. 113. S. 3-8. **8. Koshenko A.M.** Nekotoryye kharakteristiki vnutrimassovykh gololedov na Ukraine. Trudy UkrGMI, 1972. Vyp. 113. S. 9-18. **9. Klimat Ukrainy [Monografiya] / Pod red. G.F. Prihot'ko, A.V. Tkachenko, V.N. Babichenko.** L.: Gidrometeoizdat, 1967. 413 s. **10. Klimat Ukraїni [Monografiya] / Za red. V.M. Lїpїn's'kogo, V.A. Dyachuka, V.M. Babїchenko.** K.: Vid-vo. Raїvs'kogo, 2003. 343 s. **11. Opasnyye yavleniya pogody na Ukraine / Pod red. K.T. Logvinova.** Trudy UkrNIGMI, 1972. Vyp. 110. 235 s. **12. Priroda Ukrainy SSR. Klimat [Monografiya] / Pod red. K.T. Logvinova, M.I. Shcherbanya.** K.: Naukova dumka, 1984. 231 s. **13. Prokhorenko M.M., Rayevskiy A.N.** Osobennosti raspredeleniya gololedno-izmorozevykh otlozheniy na territorii Ukrainy v anomal'nyye zimy. Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, 1975. Vyp. 11. S. 33-37. **14. Prokhorenko M.M, Rayevskiy A.N.** Raspredeleniye i usloviya vzniknoveniya osobo opasnykh otlozheniy atmosfernogo l'da na territorii Ukrainy. Trudy UkrNIGMI, 1973. Vyp. 124. S. 84-90. **15. Rayevskiy A.N.** K voprosu o povtoryayemosti gololeda. Meteorologiya i gidrologiya, 1953. № 1. S. 28-31. **16. Rayevskiy A.N.** Vliyaniye rel'yefa na raspredeleniye gololedno-izmorozevykh otlozheniy. Trudy OGMI, 1961. Vyp. XXIII. S. 3-10. **17. Rayevskiy A.N.** O raspredelenii gololeda na territorii Ukrainy. Trudy UkrNIGMI., 1961. Vyp. 29. S. 50-62. **18. Rayevskiy A.N.** Vliyaniye osobennostey rel'yefa na raspredeleniye gololednykh otlozheniy. Trudy GGO, 1961. Vyp. 122. S. 75-80. **19. Rayevskiy A.N.** K voprosu o vliyanii rel'yefa na raspredeleniye otlozheniy gololeda v Ukrainiskikh Karpatakh. Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, 1968. Vyp. 3. S. 80-84. **20. Rayevskiy A.N., Vyazovchenko Ye.A.** Sinopticheskiye usloviya obrazovaniya znachitel'nogo gololeda v Ukrainiskikh Karpatakh. Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, 1969. Vyp. 5. S. 64-70. **21. Rayevskiy A.N.** K voprosu o vliyanii kharaktera rel'yefa i lesistosti na raspredeleniye gololedno-izmorozevykh otlozheniy. Trudy UkrNIGMI, 1967. Vyp. 65. S. 113-117. **22. Stikhiynnye meteorologicheskkiye yavleniya na Ukraine i Moldavii [Monografiya] / Pod red. V.N. Babichenko.**

L.: Gidrometeoizdat, 1991. 223 s. **23. Stikhiyni meteorologichni yavishcha na teritorii Ukraini za ostannê dvadtsyatirichchya (1986-2005 rr.) [Monografiya] /** Za red. V.M.Lipins'kogo, V.I.Osadchogo, V.M. Babichenko. K.: Vid-vo Nika-Tsentr, 2006. 311 s. **24. Khomenko I.A.** Meteorologichni umovi formuvannya ta zberigannya l'odovikh vidkladen' v Odes'komu regioni. Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey, 2009. № 2(10). S. 72-85. **25. Khomenko I. A.** Umovi ta mekhanizmi utvorenniya zamerzayuchikh opadiv ta ozheledno-pamorozevikh yavishch biliya poverkhni zemli ta na visotakh nad teritoriyu Ukraini. Avtoreferat disertatsiynoi roboti na zdobuttya naukovoogo stupenya k. geogr. n. za spetsial'nistyu 11.00.09. Odesa, 2013. 17 s.

Визначення кореляційного зв'язку між окремими метеорологічними величинами у дати початку відкладення ожеледі на території України по місяцях холодного періоду року протягом 2001-2013 рр. та їх просторовий розподіл

Пясецька С.І., Гребенюк Н.П., Савчук С.В.

У статті представлено результати дослідження визначення кореляційного зв'язку між рядом метеорологічних величин у дати початку відкладення ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка у окремі місяці холодного періоду року на території України протягом 2001-2013 рр. Дослідження проводилось для 3-х зимових місяців, а також для березня та листопада. Визначено пари метеорологічних параметрів у дати початку відкладення ожеледі які мають статистично значущий коефіцієнт кореляції та отримано просторово-часовий його розподіл у визначених місяцях по території України.

Ключові слова: відкладення ожеледі, метеорологічні параметри, статистично значущий кореляційний зв'язок, коефіцієнт кореляції, місяці холодного періоду року.

Определение корреляционной связи между отдельными метеорологическими величинами в даты начала отложения гололеда на территории Украины по месяцам холодного периода года в течение 2001-2013 гг. и их пространственное распределение

Пясецкая С.И., Гребенюк Н.П., Савчук С.В.

В статье представлены результаты исследования определения корреляционной связи между рядом метеорологических величин в даты начала отложения гололеда на проводах стандартного гололедной станка в отдельные месяцы холодного периода года на территории Украины в течение 2001-2013 гг. Исследование проводилось для 3-х зимних месяцев, а также для марта и ноября. Определены пары метеорологических параметров в даты начала отложения гололеда которые имеют статистично значимый коэффициент корреляции и получены пространственно-временной его распределение в определенных месяцах по территории Украины.

Ключевые слова: отложения гололеда, метеорологические параметры, статистически значимая корреляционная связь, коэффициент корреляции, месяцы холодного периода года.

Determination of the correlation between individual meteorological values at the beginning of the deposition of ice on the territory of Ukraine by the months of the cold period of the year during 2001-2013 and their spatial distribution

Pyasetska S.I., Grebenyuk N.P., Savchuk S.V.

The article presents the results of the study of the determination of the correlation connection between a number of meteorological values at the beginning of the deposition of ice on the wires of a standard ice-cream machine in certain months of the cold period of the year on the territory of Ukraine during 2001-2013. The research was conducted for 3 winter months, as well as for March and November. The pair of meteorological parameters have been determined at the beginning of the deposition of ice that have a statistically significant correlation coefficient and a spatial-temporal distribution of the distribution in certain months across the territory of Ukraine has been obtained.

The most common variant of the statistically significant connection between individual meteorological parameters was the connection between the temperature of the water column (average, maximum, minimum) and relative humidity of air (average, maximum). Thus, for almost all months studied, a statistically significant correlation between the temperature of the vapor (average, maximum, minimum) and relative humidity of air (average, maximum) was established. For the winter months, the correlation coefficient of this connection was positive, and for March and November, it was negative.

A widespread version of a statistically significant connection was the relationship between the air temperature (average, maximum, minimum) and the height of the snow cover. This connection for the months studied turned out to be negative.

The variants of negative statistically significant connection between average wind speed and average relative humidity of air (January-February, December), average and maximum wind speed and sea-level

ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідроekологія. 2019. № 4 (55)**

pressure (November), and also between daily amount precipitation and snow (March), daily rainfall and wind speed (average, maximum), and pressure at sea level (November).

During the months of the cold period of the year, statistically significant connections between the air temperature (average, maximum) and pressure at sea level (November), wind speed (average, maximum) and average humidity (January, December), pressure on sea levels and average relative humidity (March). Also, there were isolated cases of statistically significant correlation between snow and sea level pressure (December).

The most frequently statistically significant connections between meteorological values at the dates of deposition of ice on the wires of a standard icing machine were observed at stations in the central, northeastern, eastern and separate southern regions.

Keywords: ice deposits, meteorological parameters, statistically significant correlation relations, correlation coefficient, months of the cold period of the year.

Надійшла до редколегії 17.07.2019

УДК 551.584.5

Матвієнко М. О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МОДЕЛЬ ENVI-Met – ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ СУЧАСНИХ УРБОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ключові слова: мікроклімат великого міста, урбометеорологічні дослідження, імітаційні моделі, модель «ENVI-met».

Вступ. Складна міська морфологія суттєво впливає на мікроклімат і на тепловий комфорт людини. Такі характеристики, як висота будинків, орієнтація та ширина вулиці, змінюють радіаційний і тепловий баланс міста, трансформують швидкість і напрямок вітру. Заміна природних поверхонь штучними сприяє швидкому стоку опадів і є однією з причин відмінностей вологості у місті. Міські центри за рахунок заасфальтованих та бетонних поверхонь часто характеризуються підвищеною температурою повітря, особливо це простежується у літній період, коли спостерігається підвищена інтенсивність острова тепла. Інформація про особливості мікроклімату та його залежності від параметрів забудови є важливою не тільки для урбометеорологів, але й для архітекторів, інженерів та спеціалістів з містобудування.

Традиційно для дослідження мікроклімату міста застосовували метод спостереження та статистичний метод [42]. Проте, такі методи не можуть залишатися основними для сучасних урбометеорологічних досліджень. Оскільки взаємодія між містобудівним плануванням відповідною архітектурою та погодою дуже складна, їхній сукупний вплив на мікроклімат можна передбачити лише за допомогою чисельних підходів моделювання. Основна перевага таких підходів, порівняно з методом спостереження, полягає у можливості проводити моделювання мікроклімату урбанізованого середовища за різних умов (погоди, забудови, рослинності, водних об'єктів тощо). Крім того, ще однією перевагою є те, що вимірювання, як правило, виконується в обмеженій кількості точок у просторі, а чисельне моделювання може надати інформацію про будь-яку досліджувану змінну у всій змодельованій області.

Хоча мікроклімат великого міста – є найвідомішим напрямком сучасної урбометеорології, проте на сьогоднішній день в її складі виділяють також три інших – біоклімат великого міста, забруднення атмосферного повітря і вразливість та адаптація міст до зміни клімату [3]. Сучасні програмні продукти дають можливість здійснювати наукові дослідження та вирішувати низку практичних задач, що

пов'язані з одним із цих напрямків, а деякі моделі (наприклад, тривимірна модель мікроклімату «ENVI-met») можуть застосовуватися для дослідження мікрокліматичних умов, моделювання тепловідчуття людини в урбанізованому середовищі, визначення ефективності заходів з адаптації міст до прояву зміни клімату та моделювання рівня забруднення атмосферного повітря в містах.

Матеріали та методи досліджень. Для виконання цього дослідження було вивчено наукові роботи в яких використовувалося програмне забезпечення ENVI-met, та проаналізовано основні переваги та недоліки моделі. Розглянуто оцінки ефективності моделі ENVI-met для моделювання мікрокліматичних умов, теплового навантаження на організм людини, забруднення повітря урбанізованого середовища.

Виклад основного матеріалу. Серед чисельних підходів моделювання, що застосовуються в урбометеорології, все більша увагу приділяють моделям обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics (CFD) – англ.). Враховуючи прогрес у розвитку обчислювальних моделей, використання CFD стає більш популярним підходом у дослідженнях. Моделі стають все більш досконалими з точки зору роздільної здатності та підходів моделювання турбулентності [47].

