

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

# Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник  
Том 2 (45)

Київ  
2017

**ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:**

Наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. – 2017. – Т. 2 (45). – 104 с.

**HIDROLOHIIA, HIDROKHIIMIIA I HIDROEKOLOHIIA:**

The scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. – 2017. – Т. 2(45). – 104 p.

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

- Науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія” засновано у травні 2000 р.
- Зареєстровано Міністерством юстиції України 8 жовтня 2009 р. (наказ № 1806/5).
- Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 15819-4291Р від 8 жовтня 2009 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р. включено до переліку наукових фахових видань України за галуззю «Географічні науки».
- **Засновник:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
географічного факультету  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
(19 червня 2017 р., протокол № 6)*

**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:** gidrolog@niv.kiev.ua*

*luko15\_06@ukr.net*

**ISSN:2306-5680**

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017

**Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.2(45)**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# З М І С Т

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### **Хільчевський В.К.**

Гідроекологічні проблеми ревіталізації річок на території міських агломерацій – міжнародний та український досвід ..... 6

### **Онищук В.В.**

Теорія центроструменевого руслоформування ..... 13

## ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

### **Мудра К.В.**

Відновлення стоку води на гідрологічних постах річки Дністер з метою вивчення його довгоперіодних коливань ..... 30

### **Корнієнко В. О., Лук'янець О.І.**

Розрахункові характеристики максимального річного стоку води річок правобережжя Прип'яті..... 39

### **Рахматулліна Е.Р., Гребінь В.В.**

Аналіз взаємозв'язку характеристик термічного та льодового режиму річок басейну Південного Бугу з температурою повітря..... 44

### **Сурай К.С., Лук'янець О.І.**

Основні характеристики селєвих басейнів Українських Карпат: статистичний аналіз та особливості їх територіального розповсюдження..... 53

## ГІДРОЕКОЛОГІЯ. ГІДРОБІОЛОГІЯ

### **Кулібабін О.Г., Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О.**

Еколого-економічні проблеми раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух)..... 61

## ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### **Савенець М.В.**

Короткострокова мінливість висотного розподілу показників вологості атмосфери над територією України та суміжними територіями..... 68

### **Пясецька С. І., Гребенюк Н.П., Щеглов О.А.**

Оцінка повторюваності відкладень ожеледі на території України в умовах сучасного клімату ..... 76

### **Носар С.В., Степура Є.А.**

Потенціал штучного збільшення опадів холодної частини року в Північному Причорномор'ї (на прикладі Одеської області) ..... 83

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія" ..... 102

# CONTENTS

## THE GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

### ***Khilchevskiy V.***

Hydroecological problems of rivers revitalization on the urban areas - international and Ukrainian experience..... 6

### ***Onischuk V.***

The theory of centripetal evolution of river bed..... 13

## HYDROLOGY. WATER RESOURCES

### ***Mudra K.V.***

Recovery of water flow at the hydrological gauging stations of the Dniester River with the aim of further studying its long-period fluctuations ..... 30

### ***Korniienko V., Lukyanets O.***

Estimated characteristics of the maximum annual runoff of rivers right bank of the Pripyat.... 39

### ***Rakhmatullina E., Grebin V.***

Analysis of the correlation of the characteristics of thermal and ice regime of the rivers of the Southern Buh River Basin with air temperature..... 44

### ***Surai K., Lukyanets O.***

The main characteristics of the mudflow basins of the Ukrainian Carpathians: statistical analysis and peculiarities of their territorial distribution..... 53

## HYDROEKOLOGY. HYDROBIOLOGY

### ***Kulibabin A., Shakirzanova ZH., Romanova E.***

Ecological-economic problems of natural resource Danube lakes (for example Lake Katlabuh)..... 61

## GEOGRAPHICAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH

### ***Savenets M.***

Short-term variability of atmospheric humidity altitudinal distribution above Ukraine and adjacent territories ..... 68

### ***Pyasetska S., Grebenyuk N., Shcheglov A.***

Repeatability of ice deposits on the territory of Ukraine in today's climate..... 76

### ***Nosar S., Stepura E.***

The potential for artificial increase in precipitation in the cold part of the year in the Northern Black Sea Region (on the example of the Odessa region) ..... 83

**The presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»..... 102**

УДК 556.012 + 556.522

**Хільчевський В.К.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

### **ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ РІЧОК НА ТЕРИТОРІЇ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ – МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД**

*Ключові слова: ревіталізація річок, Либідь, Полтва, Сапалаївка, міська агломерація.*

**Вступ** . Електронна петиція (звернення) киян до Київської міської ради, в якій висловлено глибоку зтурбованість гідроекологічним станом річки Либідь, набрала 5 листопада 2015 р. понад 10 тис. підписів, необхідних для її розгляду міською владою. Петиція мала назву: «Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха та розпочати вживання невідкладних заходів із відновлення екосистеми річки Либідь та навколишньої території» [1].

У відповіді Київського міського голови Віталія Кличка, наданій 22 березня 2016 р., відзначено, що легендарна річка Либідь – друга за величиною річка Києва, яка є свідком найвизначніших історичних подій давнього Києва та символом міста, на сьогодні незаслужено забута, хоча й залишається важливою складовою міського середовища [1].

Зауважується, що відродження річки Либідь можливе при комплексному вивченні всього водозбірного басейну річки, впровадженні архітектурно-ландшафтних та інженерних заходів, а також поетапному формуванні екологічно безпечного міського середовища.

Київська міська рада вважає за доцільне організувати інвестиційний конкурс щодо впровадження проекту ревіталізації річки Либідь та ініціювати розроблення цільової програми з благоустрою та екологічного оздоровлення басейну річки Либідь [1].

Але постає питання – що мається на увазі під поняттям «ревіталізація річки» і, взагалі, чи можна її здійснити для р. Либідь? Адже для українських реалій це достатньо нова проблема.

**Мета даної оглядової статті** – висвітлення стану питання ревіталізації річок у світі та в Україні.

**Хронологія зростання антропогенного тиску в басейні р. Либідь.** Коротко зупинимося на хронології зростання антропогенного тиску на київську річку Либідь (довжина – 17,1 км, площа водозбору – 66,2 км<sup>2</sup>).

Треба зазначити, що попри легенди про судноплавність р. Либідь у давнину, із задокументованих фактів відомо, що здавна Либідь використовували як джерело енергії: у XVIII-XIX ст. на ній стояли водяні млини [2, 18]. А про якість води у середині XIX ст. красномовно свідчить факт використання її як джерела водопостачання. Так, у 1857 р. було збудовано локальну систему водопостачання для Київського Володимирського кадетського корпусу (зараз будівля Міністерства оборони України на Повітрофлотському проспекті) із забором води із ставка на р. Либідь і подачею її паровими насосами у баки на території кадетського корпусу [19].

Об'єктивний аналіз історії розвитку міської інфраструктури змушує визнати, що відчутний антропогенний тиск на басейн р. Либідь (вплив на ландшафт, гідрологічний режим, хімічний склад та якість води) почався близько 150 років тому – з середини другої половини XIX ст. Хронологічно у зростанні антропогенного тиску на басейн р. Либідь можна виділити чотири умовних періоди.

1). *До першої половини XIX ст. – період референційних умов для р. Либідь.* Прояв антропогенного втручання – мінімальний (будівництво ставків та водяних млинів) [2, 17].

2). *Друга половина XIX ст. – початок антропогенних змін на водозборі р. Либідь.* У зв'язку з розвитком Києва, зростанням території міста поверхня басейну та русло р. Либідь почали зазнавати значних змін. Так, близько 1870 рр. у заплаві р. Либідь прокладено залізничні шляхи Києво-Балтської та Курсько-Київської залізниць. У 1872 р. у Києві вперше збудовано централізований водопровід із забором води з Дніпра, у р. Либідь почали попадати стічні води. При цьому, система каналізації у центральній частині міста з'явилася лише у 1894 р. В той же час, на р. Либідь ще до кінця XIX ст. були великі ставки — Шулявський, Паньківський, Печерський, Совський, Голосіївський, які використовувалися населенням. А Шулявський (Кадетський) ставок проіснував навіть до початку 1930-х рр.

3). *Перша половина XX ст. – посилення антропогенного впливу на якість води р. Либідь.* Після спалаху епідемії холери у Києві у 1907 р. (через розташовані вище Києва у заплаві Дніпра очисні споруди каналізації) з 1908 р. у міський водопровід подавалася лише артезіанська вода. Очисні споруди перенесли нижче міста. Так, у 1909 р. вводиться в експлуатацію каналізаційний колектор, прокладений у заплаві р. Либідь. Либідський колектор подавав стічні води міста на очисні споруди (відстійники), розташовані на правому березі річки під Лисою горою. Після очищення стічні води скидалися у Дніпро. Так тривало поки у 1918 р. вибух на артилерійських складах на Звіринці (Печерський район) не зруйнував очисні споруди. Київ ще багато років скидав стічні води у Дніпро без очищення у пониззі р. Либідь [19]. У 1939 р. було збудовано Ново-Либідський каналізаційний колектор. У цей період почалося закріплення берегів бетоном.

4). *З другої половини XX ст. і до нашого часу – «бетонний період» - р. Либідь закута у бетонне русло.* Після уведення у 1965 р. в дію Бортницької станції аерації з очищення стічних вод в районі впадіння р. Либідь у Дніпро по його дну прокладено труби для перекачування стічних вод правобережжя Києва на лівий берег на Бортницьку станцію аерації. Майже все русло р. Либідь закріплено бетонним коробом, а на окремих ділянках взято в закриті колектори (під Повітрофлотським шляхопроводом та вздовж Саперно-Слобідської вулиці). Ділянку р. Либідь вздовж Саперно-Слобідської вулиці «заховали» у колектор у кінці 1980-х рр., коли прокладали прямий шлях на Південний міст через Дніпро, відкритий у 1990 р.

Бетонний короб каналу, споруджено для захисту від затоплення прилеглої до р. Либідь території, має висоту стінок 2-3 метри, ширина – від 4-х до 10-и метрів. По дну цього каналу прокладено вужчий канал глибиною 0,8 метра і шириною від 1,2 метра у верхів'ї до 3,5 метрів у пониззі річки. Ця частина каналу забезпечує проходження меженого стоку і її можна назвати руслом. Дно широкого каналу виконує функції низької заплави і частково затоплюється при зливовому стоці. Швидкості течії р. Либідь досить значні (завдяки спрямленню русла) - від 0,3-0,5 м/с (у межень) - до 2,2-2,8 м/с (у паводок). Середня багаторічна витрата води р. Либідь - 0,12 м<sup>3</sup>/с. А найвища прогнозована витрата води може досягати 39,6 м<sup>3</sup>/с. Середній багаторічний обсяг стоку води - 3,76 млн. м<sup>3</sup>/рік [12].

За нашими дослідженнями, виконаними ще у 1981 р. [15], за хімічним складом вода р. Либідь гідрокарбонатно-кальцієвого складу з мінералізацією близько 583

мг/дм<sup>3</sup> та твердістю води 6,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Вода має високу каламутність – 46,1 мг/дм<sup>3</sup> та низьку санітарну якість [6, 14, 20].

Певним позитивним фактом є те, що на єдиній ділянці річки, яку не каналізовано (в пониззі), рішенням Київської міської ради № 96/256 від 24.10.2002 р. було створено комплексну пам'ятку природи місцевого значення "Природне русло р. Либідь", площею 0,3 га.

**Поняття ревіталізації річок.** Термін «ревіталізація» походить від латинських слів *re* ... - відновлення та *vita* - життя, тобто дослівно: повернення життя. Це поняття використовується у науковій і практичній діяльності і характеризує процеси відновлення, оживлення, відтворення. Спочатку поняття «ревіталізація» почали використовувати у медицині, згодом – у техніці, архітектурі та урбаністиці.

У гідрологію та гідроекологію термін «ревіталізація» перейшов з урбаністики (сфери діяльності суспільства, спрямованої на створення матеріально-просторового середовища життєдіяльності людини в поселеннях та районах розселення). Узагальнюючи сутнісні положення, викладені в роботах різних авторів [9, 13, 16, 22], можемо сформулювати наступне визначення поняття «ревіталізація річок».

*Під ревіталізацією річок розуміють повне відновлення водотоків або ж певних їхніх ділянок на рівні періоду часу існування річки, що передувало індустріальному освоєнню даного регіону, коли була непорушеною руслова мережа і не здійснювалися централізовані чи точкові скиди стічних вод.*

Запроваджена у XIX ст. практика перетворення річок у канали та заключення їх у труби з метою захисту міської території від затоплення призвела до знищення малих річок, значного погіршення умов існування всіх водотоків та екосистем на території міст. Вище на прикладі р. Либідь було розглянуто основні етапи деградації малої річки на території м. Києва.

У наш час у багатьох країнах світу прийшли до усвідомлення того, що міські річки не можна розглядати лише з позицій потенційної загрози затоплення під час повені або паводку. Адже річки здатні сприятливо впливати на еколого-естетичні властивості місцевості, можуть використовуватися як зони відпочинку.

Тому сьогодні формування привабливої річкової мережі у межах міської агломерації можливе за умов: максимального збереження річкових долин; відмови від спрямлення русел та бетонування берегів; збереження безперервності річкової мережі (відмова від заключення ділянок річок у колектори); збереження видового біорізноманіття. Дотримання цих умов сприяє дії механізму саморегуляції природних комплексів, зберігає їхню рекреаційну привабливість [13, 16].

**Міжнародний досвід ревіталізації річок.** У європейських країнах питанням ревіталізації річок, у першу чергу у міських агломераціях, почали перейматися ще з середини 1990-х рр. шляхом розробки та реалізації відповідних проектів по конкретних річках, або ж окремих річкових ділянках. Це - «Isar Plan» у Німеччині, проект «River Restoration Center» (RRC) - у Великій Британії. Протягом 2007-2013 рр. Європейський Союз реалізовував у Центральній Європі проект «Revitalization of Urban River Spaces» (REURIS) - зокрема, у Німеччині, Польщі і Чехії [9]. У США таким прикладом може бути «Los Angeles River Revitalization Master Plan» [23].

У роботі Д.О. Крамера та ін. [9] досить детально розглянуто успішну реалізацію цих проектів у Європі - на низці річок у Німеччині, Чехії та Великій Британії.

Наприклад, проект ревіталізації р. Панке у м. Берліні (Німеччина), притоки р. Шпрее, довжиною 27 км, з яких 18 км – на території Берліну (площа всього басейну – 201 км<sup>2</sup>). На початок реалізації проекту стан басейну річки було оцінено як критичний. Визнано неможливим здійснення повної ревіталізації річки. Заплановано створення зон високої екологічної якості, між якими будуть знаходитися зони



меншого екологічного потенціалу (завершення – 2017 р.).

Проект по р. Ізар у м. Мюнхені (Німеччина), притоці Дунаю (загальна довжина 295 км, площа водозбору 9000 км<sup>2</sup>), яка протікає територією Австрії та Німеччини. Річка є давнім торговим шляхом, споруджено каскад ГЕС. Річка перетворилася у вузький канал. З 1995 р. розпочалося здійснення проекту «Isar Plan», яке завершилося 2010 р. На деяких ділянках р. Ізар було прибрано бетонні та кам'яні берегові укріплення, русло річки розширено і засипано гравієм по берегах.

Проект по р. Морава - притоці Дунаю (довжина - 354 км, площа басейну - 26658 км<sup>2</sup>). Річка формує природний кордон між Чехією та Словаччиною; між Австрією та Словаччиною. Річка протікає через такі відомі міста, як Оломоуц та Братислава. У 2011 р. розпочалася ревіталізація р. Морава на ділянці біля м. Оломоуц за чотирма напрямками: захист від паводків; сегментація річки на території з різним функціональним призначенням; відновлення зелених насаджень; відновлення відкритих алювіальних зон доступу до води.

Проект по р. Чорний Струмок (Чехія) - малій річці довжиною 5 км, що протікає у природному заповіднику «Черна Лука» у Рудних горах на півночі Чехії. У 1980-х рр. басейн струмка було меліоровано, він втратив природний характер. У 2009 р. розпочалася ревіталізація Чорного Струмка у два етапи: технічний (відновлення струмка) та біологічний (висадження зелених насаджень).

Проект по р. Струмок Ермітаж (Hermitage Stream), малій річці, що протікає у житловій забудові м. Хавант (Navant) у графстві Гемпшир (Велика Британія), береги якої у 1970-і рр. було забетоновано. Проект ревіталізації річки здійснювався протягом 1995-1999 рр. із залученням місцевих мешканців (реалізація просвітницьких прогам проекту), які також брали участь у роботі як волонтери. Основні цілі: збереження рівня захисту від паводків, але без бетонних плит; приведення річки і прилеглої території у вигляд, наближений до природного; створення по берегах зеленої зони з майданчиками для активного відпочинку [9].