Для моделювання атмосферних процесів, що спостерігаються в приземному шарі урбанізованого середовища програмне забезпечення для моделювання повинно відповідати наступним вимогам [25]:

- Модель має бути мікромасштабною, тобто мати розмір сітки ≤ 10 м;
- Модель повинна реалізовувати енергетичний баланс поверхонь усіх типів;
- Модель повинна імітувати фізичні та фізіологічні властивості рослин;
- Розрахунок атмосферних процесів повинен бути прогностичним.

Сьогодні існує багато різних моделей для дослідження мікроклімату, більшість з яких зосереджуються лише на одному аспекті моделювання, а отже, є не дуже зручними у використанні. Деякі моделі, такі як MISCAM [13-14] або MUKLIMO 3 [21], зосереджені головним чином на полі вітру та розподілу газів та аерозолів в атмосфері, проте в них не враховуються термодинамічні ефекти. Інші ж моделі, такі як Solweig [32-33], Rayman [35] чи ANSYS Fluent [19] розроблені для розрахунку потоків випромінювання в міському середовищі та для моделювання взаємодії рослин з мікрокліматом [25]. До сучасних інструментів, здатних імітувати зовнішнє середовище (так званих імітаційних моделей) належать: IES-VE, Design Builder, STAR-CCM+, OpenFOAM, SkyHelios, Urbclim, COSMO-CLM та ін. [5, 7, 23, 44].

Однією з небагатьох моделей мікромасштабу, яка відповідає всім вище зазначеним критеріям, є тривимірна модель мікроклімату ENVI-met [8]. Модель ENVI-met є одним з найбільш поширеним інструментом чисельного моделювання в цьому напрямку.

ENVI-met є прогностичною тривимірною моделлю клімату, розроблена Майклом Брюсом у Рурському університеті в Бохумі (Німеччина). Перший офіційний випуск моделі датується 1998-м, і до 2017 року понад 1900 зареєстрованих користувачів по всьому світу використовують її для дослідження мікроклімату. Більше того, протягом останніх п'яти років було опубліковано 77% із загальної кількості досліджень присвячених міському клімату, в яких використовували модель ENVI-met [53]. На сьогоднішній день реалізовано вже понад 4000 моделювань для більш як 145 країн світу.

Основною перевагою ENVI-met є те, що це одна з перших моделей, що повністю відтворює процеси взаємодії між атмосферою, ґрунтом, рослинністю і будівлями. В моделі враховуються особливості міської структури, тобто будівлі різної форми і висоти, дизайну, з різним кольором фасаду та іншими

особливостями. Рослинність враховується не лише в якості пористої перешкоди для вітрової і сонячної радіації, але і в тому числі враховуються фізіологічні процеси евапотранспірації і фотосинтезу. Можуть бути використані різні типи рослинності з певними властивостями. Ґрунт також може бути різних типів. Модель ENVI-met характеризується високою роздільною здатністю та горизонтальним кроком сітки від 0,5 до 5м та часовим кроком від 1 до 5 секунд. Максимальний період моделювання – 48 годин. У програмі передбачені модулі робочих зон з максимальним розміром сітки 200×200×30, тому площа дослідження може бути розрахована приблизно до 2000×2000 м.

ENVI-met – це прогностична модель, заснована на фундаментальних законах гідродинаміки та термодинаміки. Розрахункова модель включає в себе:

- Короткохвильове і довгохвильове випромінювання (з урахуванням затінення, відбивання від будинків та рослинності);
- Транспірація, випаровування і потік тепла від рослини в повітря, включаючи повне моделювання всіх фізичних параметрів рослин (наприклад, фотосинтез);
- Температура поверхонь стін і температура для кожної точки сітки і стіни;
- Вода і теплообмін усередині ґрунту;
- Розрахунок біометеорологічних параметрів, (середньої радіаційної температури, фізіологічно-еквівалентної температури та ін.);
- Розповсюдження різних газів і частинок, в тому числі осідання частинок на поверхнях [25].

Для моделювання в «ENVI-met» необхідно використовувати два набори вхідних даних: IN-файл (вхідний файл) і CF-файл (основний файл конфігурації). IN-файл містить інформацію про просторові властивості області, такі як географічне положення, матеріали, з яких складені будинки, висота будівель і типи рослинності.

CF-файл містить вхідні метеорологічні дані – температуру та вологість повітря, швидкість вітру, а також дату і час їх вимірювання.

Модель ENVI-met складається з чотирьох основних суб-моделей: ґрунт, модель вегетації (1D/3D), 3D модель атмосфери та 1D гранична модель (рис. 1).

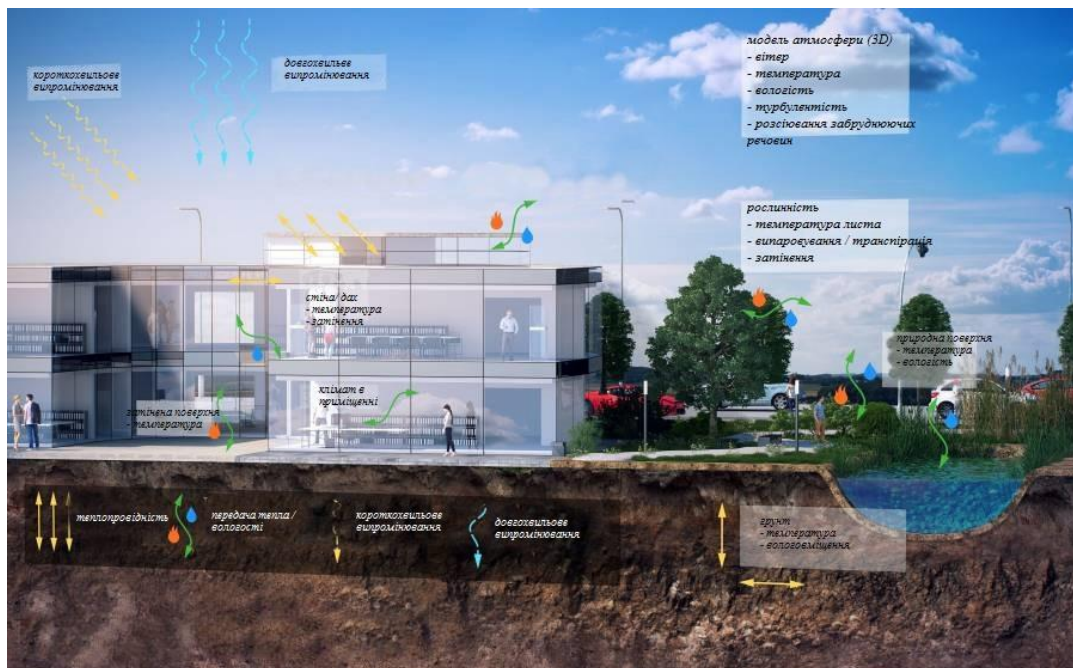


Рис.1. Структура моделі ENVI-met [15].

Ґрунт в моделі представлений від поверхні до глибини 2 м, та ділиться на 14 шарів з вертикальними відстанями від 1 см - біля поверхні, до 50 см у глибоких шарах. Різні ґрунтові профілі та ділянки поверхонь можна змодельовати шляхом виділення різних природних ґрунтів чи штучних матеріалів для кожної клітинки сітки. Для природних ґрунтів враховуються передачі тепла та водяної пари, тоді як для теплоізоляційних матеріалів - лише передача тепла. Температура поверхні ґрунту обчислюється від радіаційного випромінювання, турбулентних потоків тепла і пари та теплопровідності в ґрунті. Альbedo природного ґрунту визначається самою моделлю як функція кута падіння сонячної енергії та вмісту води верхнього ґрунтового шару [56]. 3D модель атмосфери, забезпечує моделювання температури та вологості повітря, потоку вітру та турбулентності, розрахунок надходження потоків коротко- та довгохвильового випромінювання, а також дисперсію та осадження забруднюючих речовин.

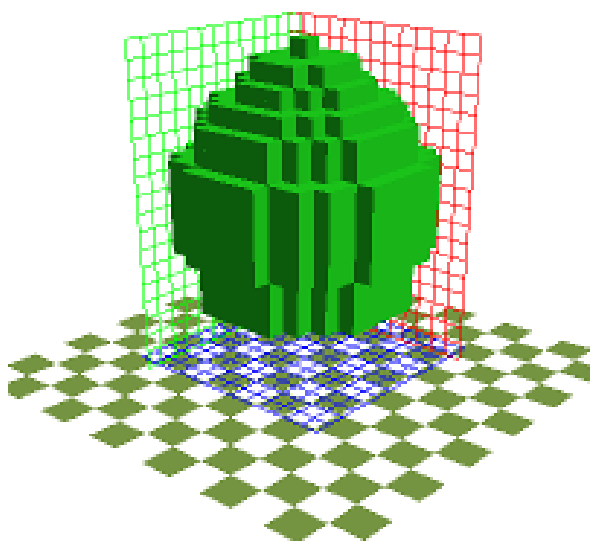


Рис. 2. Модель дерева в ENVI-met [15].

Модель вегетації 3D дає змогу описати різні дерева з різноманітними формами та просторовим розподілом листя. Кожна клітина вегетаційної комірки (рис. 2) має власний розрахунок енергетичного балансу поверхні листя, евапотранспірації та фотосинтезу. Для розрахунку затінення рослинність розглядають як каламутне середовище, а коефіцієнт ослаблення - функція оптичного шляху сонячного променя через щільність площі листя (leaf area density (LAD) – англ.). Часові та просторові зміни швидкості і напрямку вітру розраховується з використанням тривимірних негідростатичних рівнянь Нав'є-Стокса.

1D гранична модель в основному використовується для ініціалізації моделі і для визначення граничних умов тривимірної моделі атмосфери. Вона охоплює простір від рівня земної поверхні ($z = 0$) до висоти $H = 2500$ м над рівнем поверхні. Модель енергетичного балансу стін і дахів основана на множинно-вузловій перехідній моделі запропонованій Terjung [52]. Більш детальна інформація про модель, її структуру та фізичне підґрунтя, що регулює роботу різних суб-моделей наведено в роботах [8, 25].

До основних обмежень ENVI-met належить те, що модель не може моделювати ні опади, ні температури нижче 0°C . Також існує обмеження щодо визначення початкових граничних умов в ході моделювання, тобто швидкість та напрямок вітру, а також хмарність залишаються постійними, що впливатиме на репрезентативність результатів моделі при порівнянні їх з вимірними даними.

Модель широко застосовується для вирішення наукових та практичних задач в країнах з різноманітним кліматом – від тропіків до полярних регіонів (Єгипет [18], Шрі-Ланка [17], Бразилія [10], Малазія [22], США [50], Канада [56], Англія [45], Італія [39], Німеччина [27], Нідерланди [49], Японія [48], Китай [51], Австралія [9], Україна [1-2]). У більшості існуючих досліджень модель застосовується не лише для дослідження мікрокліматичних умов, але і для моделювання тепловідчуття людини в урбанізованому середовищі [6, 31, 58]. Також модель ENVI-met широко застосовують для визначення оптимальних заходів з адаптації міст до прояву зміни клімату та розрахунку їх ефективності. Наприклад, D. Duarte та ін. використовуючи

модель оцінили охолоджуючу дію рослинного покриву на міський клімат Сан-Паулу (Бразилія) [12]. Н. Lee та співавторами [31] було змодельовано чотири сценарії, як різні типи рослинності впливають на мікроклімат житлового району у Фрайбурзі (Німеччина). Схоже дослідження було зроблено і для міста Ханья (Греція) [53]. Т. Martins та співавтори [34] за допомогою моделі проаналізували та порівняли різні стратегії пом'якшення острову тепла в Тулузі (Франція). Їх результати вказували на великий вплив водних та зелених зон на пом'якшення міських островів тепла, особливо в денний час. С. Skelhorn та співавт. [45] виявили, що збільшення площі рослинності на 5% у Манчестері (Великобританія) може призвести зниження середньої температури підстильних поверхонь приблизно на 1°C. А. Ghaffarianhoseini та співавтори [22] оцінювали в Куала-Лумпурі (Малайзія) зміну теплового комфорту на відкритому повітрі, змінюючи орієнтацію, висоту, альбедо стін та наявність рослинності в підвір'ях. С. Ketterer та A. Matzarakis [27] дослідивши різні орієнтації та співвідношення сторін міських каньйонів (для кварталів Штутгарта, Німеччина) з'ясували, що теплове навантаження може бути зменшене у каньйоні з орієнтацією на Північ-Південний Схід у поєднанні зі співвідношенням сторін не менше 1,5.