У США досить показовим є проект по ревіталізації р. Лос-Анджелес, що протікає у штаті Каліфорнія і впадає у Тихий океан (довжина 77 км, площа водозбору – 2142 км<sup>2</sup>, протяжність у місті – 48 км). Значна частина річки протікає містом Лос-Анджелес у бетонному каналі, збудованому на початку ХХ ст. після кількох руйнівних наводнень. У 2007 р. зусиллями громадських екологічних організацій з'явився план ревіталізації річки - «Los Angeles River Revitalization Master Plan» (покращення якості води, озеленення, створення рекреаційних зон та благоустрій території вздовж берегів річки у межах міста). У 2014 р. до розробки проекту підключилися фахівці Інженерного корпусу армії США, які оцінили реалізацію проекту в 1 млрд. доларів, що необхідно вкласти впродовж 20 років [23].

**Стан питання з ревіталізацією річок в Україні.** В Україні питання ревіталізації річок на серйозному рівні ще не розроблялося і не вирішувалося. Хоча можна згадати певні прогресивні нароби у цьому напрямку, виконані у минулому (наприклад, паспортизацію малих річок в Україні), а також одиничні випадки елементів сучасної ревіталізації річок (зокрема, р. Сапалаївка у м. Луцьку).

**Паспортизація малих річок у 1980-і рр.** В цілому, в Україні проблемі малих річок приділялася увага ще у 1980-х рр. З метою виявлення реального стану малих річок, в тому числі і на території міських агломерацій, було прийнято рішення про проведення паспортизації малих річок України під егідою головної організації Укрводпроект (на той час – Укрдїпроводгосп). Автору статті довелося брати участь у розробці макету паспорта малої річки, який включав характеристику природних умов басейну, гідрологічного режиму, хімічного складу та якості води тощо. На жаль, цю конструктивну ідею було реалізовано, приблизно, на 30 %. Треба зазначити, що для основних малих річок території Києва (Либідь, Сирець, Нивка, Віта, Дарниця)

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

було створено паспорти. Причому, у паспорті річки Либідь у рекомендаціях щодо покращення її екологічного стану було записано рекомендації про створення зелених зон вздовж русла (термін «ревіталізація» тоді не був вживаним). Натомість, у кінці 1980-х рр. значну частину русла р. Либідь було заключено у підземний бетонний колектор (вздовж вулиці Саперно-Слобідської).

Отримані у ході виконання проекту з паспортизації малих річок результати в загальних рисах було узагальнено у довіднику «Малі річки України», написаного авторським колективом з близько 40 осіб, до якого входили і співробітники Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Д.В. Закревський, В.І. Пелешенко, О.Г. Ободовський, С.І. Сніжко, В.К. Хільчевський). Довідник видано у 1991 р. за редакцією А.В. Яцика [10].

**Ревіталізація річок.** Першими в Україні почали ставити питання, пов'язані з ревіталізацією річок, львів'яни. Адже під центром Львова протікає р. Полтва (ліва притока Західного Бугу), яку у ХІХ ст. заховали у підземний колектор, спрямувавши туди також дренажні та господарсько-побутові стічні води. В результаті р. Полтва виринає на поверхню лише за містом після очисних споруд каналізації (довжина річки - 60 км, площа водозбору - 1440 км<sup>2</sup>).

У 2009-2010 рр. було проведено гідроекологічні дослідження р. Полтва у рамках міжнародного проекту IWAS, які виявили незадовільну якість річкової води [21]. Подібні результати було отримано і за результатами інших досліджень у 2005 р. [7].

У 2010 р. у Львові проходила міжнародна науково-практична конференція "Львівська Полтва – стан та перспективи" [17]. Ідея проведення конференції ініційована львівською громадською організацією у складі проекту "LeoPoltwis", який розпочався ще 2008 р. та має на меті порятунок р. Полтва, як осередка культурного та соціального життя міста. Поки що опублікованих матеріалів стосовно офіційних проектів ревіталізації р. Полтва немає.

У Луцьку у 2013-2014 рр. було здійснено благоустрій з елементами ревіталізації р. Сапалаївка - правої притоки р. Стир (довжина р. Сапалаївка - 12,4 км, в межах міста – 8,3 км, площа басейну – 39,2 км<sup>2</sup>). Роботи виконано на ділянці протягом 0,5 км у центральній частині міста (район «Сіті-парку») спільно органами міської влади та бізнесовими структурами. Фактично, це перший приклад реалізації подібного проекту в Україні. Крім того, рішенням виконкому Луцької міськради від 24.05.2013 р. «Про заходи для запобігання погіршенню якості поверхневих вод» було встановлено пункти щоквартального локального моніторингу якості води на малих річках: Сапалаївка, Омеляник та Жидувка. Виконання робіт з моніторингу покладено на комунальне підприємство «Луцькводоканал» [8].

У Києві (як відзначалося на початку статті) питання про незадовільний гідроекологічний стан р. Либідь порушилося громадськістю у 2015 р., що змусило міську владу визнати необхідність проведення конкурсу на створення проекту ревіталізації р. Либідь.

Повчальним є також приклад з літописною р. Почайна (права притока Дніпра) у Києві. За деякими джерелами, у Почайні відбувалося хрещення киян князем Володимиром у 988 р. В результаті будівництва житлового масиву Оболонь у 60-70-і рр. ХХ ст. русло р. Почайна майже зникло з поверхні міста, перетворившись на систему озер Опечень. Зникла і назва річки з карти Києва. І лише завдяки діяльності громадських активістів, у 2016 р. рішенням Київської міської ради залишкам водотоку між озером Йорданським та затокою Вовкувата (затока Дніпра) було повернуто назву – р. Почайна. Відновити Почайну, як річку, вже не можливо. Але громадськість бореться за надання статусу історичного ландшафту землям вздовж русла р. Почайна, що убереже від забудови прилеглі території [11].

Принагідно зазначимо, що не в кращому стані знаходяться міські річки «соратниці» київської Либіді з часів Київської Русі на території сучасної Російської Федерації. Так у м. Володимирі є малі річки Либедь і Почайна (притоки р. Клязьма, що впадає в Оку), середня річка Рпень. На території Рязані протікає р. Либедь (притока р. Трубіж, що впадає в Оку). Вони також знаходяться під значним антропогенним тиском міст, затиснуті в бетон та колектори.

**Ревіталізація техногенних озер (перетворення кар'єрів на озера).** Треба відзначити, що в Україні значно більше наробок і проектів існує стосовно комплексної ревіталізації техногенних озер, утворених у результаті видобутку корисних копалин кар'єрним способом. Особливо в цьому плані просунулися дослідження та реалізація практичних заходів (з урахуванням міжнародного досвіду) стосовно перетворення сірчаних кар'єрів на озера на Львівщині [3, 4].

**Висновки.** Стратегія ревіталізації річок міських агломерацій спрямована на покращення якості навколишнього середовища, що має забезпечити інвестиційну та естетичну привабливість прирічкових територій.

Світовий досвід з реалізації проектів ревіталізації річок міських агломерацій починається з середини 1990-х рр. і стосується, в першу, чергу малих річок.

З відновлення міських малих річок починається планомірне управління природним комплексом міст.

В Україні громадська ініціатива стосовно ревіталізації річок випереджає дії місцевої влади (наприклад, по р. Полтва у Львові, р. Либідь та р. Почайна у Києві).

В Україні практичний досвід ревіталізації річок, майже, відсутній. Серед частково реалізованих проектів можна назвати ревіталізовану ділянку р. Сапалаївка у Луцьку.

При реалізації проектів ревіталізації річок у світі значну роль відіграє активна позиція громадськості, тому й в Україні вона може виступати рушієм у цій справі.

### Список літератури

1. *Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха* / Електронна петиція киян до Київської міської ради від 05.11.2015 р. та відповідь Київського міського голови В. Кличка від 22.03.2016 р. – Режим доступу: <https://petition.kievcity.gov.ua/petition/?pid=376>.
2. *Вортман Д.Я.* Маловідомий план околиць Києва 1753 року [Електронний ресурс] / Д.Я. Вортман, В.І. Нікітіна. – Режим доступу: <http://www.myslenedrevo.com.ua/uk/Sci/Kyiv/Plan1753.html>.
3. *Гайдін А.М.* Екологічні проблеми районів видобутку калійних солей та сірки / А.М. Гайдін // Екологія та природокористування. – 2013. – Вип. 16. – С. 127-131.
4. *Гайдін А.* Ревіталізація техногенних ландшафтів [Електронний ресурс] / А. Гайдін, І. Зозуля – Режим доступу: [http://www.ac-rada.gov.ua/img/files/EUROSAl/Presentation\\_Zozulia\\_ukr.pdf](http://www.ac-rada.gov.ua/img/files/EUROSAl/Presentation_Zozulia_ukr.pdf).
5. *Гребінь В.В.* Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі [Електронний ресурс] / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т. 2 (41). – С. 32-47. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge\\_2016\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_2_4).
6. *Жежеря В.А.* Особливості міграції й трансформації біогенних речовин і сполук металів у воді р. Либідь (м. Київ) / В.А. Жежеря, П.М. Линник, Т.П. Жежеря // Наукові праці УкрГМІ. – 2014. – Вип. 266. – С. 45-57.
7. *Забокрицька М.Р.* Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України / М.Р. Забокрицька, В.К. Хільчевський, А.П. Манченко. – К.: Ніка-Центр, 2005. – 184 с.
8. *Забокрицька М.Р.* Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення / М.Р. Забокрицька, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т. 3 (42) - С. 64-76. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge\\_2016\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_3_9).
9. *Крамер Д.А.* Европейский опыт ревитализации малых рек [Электронный ресурс] / Д.А. Крамер, М. Неруда, И.О. Тихонова – 2015. – Режим доступа: <http://www.socialcompas.com/2015/09/05/10721/>.
10. *Малі річки України* / А.В. Яцик, Л.В. Бишовець, В.К. Хільчевський / За ред. А.В. Яцика. - К.: Урожай. – 1991. - 294 с.
11. *Моріна А.* Легендарна річка Почайна може повернутися на мапи Києва. / А. Моріна – 2016.

- Режим доступу: <http://kyiv.depo.ua/rus/kyiv-legendarna-richka-pochayna-mozhe-povernutisya-na-mari-kieva-27042016164500>. **12.** *Ободовський О. Г.* Гідрографічні риси Києва та його поверхневі води / О.Г. Ободовський, В.К. Хільчевський / Київ як екологічна система: природа – людина – виробництво – екологія. – К., 2001. – С. 163-194. **13.** *Орлов М.С.* Долины малых рек Москвы: прошлое, настоящее, будущее [Электронный ресурс] / М.С. Орлов, К.В. Авилова // Геоэкология урбанизированных территорий: сборник трудов Центра практической геоэкологии / под ред. В.В. Панькова, С.М. Орлова. – Москва: ЦПГ, 1996. – 108 с. – Режим доступа: <http://ecoguild.narod.ru/trudycpg/avil.htm>. **14.** *Осипенко В.П.* Гидрохимические исследования реки Лыбеди – правого притока Днепра / В.П. Осипенко, Т.В. Евтух // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 3 (38). – С. 55-60. **15.** *Пелешенко В.И.* Качественная оценка вод водоемов и малых водотоков Киева и Киевской области / В.И. Пелешенко, Л.Н. Горев, В.К. Хильчевский // Физическая география и геоморфология. – 1981. – Вып. 25. – С. 102-108. **16.** *Тихонова И.О.* Экологический мониторинг малых рек г. Москва / И.О. Тихонова // Вода: химия и экология. – № 7. – 2011. – С. 80–87. **17.** *У Львові реанімують Полтву* [Електронний ресурс] – 2010. – Режим доступу: [http://galinfo.com.ua/photo/u\\_lvovi\\_reanimuyut\\_poltvu\\_78509.html](http://galinfo.com.ua/photo/u_lvovi_reanimuyut_poltvu_78509.html). **18.** *Флиз Д.П.* Подробная статистика каждой деревни государственных имуществ Киевского округа [Электронный ресурс] / Доминик Пьер де ля Флиз. – Киев, 1854. – Режим доступа: <https://fotki.yandex.ru/users/andcvet/album/162953/>. **19.** *Хільчевський В.К.* Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: Підручник / В.К. Хільчевський. - К.: ВПЦ "Київський університет", 1999. - 319 с. **20.** *Хільчевський В.К.* Гідрохімічна характеристика малих річок м. Києва / В.К. Хільчевський, О.В. Бойко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2000. – Т. 1. – С. 106-112. **21.** *Шіпка М.З.* Оцінка якості води річки Полтва та її приток [Електронний ресурс] / М.З. Шіпка // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 3 (30). – С. 82-91. **22.** *Arzet K.* The Isar Experience – Urban River Restoration in Munich / K. Arzet, S. Joven // Wasserwirtschaftsamt München. URL: [http://www.wwa-m.bayern.de/projekte\\_und\\_programme/isarplan/doc/the\\_isar\\_experience.pdf](http://www.wwa-m.bayern.de/projekte_und_programme/isarplan/doc/the_isar_experience.pdf). **23.** Los Angeles River Revitalization. - URL: <http://lariver.org/>.

#### **Гідроекологічні проблеми ревіталізації річок на території міських агломерацій – міжнародний та український досвід**

**Хільчевський В.К.**

*Виконано огляд робіт, у яких висвітлено проблеми ревіталізації (відновлення) річок за кордоном (в Європі та США). Показано, що досвід з ревіталізації річок починається у світі з 1990-х років. На прикладі річки Либідь у м. Києві висвітлено стан проблеми в Україні. Виділено чотири хронологічні періоди в історії Либіді з різним антропогенним тиском на басейн річки. Показано стан питання з ревіталізацією р. Полтва у м. Львові, р. Сапалаївка – у м. Луцьку.*

**Ключові слова:** ревіталізація річок, Либідь, Почайна, Полтва, Сапалаївка, міська агломерація.

#### **Гидроэкологические проблемы ревитализации рек на территории городских агломераций – международный и украинский опыт**

**Хильчевский В.К.**

*Выполнен обзор работ, в которых освещены проблемы ревитализации (возобновления) рек за рубежом (в Европе и США). Показано, что опыт по ревитализации рек начинается в мире с 1990-х годов. На примере реки Лыбидь в г. Киеве освещено состояние проблемы в Украине. Выделены четыре хронологические периоды в истории Лыбиди с различным антропогенным влиянием на бассейн реки. Показано состояние вопроса с ревитализацией р. Полтва в г. Львове, р. Сапалаевка – в г. Луцке.*

**Ключевые слова:** ревитализация рек, Лыбидь, Полтва, Сапалаевка, городская агломерация.

#### **Hydroecological problems of rivers revitalization on the urban areas - international and Ukrainian experience**

**Khilchevskyi Valentyn**

*The reviewing of papers that deal with the problem of revitalization (recovery) rivers abroad (Europe and USA) was conducted. It's are shown that the experience of rivers revitalization started from the 1990th in the world. The river Lybid (Kyiv) is as an example for demonstration of the condition such problems in*

**Hydrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.2(45)**

*Ukraine. in the history of Lybid usage four chronological periods with different anthropogenic pressure on the basin are distinguished. We consider also conditions of revitalization Poltva (Lviv), Sapalayivka (Luck).*

**Keywords:** River revitalization , urban areas, Lybid, Pochayna, Poltva, Sapalaivka.

**Надійшла до редколегії 12.03.2017**

УДК 627.142:536.143

**Онищук В.В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **ТЕОРІЯ ЦЕНТРОСТРУМЕНЕВОГО РУСЛОФОРМУВАННЯ**

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

**Актуальність проблеми.** Будь-яка відкрита або закрита динамічна система наділена властивостями самоорганізації і саморегулювання. Кожна відкрита система по своїй природі є дисипативною, а також адаптивною до змін навколишнього середовища, що дає змогу їй проявити свою індивідуальність (ідентифікуватись) і, таким чином, себе зберегти.

На сьогоднішній день вивченість процесів руслоформування знаходиться переважно на матеріалах емпіричних досліджень. Нині широко відомі основи гідроморфологічної теорії руслових процесів, але вони теж не має в своїй основі фундаментальних теоретичних досліджень [1]. В першу чергу, це стосується розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є – Стокса. Розв'язування цих рівнянь дало б змогу прояснити цілий ряд питань процесів руслоформування. Цілком зрозуміло, що теоретичне обґрунтування цих питань дасть не тільки конкретний результат, але й відповідну впевненість у правильності виборів методологічних підходів до вивчення актуальних питань теорії руслових процесів, зокрема центроструменевого руслоформування. У цьому контексті на першому місці знаходиться питання щодо виявлення домінантної причини виникнення явища меандрування (соліноїдальної траєкторії руху субстанції).

**Методика досліджень.** На сьогоднішній день не існує аналітичного розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є–Стокса для коректного рішення задач гідроаеромеханіки, які могли б бути використані в багатьох суміжних областях знань про навколишній матеріальний світ. Ці рівняння уже відомі майже 200 років, які пройшли широке випробування при вирішенні багатьох задач з ламінарним режимом течії, але знаходяться за зоною досяжності для турбулентного потоку ньютонівської рідини при високих числах Рейнольдса [2-4]. При розгляді рівнянь Нав'є–Стокса належить розвести дію силових факторів на їх індивідуальний рівень функціонування зі збереженням динамічної рівноваги системи і їх послідовну оцінку за умовами виконання конкретної задачі. З методичної точки зору це можна досягти шляхом стабілізації режиму турбулентності субстрату (субстанції) за допомогою додаткового рівняння і шляхом їх сумісного розв'язування відповідне виокремлення агентів збурення, цебто гідродинамічного тиску і його наслідку діяльності у вигляді змін форми деформації суцільного середовища. Цей підхід, який можна назвати "замороженою" турбулентністю, належить використовувати як для самого потоку, так і для його придонної області (пристінного шару). Бажаний результат досягається

саме шляхом використання додаткових рівнянь. У цьому контексті також слід зауважити, що у даній постановці задач розглядається безперервно-дискретний характер розвитку процесів просторової деформації субстрату, що пояснюється використанням балансового рівняння. П'ять перших наведених нижче рівнянь із замкненої системи були апробовані в роботі [5].

**Виклад основного матеріалу.** На даний час відсутні чіткі пояснення процесів руслоформування з позицій поведінки центрального струменю руслового потоку. В роботах [6,7] проаналізовані матеріали існуючих експериментальних досліджень стосовно умов прояву явища меандрування річок та частково обґрунтована інваріантна модель центроструменевого руслоформування. На основі узагальнення попередніх результатів досліджень встановлено: *меандрування річок відбувається в шортких розмивних руслах в результаті дії градієнту тиску сповільненої течії при проходженні руслоформувальної витрати води і транспортувальних наносів, яка відповідає межах бровок русла при відсутності його незворотних деформацій, на рівні динамічної рівноваги системи «стояча хвиля – хвиля деформації»*. При цьому зміна енергетичних показників гідродинамічної системи «потік-русло» описується рівнянням рівності кількості руху субстрату і імпульсу реактивної сили  $\pm \rho' d/dt = /grad P/$  (де  $\rho'$  - щільність субстрату;  $/grad P/$  - абсолютний градієнт гідродинамічного тиску субстрату і атмосферного повітря (вітру)).

З даного рівняння випливає, що при  $\rho \times (dV/dt) = - grad P$  маємо прискорений потік, а при  $-\rho \times (dV/dt) = grad P$  – уповільнену течію. Образно кажучи, у першому випадку потік немовби витягується (з двох боків стискається), а в другому – є пружним і породжує хвильовий боковий силовий розпір по довжині ділянки річки (розповсюдження стоячої хвилі).

Центральний струмінь руслового потоку – це стержень системи, де розміщено центровий мезовир, який можна назвати ядром. Навколо ядра відбувається обертання прилеглого субстрату центрального струменя у вигляді мезовира. Описане вище відноситься до стадії розвинутого меандрування потоку при стані динамічної рівноваги системи. Трансформаційні зміни системи відбуваються на фоні розповсюдження хвилі зовнішніх масових сил. Резонанс частот коливань внутрішніх і зовнішніх сил обумовлює спонтанне формування відповідних морфологічних структур. За типом морфологічних структур можна встановити ієрархічну будову системи. На кожному структурному рівні системи існують свої індивідуальні закономірності розвитку процесів руслоформування (принцип емерджентності) [8]. Яскравими моделями з такою структурою можна вважати потік електронів навколо ядра атома та потік планет навколо сонця. У цьому контексті варто зауважити, що будь-яка сонячна система є елементом відповідної галактики, яка обертається навколо її центра. Індивідуальність сонячної системи виокремлюється дією космічного електромагнітного поля. Обертання планети навколо сонця відбувається на фоні взаємодії між собою гравітаційного поля планети з електромагнітним полем сонця. Межа між цими полями визначає форму орбіти планети. При наявності в системі декількох планет вони вишиковуються в екліптиці в залежності від їх мас, створюючи урівноважену динамічну систему.

Оскільки центроструменеве руслоформування в річковому потоці слабо виражене [9], то пропонується більш повно обґрунтувати поставлену задачу на основі розв'язання замкненої системи рівнянь Нав'є – Стокса для напірного трубопроводу.

Рівняння Нав'є - Стокса - це система диференціальних рівнянь у частинних похідних, що описують рух і теплопередачу в'язкої ньютонівської рідини. Рівняння Нав'є - Стокса являються одними з найважливіших у гідродинаміці й застосовуються

в математичному моделюванні багатьох природних явищ і технічних задач. Зазвичай система рівнянь складається з рівняння руху рідини, рівняння збереження енергії, маси і імпульсу сили та рівняння неперервності рідини, які є неповними для точного розв'язування як плоских, так і просторових задач гідродинаміки. Досить важливим аспектом є оцінка гідравлічного режиму напірного трубопроводу на основі розв'язування цієї системи рівнянь.

Напірний потік в трубопроводі це складна відкрита дисипативна гідродинамічна система «стояча хвиля – хвиля деформації», яка наділена властивістю самоорганізації і саморегулювання при безперервно-дискретному русі субстанції. З метою оцінки динамічної рівноваги зазначеної системи пропонується до розв'язування наступна система рівнянь:

$$* \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = -(\bar{v} \cdot \nabla) \bar{v} + \nu \Delta \bar{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla \operatorname{div} H + \left( \zeta + \frac{\nu}{3} \right) \delta_i \nabla \operatorname{div} \bar{v}; \quad (1)$$

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

$$* \frac{\partial \bar{v}'}{\partial t} = -(\bar{v}' \cdot \nabla) \bar{v}' + \nu \Delta \bar{v}' - \frac{1}{\rho} \nabla p + \left( \zeta_{\Delta} + \frac{\nu}{2} \right) \delta_{\Delta, i} \nabla \operatorname{div} h; \quad (3)$$

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

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial l}{\partial t} - \frac{\partial h_w}{\partial t}; \quad (5)$$

$$* \frac{\partial W}{\partial t} = \rho g H \frac{\partial Q}{\partial t}; \quad (6)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = 19,67 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t}; \quad (7)$$

$$* \frac{\partial W}{\partial t} = \rho g H \frac{\partial v}{\partial t}; \quad (8)$$

$$* \frac{\partial \delta_x^{0,5}}{\partial t} = \Delta h_w \frac{\partial H^2}{\partial t}; \quad (9)$$

$$* \frac{\partial \delta_y^2}{\partial t} = 0,5 (S_{c,x} / \ell) \frac{\partial H^2}{\partial t}; \quad (10)$$

$$* \frac{\partial \delta_z^2}{\partial t} = 0,5 (S_{c,x} / \ell) \frac{\partial H^2}{\partial t}; \quad (11)$$

$$* \frac{\partial W^{0,5}}{\partial t} = \Delta h_w, \quad (12)$$

де  $\nabla$  - оператор Гамільтона;  $\Delta$  - оператор Лапласа;  $\rho$  – густина субстанції кг/м<sup>3</sup>;  $p$  – тиск субстанції, кгс/м<sup>2</sup>;  $\nu$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;  $g$  – прискорення сили земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\zeta$  - «друга» (об'ємна) в'язкість водного потоку, яка придбана після його стискання стоячою хвилею; кг/м·с;  $\zeta_A$  - «друга» (об'ємна) в'язкість водного потоку, яка придбана після його стискання товщею водного потоку; кг/м·с;  $H$  – гідравлічний напір в трубопроводі, м;  $h$  – глибина потоку навколо його динамічної вісі, яка домірна радіусу труби, м;  $l$  – довжина контуру гвинтового руху субстанції, м;  $\ell$  - довжина трубопроводу, м;  $W$  – об'єм стоку води в трубопроводі при стаціонарному гідравлічному режимі, м<sup>3</sup>;  $Q$  – об'ємна витрата води при стаціонарному гідравлічному режимі, м<sup>4</sup>/с;  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного тертя;  $\Delta h_w$  – доля втрати напору за довжиною трубопроводу, м;  $\delta_i$  - величина переміщення структурних елементів водного потоку (мезовирів) по координатах  $x$ ,  $y$  і  $z$ , м;  $\delta_{\Delta i}$  - величина переміщення структурних елементів водного потоку у пристінному шарі (мікровирів) по координатах  $x$ ,  $y$ , м;  $v$  – середня швидкість напірного потоку на ділянці стаціонарного гідравлічного режиму, м/с.

В аналіз розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса до теперішнього часу входило коректне рішення задачі Коші, оскільки можливість стійкого рішення у значній мірі залежало від рівня турбулентності потоку при великих числах критерію Рейнольдса, а також пов'язаних з ним інших критеріїв. Наведені вище рівняння складають замкнену систему для умов напірного потоку; рівняння (1) описує рух рідини в координатах  $x$ ,  $y$  і  $z$ ; рівняння (2) стосується стабілізації режиму турбулентності напірного потоку («заморожена» турбулентність) в координатах  $x$ ,  $y$  і  $z$ ; рівняння (3) оцінює рівень турбулентності рідини у пристінному шарі потоку в координатах  $x$ ,  $y$  і  $z$ ; рівняння (4) стосується стабілізації режиму тиску в пристінному шарі потоку («заморожений» конвекційний рух субстанції) в координатах  $x$ ,  $y$  і  $z$ ; рівняння (5) - це неперервність процесів деформації в трубопроводі (баланс субстанції, який характерний для стану динамічної рівноваги системи «стояча хвиля – хвиля деформації»); рівняння (6) характеризує просторові деформації у поздовжньому розрізі (оцінює поздовжню стійкість водотоку); рівняння (7) відповідає пропускній здатності водотоку; рівняння (8) визначає поперечну стійкість водотоку по його довжині; рівняння (9) описує переміщення структурних елементів потоку в координаті  $x$ ; рівняння (10) характеризує переміщення структурних елементів потоку в координаті  $y$ ; рівняння (11) оцінює переміщення структурних елементів потоку в координаті  $z$ ; рівняння (12) характеризує втрату напору на ділянці зі стаціонарним режимом.

У розкритій формі, з урахуванням складової поздовжнього стискання напірного потоку, рівняння Нав'є - Стокса приймає наступний вигляд [2]:

$$\begin{aligned} * \quad \rho' \left( \frac{\partial v_x}{\partial t} \right) = & -\rho' \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) - \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{2}{3} \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] + \\ & + \rho' \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \zeta + \frac{\mu}{3} \right) \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta_x \right] - \rho' \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H_x}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} * \quad \rho' \left( \frac{\partial v_y}{\partial t} \right) = & -\rho' \left( v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) - \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \right] + \\ & + \rho' \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \zeta + \frac{\mu}{3} \right) \frac{\partial v_y}{\partial y} \delta_y \right] - \rho' \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (14)$$



$$\begin{aligned} \rho' \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} \right) = & -\rho' \left( v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) - \frac{\partial p_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right] + \\ & \rho' \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \zeta + \frac{\mu}{3} \right) \frac{\partial v_z}{\partial z} \delta_z \right] - \rho' \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial H_z}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, кг/м·с.

Таким чином, маємо три рівняння руху рідини в напірному трубопроводі. У розкритій формі рівняння (2) виглядають наступним чином:

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

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

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

Маємо три рівняння зі стабілізацією режиму турбулентності потоку.

Дальше виконуємо сумісний розв'язок отриманих шістьох рівнянь, шляхом послідовних підстановок рівнянь (16-18) у (13-15)

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H_x}{\partial x} \right) = 0; \quad (19)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (20)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \zeta_3 \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial H_z}{\partial z} \right) = 0, \quad (21)$$

де  $\zeta_3 = \zeta + 0,333\mu$  – загальна величина в'язкості субстанції.

Таким чином, отримуємо наступні три рівняння, які відповідають стабільному стану гідродинамічної системи «ударна хвиля – хвиля деформації», тобто зберігаються умови абсолютної автономності опору стінки трубопроводу у квадратичній області при дії внутрішньої масової сили за межами впливу критеріїв Рейнольдса, Фруда і Томсона у режимі досягнутого рівня турбулентності потоку:

Отримані рівняння (19-21) складають однорідну стаціонарну систему рівнянь Нав'є – Стокса.

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

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H_x}{\partial x} \right) = 0; \quad (22)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (23)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \zeta_3 \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (24)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = 19,67 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t}; \quad (25)$$

$$* \frac{\partial W}{\partial t} = \rho g H \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (26)$$

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

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} \frac{dU'}{dx} + \left[ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] \frac{dv}{dx} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{dH}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} - 19,67 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t} \frac{dH}{dx} = 0. \quad (27)$$

В інтегральній формі дане рівняння виглядає наступним чином.

$$\int_0^{U_{x,p}} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \frac{dU'}{dx} + \int_0^{V_{x,p}} \left[ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{H_{x,p}} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{dH}{dx} + \int_0^{Q_{x,p}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} - \int_0^{H_{x,p}} \left( 19,67 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t} \right) \frac{dH}{dx} = 0 \quad (28)$$

Після інтегрування, при меженних умовах від 0 до  $V_{x,p}$ ,  $Q_{x,p}$  і від 0 до  $H_{x,p}$ , отримуємо вираз

$$-U'_{x,p} - V^2_{x,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_x V^3_{x,p} - 0,333 H^3_{x,p} - Q_{x,p} + 13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} H^{1,5}_{x,p} = 0.$$

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

$$-U'_{y,p} - V^2_{y,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_y V^3_{y,p} - 0,333 H^3_{y,p} - Q_{y,p} + 13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} H^{1,5}_{y,p} = 0;$$

$$-U'_{z,p} - V^2_{z,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_z V^3_{z,p} - 0,333 H^3_{z,p} + 13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} H^{1,5}_{z,p} = 0.$$

З даних виразів отримуємо формули для визначення віртуальної витрати води, коефіцієнта гідравлічного тертя і гідродинамічного напору при динамічній рівновазі внутрішніх і зовнішніх масових сил

$$Q_{x,p} = -U'_{x,p} - V^2_{x,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_x V^3_{x,p} - 0,333 H^3_{x,p} + 13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} H^{1,5}_{x,p}; \quad (29)$$

$$\frac{1}{\lambda^{0,5}} = \frac{U'_{y,p} + V^2_{y,p} - 0,333 \zeta_3 \delta_y V^3_{y,p} - 0,333 H^3_{y,p} + Q_{y,p}}{13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5} H^{1,5}_{y,p}}; \quad (30)$$

$$H_{\partial,p} = \left( \frac{13,11 \cdot h^{2,5} (\lambda \ell)^{-0,5}}{0,333} \right)^{0,667} . \quad (31)$$

Дальше рівняння (26) підставляємо в (22), яке у диференційній формі має вигляд

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} \frac{dU'_x}{dx} + \left[ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] \frac{dv}{dx} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{dH}{dx} + \left( \frac{\partial W}{\partial t} - \rho g H \frac{\partial v}{\partial t} \right) \frac{dv}{dx} = 0 . \quad (32)$$

В інтегральній формі дане рівняння виглядає наступним чином.

$$\int_0^{U_{\partial,p}} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \frac{dU'_x}{dx} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{dH}{dx} + \int_0^W \frac{\partial W}{\partial t} \frac{dW}{dx} - \int_0^{V_{\partial,p}} \left( \rho g H \frac{\partial v}{\partial t} \right) \frac{dv}{dx} = 0 . \quad (33)$$

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

$$-U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p,x} - W + \rho g H V_{\partial,p} = 0 .$$

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

$$\begin{aligned} -U'_{y,\partial,p} - V^2_{y,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_y V^3_{y,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p,y} + \rho g H V_{\partial,p} &= 0 ; \\ -U'_{z,\partial,p} - V^2_{z,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_z V^3_{z,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p,z} &= 0 , \end{aligned}$$

з яких отримуємо формулу для визначення об'єму стоку води від початку роботи трубопроводу до встановлення стаціонарного гідравлічного режиму

$$W_{\partial,p} = -U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p,x} + \rho g H V_{\partial,p} . \quad (34)$$

**Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки деформацій потоку під впливом стоячої хвилі.** З метою вирішення цієї задачі відібрані наступні рівняння:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\mu}{2} \right) \frac{\partial H_x}{\partial x} \right] = 0 ; \quad (35)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0 ; \quad (36)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \zeta_3 \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0 ; \quad (37)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial l}{\partial t} - \frac{\partial h_w}{\partial t} ; \quad (38)$$

$$* \frac{\partial W}{\partial t} = \rho g H \frac{\partial v}{\partial t}; \quad (39)$$

Розв'язуємо рівняння (38 і 39) разом з (35-37), які в інтегральній формі мають наступний вигляд:

$$\int_0^{U_{\partial,p}} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \frac{dU'}{dx} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right] \frac{dv}{dx} + \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{dH}{dx} + \int_0^{Q_{\partial,p}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dx} - \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial H}{\partial t} \frac{dH}{dx} - \int_0^{l_{\partial,p}} \frac{\partial l}{\partial t} \frac{dl}{dx} - \int_0^{q_s} \frac{\partial h_w}{\partial t} \frac{dh_w}{dx} + \int_0^{W_{\partial,p}} \frac{\partial W}{\partial t} \frac{dW}{dx} - \int_0^{V_{\partial,p}} \left( \rho g H \frac{\partial v}{\partial t} \right) \frac{dv}{dx} = 0 \quad (40)$$

$$\int_0^{U_{\partial,p}} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \frac{dU'}{dy} + \int_0^{V_{\partial,p}} \left[ v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \right] \frac{dv}{dy} + \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{dH}{dy} + \int_0^{Q_{\partial,p}} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dQ}{dy} - \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial H}{\partial t} \frac{dH}{dy} - \int_0^{V_{\partial,p}} \left( \rho g H \frac{\partial v}{\partial t} \right) \frac{dv}{dy} = 0 \quad (41)$$

$$\int_0^{V_{\partial,p}} \left[ \frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \zeta_3 \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right] \frac{dV}{dz} + \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{dH}{dy} - \int_0^{H_{\partial,p}} \frac{\partial H}{\partial t} \frac{dH}{dy} = 0 \quad (42)$$