Паралельно в інших наукових дослідженнях використовується модель ENVI-met для моделювання рівня забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища [40, 55, 57].

Оскільки обов'язковим кроком у розробці моделей та подальшому використанню є її апробація, то одним з таких способів є порівняння результатів моделювання з вимірними даними, шляхом використання статистичних параметрів. Досить часто використовують коефіцієнт детермінації (R^2) та середньоквадратичне відхилення або середньоквадратична помилка (the Root Mean Square Error (RMSE) – англ.), яка, щоб модель вважалася надійною, повинна прагнути до таких значень: $R^2 \rightarrow 1$, $RMSE \rightarrow 0$.

В багатьох роботах вже порівняли результати отримані моделлю ENVI-met з вимірними даними. Так, наприклад, W. Chow та A. Brazel оцінили точність змодельованих даних ENVI-met із вимірними температурними рядами, використовуючи зазначені вище статистичні параметри. Автори зауважили, що навіть із завищенням максимальної та мінімальної температури, модельовані значення температури повітря показують хорошу відповідність зі вимірними даними метеостанції ($R^2 = 0,67$ та $RMSE = 0,86$) [11]. У роботі E. Krüger та співавт. [30] одним із висновків є те, що на 2 м над землею в межах каньйону змодельована швидкість вітру ENVI-met, відповідає вимірним даним для швидкості вітру заданого в моделі рівня нижче 2 м/с. E. Ng та співавтори [38] показали, що коефіцієнт детермінації (R^2) між вимірними та змодельованими значеннями температури повітря коливається від 0,63 до 0,77. Досліджуючи вплив міської форми та ландшафтного типу на мікроклімат Фенікса, штат Арізона [36] автори теж використали статистичний параметр RMSE та індекс узгодження (d - index of agreement). Індекс узгодження d, це стандартизований показник ступеня помилки прогнозування моделі, який коливається між 0 і 1 (1 вказує на ідеальну відповідність). Отже, перевірка показала хорошу узгодженість моделі ENVI-met 3.1 з вимірними даними (d коливається від 0,97 до 0,99). Більшість інших досліджень також оцінили загальну ефективність ENVI-met і підтвердили, що вона може моделювати зовнішнє теплове середовище в різних кліматичних зонах з прийнятною точністю [17, 24, 28-27, 41, 43, 46, 46]. Проте, у цих роботах були досліджені старіші версії ENVI-met (3.0 / 3.1). Починаючи з версії 4.0 модель удосконалюють, основні зміни стосуються нового 3D редактору, розрахунку температури стін, а також можливості задавати в модель добову зміну температури

та вологості повітря. Крім того, разом з попереднім 1D модулем вегетації (де рослини моделюються як вегетаційні стовпчики), нова версія реалізує новий 3D модуль вегетації для опису різноманітних форм рослин та просторового розподілу листя (рис. 3)[15].

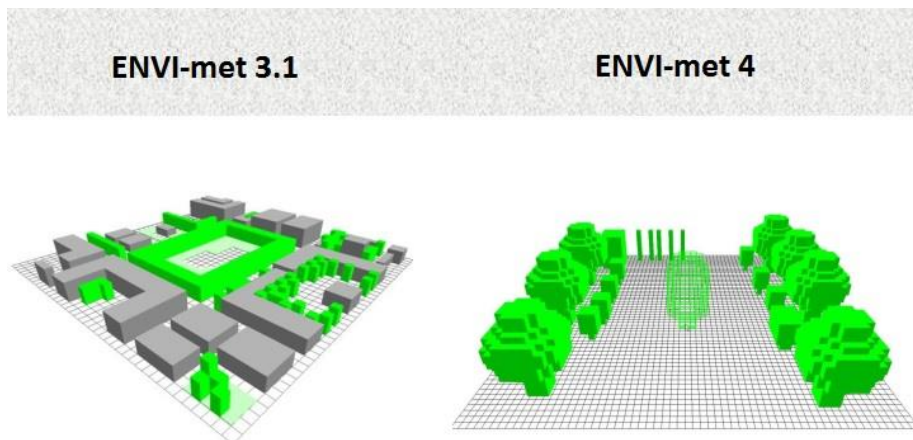


Рис. 3. Порівняння моделей вегетації різних версій ENVI-met [16].

J. Acero та K. Herranz-Pascual [4] оцінюючи модель ENVI-met версії 4 зробили висновок, що результати температури та вологості повітря показують добру відповідність між виміряними та змодельованими значеннями. Однак у випадку середньої радіаційної температури та швидкості вітру виникають певні відмінності, що підкреслюють обмеження моделі для оцінки цих метеорологічних параметрів (коефіцієнт детермінації 0,92). З іншого боку, C. Gusson та D. Duarte [24] підтвердили, що модель ENVI-met 4 показує дуже схожі результати між вимірюваними та змодельованими даними щодо температури повітря міських зон в субтропічному кліматі, із значеннями RMSE між 0,85 та 0,92. H. Lee та ін. [31] встановили наявність високої кореляції між змодельованими та виміряними значеннями ($R^2 = 0,85$). A. Forouzandeh [20] зробив висновок, що модель ENVI-met версії 4 здатна передбачити метеорологічні змінні у внутрішніх вузьких дворах з прийнятною точністю. Значення RMSE у центрі затіненого подвір'я склало 0,73 °C для температури повітря, 3,34% для відносної вологості повітря, 0,01 м / с для швидкості вітру та 8,44 ° C для середньорадіаційної температури. В наступних роботах [26, 39, 58] також показано, що модель ENVI-met версії 4 підходить для моделювання зовнішнього теплового середовища різних кліматів з високою точністю.

Висновки. Отже, у сучасних урбометеорологічних дослідженнях все більш популярним способом опису процесів, що відбуваються у міському піддаховому шарі є використання тривимірних CFD-моделей. Вони ґрунтуються на застосуванні чисельних методів для імітації взаємодії між атмосферою та міською поверхнею. Модель ENVI-met є одним з найбільш поширених інструментів чисельного моделювання, яка відтворює основні процеси взаємодії між атмосферою, ґрунтом, рослинністю і будівлями. Основною перевагою моделі є те, що вона враховує особливості міської структури, фізіологічні процеси рослинності та різні типи ґрунтів. Модель здатна імітувати мікроклімат міст різних кліматичних поясів з різноманітним кліматом (від тропіків до полярних широт) не впливаючи на точність моделювання. Модель ENVI-met може застосовуватися: для дослідження мікрокліматичних умов; для моделювання тепловідчуття людини в урбанізованому середовищі, для визначення оптимальних заходів з адаптації міст до прояву зміни клімату та

розрахунку їх ефективності; для моделювання рівня забруднення атмосферного повітря в містах. Отже, враховуючи всі особливості моделі ENVI-met, її можна рекомендувати, як сучасний інструмент для вирішення низки урбометеорологічних завдань.

Список літератури

1. Матвієнко М.О., Шевченко О.Г. Біоклімат великого міста в літній період (на прикладі житлового масиву Теремки-2 у м. Києві). 36. «Молоді науковці – географічній науці» В. XIV. Київ, 2018. С. 40.
2. Матвієнко М.О., Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Можливості моделювання мікроклімату урбанізованого середовища з використанням програми «ENVI-met». Матеріали Міжнар. наук. конф. «Від географії до негеографічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича)». Чернівці, 2016. С. 166.
3. Шевченко О.Г. Урбометеорологія – як інтегруючий напрямок погодно-кліматичних та екологічних досліджень міст і основа міських екологічних сервісів // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3 (54). С. 168–170.
4. Acero J. A., Herranz-Pascual K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, 2015 Vol. 93 (P2), 245–257 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.028>.
5. Al-Hafith O., Satish B. K., Bradbury S., Wilde P. De. Simulation of courtyard spaces in a desert climate. *Energy Procedia*, 2017 Vol. 142, 1997–2002 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.401>.
6. Ali-Toudert, F., & Mayer, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 2006 Vol. 41 (2), 94–108 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2005.01.013>.
7. Allegrini J., Dorer V., Carmeliet J. Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2015 Vol. 144, 108–117 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.024>.
8. Bruse M., Fleer H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 1998 Vol. 13(3–4), 373–384 pp. URL: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5).
9. Bruse M., Skinner C. J. Rooftop greening and local climate: a case study in Melbourne. 1999. URL: www.EnviMet.Com/Documents/Papers/Rooftop1999.Pdf.
10. Carfan A. C., Galvani E., Nery J. T. Study of thermal comfort in the city of são paulo using ENVI-met model. *Investigaciones Geograficas*, 2010 Vol. 78. 34–47 pp.
11. Chow W. T. L., Brazel A. J. Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, 2012 Vol. 47 (1), 170–181 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.027>.
12. Duarte D. H. S., Shinzato P., Gusson C. dos S., Alves, C. A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, 2015 Vol. 14, 224–239 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>.
13. Eichhorn J. Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells: Dissertation Dr der Naturwissenschaften: 16.02.1989. M. 145 p.
14. Eichhorn J., Kniffka A. The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. *Meteorologische Zeitschrift*, 2010 Vol. 19 (1). 81–90 pp. URL: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0425>.
15. ENVI-met Model Architecture // ENVI-met A holistic microclimate model URL: <https://www.envi-met.com>.
16. ENVI-met V4 Preview. Carolina dos Santos Gusson Paula Shinzato. URL: <https://docplayer.com.br/37995271-Envi-met-v4-preview-carolina-dos-santos-gusson-paula-shinzato.html>.
17. Emmanuel R., Johansson E. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research*, 2006 Vol. 30. 189–200 pp. URL: <https://doi.org/10.3354/cr030189>.
18. Fahmy M., Sharples S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 2009 Vol. 44 (9). 1907–1916 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.010>.
19. Fatnassi H., Poncet C., Bazzano M. M., Brun R., Bertin N. A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate. *Solar Energy*, 2015 Vol. 120. 575–584 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.019>.
20. Forouzandeh A. Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. *Sustainable Cities and Society*, 2018 Vol. 36. 327–345 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.025>.
21. Früh B., Becker P., Deutschländer T., Hessel J.-D.,