Після інтегрування, при меженних умовах від 0 до  $V_{\partial,p}$ ,  $0/h_{w \partial,p}$ ,  $0/Q_{\partial,p}$ ,  $0/l_{\partial,p}$  і від 0 до  $H_{\partial,p}$ , з даних рівнянь отримуємо наступні вирази:

$$\begin{aligned} -U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} - 0,333.H^3_{\partial,p} - Q_{\partial,p} + H_{\partial,p} + l_{\partial,p,x} + h_{w,\partial,p} - W + \rho g H.V_{\partial,p} &= 0; \\ -U'_{y,\partial,p} - V^2_{y,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_y V^3_{y,\partial,p} - 0,333.H^3_{\partial,p} - Q_{\partial,p} + H_{\partial,p} + \rho g H.V_{\partial,p} &= 0; \\ -U'_{z,\partial,p} - V^2_{z,\partial,p} + 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{z,\partial,p} - 0,333.H^3_{\partial,p} + H_{\partial,p} + l_{\partial,p,z} &= 0. \end{aligned}$$

З отриманих виразів маємо наступні розрахункові формули для визначення довжини переміщення субстанції у вигляді мікрівирів навколо ядра:

$$l_{\partial,p,x} = U'_{x,\partial,p} + V^2_{x,\partial,p} - 0,333\zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} + 0,333.H^3_{\partial,p} + Q_{\partial,p} - H_{\partial,p} - h_{w,\partial,p} + W - \rho g H.V_{\partial,p}; \quad (43)$$

$$l_{\partial,p,z} = U'_{z,\partial,p} - V^2_{z,\partial,p} - 0,333\zeta_3 \delta_z V^3_{z,\partial,p} + 0,333.H^3_{\partial,p} - H_{\partial,p}; \quad (44)$$

**Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки соліноїдального руху субстанції.** Для вирішення цієї задачі відібрано наступних п'ять рівнянь:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_3 \delta_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H_x}{\partial x} \right) = 0; \quad (45)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (46)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \zeta_3 \delta_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H_z}{\partial y} \right) = 0, \quad (47)$$

$$* \frac{\partial W}{\partial t} = \rho g H \frac{\partial Q}{\partial t}; \quad (48)$$

$$* \frac{\partial Q}{\partial t} = 19,67 \cdot h^{2,5} (\lambda l)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t}. \quad (49)$$

Підставляємо рівняння (49) в (48)

$$\frac{\partial W}{\partial t} - 19,67 \rho g H h^{2,5} (\lambda l)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t} = 0. \quad (50)$$

Дальше це рівняння підставляємо в (45), яке в диференційній формі має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \frac{dU'}{dy} + \left[ v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_3 \delta_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \right] \frac{dv}{dy} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{dH}{dy} + \frac{\partial W}{\partial t} \frac{dW}{dy} - \\ - \left( 19,67 \cdot \rho g H h^{2,5} (\lambda_c l_c)^{-0,5} \frac{\partial H^{0,5}}{\partial t} \right) \frac{dH}{dy} = 0 \end{aligned} \quad (51)$$

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

$$-U'_{y,\partial,p} - V^2_{y,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_y V^3_{y,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p} + 13,11 \cdot \rho g h^{2,5} H (\lambda l)^{-0,5} H^{1,5} = 0.$$

З цього виразу отримуємо формулу

$$h_{\partial,p} = \left( \frac{U'_{y,\partial,p} + V^2_{y,\partial,p} - 0,333 \zeta_3 \delta_y V^3_{y,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p}}{13,11 \rho g H (\lambda l)^{-0,5} H^{1,5}} \right)^{0,4}. \quad (52)$$

Для визначення компонент швидкості потоку при динамічній рівновазі системи скористаємось рівняннями (38-40). Після інтегрування першого рівняння при меженних умовах від 0 до  $V_{\partial,p}$  отримуємо

$$-U'_{x,\partial,p} - V^2_{x,\partial,p} + 0,333 \zeta_3 \delta_x V^3_{x,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p} = 0.$$

Після спрощення даного виразу маємо

$$V^2_{\partial,p,x} (0,333 \zeta_3 \delta_x V_{x,\partial,p} - 1) - U'_{x,\partial,p} - 0,333 H^3_{\partial,p} = 0,$$

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

$$V_{x,\partial,p} = \frac{1}{0,333 \zeta_3 \delta_x}. \quad (53)$$

Для двох інших компонент швидкості отримуємо аналогічні формули

$$V_{y,\partial,p} = \frac{1}{0,333 \zeta_3 \delta_y}; \quad (54)$$

$$V_{z,\partial,p} = \frac{1}{0,333\zeta_3\delta_z}. \quad (55)$$

**Оцінка основних розрахункових характеристик.** Виконуємо диференціювання та інтегрування рівнянь (9 -11) у межах від 0 до  $H$  в результаті чого отримуємо

$$\begin{aligned} -0,667\delta_{x,\partial,p}^{1,5} + 0,333\Delta h_w H^3 &= 0; \\ -0,333\delta_{y,\partial,p}^3 + 0,1667(S_{c,x}/\ell)H^3 &= 0; \\ -0,333\delta_{z,\partial,p}^3 + 0,1667(S_{c,x}/\ell)H^3 &= 0. \end{aligned}$$

Наведені вирази дозволяють визначити величини переміщення елементарних об'ємів субстанції за наступними формулами:

$$\delta_{x,\partial,p} = (0,5\Delta h_w H^3)^{0,667}; \quad (56)$$

$$\delta_{y,\partial,p} = (0,5(S_{c,x}/\ell)H^3)^{0,333}; \quad (57)$$

$$\delta_{z,\partial,p} = (0,5(S_{c,x}/\ell)H^3)^{0,333}. \quad (58)$$

Втрату напору на ділянці стаціонарного режиму можна оцінити шляхом сумісного розв'язування рівнянь (6 і 12) які показані в інтегральному вигляді

$$\int_0^{w_{\partial,p}} \int_0^{Q_{\partial,p}} \left( \Delta h_w \frac{\partial W^{0,5}}{\partial t} - \rho g H \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \frac{dQ}{dx} = 0. \quad (59)$$

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

$$-0,667\Delta h_w W^{1,5} + \rho g H Q_{\partial,p} = 0,$$

звідки отримуємо формулу

$$\Delta h_w = \frac{\rho g H Q_{\partial,p}}{0,667 W^{1,5}}. \quad (60)$$

Для визначення "другої" (об'ємної) в'язкості водного потоку, яка придбана після його стискання, рекомендується скористатися емпіричною залежністю, яка наведена в монографії Л. Седова [1, с. 327]

$$\zeta_3 = \zeta + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \frac{2}{3}\mu + \frac{1}{3}\mu = \lambda_0 + \mu, \quad (61)$$

Для водного потоку жорсткість не має прояву, оскільки вода практично не сприймає нормальних напружень, а тільки дотичні, які виникають при її русі, то формулу (51) для напірного трубопроводу можна записати у наступному вигляді:

$$\zeta_3 = 2\pi h_{cep} + \mu, \quad (62)$$

де  $2\pi h_{cep}$  – висота стоячої хвилі у водному середовищі трубопроводу, яка трансформується в процес формування і підтримування гвинтового руху. Тут  $h_{cep}$  домірне радіусу труби.

**Аналітичне розв’язування системи рівнянь для оцінки характеристик пристінного шару напірного трубопроводу.** Дослідженнями турбулентності руслових потоків переймалися багато вітчизняних і зарубіжних вчених. Суттєві вклади у розвиток теоретичного обґрунтування турбулентності водотоків належать А.Н. Колмогорову [6], Б.А. Фідману [7], І.К. Нікітіну[8], А. Б. Клавену [9], В.С. Боровкову [10] та іншим вченим.

Турбулентність (коливання) як явище – це природний двигун самоорганізації відкритих і закритих динамічних систем, зокрема напірного трубопроводу. Турбулізація/активізація водних мас відбувається у придонній області, яка розділяє основний потік від відносно твердої основи. Товщина придонної області  $\delta_n$  домірна абсолютній висоті виступів шорсткості стінки труби  $\approx 2\Delta_{cep.38}$ . Ця область перебуває під впливом гідродинамічного тиску водних мас по глибині потоку, яка для напірного трубопроводу визначається домірно радіусу труби. Чим більший радіус (глибина потоку), тим вищий рівень активності явища турбулентності водних мас у пристінному шарі. В самому потоці, при зміні рівня турбулентності водних мас (рівня генерації мікрівирів – елементів турбулентності), відбувається структурна перебудова субстанції, що характеризує рівень формування центрального мезовира. Цей мезовир має обертатися проти годинникової стрілки для збереження поперечної стійкості потоку.

Для вирішення поставленої задачі взято два із наведених вище основних рівнянь

$$* \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \cdot \nabla) \vec{v}' + \nu \Delta \vec{v}' - \frac{1}{\rho} \nabla p + \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta i} \nabla \text{div} h ; \quad (63)$$

$$* \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \nabla) \vec{v}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p \quad (64)$$

Розкриті разом рівняння (63) і (64) у двохвимірному просторі мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_x}{\partial t} = & -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial x} - \frac{2}{3} \delta_{x,\Delta} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta x} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{\partial U'_x}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} + \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x} \end{aligned} \quad (65)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U'_y}{\partial t} = & -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_x}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{y,\Delta} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta y} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial U'_y}{\partial t} + U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} + U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y} \end{aligned} \quad (66)$$

Рівняння (64) включено у дану систему з метою стабілізації рівня турбулентності у пристінному шарі, який залежить від зміни тиску. Після відповідних скорочень отримуємо наступні рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,x} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,x} \frac{\partial h}{\partial x} \right] = 0; \quad (67)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,y} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,y} \frac{\partial h}{\partial y} \right] = 0. \quad (68)$$

Отримані рівняння являють собою однорідну стаціонарну систему.

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

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

З цих виразів отримані наступні розрахункові формули для визначення величин пульсації потоку у пристінному шарі по координатах  $x$  і  $y$

$$U'_{\Delta,x,\partial,p} = \left( \frac{0,333.\zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,x} h^3_{\Delta,x,\partial,p}}{0,222.\nu \delta_{\Delta,x} - 0,333.\nu} \right)^{0,333}; \quad (69)$$

$$U'_{\Delta,y,\partial,p} = \left( \frac{0,333.\zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,y} h^3_{\Delta,y,\partial,p}}{0,222.\nu \delta_{\Delta,y} - 0,333.\nu} \right)^{0,333}, \quad (70)$$

де  $\zeta_{\Delta} = \zeta_3 + 0,5\nu = 2\pi h + \mu + 0,5\nu$  – загальна в'язкість субстанції у пристінному шарі потоку;  $\delta_{\Delta,x} = \delta_{\Delta,y}$  – товщина пристінного шару по координатах  $x$  і  $y$ , яку рекомендується назначати домірною подвоєній висоті виступів абсолютної шорсткості стінки трубопроводу  $2\Delta_{сер.зв}$ .

Для визначення компонент тиску у придонній області використовуємо рівняння (63), яке наведене у розкритому вигляді

$$* \frac{\partial U'_x}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_x}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_x}{\partial x} + \frac{\partial U'_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,x} \frac{\partial U'_x}{\partial x} \right) \right] - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,x} \frac{\partial h}{\partial x} \right); \quad (71)$$

$$* \frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_x \frac{\partial U'_y}{\partial x} - U'_y \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu \left( \frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \delta_{\Delta,y} \frac{\partial U'_y}{\partial y} \right) \right] - \frac{1}{\rho'} \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,y} \frac{\partial h}{\partial y} \right), \quad (72)$$

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

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

з яких отримуємо розрахункові формули

$$P_{\Delta,x,\partial,p} = (0,333.\nu U'^3_{\Delta,x,\partial,p} - U'^2_{\Delta,x,\partial,p} - 0,222.\nu \delta_{\Delta,x} U'^3_{\Delta,x,\partial,p} + 0,333.\zeta_{\Delta} \delta_{\Delta,x} h^3_{\Delta,x,\partial,p}) \rho; \quad (73)$$



$$p_{\Delta,y,\partial,p} = (0,333 \cdot \nu U'^3_{\Delta,y,\partial,p} - U'^2_{\Delta,y,\partial,p} - 0,222 \cdot \nu \delta_{y,\Delta} U'^3_{\Delta,y,\partial,p} + 0,333 \cdot \zeta_{\Delta} \delta_{y,\Delta} h^3_{\partial,p}) \rho . \quad (74)$$

**Приклад розрахунку основних характеристик напірного трубопроводу за розрахунковими формулами розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса.** Для гідрравлічних розрахунків у якості вихідної інформації достатньо мати величину гідрравлічного напору  $H = H_{ex} + H_z = 0,35 + 3,5 = 3,85$  м, діаметр трубопроводу  $d = 200$  мм, довжина трубопроводу  $l = 20$  м і абсолютну висоту виступів шорсткості стінки труби, яка для нової сталеві труби домірна  $0,002$  м. У даному випадку розглядається деривація високоекологічної малої ГЕС [15].

При виконанні розрахунків рекомендується використати величину густини субстанції  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнта динамічної в'язкості  $\mu = 0,131$  кг/м·с, що відповідає середній температурі води  $10^\circ\text{C}$  і значення коефіцієнта кінематичної в'язкості  $\nu = 131$  м<sup>2</sup>/с. Спочатку визначаємо величини переміщення субстанції в структурних елементах системи -  $\delta_{x,\partial,p} = 3,09$  м (при  $\Delta h_w = 3,85/20 = 0,19$  м),  $\delta_{y,\partial,p} = \delta_{z,\partial,p} = 0,86$  м (при висоті стоячої хвилі  $s_{c,x} = 2\pi h = 2 \times 3,14 \times 0,097 = 0,61$  м). Наступним попереднім етапом є визначення компонент швидкості переміщення структурних елементів потоку (при  $\zeta_3 = 2\pi h + \mu = 2 \times 3,14 \times 0,097 + 0,131 = 0,74$  кг/м·с) -  $V'_{x,\partial,p} = 1,32$  м/с,  $V'_{y,\partial,p} = V'_{z,\partial,p} = 4,76$  м/с,  $V_{cep} = 6,86$  м/с. При цій швидкості потоку маємо витрату води  $Q = 6,83 \times 0,0295 = 0,202$  м<sup>3</sup>/с. Компоненти середньої швидкості пульсації субстанції у пристінному шарі потоку за розрахунками складають (при  $h = 0,1 - 0,003 = 0,097$  м,  $\delta_{\Delta,x} = \delta_{\Delta,y} = 0,003$  м і  $\zeta_{\Delta} = \zeta_3 + 0,5\nu = 2\pi h + \mu + 0,5\nu = 66,24$  кг/м·с) -  $U'_{x,\partial,p} = U'_{y,\partial,p} = 0,52$  м/с і  $U'_{z,\partial,p} = 0,73$  м/с. Компоненти гідродинамічного тиску у пристінному шарі дорівнюють -  $p_{\Delta\partial,p,x} = p_{\Delta\partial,p,y} = 12,25$  кгс/м<sup>2</sup> і  $p_{\Delta\partial,p,z} = 17,32$  кгс/м<sup>2</sup> або  $0,0167$  Па ( $0,0017$  ат).

За допомогою обчислених вище характеристик можна знайти решту основних параметрів: значення коефіцієнта гідрравлічного тертя за формулою (30) знаходимо шляхом підбору разом з формулою (31) для визначення напору, що відповідає значенням  $\lambda = 0,00675$  і  $H_{\partial,p} = 1$  м, віртуальна витрата води за формулою (29)  $Q_{\partial,p} = 7,73$  м<sup>3</sup>/с, об'єм стоку води  $W = 9,44$  м<sup>3</sup> визначений за формулою (34) при  $H = 3,85 - 1 = 2,85$  м;  $\Delta h_w = 1,14$  м,  $l_{\partial,p,x} = 5,22$  м;  $l_{\partial,p,z} = 5,38$  м;  $h_{\partial,p} = 0,185$  м (віртуальна глибина напірного трубопроводу в умовах соліноїдального руху субстанції, яка вказує про наявність ядра в центрі потоку).