Kossmann M., Mieskes I., Wienert U. Estimation of Climate-Change Impacts on the Urban Heat Load Using an Urban Climate Model and Regional Climate Projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2011 Vol. 50 (1). 167–184 pp. URL: <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2377.1>. **22.** Ghaffarianhoseini A., Berardi U., Ghaffarianhoseini A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 2015 Vol. 87. 154–168pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>. **23.** Gromke C., Blocken B., Janssen W., Merema B., van Hooff T., Timmermans H. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*, 2015 Vol. 83. 11–26 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.022>. **24.** Gusson C. S., Duarte D. H. S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 2016 Vol. 169, 2–10 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.10.001>. **25.** Huttner S. Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met: Dissertation Dr der Naturwissenschaften: 26.04.2012. M. 147 p. **26.** Jänicke B., Meier F., Hoelscher M. T., Scherer D. Evaluating the effects of façade greening on human bioclimate in a complex Urban environment. *Advances in Meteorology*, 2015. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/747259>. **27.** Ketterer C., Matzarakis A. Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 122. 78–88 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.003>. **28.** Ketterer C., Matzarakis A. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 2015 Vol. 59(9). 1299–1309 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0940-3>. **29.** Kong F., Sun C., Liu F., Yin H., Jiang F., Pu Y., Dronova I. Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied Energy*, 2016 Vol. 183, 1428–1440 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.070>. **30.** Krüger E. L., Minella F. O., Rasia F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 2011 Vol. 46 (3). 621–634 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>. **31.** Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2016 Vol. 148. 37–50 pp. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>. **32.** SOLWEIG 1D User Manual-Version 2014. URL: <http://www.mathworks.se/products/compiler/mcr/> **33.** Lindberg F., Holmer B., Thorsson S. SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology*, 2008 Vol. 52 (7), 697–713 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0162-7>. **34.** Martins T. A. L., Adolphe L., Bonhomme M., Bonneaud F., Faraut S., Ginestet S., Guyard W. Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. *Sustainable Cities and Society*, 2016 Vol. 26, 9–26 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003>. **35.** Matzarakis A., Rutz F., Matzarakis A., Rutz F., Mayer, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model Modelling radiation fluxes in simple and complex. *Int J Biometeorol*, 2007 Vol. 51, 323–334 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>. **36.** Middel A., Häb K., Brazel A. J., Martin C. A., Guhathakurta S. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 122, 16–28 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>. **37.** Nasrollahi N., Hatami M., Khastar S. R., Taleghani M. Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, 2017 Vol. 35, 449–467 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.017>. **38.** Ng E., Chen L., Wang Y., Yuan C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 2012 Vol. 47 (1), 256–271 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>. **39.** Noro M., Lazzarin R. Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, 2015 Vol. 14, 187–196. URL: <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2015.04.004>. **40.** Paas B., Schneider C. A comparison of model performance between ENVI-met and Austal 2000 for particulate matter. *Atmospheric Environment*, 2016 Vol. 145. 392–404 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.031>.

41. Qaid A., Ossen D. R. Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions. *International Journal of Biometeorology*, 2015 Vol. 59 (6). 657–677 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0878-5>. **42.** Rizwan, A. M., Dennis L. Y. C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2009 Vol. 20 (1). 120–128 pp. URL: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4). **43.** Samaali M., Courault D., Bruse M., Olioso A., Ocelli R. Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. *Atmospheric Research*, 2007 Vol. 85 (2), 183–198 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.12.005>. **44.** Santiago J. L., Krayenhoff E. S., Martilli A. Flow simulations for simplified urban configurations with microscale distributions of surface thermal forcing. *Urban Climate*, 2014 Vol. 9, 115–133 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.008>. **45.** Skelhorn C., Lindley S., Levermore G. The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 121, 129–140 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2013.09.012>. **46.** Song B., Park K. Contribution of greening and high-albedo coatings to improvements in the thermal environment in complex urban areas. *Advances in Meteorology*, 2015. 12–21 pp. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/792172>. **47.** Souch C., Grimmond S. Applied climatology: urban climate. *Progress in Physical Geography*, 2006 Vol. 30 (2). 270–279 pp. **48.** Srivanit M., Hokao K. Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, 2013 Vol. 66, 158–172 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>. **49.** Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M., van den Dobbelsteen A. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 2015 Vol. 83. 65–78 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>. **50.** Taleghani, M., Sailor, D., & Ban-Weiss, G. A. Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environmental Research Letters*, 2016 Vol. 11 (2). URL: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024003>. **51.** Tan Z., Lau K. K. L., Ng E. Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas. *Building and Environment*, 2017 Vol. 120, 93–109 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.017>. **52.** Terjung W. H. Urban energy balance climatology: A preliminary inversion of the city – man system in downtown Los Angeles. *Geogr. Rev.*, 1970 Vol. 60. 31–53 pp. **53.** Tsilini V., Papantoniou S., Kolokotsa D. D., Maria E. A. Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 2015 Vol. 14 (1). 323–333 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.006>. **54.** Tsoka S., Tsikaloudaki A., Theodosiou T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 2018 Vol. 43, 55–76 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>. **55.** Vos P. E. J., Maiheu B., Vankerkom J., Janssen S. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*, 2013 Vol. 183, 113–122 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021>. **56.** Wang Y., Berardi U., Akbari H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 2016 Vol. 114, 2–19 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>. **57.** Wania A., Bruse M., Blond N., Weber C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*, 2012 Vol. 94(1), 91–101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.036>. **58.** Yang X., Zhao L., Bruse M., Meng Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 2013 Vol. 60. 93–104 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>.

References

1. Matviienko M.O., Shevchenko O.H. Bioklimat velykoho mista v litnii period (na prykladi zhytlovoho masvyu Teremky-2 u m. Kyievi). *Zb. «Molodi naukovtsi – heohrafichnii nautsi» V. KhIV. Kyiv*, 2018. S. 40. **2.** Matviienko M.O., Shevchenko O.H., Snizhko S.I. Mozhyvosti modeliuvannia mikroklimatu urbanizovanoho seredovyshcha z vykorystanniam prohramy «ENVI-met». *Materialy Mizhnar. nauk. konf. «Vid heohrafii do neohrafichnoho ukrainoznavstva: evoliutsiia osvitho-naukovykh idei ta poshukiv (do 140-richchia zapochatkuvannia heohafii u*

Chernivetskomu natsionalnomu universyteti imeni Yuriia Fedbkovycha)». Chernivtsi, 2016. S. 166. **3.** Shevchenko O.H. Urbometeorolohiia – yak intehruichyiy napriamok pohodno-klimatychnykh ta ekolohichnykh doslidzhen mist i osnova miskykh ekolohichnykh servisiv // Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. 2019. № 3 (54). S. 168–170. **4.** Acero J. A., Herranz-Pascual K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, 2015 Vol. 93 (P2), 245–257 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.028>. **5.** Al-Hafith O., Satish B. K., Bradbury S., Wilde P. De. Simulation of courtyard spaces in a desert climate. *Energy Procedia*, 2017 Vol. 142, 1997–2002 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.401>. **6.** Ali-Toudert, F., & Mayer, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 2006 Vol. 41 (2), 94–108 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2005.01.013>. **7.** Allegrini J., Dorer V., Carmeliet J. Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2015 Vol. 144, 108–117 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.024>. **8.** Bruse M., Fleer H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 1998 Vol. 13(3–4), 373–384 pp. URL: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5). **9.** Bruse M., Skinner C. J. Rooftop greening and local climate: a case study in Melbourne. 1999. URL: www.EnviMet.Com/Documents/Papers/Rooftop1999.Pdf. **10.** Carfan A. C., Galvani E., Nery J. T. Study of thermal comfort in the city of são paulo using ENVI-met model. *Investigaciones Geograficas*, 2010 Vol. 78. 34–47 pp. **11.** Chow W. T. L., Brazel A. J. Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, 2012 Vol. 47 (1), 170–181 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.027>. **12.** Duarte D. H. S., Shinzato P., Gusson C. dos S., Alves, C. A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, 2015 Vol. 14, 224–239 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>. **13.** Eichhorn J. Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells: Dissertation Dr der Naturwissenschaften: 16.02.1989. M. 145 p. **14.** Eichhorn J., Kniffka A. The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. *Meteorologische Zeitschrift*, 2010 Vol. 19 (1). 81–90 pp. URL: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0425>. **15.** ENVI-met Model Architecture // ENVI-met A holistic microclimate model URL: <https://www.envi-met.com>. **16.** ENVI-met V4 Preview. Carolina dos Santos Gusson Paula Shinzato. URL: <https://docplayer.com.br/37995271-Envi-met-v4-preview-carolina-dos-santos-gusson-paula-shinzato.html>. **17.** Emmanuel R., Johansson E. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research*, 2006 Vol. 30. 189–200 pp. URL: <https://doi.org/10.3354/cr030189>. **18.** Fahmy M., Sharpley S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 2009 Vol. 44 (9). 1907–1916 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.010>. **19.** Fatnassi H., Poncet C., Bazzano M. M., Brun R., Bertin N. A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate. *Solar Energy*, 2015 Vol. 120. 575–584 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.019>. **20.** Forouzandeh A. Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. *Sustainable Cities and Society*, 2018 Vol. 36. 327–345 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.025>. **21.** Früh B., Becker P., Deutschländer T., Hessel J.-D., Kossmann M., Mieskes I., Wienert U. Estimation of Climate-Change Impacts on the Urban Heat Load Using an Urban Climate Model and Regional Climate Projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2011 Vol. 50 (1). 167–184 pp. URL: <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2377.1>. **22.** Ghaffarianhoseini A., Berardi U., Ghaffarianhoseini A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 2015 Vol. 87. 154–168pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>. **23.** Gromke C., Blocken B., Janssen W., Merema B., van Hooff T., Timmermans H. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*, 2015 Vol. 83. 11–26 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.022>. **24.** Gusson C. S., Duarte D. H. S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 2016 Vol. 169, 2–10 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.001>. ISSN:2306-5680 **Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. 2019. № 4 (55)**

<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.10.001>. **25.** *Huttner S.* Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met: Dissertation Dr der Naturwissenschaften: 26.04.2012. M. 147 p. **26.** *Jänicke B., Meier F., Hoelscher M. T., Scherer D.* Evaluating the effects of façade greening on human bioclimate in a complex Urban environment. *Advances in Meteorology*, 2015. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/747259>. **27.** *Ketterer C., Matzarakis A.* Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 122. 78–88 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.003>. **28.** *Ketterer C., Matzarakis A.* Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 2015 Vol. 59(9). 1299–1309 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0940-3>. **29.** *Kong F., Sun C., Liu F., Yin H., Jiang F., Pu Y., Dronova I.* Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied Energy*, 2016 Vol. 183, 1428–1440 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.070>. **30.** *Krüger E. L., Minella F. O., Rasia F.* Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 2011 Vol. 46 (3). 621–634 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>. **31.** *Lee, H., Mayer, H., & Chen, L.* Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2016 Vol. 148. 37–50 pp. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>. **32.** SOLWEIG 1D User Manual-Version 2014. URL: <http://www.mathworks.se/products/compiler/mcr/> **33.** *Lindberg F., Holmer B., Thorsson S.* SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology*, 2008 Vol. 52 (7), 697–713 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0162-7>. **34.** *Martins T. A. L., Adolphe L., Bonhomme M., Bonneaud F., Faraut S., Ginestet S., Guyard W.* Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. *Sustainable Cities and Society*, 2016 Vol. 26, 9–26 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003>. **35.** *Matzarakis A., Rutz F., Matzarakis A., Rutz F., Mayer, H.* Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model Modelling radiation fluxes in simple and complex. *Int J Biometeorol*, 2007 Vol. 51, 323–334 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>. **36.** *Middel A., Häb K., Brazel A. J., Martin C. A., Guhathakurta S.* Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 122, 16–28 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>. **37.** *Nasrollahi N., Hatami M., Khastar S. R., Taleghani M.* Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, 2017 Vol. 35, 449–467 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.017>. **38.** *Ng E., Chen L., Wang Y., Yuan C.* A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 2012 Vol. 47 (1), 256–271 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>. **39.** *Noro M., Lazzarin R.* Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, 2015 Vol. 14, 187–196. URL: <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2015.04.004>. **40.** *Paas B., Schneider C.* A comparison of model performance between ENVI-met and Austal 2000 for particulate matter. *Atmospheric Environment*, 2016 Vol. 145. 392–404 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.031>. **41.** *Qaid A., Ossen D. R.* Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions. *International Journal of Biometeorology*, 2015 Vol. 59 (6). 657–677 pp. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0878-5>. **42.** *Rizwan, A. M., Dennis L. Y. C., Liu C.* A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2009 Vol. 20 (1). 120–128 pp. URL: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4). **43.** *Samaali M., Courault D., Bruse M., Olioso A., Ocelli R.* Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. *Atmospheric Research*, 2007 Vol. 85 (2), 183–198 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.12.005>. **44.** *Santiago J. L., Krayenhoff E. S., Martilli A.* Flow simulations for simplified urban configurations with microscale distributions of surface thermal forcing. *Urban Climate*, 2014 Vol. 9, 115–133 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.07.008>. **45.** *Skelhorn C., Lindley S., Levermore G.* The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale

assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 2014 Vol. 121, 129–140 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2013.09.012>. **46.** Song B., Park K. Contribution of greening and high-albedo coatings to improvements in the thermal environment in complex urban areas. *Advances in Meteorology*, 2015. 12–21 pp. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/792172>. **47.** Souch C., Grimmond S. Applied climatology: urban climate. *Progress in Physical Geography*, 2006 Vol. 30 (2). 270–279 pp. **48.** Srivanit M., Hokao K. Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, 2013 Vol. 66, 158–172 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>. **49.** Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M., van den Dobbelsteen A. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 2015 Vol. 83. 65–78 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>. **50.** Taleghani, M., Sailor, D., & Ban-Weiss, G. A. Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environmental Research Letters*, 2016 Vol. 11 (2). URL: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024003>. **51.** Tan Z., Lau K. K. L., Ng E. Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas. *Building and Environment*, 2017 Vol. 120, 93–109 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.017>. **52.** Terjung W. H. Urban energy balance climatology: A preliminary inversion of the city – man system in downtown Los Angeles. *Geogr. Rev.*, 1970 Vol. 60. 31–53 pp. **53.** Tsilini V., Papantoniou S., Kolokotsa D. D., Maria E. A. Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 2015 Vol. 14 (1). 323–333 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.006>. **54.** Tsoka S., Tsikaloudaki A., Theodosiou T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 2018 Vol. 43, 55–76 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>. **55.** Vos P. E. J., Maiheu B., Vankerkom J., Janssen S. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*, 2013 Vol. 183, 113–122 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021>. **56.** Wang Y., Berardi U., Akbari H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 2016 Vol. 114, 2–19 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>. **57.** Wania A., Bruse M., Blond N., Weber C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*, 2012 Vol. 94(1), 91–101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.036>. **58.** Yang X., Zhao L., Bruse M., Meng Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 2013 Vol. 60. 93–104 pp. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>.

Модель envi-met – як інструмент для сучасних урбометеорологічних досліджень

Матвієнко М. О.

У статті представлено опис сучасної моделі мікроклімату ENVI-met. На сьогоднішній день модель ENVI-met є одним з найбільш поширених інструментів чисельного моделювання, що застосовується для опису процесів у міському піддаховому шарі. Модель ґрунтується на фундаментальних законах гідро- і термодинаміки, та здатна відтворювати основні процеси взаємодії між атмосферою, ґрунтом, рослинністю і будівлями. Модель може застосовуватися для дослідження мікрокліматичних умов, моделювання тепловідчуття людини в урбанізованому середовищі, визначення ефективності заходів з адаптації міст до прояву зміни клімату та моделювання рівня забруднення атмосферного повітря в містах. Наведено аналіз досліджень, в яких використовується модель, за ними проаналізовано імітаційну точність моделі ENVI-met, яку встановлено шляхом порівняння змодельованих даних та вимірних, показано переваги та недоліки моделі.

Ключові слова: мікроклімат великого міста, урбометеорологічні дослідження, імітаційні моделі, модель «ENVI-met».

Модель Envi-met – как инструмент для современных урбометеорологических исследований.

Матвиенко М.О.

В статье представлено описание современной модели микроклимата ENVI-met. На сегодняшний день модель ENVI-met является одним из наиболее распространенных

инструментов численного моделирования, применяемого для описания процессов в городском приземном слое. Модель основывается на фундаментальных законах гидро- и термодинамики, и способна воспроизводить основные процессы взаимодействия между атмосферой, почвой, растительностью и зданиями. Модель может применяться для исследования микроклиматических условий, моделирование теплоощущения человека в урбанизированной среде, определения эффективности мер адаптации городов к проявлению изменения климата и моделирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах. Приведен анализ исследований, в которых используется модель, за ними проанализировано имитационную точность модели ENVI-met, путем сравнения смоделированных данных и измеренных, показаны преимущества и недостатки модели.

Ключевые слова: микроклимат большого города, урбометеорологические исследования, имитационные модели, модель «ENVI-met».

Envi-met model as a tool for modern urban meteorological studies.

Matviienko M.O.

Studying the microclimate of cities is one of the areas of urban meteorology, which are actively developing recently. The research of microclimate and its dependence on building parameters is important not only for scientists but also for architects, engineers and urban planners. Because they can help make the urban environment more comfortable for living and minimize the negative impact of Urban Heat Island, which is especially important in the context of rapid urbanization and in the face of climate change, that is most often reflected in air temperatures increasing.

For modern urban meteorological studies traditional methods (observation method and statistical methods) cannot remain basic, so they are replaced by numerical simulation tools. One of those tools is the Computational Fluid Dynamics (CFD), which are based on the use of numerical methods to simulate the interaction between the atmosphere and the urban surface. Such approaches are gaining in popularity because of such advantages as accurate modeling of urban geometry and the high-resolution description of airflow in it; the ability to simulate the microclimate in different conditions (weather, buildings, vegetation, water bodies, etc.); numerical simulation can provide information about any researched variable in the entire simulated area.

This article describes the modern ENVI-met microclimate model as one of the most common numerical simulation tools. The model is based on the fundamental laws of fluid dynamics and thermodynamics and is able to reproduce the basic processes of interaction between the atmosphere, soil, vegetation and buildings. The model can be used to simulate microclimate conditions, bioclimatology, urban air pollution, and to identify optimal measures for urban adaptation to climate change. The paper provides an overview of studies published in peer-reviewed international journals (in the period from 1999 to the end of 2018) using the ENVI-met model, and also presents its main advantages and disadvantages. The simulation accuracy of the ENVI-met model is analyzed by comparing the simulated data with the measured one.

Key words: microclimate, urban meteorological research, simulation models, ENVI-met model.

Надійшла до редколегії 02.11.2019

УДК 556

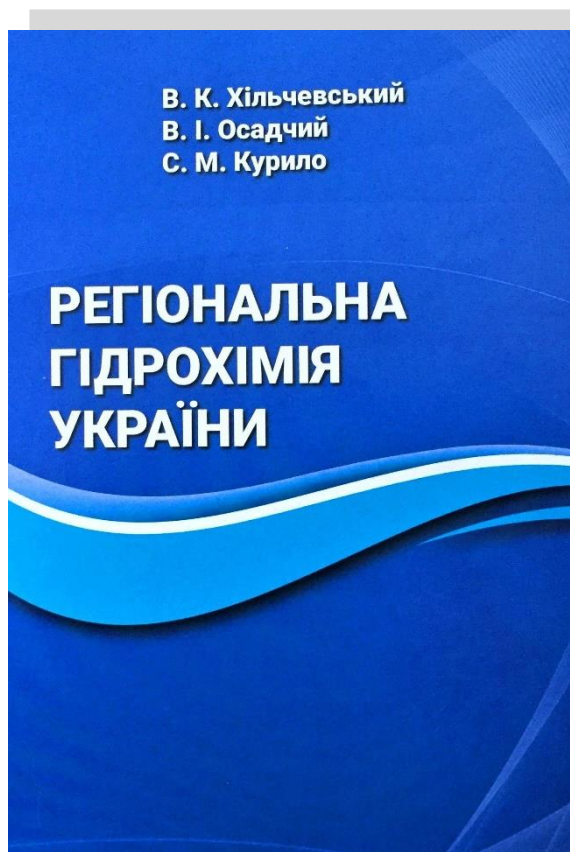
Забокрицька М.Р.

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк

«РЕГІОНАЛЬНА ГІДРОХІМІЯ УКРАЇНИ» (2019) – СУЧАСНИЙ ПІДРУЧНИК З ВИВЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ, ПІДЗЕМНИХ І МОРСЬКИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ КРАЇНИ

*Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М., Регіональна гідрохімія України. К.:
ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с. ISBN 978-966-933-035-2*

У 2019 р. видавничо-поліграфічний центр (ВПЦ) «Київський університет» випустив підручник «Регіональна гідрохімія України» [28]. Книга очікувана, адже



минуло майже 25 років з того часу, як у світ вийшов перший в країні підручник "Гідрохімія України" (1995), створений Л.М. Горевим, В.І. Пелешенком і В.К. Хільчевським - відомими представниками наукової гідрохімічної школи Київського національного університету імені Тараса Шевченка [10]. Цей досвід враховано В.К. Хільчевським, В.І. Осадчим, С.М. Курилом й при написанні нового підручника. Авторами також використано новітні результати досліджень хімічного складу води різних водних об'єктів на території країни, застосовано гідрохімічну характеристику за районами річкових басейнів згідно сучасного гідрографічного районування України (2016 р.), яке враховує вимоги Водної рамкової директиви Європейського Союзу (WFD 2000/60/EC).

Мета підручника "Регіональна гідрохімія України" (2019) – розвиток і поглиблення знань, отриманих при вивченні основ загальної гідрохімії [27].

Відомо, що природні води є складним комплексом розчинних газів, мінеральних солей та органічних сполук, формування якого відбувається під дією природних (фізико-географічних – у першу чергу, кліматичних і ґрунтових; геологічних; фізико-хімічних; біологічних) та антропогенних чинників. Вплив цих чинників на водні об'єкти має свої закономірності та відмінності, що проявляються у річкових басейнах, різних регіонах і природних зонах як в континентальному вимірі, так і в межах територій окремих країн. Можна говорити навіть про гідрохімічну зональність, що є виявом загального закону природної зональності.

Регіональна гідрохімія України вивчає хімічний склад природних вод окремих водних об'єктів, басейнів, територій і зон; закономірності його формування та зміни

у просторі й часі.

В підручнику комплексно узагальнено та викладено матеріали з гідрохімії атмосферних опадів, річок, озер і водосховищ, підземних і морських вод.

Особливістю підручника «Регіональна гідрохімія України» є те, що автори значною мірою базувалися на матеріалах власних досліджень хімічного складу поверхневих вод. Також ними систематизовано та узагальнено монографічні праці провідних українських учених, які в різні роки (з 1950-х рр. і до наших днів) вивчали фундаментальні та прикладні питання гідрохімії поверхневих, підземних і морських вод (О.М. Алмазов, А.Є. Бабинець, Л.М. Горєв, О.І. Денисова, Л.О. Журавльова, Г.Д. Коненко, П.М. Линник, Б.Й. Набиванець, В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, В.І. Пелешенко, Б.О. Скопинцев, В.К. Хільчевський, В.М. Шестопалов та ін.).

Цілком логічно, що базисом для створення фундаментального підручника «Регіональна гідрохімія України» стали дослідження, які виконувалися авторами - вченими Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) протягом останніх 25 років. а також університетський навчально-методичний досвід із забезпечення підготовки фахівців гідролого-гідрохімічного профілю.