Необхідно провести уточнення величин компонент і середньої швидкості потоку при  $\Delta h_w = 0,98$  м -  $V'_{x,\partial,p} = 0,44$  м/с (при  $\delta_{x,\partial,p} = 9,22$  м);  $V'_{y,\partial,p} = V'_{z,\partial,p} = 4,76$  м/с (при  $\delta_{y,\partial,p} = \delta_{z,\partial,p} = 0,86$  м);  $V_{cep} = 6,75$  м/с. Витрата води при цій швидкості потоку дорівнює  $Q_{\partial,p} = 6,75 \times 0,0295 = 0,199$  м<sup>3</sup>/с. Для оцінки характеристик ядра потоку, яке знаходиться всередині мезовира, використаємо рівняння

$$\frac{\partial v}{\partial t} = Fa \frac{\partial S}{\partial t}, \quad (75)$$

де  $F = \rho'gW_{н.м}$  – сила гравітації субстанції у напірному трубопроводі при стаціонарному гідрравлічному режимі, кгс/с<sup>2</sup>;  $\rho'g$  - питома густина води, яка дорівнює  $1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $W_{c,p}$  – об'єм води в трубопроводі, м<sup>3</sup>;  $S$  – контур ядра потоку;  $a = (h_e/h_\phi)g$  – прискорення субстанції під впливом поперечної циркуляції, м/с<sup>2</sup>. Після диференціювання і інтегрування даного рівняння, при меженних умовах від  $0$  до  $V'_{\partial,p}$  і від  $0$  до  $S_{\partial,p}$  отримуємо вираз

$$-V_{\partial,p} - FaS_{\partial,p} = 0,$$

звідки маємо

$$S_{\partial,p} = \frac{V_{\partial,p}}{Fa}. \quad (76)$$

З цієї формули отримуємо  $S_{\partial,p} = 6,75/(1 \times 9,44 \times 18,71) = 0,038$  м, а сам радіус ядра домірний 0,006 м або 6 мм. Якщо взяти до уваги значення фактичної глибини потоку субстанції навколо ядра потоку, то витрата води  $Q_{\partial,p} = 6,75 \times 0,026 = 0,175$  м<sup>3</sup>/с.

Користуючись значенням  $W$  можна визначити термін настання стаціонарного гідравлічного режиму  $t = W/\omega\ell = 16$  с. Коефіцієнт парної кореляції величин переміщення субстанції за межами цього ядра дорівнює  $r_{xz} = l_{x,\partial,p} \times l_{z,\partial,p} / l_{x,\partial,p}^2 \times l_{z,\partial,p}^2 = 0,036$ . Це означає, що дана система знаходиться в динамічній рівновазі.

**Приклад розрахунку основних характеристик напірного трубопроводу за існуючими методами.** Вихідні дані для розрахунків: діаметр напірного трубопроводу  $d = 200$  мм; довжина трубопроводу від урівноважувальної ємності до конусної насадки  $l = 20$  м [11]; перепад висот залягання трубопроводу  $H = 3,5$  м; напір води на вході трубопроводу  $H_1 = 0,35$  м; загальний гідравлічний напір води  $H_2 = 3,85$  м.

1. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу за рівнянням Бернуллі [12]

$$H_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = H_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w, \quad (77)$$

де  $H_1$  і  $H_2$  – напір води на вході і в кінці підвідного напірного трубопроводу від лінії порівняння;  $p_1/\rho g$  і  $p_2/\rho g$  – тиск води в розрахункових створах;  $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1$  – корегуючий коефіцієнт кінетичної енергії потоку в трубопроводі;  $V_1^2/2g$  і  $V_2^2/2g$  – кінетична енергія в розрахункових створах;  $h_w = h_l + h_\zeta$  – втрати напору по довжині і місцеві.

Для розрахунку втрати напору за довжиною трубопроводу використовуємо формулу Дарсі [12]

$$h_l = \lambda \frac{l V^2}{d 2g}. \quad (78)$$

В подальшому розрахунки виконуємо на основі використання формули Шезі-Манінга  $Q = C\omega(Ri)^{0,5}$ :  $C = (1/n)(R)^{0,1667}$ ;  $1/n = 90$  (при  $n = 0,0111$  - добрий стан шорсткості стінки труби);  $\omega = \pi r^2 = 0,0295$  м<sup>2</sup>;  $\chi = 2\pi r = 0,61$  м;  $R = \omega/\chi = 0,048$  м;  $C = 54,32$ ;  $\lambda = 8g/C^2 = 0,03$ . При цих даних  $Q = 0,147$  м<sup>3</sup>/с, а середня швидкість потоку  $V = 4,98$  м/с. При цьому втрата напору по довжині напірного трубопроводу за формулою (78) -  $h_l = 3,79$  м.

Хід розрахунку:  $H_1 = 0,35$  м,  $H_2 = 3,85$  м,  $V_1 = (2gH/h_w)^{0,5} = 4,43$  м/с (при  $h_w = 3,85$  м),  $p_1/\rho g = (\rho g H_1 \omega)/\rho g = 0,01$  кгс/м<sup>2</sup> (без урахування тиску атмосферного повітря),  $p_2/\rho g = (\rho g H_2 \omega)/\rho g = 0,11$  кгс/м<sup>2</sup>,  $V_2 = 5,16$  м/с. Витрата води при цьому буде дорівнювати  $Q = V\omega = 5,16 \times 0,0295 = 0,152$  м<sup>3</sup>/с.

Рівняння (76) більш точно можна використати у наступному вигляді [13]:

$$H_1 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_1^4} = H_2 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_2^4} + \sum S_0 Q^2 \ell + \sum \zeta \frac{Q^3}{d^4}, \quad (79)$$

де  $H_i = z + p/\rho g$  – п'єзометричний напір в розрахунковому створі;  $S_0 = 8\lambda/g\pi^2 d^5$  – питомий опір трубопроводу;  $\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору (на вході води в трубу, обладнану сіткою).

Хід розрахунку:  $H_1 = 0,35$  м,  $H_2 = 3,85$  м,  $S_0 = 8$  і  $\zeta_{ex} = 1,5$ , витрата води складає  $Q = 0,170$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 0,170/0,0295 = 5,78$  м/с.

2. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу за формулою Ф.А. Шевелева [12]

$$H = AlQ^2k_0, \quad (80)$$

де  $A$  – питомий опір трубопроводу (за даними табл. IX.3);  $k_0$  – перехідний коефіцієнт, який для квадратичної області опору дорівнює 1.

Згідно з формулою (80) витрата води в напірному трубопроводі дорівнює  $Q = [3,85/(6,96 \times 20)]^{0,5} = 0,166$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 0,166/0,0295 = 5,63$  м/с.

**Висновки.** На основі вищевикладеного матеріалу можна зробити наступні наукові узагальнення: 1. Отримані результати розрахунків характеристик напірного потоку дають можливість стверджувати про наявності в центрі труби стійкого ядра. 2. Ядро потоку являє собою нейтральну зону у вигляді мезовира, який обертається проти годинникової стрілки і, таким чином, підтримує у поперечному вимірі динамічну рівновагу системи «напірний потік – стояча хвиля». 3. Установлено, що гідродинамічний тиск субстанції у пристінному шарі наближений до глибокого вакууму, а це вказує на наявність нейтрального шару між потоком і твердою стінкою. 4. Матеріали дослідження показують, що існуючий емпіричний метод гідравлічного розрахунку напірного трубопроводу цілком відповідає практиці. 5. Соліноїдальний рух субстанції в напірному трубопроводі є яскравим підтвердженням принципу мінімуму дисипації енергії у відкритій системі. Цей рух субстанції обумовлений дією трьох масових сил – гідродинамічного напору, стоячої хвилі в умовах сповільненої течії і поперечним розпором на фоні заблокованого прояву явища меандрування. 3 настанням стаціонарного гідравлічного режиму енергія стоячої хвилі трансформується у поперечно-поздовжню циркуляцію, тобто в соліноїдальний рух. 6. Розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є-Стокса дозволяє у повній мірі оцінити гідроморфодинамічний стан водотоку при динамічній рівновазі системи «стояча хвиля-напірний потік». 7. Наведені вище аналітичні розв'язування актуальних задач підтверджують можливість широкого використання цієї системи рівнянь для вирішення цілого ряду задач гідроаеромеханіки і інших сумісних дисциплін.

#### Список літератури.

1. Кондратьев Н. Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса /Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Б.Ф. Снищенко. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с. 2. Седов Л.И. Механика сплошной среды /Л.И. Седов. - М. Наука, 1983. - 528с. 3. Дмитревский В.И. Гидромеханика / В.И. Дмитревский – М.: Изд-во «Морской транспорт», 1962. - 296 с. 4. Войткунский Я.И. Гидромеханика. Ученик. – 2-е изд., перераб. и доп. /Я.И. Войткунский, Ю.И. Фадеев, К.К. Федяевский. – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с. 5. Онищук В.В. Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло» / В.В. Онищук. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник / Гол. Редактор В.К. Хільчевський. - К.: ВГП Обрії, 2016. - Т.4(43). - С. 6-24. 6. Онищук В.В. Умови зародження явища меандрування відкритих водотоків / В.В. Онищук, О.Н. Кафтан // Водне господарство України. - К.: Укрводприрода, 2004. - №3-4. - С.41-47. 7. Онищук В.В. Принципові властивості відкритих динамічних систем у контексті еволюції руслових процесів: інваріантність, ергодичність, меандрування /В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.- К.: ВГП Обрії, 2006. - Т. 10. - С.9-20. 8. Онищук В.В. Принципи функціонування відкритих динамічних систем у контексті управління русловими процесами / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - К.: ВГП Обрії, 2011.- Т.2(22). - С. 40-48. 9. Онищук В.В. Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло» / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

збірник / Гол. Редактор В.К. Хільчевський. - К.: ВГП Обрії, 2016. - Т.4(43). - С. 6-24. **10.** Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А.Н. Колмогоров // ДАН СССР. - Т.30. - №4, 1941. - С. 13-17. **11.** Фидман Б.А. Об уравнениях гидромеханики для многокомпонентной турбулентной среды. Изд. СО АН СССР, ОТН, №2, вып.1, 1965. - С. 24-29. **12.** Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области / И.К. Никитин - Киев: Изд-во АН УССР, 1968. - 120 с. **13.** Клавен А.Б. Исследование структуры турбулентного потока / А.Б. Клавен // Тр. ГГИ, 1986. - Вып.136. - С. 65-76. **14.** Боровков В.С. Русловые процессы и динамика речных наносов на урбанизированных территориях / В.С. Боровков. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 286 с. **15.** Патент України на корисну модель № 103796. Модернізована високоекологічна мала гідроелектростанція (ГЕС) / Онищук В.В., Ободовський О.Г., Нікулін Д.О., Ободовський Ю.О. Бюл. № 24, 2015. **16.** Богомоллов А.И. Гидравлика. Учебник для вузов / А.И. Богомоллов, А.И. Михайлов. - М.: Стройиздат, 1972. - 648 с. **17.** Справочник по гидравлике. Под редакцией Большакова В.А. - К.: «Вища школа», 1977. - 280 с.

### **Теорія центроструменевого руслоформування Онищук В.В.**

*На основі натурних, експериментальних і теоретичних досліджень, а також аналітичного розв'язування замкненої системи рівнянь Нав'є-Стокса виконана оцінка гідроморфодинамічного стану річкового русла при динамічній рівновазі системи «потік-русло» та водного потоку в напірному трубопроводі. В ідеалізованій формі можна стверджувати, що еволюція мандруючого процесу з проявом центроструменевого руслоформування на усій довжині річки підпорядкована спіралі (формування серії різномасштабних меандр). Першопричиною виникнення явища мандрування відкритих водотоків є проходженні витрат води при сповільненій течії на спаді руслоформувального паводку (при стані динамічної рівноваги системи). Соліноїдальний рух субстанції в напірному трубопроводі є яскравим підтвердженням принципу мінімуму дисипації енергії у відкритій системі. Цей рух субстанції обумовлений дією трьох масових сил – гідродинамічного напору, стоячої хвилі в умовах сповільненої течії і поперечним розпором на фоні заблокованого прояву явища меандрування. З настанням стаціонарного гідравлічного режиму енергія стоячої хвилі трансформується у поперечно-поздовжню циркуляцію, тобто в соліноїдальний рух субстанції. Ядро потоку являє собою нейтральну зону у вигляді мезовира, який обертається проти годинникової стрілки і, таким чином, підтримує у поперечному вимірі динамічну рівновагу системи «напірний потік – стояча хвиля».*

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

### **Теория центроструйного руслоформирования Онищук В.В.**

*На основе аналитического решения замкнутой системы уравнений Навье-Стокса выполнена оценка гидроморфологического состояния речного русла при динамическом равновесии системы «поток-русло». Для уравнения движения замедленного течения предложено дополнительное уравнение, которое стабилизирует достигнутый уровень турбулентности руслового потока. Аналогичная процедура предложена для оценки характеристик придонной области. С помощью системы с двенадцати уравнений оценены основные характеристики продольной устойчивости потока, развития явления меандрования, развития горизонтальных и вертикальных русловых деформаций, транспортирующей способности водотока и придонной области руслового потока. По полученным расчетным формулам дана оценка гидроморфологического состояние участка меандрирующей реки в районе гидрологического поста Сирет - Сторожинец (Черновицкая область). Установлено, что гидродинамическое давление субстрата в придонной области приближенно к глубокому вакууму, что указывает на наличие нейтрального слоя между двумя энергетическими потоками с резко отличными потенциалами. На границе руслового и подруслового (фильтрационного) потоков имеет место динамическое равновесие взаимного массообмена между водой и воздухом в виде выработки микровихрей и антимикровихрей на фоне действия эффека эжекции.*

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

## **The theory of centripetal evolution of river bed**

**Onischuk V.**

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

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

**Надійшла до редколегії 03.04.2017**

УДК 556.012

**Мудра К.В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **ВІДНОВЛЕННЯ СТОКУ ВОДИ НА ГІДРОЛОГІЧНИХ ПОСТАХ РІЧКИ ДНІСТЕР З МЕТОЮ ВИВЧЕННЯ ЙОГО ДОВГОПЕРІОДНИХ КОЛИВАНЬ**

*Ключові слова: стік води, відновлення даних, однорідність, гідрологічний пост, Дністер.*

**Вступна частина.** Гідрологічні явища, що відмічаються в руслах річок, впливають на життєдіяльність людей. Іноді вони набувають характеру стихійного явища, що завдає шкоди господарству на території басейнів річок. Однією із головних умов успішного усунення та запобігання наслідків стихійних явищ природного характеру є забезпеченість надійною, точною та актуальною інформацією. Якість такої інформації відіграє важливу роль у прогнозуванні гідрологічних процесів, оскільки застаріла чи недостовірна інформація має значний вплив на якість передбачення небезпечного явища [5].

Гідрологічні спостереження відіграють важливу роль у висвітленні процесів, що відбуваються на водних об'єктах, вони є найважливішим джерелом отримання гідрологічної інформації. Ефективність функціонування мережі пунктів гідрологічних спостережень залежить від репрезентативності гідрологічних постів, щільності пунктів спостереження, періодичності спостережень, охоплення спостереженнями водних об'єктів.

**Огляд попередніх досліджень.** Ряди спостережень за стоком води річок України мають численні пропуски, пов'язані з військовими подіями та з реорганізацією мережі спостережень. Наявні ряди якби складаються із декількох «шматків», між якими наявні значні розриви. Окрім того, ряди мають різну тривалість спостережень, що суттєво впливає на точність гідрологічних розрахунків [3]. На превеликий жаль, за період спостережень кількість гідрологічних постів, що функціонували в різні роки на території Карпатського регіону, декілька разів значно скорочувалася. Зрозуміло, що при використанні такої інформації виникає ряд складнощів, пов'язаних з її узагальненням. На практиці досить часто виникають ситуації, коли ряди спостережень можуть мати однакову тривалість, але вона припадає на різні часові інтервали. Подібні випадки, коли ряди стокових характеристик складаються із декількох «розірваних масивів», мають місце на рр. Тиса, Дністер, Прут, Сірет [4].

Із ситуації, що склалася, можна знайти вихід, якщо привести ряди гідрологічних характеристик до одного багаторічного періоду і відновити наявні пропуски в спостереженнях.

Проблематика відновлення пропусків у рядах гідрологічних даних представлена у роботах Чеботарьова А.І. [10]; Рождественського А.В. [9, 10]; Горбачової Л.О., Бібіка В.В. [2]; Баужі Т.О. [1]; Настюка М.Г. [5]; Петровича В.В., Артеменко В.А. [7]. Необхідність та методика здійснення відновлення даних описана у «Посібнику по визначенню розрахункових гідрологічних характеристик», у

«Настановах гідрометеорологічним станціям і постам» (Випуск 6, частина 2), також порядок відновлення стокових даних на річках України описано у Звіті Українського гідрометеорологічного інституту про науково-дослідну роботу «Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату» [3].

Необхідність отримання тривалих рядів вихідних даних обумовлена наступними причинами:

- чим більший об'єм вибірки, тим точніше розраховуються параметри розподілу і визначаються розрахункові гідрологічні характеристики, так як їх випадкові похибки зворотно пропорційні довжині рядів;

- в сучасних умовах, коли на водність річок впливає господарська діяльність та коливання клімату, велике значення має оцінка однорідності та стаціонарності, яку можна виконати тільки на основі даних багаторічних рядів [2, 4, 8].

**Виклад основного матеріалу.** Подовження рядів середньорічного стоку води до багаторічного періоду виконується з метою зниження середніх квадратичних похибок їхніх розрахункових значень. Теоретичною основою таких способів розрахунку є математична статистика. Зокрема для відновлення пропусків та подовження рядів середньорічного стоку води до багаторічного періоду використовуються методи регресійного аналізу. Процес відновлення відбувається за рівнянням регресії (1):

$$Y = k_0 + k_1 X_1 \quad (1)$$

де  $Y$  – значення ряду, яке відновлюється;  $X_1$  – відповідні значення рядів річкових аналогів;  $k_1$  – коефіцієнти регресії;  $k_0$  – константа рівняння регресії.

Рівняння регресії передбачає залучення даних одного, двох або трьох річкових аналогів, в залежності від наявності даних. Існують спеціальні рекомендації відносно приведення рядів річкового стоку та їх параметрів до багаторічного періоду, а також програми і алгоритми, складені на їх основі [4,6].

Для відновлення значень стоку за окремі роки (по одному аналогу) потрібно обрати пункт-аналог, дослідити зв'язок між стоком води в розрахунковому створі і пункті-аналогі, визначити характеристики цього зв'язку на основі математичної моделі парної кореляції. Необхідно побудувати графік зв'язку та відновити для розрахункового створу відсутні значення стоку. Насамперед необхідно зібрати дані – ряди середньорічних витрат води на гідрологічному посту досліджуваної річки, який розташований в районі розрахункового стоку [8].

Задача відновлення значень стоку за окремі роки виникає при недостатній довжині ряду гідрометричних спостережень і наявності в спостереженнях пропусків, у випадку не репрезентативності періоду спостережень, неприйнятно високих середніх квадратичних похибках оцінок параметрів розподілу і розрахункових значень гідрологічних характеристик.

Вибір пункту-аналога має бути статистично обґрунтованим і відповідати ряду вимог. При виборі пунктів-аналогів керуються зазвичай наступними вимогами:

- географічною близькістю розташування водозборів розрахункового створу і пункту-аналога і схожість умов формування стоку;
- відсутністю факторів, які суттєво спотворюють природний стік;
- великою тривалістю сумісних спостережень (більше 6 років при одному аналогу, або більше 10 років при двох і більше аналогах);
- достатньою тривалістю спостережень в пункті-аналогі, яка перевищує період спостережень в розрахунковому створі [1, 4, 8].

Основною ж вимогою є наявність синхронності в коливаннях стоку, що кількісно виражається через коефіцієнт парної кореляції між стоком в розрахунковому створі і пункті-аналогу. Коефіцієнт кореляції має бути більшим або рівним 0,7. Також має зберігатися умова про відношення середньої квадратичної похибки коефіцієнта регресії  $\sigma_k$  та самого коефіцієнта регресії  $K$ . Їхнє співвідношення  $K/\sigma_k$  має бути  $\geq 2$ , ця величина характеризує статистичну значимість обраного коефіцієнта регресії для 95% правдоподібності [4, 8, 10].

В якості аналогів також допускається використання метеорологічної інформації. При проведенні відновлення даних допускають використання гідрометричної інформації, а також метеорологічної та іншої інформації, період спостережень за якою перевищує період спостережень за даною гідрологічною характеристикою. При залученні метеорологічної інформації можуть використовуватися регіональні залежності даної гідрологічної характеристики від чинників, що її визначають [5].

Якщо пункт-аналог обраний, перевірений і відповідає всім зазначеним критеріям, необхідно побудувати графік зв'язку витрат води двох досліджуваних створів. В цілому для виявлення і аналізу характеру залежності між двома змінними, виявлення «сумнівних» точок завжди має сенс спочатку отримати графічний вигляд. Тим більше, що Excel дозволяє це робити швидко і наочно, з виведенням рівняння регресії, надаючи широкі можливості редагування графіку.

За отриманим рівнянням регресії і за витратами води пункту-аналога відновлюються витрати води в розрахунковому створі для років із пропущеними даними [1, 3, 8, 9].

Для відновлення багаторічних рядів гідрологічних характеристик при відсутності даних гідрометричних спостережень застосовують залежності стоку від стокоформуєчих чинників, які будують для тривалих рядів на річках-аналогах в однорідному районі. Це дозволяє визначати параметри, коефіцієнти і стокоформуєчі чинники інтерполяцією і переносити їх на невивчений район.

**Аналіз отриманих результатів.** Для відновлення даних та вибору постів-аналогів було створено базу даних для кожного гідрологічного посту по характерним витратам води – середньорічним, максимальним (витрата весняного водопілля), мінімальним (літня та зимова межень).

У якості пунктів-аналогів для гідрологічних постів басейну Дністра було взято суміжні пости, які мають необхідні дані для відновлення. У басейні Дністра відновлення даних для подальших розрахунків, потребували наступні гідрологічні пости – м. Галич, м. Заліщики, м. Бендери, м. Розвадів.

Тривалість спостережень (з перервами) на постах басейну Дністра досить різна і варіюється від 22 до 134 років. Найдовший (і найбільш повний) ряд спостережень має гідрологічний пост Бендери. Спостереження тут розпочато у 1881 році і тривають вони до сьогодні. Перерва у спостереженнях припадає на період з 1916 по 1945 рр. Для всіх пунктів спостережень, що розташовані на Дністрі, було зібрано дані по 2015 рік включно.

За даними середньорічних, максимальних та мінімальних витрат гідрологічного посту Бендери було відновлено значення необхідних характеристик для постів Галич та Заліщики за період з 1881 по 1895 рік.

Також відновлення відсутніх даних було виконано за даними посту Розвадів для постів м. Галич, м. Заліщики, м. Бендери за різні часові періоди.

У таблиці 1 зазначено всі пости, для яких було здійснено відновлення даних, та пости-аналоги, на основі яких відбувалося відновлення. Також у таблиці містяться значення всіх коефіцієнтів кореляції, які відповідають кожному рівнянню регресії, та кількість років суміжних спостережень на відповідних постах (n).



Таблиця 1. Відновлення пропусків в рядах середньорічних, максимальних та мінімальних витрат води на гідрологічних постах річки Дністер

Річка – пост	Пост-аналог	Умови			Відновлені роки
		$n > 10$	$R \geq 0,7$	$K/\sigma_k \geq 2$	
<i>Середньорічна витрата</i>					
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Бендери	20	0,76	7,84	1881 – 1894
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Бендери	20	0,81	10,27	1881 – 1894, 1915
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,91	16,74	1916 – 1919
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,94	25,54	1916 – 1917, 1919, 1932 – 1941, 1944 – 1945
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,91	16,74	1916 – 1929, 1932 – 1945
<i>Максимальна витрата (весняне водопілля)</i>					
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Бендери	20	0,35	1,74	1881 – 1894
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Бендери	20	0,5	2,91	1881 – 1894, 1915
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,57	2,67	1916 – 1919
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Розвадів	10	0,63	3,30	1916 – 1917, 1919, 1932 – 1940, 1944
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,86	10,44	1916 – 1929, 1932 – 1944
<i>Мінімальна витрата (літня)</i>					
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Бендери	20	0,49	2,81	1881 – 1894
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Бендери	20	0,32	1,55	1881 – 1894, 1915
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,80	7,03	1916 – 1917, 1919
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Розвадів	10	0,5	2,11	1916 – 1917, 1919, 1932 – 1941
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,84	9,02	1916 – 1929, 1932 – 1944
<i>Мінімальна витрата (зимова)</i>					
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Бендери	20	0,07	0,31	1882 – 1895
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Бендери	20	0,02	0,09	1882 – 1895, 1915
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,81	7,45	1916 – 1917, 1919 - 1920
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Розвадів	10	0,47	1,91	1916 – 1917, 1919, 1933 – 1940
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	11	0,73	4,94	1916 – 1929, 1932 – 1944

Всього при відновленні даних було побудовано 20 графіків зв'язку між витратами відповідних двох постів (відновлюваного і аналога) та визначено аналогічну кількість рівнянь регресії із коефіцієнтами парної кореляції, які

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

коливаються в межах від 0,02 до 0,94. Найбільші значення коефіцієнта спостерігаються для середньорічних витрат води, найменші— для мінімальних витрат зимового періоду. Щодо умови про відношення середньої квадратичної похибки коефіцієнта регресії та самого коефіцієнта регресії, то тут значення коливаються в межах 0,09 до 25,54.

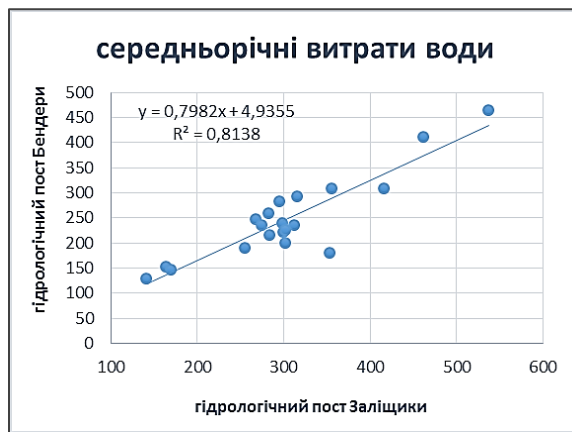
Виходячи із зазначених вище вимог до правильного відновлення даних, нам необхідно виключити ті рівняння регресії, де коефіцієнт кореляції менший за 0,7 та співвідношення  $K/\sigma_k < 2$ . У цьому випадку придатними для подальших розрахунків будуть тільки рівняння регресії для суміжних постів зазначених у таблиці 2.

**Таблиця 2. Гідрологічні пости, обрані для відновлення пропущених значень стоку води р. Дністер**

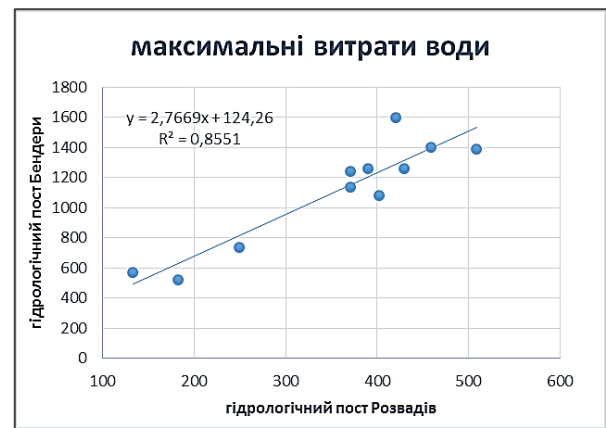
Річка – пост	Річка – пост-аналог	Умова		Відновлені роки
		$R \geq 0,7$	$K/\sigma_k \geq 2$	
<i>Середньорічна витрата</i>				
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Бендери	0,76	7,84	1881 – 1894
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Бендери	0,81	10,27	1881 – 1894, 1915
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	0,91	16,74	1916 – 1919
р.Дністер – м.Заліщики	р.Дністер – м.Розвадів	0,94	25,54	1916 – 1917, 1919, 1932 – 1941, 1944 – 1945
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	0,91	16,74	1916 – 1929, 1932 – 1945
<i>Максимальна витрата (весняне водопілля)</i>				
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	0,86	10,44	1916 – 1929, 1932 – 1944
<i>Мінімальна витрата (літня)</i>				
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	0,80	7,03	1916 – 1917, 1919
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	0,84	9,02	1916 – 1929, 1932 – 1944
<i>Мінімальна витрата (зима)</i>				
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Розвадів	0,81	7,45	1916 – 1917, 1919 - 1920
р.Дністер – м.Бендери	р.Дністер – м.Розвадів	0,73	4,94	1916 – 1929, 1932 – 1944

На рисунку 1 наведено приклади графіків зв'язку між середньорічними (а) та максимальними (б) витратами води двох гідрологічних постів (відновлюваного і аналога) та розраховане в МО Excel рівняння регресії.

Не дивлячись на проведення усіх можливих відновлень за допомогою гідрологічних даних (значення витрат води) все ж залишалися пропуски в рядах спостережень. А саме – для постів Бендери, Галич, Заліщики, Розвадів – два роки 1930 та 1931. Для заповнення цього пропуску знадобилася метеорологічна інформація по даних середньорічних значень опадів на метеорологічних станціях басейну – Бережани, Долина, Дрогобич, Мостиська, Коломия, Івано-Франківськ, Турка, Стрий, Славське.



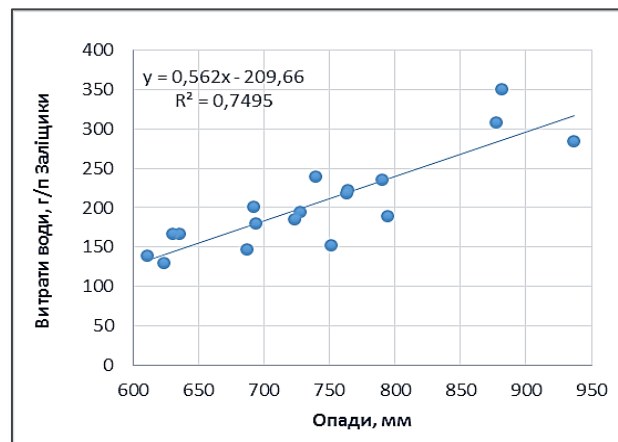
(a)



(б)

**Рис.1. Графіки зв'язку між середньорічними (а) та максимальними (б) витратами води по окремих гідрологічних постах р. Дністер**

Хоча безперервні спостереження на всіх станціях починаються лише з 1960 року, по метеостанції Стрий дані існують із 1881 року, також, як мінімум, для 6 метеорологічних станцій спостереження починаються з 1897 року і тривають до сьогодні, маючи перерви на незначний термін – 1-10 років. Досить довготривалі спостереження за опадами дали змогу використати ці метеорологічні дані для відновлення витрат води (рис. 2). Нажаль, за середньорічними значеннями опадів можливим є відновлення тільки середньорічних витрат води (для максимальних та мінімальних витрат таке відновлення не прийнятне).



**Рис.2. Зв'язок між осередненими по території басейну значеннями сум річних опадів та середніми річними витратами води по гідрологічному посту р. Дністер – м. Заліщики**

Отриманий коефіцієнт кореляції (R) відповідає умові  $\geq 0,7$ . Отже, параметри даного рівняння регресії можна використати для відновлення середньорічних витрат води по гідрологічному посту Заліщики за 1930 та 1931 рік. Відновлення даних за ці ж роки для постів Галич, Бендери, Розвадів виконано за вже відновленими даними по Заліщикам. Отримані результати представлені в таблиці 3. Кожне із отриманих рівнянь регресії відповідає вимогам застосування пунктів-аналогів для відновлення чи подовження рядів спостережень.

**Таблиця 3. Відновлення пропусків в рядах середньорічних витрат води на постах річки Дністер за допомогою метеорологічної інформації**

Річка – пост	Річка – пост-аналог	Умова	Відновлені роки
		$R \geq 0,7$	
<i>Середньорічна витрата</i>			
р.Дністер – м.Заліщики	Середньорічні значення опадів за багаторічний період по метеостанціях басейну Дністра	0,74	1930 – 1931
р.Дністер – м.Галич	р.Дністер – м.Заліщики	0,86	
р.Дністер – м.Розвадів	р.Дністер – м.Заліщики	0,91	
р.Дністер – м. Бендери	р.Дністер – м.Заліщики	0,77	

Всього в рамках досліджень для чотирьох постів на р. Дністер було відновлено дані за 63 роки для середньорічних витрат води, за 27 для максимальних та за 58 і 59 років для мінімальних витрат літнього та зимового періоду, відповідно. На жаль, регресійний аналіз виявився невідповідним для відновлення більшості максимальних та мінімальних витрат для досліджуваних постів, для рядів цих спостережень не задовольнялися умова  $R$  (коефіцієнт кореляції)  $\geq 0,7$ . Для аналізу отриманих даних по відновленню значень стоку був використаний принцип однорідності довготривалих (продовжених, відновлених) рядів спостережень. Оцінка однорідності за критеріями Фішера, Ст'юдента та Вількоксона показала наступні результати, представлені у таблиці 4.