Так, за цей час за участі університетських авторів було опубліковано вагому низку монографічних та науково-методичних видань. Зокрема карти в «Гидрохимическом атласе СССР» (1991) [4], монографії, присвячені гідрохімії регіональних басейнових систем Дністра - 2002, 2013 [1, 8], Західного Бугу - 2006 [12], Дніпра - 1996, 2007 [7, 23], Південного Бугу - 2009 [3], Росі - 2009, 2012 [6, 29], Горині - 2011 [5], Інгульця - 2011 [26], Сули, Псла та Ворскли - 2014 [9], гідрохімії схилового стоку - 2005 [2], природним і техногенним водним об'єктам Кривбасу - 2012 [30]. Опубліковано підручники із загальної гідрохімії - 1997 [17] та гідрохімічних аспектів водопостачання і водовідведення [21], а також навчальні посібники з агрогідрохімії - 1995 [20], морської гідрохімії - 2003 [22], методів хімічного аналізу вод - 2004 [24], оцінювання впливу відходів на природні води - 2007 [18], управління якістю водних ресурсів - 2015 [25]. Створено довідник за персоналіями українських гідрологів, гідрохіміків і гідроекологів [19]. Вийшла низка статей англійською мовою [31-39, 45, 46].

Вченими УкрГМІ видано монографічні та науково-довідкові праці з аналітичної хімії поверхневих вод - 2007 [13], довідник з гідрохімії - 2008 [16], розроблено гідрохімічні карти та карти якості вод до "Національного атласу України" - 2007 [14], опубліковано фундаментальну україномовну монографію з дослідження процесів формування хімічного складу поверхневих вод - 2013 [15], яка згодом була перевидана англійською мовою у видавництві «Springer» - 2016 [43]. За останній період опубліковано низку статей англійською мовою [40-44].

Автори нового підручника розвивають досвід ефективної творчої співпраці. У 2012 р. ними вже було випущено базовий підручник "Основи гідрохімії" [27]. Варто відзначити тісну співдружність між вченими КНУ імені Тараса Шевченка та УкрГМІ, особливо якщо взяти до уваги, що член.-кор. НАН України В.І. Осадчий протягом 1981-1993 р. працював в університеті. У нього з професором В.К. Хільчевським є ціла низка спільних праць [14, 19, 27, 28, 45]. До того ж, у 2017 р. вони були відзначені Державною премією України в галузі науки і техніки за цикл наукових праць "Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України" у складі авторського колективу провідних українських вчених [11].

Структура підручника «Регіональна гідрохімія України» (2019) – складається з передмови, 11 розділів, додатків і списку літератури [28].

• *Розділ 1. Загальні умови формування хімічного складу природних вод.* 1.1. Чинники, які впливають на формування хімічного складу природних (фізико-географічні, геологічні, фізико-хімічні, біологічні, антропогенні). 1.2. Концентрація розчинів і способи її вираження. 1.3. Класифікація вод за хімічним складом і мінералізацією.

• *Розділ 2. Атмосферні опади.* 2.1. Уміст мінеральних речовин в атмосферних опадах. 2.2. Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами та їх вплив на поверхневі води.

• *Розділ 3. Річки.* 3.1. Гідрографічне районування території України. 3.2. Загальна характеристика хімічного складу річкових вод. 3.3. Район басейну Вісли. 3.4. Район басейну Дунаю. 3.5. Район басейну Дністра. 3.6. Район басейну Південного Бугу. 3.7. Район басейну Дніпра. 3.8. Район басейну річок Причорномор'я. 3.9. Район басейну Дону. 3.10. Район басейну річок Приазов'я. 3.11. Район басейну річок Криму.

• *Розділ 4. Гирлові області річок.* 4.1. Гирлова область Дунаю. 4.2. Гирлова область Дністра. 4.3. Дністровський лиман. 4.4. Гирлова ділянка Південного Бугу. 4.5. Гирлова ділянка Дніпра. 4.6. Дніпровсько-Бузький лиман.

• *Розділ 5. Водосховища й ставки.* 5.1. Чинники, що впливають на формування гідрохімічного режиму водосховищ. 5.2. Гідрохімічний режим Дніпровських водосховищ. 5.3. Гідрохімічний режим Дністровських водосховищ. 5.4. Гідрохімічна характеристика ставків. 5.5. Класифікація ставків і малих водойм України.

• *Розділ 6. Озера, лимани.* 6.1. Загальна характеристика озерних районів. 6.2. Шацькі озера. 6.3. Придунайські заплавні озера. 6.4. Лимани Дунайсько-Дністровського межиріччя. 6.5. Лимани Дніпровсько-Дністровського межиріччя. 6.6. Використання лиманів. 6.7. Соляні озера Криму.

• *Розділ 7. Підземні води.* 7.1. Гідрогеологічна область Українського щита. 7.2. Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн. 7.3. Волино-Подільський артезіанський басейн. 7.4. Причорноморський артезіанський басейн. 7.5. Донецька гідрогеологічна складчаста область. 7.6. Карпатська складчаста гідрогеологічна область. 7.7. Гідрогелогічна складчаста область гірського Криму. 7.8. Мінеральні води.

• *Розділ 8. Моря.* 8.1. Чорне море. 8.2. Азовське море.

• *Розділ 9. Рівноважні гідрохімічні системи.* 9.1. Карбонатно-кальцієва система. 9.2. Карбонатно-магнієва система. 9.3. Сульфатно-кальцієва система. 9.4. Схильність природних вод до відкладання чи розчинення карбонатів кальцію.

• *Розділ 10. Стік розчинених у природних водах речовин і хімічна денудація.* 10.1. Іонний стік. 10.2. Хімічна денудація суші.

• *Розділ 11. Антропогенний вплив на хімічний склад природних вод.* 11.1. Промислові та господарсько-побутові стічні води. 11.2. Сільськогосподарські стічні води. 11.3. Радіоактивне забруднення. 11.4. Оцінка антропогенного впливу на хімічний склад та якість річкових вод.

• *У додатках наведено таблиці:* середні багаторічні концентрації основних іонів і мінералізація води річок України у період весняного водопілля, літньо-осінньої та зимової межені; середні багаторічні концентрації $\text{Fe}_{\text{заг}}$, $\text{P}_{\text{мін}}$, Si , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ і величина біхроматної окиснюваності (БО) у водах річок України в період весняного водопілля, літньо-осінньої та зимової межені; середні багаторічні концентрації Cu , Zn і Cr у водах річок України в період весняного водопілля, літньо-осінньої та зимової межені.

Авторський колектив підручника:

• *Хільчевський Валентин Кирилович* – доктор географічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі

ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідроekологія. 2019. № 4 (55)**

науки і техніки, завідувач кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

• *Осадчий Володимир Іванович* – доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, директор Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України;

• *Курило Святослав Михайлович* – кандидат географічних наук, доцент кафедри гідрології та гідроекології.

Підручник призначено для студентів спеціальності «Науки про Землю», які навчаються за освітніми програмами гідрологічного, гідроекологічного та гідрогеологічного профілю. Може бути корисним для студентів спеціальності «Географія», які навчаються за освітніми програмами фізико-географічного та геоекоекологічного спрямування..

Список літератури

1. Аксьом С.Д., Хільчевський В.К. Вплив сульфатного карсту на хімічний склад природних вод у басейні Дністра. Київ. Ніка-Центр, 2002. 204 с.

2. Будник С.В., Хильчевский В.К. Гидродинамика и гидрохимия склоновых водотоков. Киев. Обрії, 2005. 368 с.

3. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський, О.В. Чунарьов, М.І. Ромась та ін. / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. Ніка-Центр, 2009. 184 с.

4. Гидрохимический атлас СССР. Карты в разделе: Поверхностные воды Украины / В.И. Пелешенко, Д.В. Закревский, Л.Н. Горев, Н.И. Ромась, В.К. Хильчевский / под ред. А.М. Никанорова. Москва. ГУГК, 1990. С.59-66.

5. Гідроекологічний стан басейну Горині в районі Хмельницької АЕС / В.К. Хільчевський, М.І. Ромась, О.В. Чунарьов та ін. / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. Ніка-Центр, 2011. 176 с.

6. Гідроекологічний стан басейну річки Рось / В.К. Хільчевський, С.М. Курило, С.С. Дубняк та ін.; за ред. В.К. Хільчевського. Київ. Ніка-Центр, 2009. 116 с.

7. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін. / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. Ніка-Центр, 2007. 184 с.

8. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. / за ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташука. Київ. Ніка-Центр, 2013. 256 с.

9. Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України: навч. посібник / В.К. Хільчевський, О.О. Винарчук, О.М. Гончар та ін. / за ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташука. Київ. Ніка-Центр, 2014. 230 с.

10. Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України: підручник. Київ. Вища школа, 1995. 307 с.

11. Забокрицкая М.Р. Оценка, прогнозирование и оптимизация состояния водных экосистем – работа, удостоенная Государственной премии Украины 2017 года. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2018. 3(50). С. 83-100.

12. Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К., Манченко А.П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України. Київ. Ніка-Центр, 2006. 184 с.

13. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ. Наукова думка, 2007. 455 с.

14. Національний атлас України. Гідрохімічні карти / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець, В.К. Хільчевський / за ред. Л.Г. Руденка. Київ. ДНВП «Картографія», 2007. С. 181, 409, 410.

15. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Линник П.М., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод. Київ. Ніка-Центр, 2013. 240 с.

16. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник. Київ. Ніка-Центр, 2008. 655 с.

- 17.** Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія: підручник. Київ. Либідь, 1997. 384 с.
- 18.** Савицький В.М., Чунарьов О.В., Хільчевський В.К. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: навч. посібник / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. ВПЦ «Київський університет», 2007. 152 с.
- 19.** Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи: довідник / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, В.В. Гребін та ін. / за ред. В. К. Хільчевського. Київ: Ніка-Центр, 2004. 176 с.
- 20.** Хільчевський В.К. Агрогідрохімія: навч. посібник. Київ. ВПЦ "Київський університет", 1995. 162 с.
- 21.** Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення - гідроекологічні аспекти: підручник. Київ. ВЦ "Київський університет", 1999. 319 с.
- 22.** Хільчевський В.К. Гідрохімія океанів і морів: навч. посібник. Київ. ВПЦ "Київський університет", 2003. 114 с.
- 23.** Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра. Київ. ВПЦ "Київський університет", 1996. 222 с.
- 24.** Хільчевський В.К. Хімічний аналіз вод: навч. посібник. Київ. ВПЦ "Київський університет", 2004. 61 с.
- 25.** Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. посібник / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. ВПЦ «Київський університет», 2015. 154 с.
- 26.** Хільчевський В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу. Київ. Ніка-Центр, 2012. 180 с.
- 27.** Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. Київ. Ніка-Центр, 2012. 312 с.
- 28.** Хільчевський В.К., Осадчий В.І. Регіональна гідрохімія України: підручник. Київ. ВПЦ "Київський університет", 2019. 343 с.
- 29.** Хільчевський В.К., Савицький В.М., Красова Л.А., Гончар О.М. Польові та лабораторні дослідження хімічного складу води річки Рось: навч. посібник / за ред. В.К. Хільчевського. Київ. ВПЦ «Київський університет», 2012. 143 с.
- 30.** Шерстюк Н.П., Хільчевський В.К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу. Дніпропетровськ. Акцент, 2012. 263 с.
- 31.** Khil'chevskii V.K., Chebot'ko K.A. Evaluation of the ecological and hydrochemical state of natural waters in Ukraine. *Water Resources*. 1994. 21(2). P. 166-172.
- 32.** Khil'chevskii V.K., Khil'chevskii R.V., Gorokhovskaya M.S. Environmental aspects of chemical substance discharge with river flow into water bodies of the Dnieper River basin. *Water Resources*. 1999. 26(4). P. 453-458.
- 33.** Khil'chevskiy V.K. Effect of agricultural production on the chemistry of natural waters: a survey. *Hydrobiological Journal*. 1994. 30(1). P. 82-93.
- 34.** Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. *Hydrobiological Journal*. 2019. 55(3). P. 95-102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v55.i3.110.
- 35.** Khilchevskiy V.K. Dissolved load in the Danube Delta (branches Kiliya, Sulina and St. George). Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Rivers and Estuaries of the Black Sea in the Beginning of the 21 Century". Odesa. 2019. P. 155-157. URL: http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirnik_
- 36.** Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(1). P. 68-80. URL: <https://doi.org/10.15421/111832>.
- 37.** Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. The chemical composition of precipitation in Ukraine and its potential impact on the environment and water bodies. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. 28(1). P. 79-86. URL: <https://doi.org/10.15421/111909>.
- 38.** Khilchevskiy V., Zabokrytska M., Honchar O. Description of the hydrochemical regime of the Dnister river (by basic ions). Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference

"Rivers and Estuaries of the Black Sea in the Beginning of the 21 Century". Odesa. 2019. P. 158-160. URL: http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirnik_

39. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Sherstyuk N.P. Hydrography and hydrochemistry of the transboundary river Western Bug on territory of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(2). P. 232-243. URL: <https://doi.org/10.15421/111848>.

40. Osadcha N., Osadchyy V., Guzienko I., Nabyvanets Yu., Artemenko V. Field Experimental Studies of the Leaching of Humic Substances from the Peat Soils and Estimation of their Role in Dissolved Iron Transportation. *Forum Geografic*. 2016. 15(2): 85. URL: <http://forumgeografic.ro/2017/2213/>

41. Osadcha N., Osadchyy V., Lutkovsky V., Luzovitska Y., Artemenko V. Experimental Research and Mathematical Modeling of Nutrients Release in a Small Watershed. *Die Bodenkultur: Journal for Land Management. Food and Environment*. 2014. 65(3-4): 7.

42. Osadchy V., Osadcha N. & Nabyvanets Ju. Chemical Composition And Water Quality Of Surface Waters In Ukraine. In: *Environmental Health Risk II*. WIT Press/ Southampton, Boston, 2003 7. P. 15-24. DOI 10.2495/EHR030021

43. Osadchyy V., Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha N., Nabyvanets Y. Processes Determining Surface Water Chemistry. Springer. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42159-9>

44. Osypov V., Osadcha N., Osadchyy V. SWAT Model Application for Simulating Nutrients Emission from an Agricultural Catchment in Ukraine. *Forum Geografic*. 2016. 15(2): 30. URL: <http://forumgeografic.ro/2017/2231/>

45. Savitskii V.N., Stets'ko N.S., Osadchii V.I., Khil'chevskii V.K. Content and distribution of some pollutants in Danube water. *Water Resources*. 1994. 20(4). P. 462-468.

46. Zakrevskii D.V., Peleshenko V.I., Khil'chevskii V.K. Dissolved load of Ukrainian rivers. *Water Resources*. 1988. 15(6). P. 547-557.

Reference

1. Aksom S.D., Khilchevskiy V.K. Vplyv sulfatnoho karstu na khimichniy sklad pryrodnykh vod u baseini Dnistra [Influence of sulfate karst on the chemical composition of natural waters in the Dniester basin]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2002. 204 s.

2. Budnik S.V., Hilchevskiy V.K. Gidrodinamika i gidrokhimiya sklonovykh vodotokov [Hydrodynamics and hydrochemistry of slope streams]. Kiev. Obrii, 2005. 368 s.

3. Vodni resursy ta yakist richkovykh vod baseinu Pivdennoho Buhu [Water resources and quality of river waters of the Southern Bug basin] / V.K. Khilchevskiy, O.V. Chunarov, M.I. Romas ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. Nika-Tsentr, 2009. 184 s.

4. Gidrohimicheskyy atlas SSSR. Kartyi v razdele: Poverhnostnye vodyi Ukrainyi [Hydrochemical Atlas of the USSR. Maps in section: Surface waters of Ukraine] / V.I. Peleshenko, D.V. Zakrevskiy, L.N. Gorev, N.I. Romas, V.K. Hilchevskiy / pod red. A.M. Nikanorova. Moskva. GUGK, 1990. S.59-66.

5. Hidroekologichnyi stan baseinu Horyni v raioni Khmelnytskoi AES [Hydro-ecological state of the Goryn basin near Khmelnytsky NPP] / V.K. Khilchevskiy, M.I. Romas, O.V. Chunarov ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. Nika-Tsentr, 2011. 176 s.

6. Hidroekologichnyi stan baseinu richky Ros [Hydro-ecological status of the Ros river basin] / V.K. Khilchevskiy, S.M. Kurylo, S.S. Dubniak ta in.; za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. Nika-Tsentr, 2009. 116 s.

7. Hidroloho-hidrokhimichna kharakterystyka minimalnoho stoku richok baseinu Dnipra [Hydrological and hydrochemical characteristics of the minimum flow of rivers in the Dnieper basin] / V.K. Khilchevskiy, I.M. Romas, M.I. Romas ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. Nika-Tsentr, 2007. 184 s.

8. Hidrokhimichniy rezhym ta yakist poverkhnevyykh vod baseinu Dnistra na terytorii Ukrainy [Hydrochemical regime and surface water quality of the Dniester basin in Ukraine] / V.K. Khilchevskiy, O.M. Honchar, M.R. Zabokrytska ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho ta V.A. Stashuka. Kyiv. Nika-Tsentr, 2013. 256 s.

9. Hidrokhiimiia richok Livoberezhnoho lisostepu Ukrainy: navch. posibnyk [Hydrochemistry of the rivers of the Left-bank forest-steppe of Ukraine; educ. manual] / V.K. Khilchevskiy, O.O. Vynarchuk, O.M. Honchar ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho ta V.A. Stashuka.

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

Kyiv. Nika-Tsentr, 2014. 230 s.

10. Horiev L.M., Peleshenko V.I., Khilchevskiy V.K. [Hidrokhimiia Ukrainy: pidruchnyk Hydrochemistry of Ukraine: textbook]. Kyiv. Vyshcha shkola, 1995. 307 s.

11. Zabokrytskaya M.R. Otsenka, prognozirovanie i optimizatsiya sostoyaniya vodnykh ekosistem – rabota, udostoennaya Gosudarstvennoy premii Ukrainy 2017 goda [Assessment, forecasting and optimization of the state of aquatic ecosystems - a work awarded the State Prize of Ukraine 2017]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2018. 3(50). S. 83-100.

12. Zabokrytska M.R., Khilchevskiy V.K., Manchenko A.P. Hidroekolohichni stan baseinu Zakhidnoho Buhu na terytorii Ukrainy [Hydro-ecological status of the Western Bug basin in Ukraine]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2006. 184 s.

13. Nabyvanets B.I., Osadchyi V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. Analitychna khimiia poverkhnevyykh vod [Analytical chemistry of surface waters]. Kyiv. Naukova dumka, 2007. 455 s.

14. Natsionalnyi atlas Ukrainy. Hidrokhimichni karty [National Atlas of Ukraine. Hydrochemical maps] / V.I. Osadchyi, N.M. Osadcha, Yu.B. Nabyvanets, V.K. Khilchevskiy / za red. L.H. Rudenka. Kyiv. DNPV «Kartohrafiia», 2007. S. 181, 409, 410.

15. Osadchyi V.I., Nabyvanets B.I., Lynnyk P.M., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. Protsesy formuvannia khimichnoho skladu poverkhnevyykh vod [Processes of formation of chemical composition of surface waters]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2013. 240 s.

16. Osadchyi V.I., Nabyvanets B.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. Hidrokhimichniy dovidnyk [Hydrochemical reference book]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2008. 655 s.

17. Peleshenko V.I., Khilchevskiy V.K. Zahalna hidrokhimiia: pidruchnyk [General hydrochemistry: textbook]. Kyiv. Lybid, 1997. 384 s.

18. Savytskyi V.M., Chunarov O.V., Khilchevskiy V.K. Vidkhody vyrobnytstva i spozhyvannia ta yikh vplyv na hrunt i pryrodni vody: navch. posibnyk [Waste production and consumption and their impact on soils and natural waters: manual] / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. VPTs «Kyivskiy universytet», 2007. 152 s.

19. Ukrainski hidrolohy, hidrokhimiky, hidroekolohy: dovidnyk [Ukrainian hydrologists, hydrochemists, hydroecologists: reference book] / V.K. Khilchevskiy, V.I. Osadchyi, V.V. Hrebin ta in. / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv: Nika-Tsentr, 2004. 176 s.

20. Khilchevskiy V.K. Ahrohidrokhimiia: navch. posibnyk [Agrohydrochemistry: educ. manual]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 1995. 162 s.

21. Khilchevskiy V.K. Vodopostachannia i vodovidvedennia - hidroekolohichni aspekty: pidruchnyk [Water supply and sanitation - hydro-environmental aspects: a textbook]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 1999. 319 s.

22. Khilchevskiy V.K. Hidrokhimiia okeaniv i moriv: navch. posibnyk [Hydrochemistry of Oceans and Seas: educ. manual]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 2003. 114 s.

23. Khilchevskiy V.K. Rol ahrokhimichnykh zasobiv u formuvanni yakosti vod baseinu Dnipra [The role of agrochemicals in forming the water quality of the Dnieper basin]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 1996. 222 s.

24. Khilchevskiy V.K. Khimichniy analiz vod: navch. posibnyk [Chemical analysis of waters: educ. manual]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 2004. 61 s.

25. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Kravchynskiy R.L., Chunarov O.V. Osnovni zasady upravlinnia yakistiu vodnykh resursiv ta yikhnia okhrona: navch. posibnyk [The basic principles of water quality management and their protection: educ. manual] / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. VPTs «Kyivskiy universytet», 2015. 154 s.

26. Khilchevskiy V.K., Kravchynskiy R.L., Chunarov O.V. Hidrokhimichniy rezhym ta yakist vody Inhultsia v umovakh tekhnogenezu [Hydrochemical regime and water quality of Ingulets in the conditions of technogenesis]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2012. 180 s.

27. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I., Kurylo S.M. Osnovy hidrokhimii: pidruchnyk [Fundamentals of hydrochemistry: textbook]. Kyiv. Nika-Tsentr, 2012. 312 s.

28. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I. Rehionalna hidrokhimiia Ukrainy: pidruchnyk [Regional hydrochemistry of Ukraine: textbook]. Kyiv. VPTs "Kyivskiy universytet", 2019. 343 s.

29. Khilchevskiy V.K., Savytskyi V.M., Krasova L.A., Honchar O.M. Polovi ta laboratorni doslidzhennia khimichnoho skladu vody richky Ros: navch. posibnyk [Field and laboratory studies of the chemical composition of the water of the Ros River: educ. manual] / za red. V.K. Khilchevskoho. Kyiv. VPTs «Kyivskiy universytet», 2012. 143 s.