**Таблиця 4. Оцінка однорідності послідовностей по стоку води р. Дністер з відновленими стоковими даними**

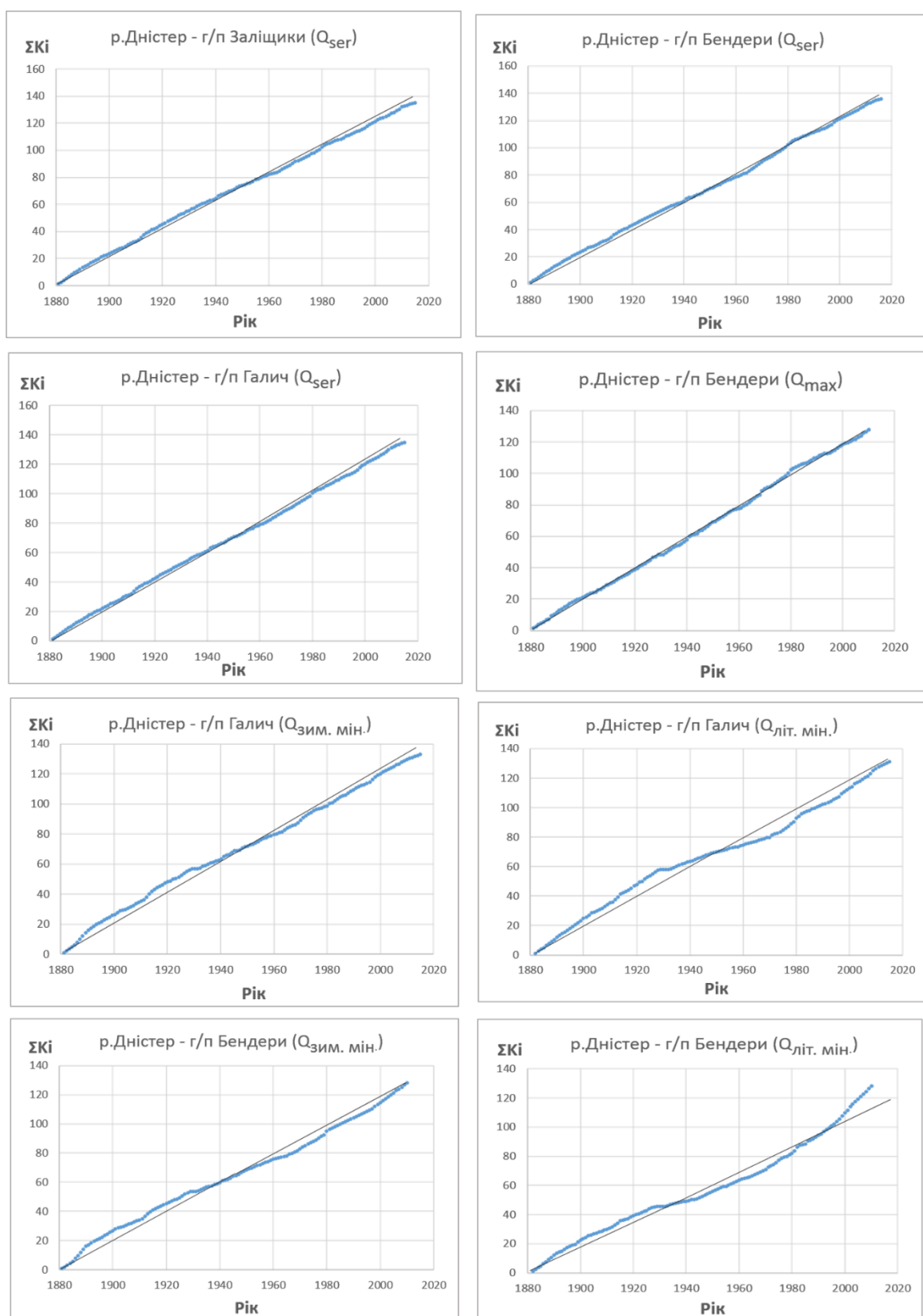
Річка – пост	Перевірка на однорідність за критеріями:			Тривалість відновлених рядів
	Фішера	Ст'юдента	Вількоксона	
<i>Середньорічна витрата</i>				
р.Дністер – м.Галич	+	–	-	32
р.Дністер – м.Заліщики	+	–	-	31
р.Дністер – Бендери	+	–	-	30
<i>Максимальна витрата (весняне водопілля)</i>				
р.Дністер – Бендери	-	+	+	27
<i>Мінімальна витрата (літня)</i>				
р.Дністер – м.Галич	-	-	-	31
р.Дністер – Бендери	-	-	-	27
<i>Мінімальна витрата (зимова)</i>				
р.Дністер – м.Галич	+	-	-	32
р.Дністер – Бендери	-	-	-	27

**Примітка:** (+) - дані однорідні; (-) - дані неоднорідні.

Для оцінки однорідності рядів спостережень середньорічного, максимального та мінімального стоку генетичними методами було також побудовано сумарні інтегральні криві (рис. 3).

На відповідних графіках видно, що переломних точок на сумарних інтегральних кривих середньорічних та максимальних витрат води на відновлених гідрологічних постах, де відновлювалися стокові дані, немає, що свідчить про однорідність рядів спостережень, тобто відсутність кардинальних змін у водному режимі р. Дністер. Певні відхилення від лінії тренду спостерігаються на сумарних кривих мінімальних (як літнього, так і зимового періоду) витрат води. Це, певною

мірою, підтверджує і результати, отримані статистичними методами оцінки однорідності і наведені у табл. 4.



**Рис.3.** Сумарні інтегральні криві середньорічних та максимальних витрат води р. Дністер по гідрологічних постах з відновленими рядами даних

У результаті здійснення оцінки однорідності відновлених даних на основі сумарних інтегральних кривих та після перевірки на часову однорідність середньорічних, максимальних і мінімальних витрат води в басейні р. Дністер за статистичними критеріями Стюдента (t), Фішера (F) та Вількоксона (U) можна говорити про точність отриманих результатів, що дозволяє рекомендувати розраховані значення середньорічних, максимальних та мінімальних витрат води для практичних розрахунків.

**Висновки.** Пропуски в рядах середньорічного, максимального та мінімального стоку води річок басейну Дністра перед аналізом їхньої багаторічної динаміки було відновлено на основі регресійних рівнянь. Під час досліджень було відновлено відсутні дані спостережень для гідрологічних постів м. Заліщики, м. Бендери, м. Галич, м. Розвадів. Максимальну кількість років – 32 – було відновлено для гідрологічного посту Галич.

Необхідність відновлення даних полягає в подальшому застосуванні подовжених рядів спостережень для оцінки довготривалих циклічних коливань стоку та його оцінки на перспективу. Для цього масив даних має бути без пропусків та помилкових значень. Для усунення помилок нами було виключено із загальної кількості рівнянь регресії ті, які не відповідали умовам використання методу аналогу для відновлення. Це надало змогу зменшити похибки при розрахунках їхніх статистичних параметрів при аналізі однорідності та стаціонарності та простежити динаміку величин стоку за більш тривалий часовий інтервал.

#### Список літератури

1. Горбачова Л.О., Баужа Т.О. Динаміка середньорічного стоку води гірських річок (на прикладі Закарпатської воднобалансової станції) // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 260. – С. 175-185. 2. Горбачова Л.О., Бібік В.В. Часова однорідність характеристик водного стоку в басейні річки Боржава / Наук. праці УкрГМІ, 2012, Вип. 262 – 176-188 с. 3. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату». – УкрГМІ, 2013. - 228 с. 4. Киндюк Б.В. Гидрографическая сеть и ливневой сток Украинских Карпат: Монография.- Одесса, Изд-во «ТЭС», 2003. – 220 с. 5. Настюк М.Г. Аналіз сучасних гідрологічних спостережень у басейнах Верхнього Пруту та Сирету. / Науковий вісник Чернівецького університету, Випуск 633-634. - 25-29 с. 6. Определение расчетных гидрологических характеристик СниП 2.014-83. – М.: Гос. комитет СССР по делам строительства. – 1983. – 97 с. 7. Петрович В.В., Артеменко В.А. Метод восстановления сверхбольших пропусков в гидрологических временных рядах. / Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Вип. 3 (71), 2015. - 125-129 с. 8. Речной сток и гидрологические расчеты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ / Д.В.Магрицкий – М.: Изд-во Триумф, 2014. – 184 с. 9. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л., Гидрометеиздат, 1977. - 271 с. 10. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Л., Гидрометеиздат, 1974. - 424 с.

**Відновлення стоку води на гідрологічних постах річки Дністер з метою вивчення його довгоперіодних коливань**

**Мудра К.В.**

*Здійснено відновлення значень середньорічних, максимальних та мінімальних (літній та зимовий мінімум) витрат води в басейні річки Дністер на основі статистичних методів з використанням регресійного аналізу. Оцінено однорідність відновлених (подовжених) рядів спостережень, побудовано сумарні інтегральні криві для перевірки достовірності отриманих результатів.*

**Ключові слова:** стік води, відновлення даних, однорідність, гідрологічний пост, Дністер.

**Восстановление стока воды на гидрологических постах реки Днестр с целью изучения его долгопериодных колебаний**

**Мудра К.В.**

*Осуществлено восстановление значений среднегодовых, максимальных и минимальных (летний и зимний минимум) расходов воды в бассейне реки Днестр на основе статистических методов с использованием регрессионного анализа. Оценена однородность восстановленных (удлиненных) рядов наблюдений, построено суммарные интегральные кривые для проверки достоверности полученных результатов.*

**Ключевые слова:** сток воды, восстановление данных, однородность, гидрологический пост, Днестр.

**Recovery of water flow at the hydrological gauging stations of the Dniester River with the aim of further studying its long-period fluctuations**

**Mudra K.**

*To improve the accuracy of hydrological calculations was extended series of hydrological data to long-term period and recovery gaps on hydrological gauging stations in Dniester basin.*

*The recovery done for values of average, maximum and minimum water flow in the Dniester basin based on statistical methods using regression analysis method (station-analog). Adjacent stream gauge was served as analogues for further recovery, this gauge is fully justified and meets guidelines for their selection (synchronization fluctuations in flow, correlation coefficient  $\geq 0,7$ ; ratio of  $K / \sigma \geq 2$ ).*

*There are no data for the period of military events and in years with reorganization of the hydrological network in the Dniester river basin - Halych, Zalishchyky, Bendery and Rozvadiv. The longest observation period has Bendery gauge, the first restoration carried out according to him.*

*Total was received 20 graphic, only 10 of them was used for further recovery. However, you can not always make a full data recovery. Complete recovery we done by using meteorological information. Was used data of average rainfall in the Dniester basin (only for average values of water discharge).*

*In total, the studies for the four gauges on the Dniester River was recovery data for 63 years for the average annual water discharge, for 27 for maximum and for 58 and 59 years for the minimum discharge of summer and winter, respectively.*

*Also was assessed homogeneity of restored observations data, total integral curves was make for testing the validity of the results. The allow results recommend to use calculated water discharge for practical calculations.*

**Keywords:** water flow, data recovery, homogeneity, hydrological gauging station, Dniester River.

**Надійшла до редколегії 15.04.2017**

УДК 556.5.048

**Корнієнко В. О., Лук'янець О. І.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

## **РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСИМАЛЬНОГО РІЧНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК ПРАВОБЕРЕЖЖЯ ПРИП'ЯТІ**

**Ключові слова:** максимальний стік води, річки правобережжя Прип'яті, розрахункові характеристики стоку води, забезпеченість, перехідні модульні коефіцієнти.

**Вступ.** Максимальний стік річок, як один з проявів фаз гідрологічного циклу, займає особливе місце у практичному використанні його розрахункових характеристик при проектуванні та експлуатації гідротехнічних споруд за умов регулювання стоку, здійснення заходів по захисту від водної стихії населених пунктів, промислових і сільськогосподарських об'єктів. Саме ці питання нарізі є *актуальними* і складають головний зміст проведеного дослідження [2, 5].

**Метою роботи** є аналіз, систематизація розрахункових характеристик максимального за рік стоку річок правобережжя Прип'яті та їх узагальнення, перевірна оцінка запропонованої розрахункової схеми та висновки щодо її

застосування для річок досліджуваної території, навіть тих, що невивчені в гідрологічному відношенні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Басейн річки Прип'ять знаходиться в межах двох країн України та Білорусі. На українську частину басейну припадає 65150 км<sup>2</sup> (57% від загальної площі водозбору). Це в основному басейни правобережних приток, Вижівка, Турія, Стохід, Стир, Горинь, Уборть [6].

Основними фазами водного режиму правобережжя Прип'яті є весняне водопілля, літньо-осіння та зимова межень, а також характерною особливістю досліджуваного басейну є формування дощових паводків [3, 6, 7].

Найбагатководнішими в басейні Правобережжя Прип'яті – її великі притоки Стир, Горинь, Случ, середній річний стік води яких у замикальних створах (відповідно, біля с. Млинок, с. Деражне, м. Сарни) становить від 42 до 52 м<sup>3</sup>/с. Середній багаторічний модуль стоку води для досліджуваної території складає 4 л/с·км<sup>2</sup>, найбільший 6, а найменший – 2 л/с·км<sup>2</sup> [6].

Щодо максимального річного стіку води для річок Правобережжя Прип'яті, в переважній більшості він спостерігається у періоди весняного водопілля (максимальні витрати дощових паводків не перевищують максимуми, які формуються під час водопілля). Вивчення та розрахунки максимального стоку мають важливе значення при проектуванні та будівництві низки споруд. Особливо важливі значення максимальних витрат води 0,1 % та 1 % забезпеченості.

На українській території діє 29 гідрологічних постів гідрометеорологічної служби. При виконанні роботи використані дані спостережень за витратами води з 26 з часовими рядами тривалістю 50-70 років – від початку спостережень до 2014 р. включно. На гідрологічних постах р. Стир – с. Колки та р. Горинь – с. Дубровиця вимірюються лише рівні води, на р. Іква – Млинівська ГЕС стік зарегульований, тому в досліджені дані спостережень з них не використано [4, 8, 10].

Із загальної їх кількості 12 постів охоплюють площі водозборів до 1000 км<sup>2</sup>, 14 постів – від 1000 до 10000 км<sup>2</sup> та 3 пости – понад 10 000 км<sup>2</sup>.

Максимальний багаторічний модуль стоку для досліджуваної території складає 35 л/с·км<sup>2</sup>, найбільше його значення 80,8 л/с·км<sup>2</sup> (р. Тня – с. Броніки), а найменше – 13,0 л/с·км<sup>2</sup> (р. Прип'ять – с. Люб'язь).

Коефіцієнти варіації  $C_v$  максимального за рік стоку води для річок басейну Прип'яті в межах України знаходяться в межах 0,56 ÷ 1,02. Середнє значення складає  $C_v = 0,77$ , що показує мінливість з року в рік максимальних річних витрат води на досліджуваних річках, в межах приблизно ± 80% від норми водного стоку.

Коефіцієнти асиметрії  $C_s$  мають невисокі додатні значення ( від 0,63 р. Смілка – с. Сусли, до 3,38 – р.Горинь – м. Ямпіль), тобто для максимальних річних витрат води характерна асиметричність у їх багаторічному розподілі з переважанням в рядах стокових характеристик річок значень менше їх норми. Середнє значення  $C_s$  для річок Правобережжя Прип'яті складає 1,56, а узагальнене співвідношення  $C_s/C_v \approx 1,98$ , що свідчить про помірно-асиметричний розподіл у послідовностях максимальних річних витрат води досліджуваних річок.

В практиці гідрологічних розрахунків значний інтерес має уявлення про розподіл досліджуваної стокової характеристики в певному діапазоні забезпеченостей та можливості узагальнення перехідних модульних коефіцієнтів від норми максимальних річних витрат води до їх величин інших забезпеченостей [5, 8]. Якщо таке узагальнення можливе, тоді можна давати в певних межах точності інформацію про досліджувану стокову характеристику та її розподіл для будь-якої річки, в нашому випадку, для території правобережної частини Прип'яті, і навіть тій, що невивчена в гідрологічному відношенні.



У зв'язку з тим, що для максимального стоку води річок правобережжя Прип'яті середнє значення  $C_v$  складає 0,77, по всіх досліджуваних постах ординати аналітичних кривих розподілу в діапазоні забезпеченостей від 0,01 до 50 %% розраховано за методом найбільшої правдоподібності [4].

Для узагальнення розподілу максимальних річних витрат води для річок Прип'яті в межах України побудовано залежність між багаторічними значеннями максимальних за рік витрат води річок та їх розрахованими значеннями 50%-ої забезпеченості. Як бачимо з рис.1, апроксимація між вказаними значеннями витрат води значна і складає  $R^2 = 0,99$ . Досить значимими виявилися зв'язки й між розрахованими значеннями максимальних річних витрат води 50%-ої забезпеченості та їх значеннями інших заданих забезпеченостей  $p = 0,01, 0,1, 1, 3, 5, 10, 25$  %% . Коефіцієнти парної кореляції  $r$  змінюються в межах  $0,98 \div 0,998$ . Чим ближче розраховані значення максимальних річних витрат води інших забезпеченостей знаходяться до їх значень 50%-ої забезпеченості, тим коефіцієнти парної кореляції вищі.

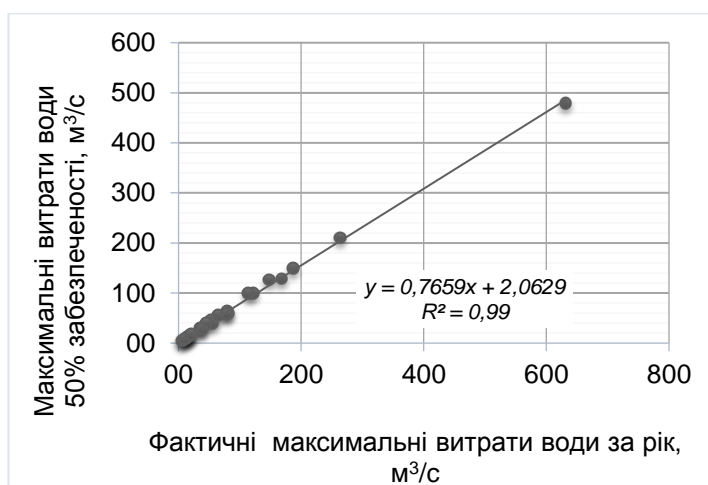


Рис. 1. Залежність між багаторічними значеннями максимальних за рік витрат річок правобережжя Прип'яті та їх розрахованими значеннями 50%-ої забезпеченості

Аналіз ординат аналітичних кривих розподілу заданих ймовірностей перевищення для максимального річного стоку досліджуваних річок правобережжя Прип'яті показав, що вони змінюються в у вузьких межах. Це дало змогу провести узагальнення розподілу максимального стоку води для досліджуваної території. Для такої оцінки проведено осереднення ординат аналітичних кривих розподілу і, таким чином, отримано перехідні коефіцієнти  $K_p$  від норми досліджуваних максимальних показників води до їх величин забезпеченостей  $p = 0,01, 0,1, 1, 3, 5, 10, 25$  %% (табл. 1). Дані про значення цих коефіцієнтів дозволяють перейти від норм максимальних річних витрат води до їх значень заданих заезпеченостей за формулою:

$$Q_{p\%} = k_p \cdot \bar{Q}, \quad (1)$$

де  $Q_{p\%}$  - максимальні річні витрати води заданих забезпеченостей  $p\%$ ,  $\bar{Q}$  - норми максимальних за рік витрат води.