ISSN:2306-5680 **Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2019. № 4 (55)**

- 30.** Sherstiuk N.P., Khilchevskiy V.K. Osoblyvosti hidrokhimichnykh protsesiv u tekhnohennykh ta pryrodnykh vodnykh ob'ektakh Kryvbasu [Peculiarities of hydrochemical processes in man-made and natural water objects of Kryvbas]. Dnipropetrovsk. Aktsent, 2012. 263 s.
- 31.** Khil'chevskii V.K., Chebot'ko K.A. Evaluation of the ecological and hydrochemical state of natural waters in Ukraine. *Water Resources*. 1994. 21(2). P. 166-172.
- 32.** Khil'chevskii V.K., Khil'chevskii R.V., Gorokhovskaya M.S. Environmental aspects of chemical substance discharge with river flow into water bodies of the Dnieper River basin. *Water Resources*. 1999. 26(4). P. 453-458.
- 33.** Khil'chevskiy V.K. Effect of agricultural production on the chemistry of natural waters: a survey. *Hydrobiological Journal*. 1994. 30(1). P. 82-93.
- 34.** Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. *Hydrobiological Journal*. 2019. 55(3). P. 95-102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v55.i3.110.
- 35.** Khilchevskiy V.K. Dissolved load in the Danube Delta (branches Kiliya, Sulina and St. George). Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Rivers and Estuaries of the Black Sea in the Beginning of the 21 Century". Odesa. 2019. P. 155-157. URL: http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirnik_
- 36.** Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(1). P. 68-80. URL: <https://doi.org/10.15421/111832>.
- 37.** Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. The chemical composition of precipitation in Ukraine and its potential impact on the environment and water bodies. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. 28(1). P. 79-86. URL: <https://doi.org/10.15421/111909>.
- 38.** Khilchevskiy V., Zabokrytska M., Honchar O. Description of the hydrochemical regime of the Dnister river (by basic ions). Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Rivers and Estuaries of the Black Sea in the Beginning of the 21 Century". Odesa. 2019. P. 158-160. URL: http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirnik_
- 39.** Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Sherstyuk N.P. Hydrography and hydrochemistry of the transboundary river Western Bug on territory of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(2). P. 232-243. URL: <https://doi.org/10.15421/111848>.
- 40.** Osadcha N., Osadchyi V., Guzienko I., Nabyvanets Yu., Artemenko V. Field Experimental Studies of the Leaching of Humic Substances from the Peat Soils and Estimation of their Role in Dissolved Iron Transportation. *Forum Geografic*. 2016. 15(2): 85. URL: <http://forumgeografic.ro/2017/2213/>
- 41.** Osadcha N., Osadchyy V., Lutkovsky V., Luzovitska Y., Artemenko V. Experimental Research and Mathematical Modeling of Nutrients Release in a Small Watershed. *Die Bodenkultur: Journal for Land Management. Food and Environment*. 2014. 65(3-4): 7.
- 42.** Osadchy V., Osadcha N. & Nabyvanets Ju. Chemical Composition And Water Quality Of Surface Waters In Ukraine. In: *Environmental Health Risk II*. WIT Press/ Southampton, Boston, 2003 7. P. 15-24. DOI 10.2495/EHR030021
- 43.** Osadchyy V., Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha N., Nabyvanets Y. *Processes Determining Surface Water Chemistry*. Springer. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42159-9>
- 44.** Osypov V., Osadcha N., Osadchyi V. SWAT Model Application for Simulating Nutrients Emission from an Agricultural Catchment in Ukraine. *Forum Geografic*. 2016. 15(2): 30. URL: <http://forumgeografic.ro/2017/2231/>
- 45.** Savitskii V.N., Stets'ko N.S., Osadchii V.I., Khil'chevskii V.K. Content and distribution of some pollutants in Danube water. *Water Resources*. 1994. 20(4). P. 462-468.
- 46.** Zakrevskii D.V., Peleshenko V.I., Khil'chevskii V.K. Dissolved load of Ukrainian rivers. *Water Resources*. 1988. 15(6). P. 547-557.

«Регіональна гідрохімія України» (2019) – сучасний підручник з вивчення хімічного складу поверхневих, підземних і морських вод на території країни

Забокрицька М.Р.

В статті розглянуто і проаналізовано підручник «Регіональна гідрохімія України» (автори В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило), який видано у 2019 р. Підручник комплексно узагальнює та висвітлює матеріали з гідрохімії атмосферних опадів, річок, озер, водосховищ і ставків, підземних і морських вод на території України. Авторами використано новітні результати досліджень хімічного складу води різних водних об'єктів на території країни, застосовано гідрохімічну характеристику за районами річкових басейнів згідно сучасного гідрографічного районування України (2016 р.), яке враховує вимоги Водної рамкової директиви Європейського Союзу (WFD 2000/60/EC).

Особливістю підручника є те, що автори значною мірою базувалися на матеріалах власних досліджень хімічного складу поверхневих вод. Також ними систематизовано та узагальнено монографічні праці провідних українських учених, які в різні роки (з 1950-х рр. і до наших днів) вивчали фундаментальні та прикладні питання гідрохімії поверхневих, підземних і морських вод. Структура підручника складається з передмови, 11 розділів, додатків і списку літератури. Підручник призначено для студентів спеціальності «Науки про Землю», які навчаються за освітніми програмами гідрологічного, гідроекологічного та гідрогеологічного профілю. Може бути корисним для студентів спеціальності «Географія», які навчаються за освітніми програмами фізико-географічного та геоекологічного спрямування.

Ключові слова: регіональна гідрохімія України, підручник, хімічний склад вод, атмосферні опади, річки, озера, водосховища, ставки, підземні води, морські води.

«Региональная гидрохимия Украины» (2019) - современный учебник по изучению химического состава поверхностных, подземных и морских вод на территории страны

Забокрицкая М.Р.

В статье рассмотрен и проанализирован учебник «Региональная гидрохимия Украины» (авторы В.К. Хильчевский, В.И. Осадчий, С.М. Курило), изданный в 2019 г. Учебник комплексно обобщает и освещает материалы по гидрохимии атмосферных осадков, рек, озер, водохранилищ и прудов, подземных и морских вод на территории Украины. Авторами использованы новейшие результаты исследований химического состава воды различных водных объектов на территории страны, применена гидрохимическая характеристика по районам речных бассейнов согласно современному гидрографическому районированию Украины (2016 г.), которое учитывает требования Водной рамочной директивы Европейского Союза (WFD 2000/60/EC).

Особенностью учебника является то, что авторы в значительной степени базировались на материалах собственных исследований химического состава поверхностных вод. Также ими систематизированы и обобщены монографические труды ведущих украинских ученых, которые в разные годы (с 1950-х гг. и до наших дней) изучали фундаментальные и прикладные вопросы гидрохимии поверхностных, подземных и морских вод. Структура учебника состоит из предисловия, 11 разделов, приложений и списка литературы. Учебник предназначен для студентов специальности «Науки о Земле», обучающихся по образовательным программам гидрологического, гидроэкологического и гидрогеологического профиля. Может быть полезным для студентов специальности «География», обучающихся по образовательным программам физико-географического и геоэкологического профиля.

Ключевые слова: региональная гидрохимия Украины, учебник, химический состав вод, атмосферные осадки, реки, озера, водохранилища, пруды, подземные воды, морские воды.

"Regional Hydrochemistry of Ukraine" (2019) - a modern textbook on the study of the chemical composition of surface, groundwater and sea waters in the country

Zabokrytska M.R.

The article reviewed and analyzed the textbook "Regional Hydrochemistry of Ukraine" (authors V.K. Khilchevskiy, V.I. Osadchyi, S.M. Kurylo), published in 2019. The textbook comprehensively summarizes and covers materials on the hydrochemistry of precipitation, rivers, lakes, reservoirs and ponds, underground and sea waters in Ukraine. The authors used the latest results of studies of the chemical composition of water of various water bodies in the country, applied the hydrochemical characteristics of the river basin districts according to the modern hydrographic zoning of Ukraine (2016), which takes into account the requirements of the European Union Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC).

A feature of the textbook is that the authors were largely based on the materials of their own studies of the chemical composition of surface waters. They also systematized and generalized the monographic works of leading Ukrainian scientists, in different years (from the 1950s to the present day) they studied

fundamental and applied issues of hydrochemistry of surface, underground and sea waters. The structure of the textbook consists of a preface, 11 sections, applications and a list of references. The textbook is intended for students of the specialty "Earth Sciences", studying in educational programs of hydrological, hydroecological and hydrogeological profile. It may be useful for students of the specialty "Geography", students in educational programs of a physical-geographical and geo-ecological profile.

Key words: regional hydrochemistry of Ukraine, textbook, water chemistry, precipitation, rivers, lakes, reservoirs, ponds, underground waters, sea waters.

Надійшла до редколегії 07.10.2019

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 кордоном, 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 8302:2015** «Інформація та документація. Бібліографічне посилання...»). 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 анотаціями, 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/дм³** (а не в мг/л).

Зразок оформлення статті (обов'язково ставити УДК, дотримуватися виділення шрифту і абзаців):

УДК 551.49

(кегель 12)

Петренко М.І.

(кегель 12, напівжирний, нахилений)

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

(кегель 11, нахилений)

ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА (кегель 12, напівжирний)

Ключові слова: не більше 5 слів чи словосполучень (кегель 11, нахилений)

Далі через інтервал починається текст статті (кегель 12). Усі підписи до рисунків та таблиці виконуються кеглем 11.

Кожна стаття супроводжується 2-ма списками літератури:

- 1). Список літератури оригінальний.
- 2). Список літератури транслітерований латиницею (із заголовком References).

Список літератури. Після основного тексту статті (висновків) через один інтервал розташовується підзаголовок "Список літератури" (кегель 11, напівжирний), а потім власне перелік джерел (також кегль 11). Список літератури має бути оформлений згідно вимог **ДСТУ 8302:2015** «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» чинний від 2016-07-01.

References. Після оригінального списку літератури через один інтервал додається транслітерований латиницею список літератури із заголовком «References». Сайт з програмою транслітерації україномовного тексту на латиницю: <http://litopys.org.ua>. Сайт з програмою транслітерації російськомовного тексту на латиницю: <http://www.translit.ru>.

Після "Списку літератури" та «References» через один інтервал через інтервал – **анотації** українською, російською і англійською мовами, що **додаються за схемою:**

- 1) **назва статті** (кегель 10, напівжирний), **прізвище та ініціали автора(ів)** (кегель 10, напівжирний, нахилений);
- 2) **короткий текст анотації українською, російською та розширений – англійською (2000 знаків без пробілів)** (кегель 10, нахилений);
- 3) **ключові слова** (до 5 слів чи словосполучень), розділених крапкою з комою (кегель 10, нахилений).

Крім того, до статті додається **реферат**, рекомендований обсяг – 850 знаків.

Приклад оформлення реферату статті:

УДК 556.012 556.522

Типізація річок та озер української частини басейну Вісли та її узгодженість з дослідженнями в Польщі / Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. (№ і стор. - буде представлено в редакції).

Здійснена абіотична типізація річок, яка базується на вимогах ВРД ЄС і типологічній системі адаптованій в Польщі, дозволила виділити: для басейну Західного Бугу в межах України 5 абіотичних типів річок, в межах Польщі - 7; для басейну Сану в межах України - 4 типи річок, в межах Польщі - 10. Згідно ВРД ЄС у басейні р. Західний Буг до дуже великих річок належить, власне, Західний Буг, а до великих річок - Полтва, Рата, Луги і Ріта. У басейні р. Сан до дуже великих річок належить, власне, Сан, а до великих річок - Вишня і Завадівка (Любачівка). Для виконання типізації озер у басейні Західного Бугу на території України згідно вимог ВРД ЄС необхідно провести дослідження за комплексом показників (геологічних умов водозбору, співвідношення площі водозбору до об'єму озера, вертикальної стратифікації озерних вод).

Іл. 2. Табл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: Західний Буг, Сан, Водна рамкова директива Європейського Союзу, абіотичні типи, річка, озеро

Також 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.

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Науковий збірник

2019 рік

№ 4 (55)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 20.11.2019
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різнограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 100 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

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)