Для подальшої перевірки розрахункової схеми визначено ймовірні відхилення  $\delta_{Kp\%}$  в значеннях перехідних коефіцієнтів заданих забезпеченостей, які розраховано за формулою:

$$\delta_{Kp\%} = \pm 0,842 \cdot \sigma_{Kp\%} \quad (2)$$

де  $\sigma_{Kp\%}$  – середнє квадратичне вiдхилення перехiдних коефiцiєнтiв для заданих ймовiрностей перевищення,  $\pm 0,842$  – коефiцiєнт ймовiрного вiдхилення (у межах 20-80% вiд середнього квадратичного вiдхилення) [1] (табл. 1).

**Таблиця 1. Перехiднi коефiцiєнти  $K_p$  вiд максимальних за рiк витрат води (норм стоку) до їх величин iнших забезпеченостей для рiчок Правобережжя Прип'ятi**

Ймовiрнiсть перевищення (забезпеченiсть), %							
0,01	0,10	1	3	5	10	25	50
Середнє значення перехiдних коефiцiєнтiв $K_p$							
8,41	6,10	3,86	2,92	2,51	1,97	1,30	0,79
Середнє квадратичне вiдхилення у значеннях перехiдних коефiцiєнтiв, $\sigma_{Kp}$							
2,40	1,14	0,45	0,24	0,16	0,09	0,04	0,03

Перевiрочнi оцiнки розрахункових максимальних рiчних витрат води заданих забезпеченостей  $Q_{P\%}$  для вивчених рiчок правобережжя Прип'ятi проведено порiвнянням значень витрат води заданих забезпеченостей, розрахованим за методом найбiльшої правдоподiбностi та за осередненими перехiдними коефiцiєнтами  $K_{P\%}$  вiд норми стоку води  $\bar{Q}$  в межах ймовiрного вiдхилення  $\pm \delta_{Kp\%}$ :

$$Q_{P\%} = \bar{Q} \cdot (K_{P\%} \pm \delta_{Kp\%}) \quad (3)$$

Ефективнiсть запропонованої розрахункової схеми оцiнена через забезпеченiсть ймовiрного вiдхилення перевiрочних оцiнок  $\varepsilon$  [1, 8], яка визначалась за формулою:

$$\varepsilon = m/N \cdot 100\% \quad (4)$$

де  $m$  - кiлькiсть випадкiв потрапляння максимальних за рiк витрат води заданих забезпеченостей в межi ймовiрного вiдхилення  $\pm \delta_{Kp\%}$ ,  $N$  - загальна кiлькiсть випадкiв перевiрки.

Загалом, для максимального рiчного стоку води справджуванiсть перевiрочної оцiнки є доброю та задовiльною (табл. 2), що дає можливiсть використовувати запроповану розрахункову схему для визначення максимального за рiк стоку для вивчених рiчок Правобережжя Прип'ятi за перехiдними коефiцiєнтами вiд норми стоку води в межах ймовiрного вiдхилення.

**Таблиця 2. Забезпеченiсть ймовiрного вiдхилення перевiрочних оцiнок максимальних рiчних витрат води заданих забезпеченостей за узагальненими перехiдними коефiцiєнтами вiд норми стоку води для рiчок Правобережжя Прип'ятi**

Ймовiрнiсть перевищення (забезпеченiсть), %							
0,01	0,10	1,00	3,00	5,00	10	25	50
Справджуванiсть перевiрочної оцiнки за забезпеченiстю ймовiрного вiдхилення, $\varepsilon$ %							
69	73	80	84	84	84	88	88

Аналіз стокових характеристик для досліджуваної території виявив відомі закономірності про те, що зі збільшенням площі водозборів максимальні витрати води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) збільшуються, а модулі максимального стоку ( $\text{л}/\text{с}\cdot\text{км}^2$ ) мають тенденцію до зменшення (рис. 2).

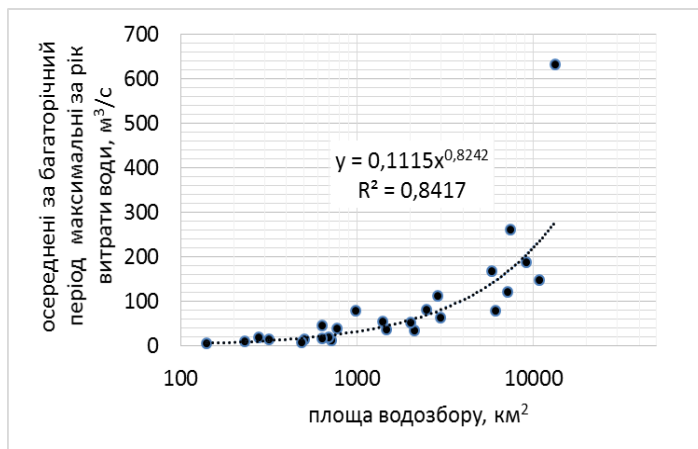


Рис. 2. Залежність максимальних за рік витрат води річок правобережжя Прип'яті в межах України від площі їх басейнів

Тому для маловивчених та невивчених річок правобережної частини Прип'яті норми максимальних витрат води можуть бути визначені за залежністю від площі водозбору, яка є значимою з кореляційним відношенням 0,92.

**Висновок.** Запропонована розрахункова схема розподілу максимальних річних стокових характеристик за допомогою узагальнених перехідних коефіцієнтів від їх норми до величин інших забезпеченостей прийнятна для вивчених річок басейну Правобережжя Прип'яті.

Для маловивчених та невивчених річок в межах території правобережжя Прип'яті запропоновано використовувати залежність норм максимальних річних витрат води від площі їх водозборів. Отримані ступеневі залежності мають високі кореляційні відношення. Отже, знаючи площу водозбору невивченої річки, отримуємо за відповідним рівнянням норму досліджуваної стокової характеристики та її розподіл в певному діапазоні забезпеченостей за узагальненими перехідними коефіцієнтами в межах допустимої точності.

#### Список літератури

1. Бефани Н.Ф. Упражнения и методологические разработки по гидрологическим прогнозам / Н.Ф. Бефани, Г. П. Калинин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – С. 5-18.
2. Гидрологические и водно-балансовые расчеты/ Под ред Н.Г. Галущенко. – К.: Вища школа., 1987– С . 56-92.
3. Дутко В.О. Особливості паводкового режиму річок басейнів Західного Бугу та Правобережжя Прип'яті / В.О. Дутко, С.О. Москаленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2008. – Т. 15. – С. 63–68.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» / Упорядник О.І. Лук'янець. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. – 60с.
5. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу „Річковий стік та гідрологічні розрахунки” / Упорядник С.С.Дубняк. – К.: ВПЦ „Київський університет”, 2005. – 48 с.
6. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / [Апацкий А.Н., Афанасьев С.А., Бабич Н.Я. и др.]; под ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. – Мн.: Белсенс, 2003. – 269 с.
7. Москаленко С.О. Гідрометеорологічні умови та багаторічні характеристики дощового паводків на річках Правобережжя Прип'яті / С.О. Москаленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 18. – С. 125 – 133.
8. Рождественский А.В. Статистические методы в гидрологии / А.В.Рождественский, А.И.Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С. 257–316.

**Розрахункові характеристики максимального річного стоку води річок правобережжя Прип'яті**

**Корнієнко В. О., Лук'янець О.І.**

*У статті наведено аналіз, систематизація розрахункових характеристик максимального річного стоку річок правобережжя Прип'яті та їх узагальнення, Проведена перевірна оцінка запропонованої розрахункової схеми та зроблено висновки щодо її застосування для річок досліджуваної території, навіть тих, що невивчені в гідрологічному відношенні.*

**Ключові слова:** максимальний стік води, річки правобережжя Прип'яті, розрахункові характеристики стоку води, забезпеченість, перехідні модульні коефіцієнти.

**Расчетные характеристики максимального годового стока воды рек правобережья Припяти**

**Корниенко В.А., Лукьянец О.И.**

*В статье приведен анализ, систематизация расчетных характеристик максимального годового стока рек правобережья Припяти и их обобщение. Проведена проверочная оценка предложенной расчетной схемы и сделаны выводы по ее применению для рек исследуемой территории, даже тех, что неизученные в гидрологическом отношении.*

**Ключевые слова:** максимальный сток воды, реки правобережья Припяти, расчетные характеристики стока воды, обеспеченность, переходные модульные коэффициенты.

**Estimated characteristics of the maximum annual runoff of rivers right bank of the Pripyat**  
**Korniienko V., Lukyanets O.**

*The article presents the analysis, systematization of the calculation characteristics of the maximum annual flow of the rivers of the right bank of the Pripyat and their generalization. A verification assessment of the proposed calculation scheme was carried out and conclusions were drawn about its application for the rivers of the investigated area, even those not studied in hydrological terms.*

*The proposed calculation scheme for the distribution of maximum annual flow characteristics using transitional coefficients from their norm to the values of other security is acceptable for studied rivers in right bank the of Pripyat. For poorly-studied and unexplored rivers within the territory of the right bank of the Pripyat it is proposed to use the dependence of the norms of maximum annual water consumption from the area of their catchment areas. The obtained degree dependences have high correlation relations. Thus, knowing the area of the catchment of the unexplored river, we obtain, according to the corresponding equation, the norm of the investigated drainage characteristic and its distribution in a certain range of assurances by the generalized transition coefficients within the limits of acceptable accuracy.*

**Keywords:** maximum water drainage, rivers right bank of Pripyat, estimated characteristics of drainage water, provision, transitional modular coefficients.

**Надійшла до редколегії 28.04.2017**

УДК:551.583.1+556:[12;047;535]

**Рахматулліна Е.Р., Гребінь В.В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

### **АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМІЧНОГО ТА ЛЬДОВОГО РЕЖИМУ РІЧОК БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ З ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ**

**Ключові слова:** термічний режим, льодовий режим, розрахункові залежності, методика оцінки.

**Вступ.** Клімат Землі протягом останніх десятирічь ХХ, на початку ХХІ сторіччя відчуває значні зміни, які найбільш чітко проявляються у підвищенні температури приземного шару повітря – основної характеристики клімату Землі. Гідрологічний режим річок є достатньо чутливим до кліматичних змін, особливо це стосується термічного та льодового режиму річок в зимовий період.

Дослідження зазначених вище характеристик гідрологічного режиму, а також його змін, мають практичне значення для судноплавства, бо безпосередньо визначають дати початку та закінчення навігації. Врахування змін термічного та льодового режиму необхідне також для рибного господарства через збільшення періоду відкритого русла на річках, що в свою чергу призводить до поліпшення кисневого режиму та уникнення зимового замору риби. Важливим також є врахування зазначених змін у гідроенергетиці, що веде за собою зміни у роботі ГЕС, при будівництві та експлуатації гідротехнічних споруд у зимовий період та інших галузей господарства, які безпосередньо пов'язані з використанням водних об'єктів.

Окрім вже зазначеного практичного інтересу, подібні дослідження мають вагомe значення для фундаментальної науки.

**Метою роботи** є аналіз взаємозв'язку характеристик термічного та льодового режиму річок та температури повітря в межах досліджуваного басейну у зв'язку із тенденцією зміни клімату.

**Виклад основного матеріалу.** Для аналізу взаємозв'язку характеристик термічного та льодового режиму річок басейну Південного Бугу в зимовий період нами було розроблено алгоритм досліджень, який включає в себе:

1. Побудову емпіричних залежностей характеристик льодового (появи льодових явищ, встановлення стійкого льодоставу, скресання та очищення річок від льоду, середньої та максимальної товщини льоду) та термічного режиму річок басейну від температури повітря, що їх зумовлює, за період 1951-2000 рр. Вибір із побудованих залежностей розрахункових з високим коефіцієнтом парної кореляції ( $r$ );

2. Визначення допустимих похибок для оцінок тенденцій майбутніх змін за розрахунковими залежностями;

3. Перевірка методики оцінки змін зазначених характеристик на незалежному періоді (2001-2011 рр.) та оцінка ефективності запропонованої методики.

Для оцінки просторових змін досліджуваних характеристик, подальший аналіз проводили згідно схеми гідрологічного районування України [9]. Згідно неї, басейн річки Південний Буг поділяється на дві області:

1) верхня та середня течія до м. Первомайська (включно з басейном р. Синюха), з усіма притоками, входить в Правобережно-Дніпровську область достатньої водності;

2) нижня течія, від гирла р. Синюхи (включно з басейном р. Інгул), відноситься до Нижньобузько - Дніпровської області недостатньої водності.

Відповідно запропонованому алгоритму та схеми гідрологічного районування басейну річки Південний Буг, було побудовано залежності характеристик термічного та льодового режиму річок басейну від температури повітря, що їх зумовлює. Залежності будувались з використанням даних спостережень на метеорологічних станціях та гідрологічних постах басейну за період 50 років (1951-2000 рр.). Вибір періоду обумовлений наявністю безперервних рядів спостережень.

При аналізі залежностей для дат появи льодових явищ, температуру повітря, що їх зумовлює, обирали із розрахунку того, що льодові явища на річках починають з'являтися при певній сумі від'ємних температур повітря. Найбільш ранні (за період спостережень) дати появи льодових явищ в басейні Південного Бугу спостерігались на початку листопада, а найбільш пізні – у грудні місяці. Враховуючи вище викладене, ми пов'язали дати появи льодових явищ на річках басейну з мінімальною температурою повітря за листопад-грудень місяці та побудували відповідні залежності.

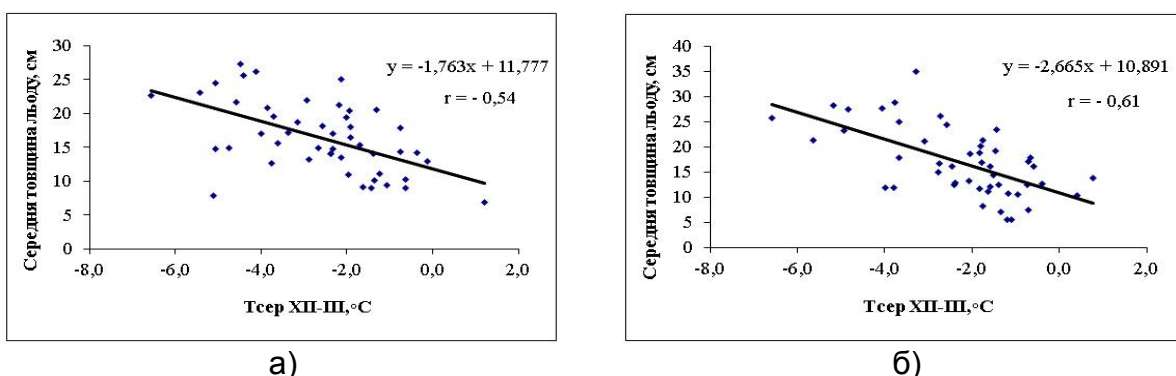
Досліджуючи залежності дат встановлення стійкого льодоставу від температури повітря, так само як і для дат появи льодових явищ, визначили межі

коливань цих дат. Найбільш ранні терміни встановлення льодоставу характерні для початку грудня, а найбільш пізні – у січні місяці. Отже, ми побудували залежності дати встановлення стійкого льодоставу від середньої температури повітря за грудень-січень місяці.

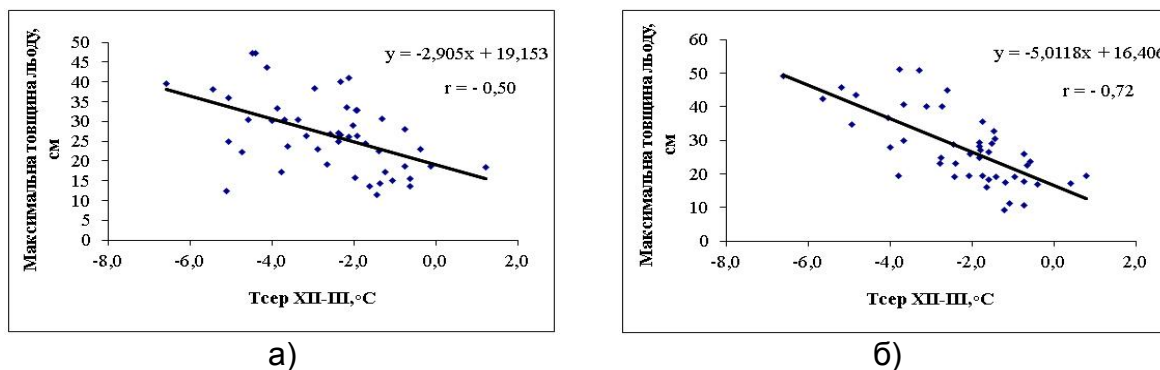
Аналіз взаємозв'язку дат появи льодових явищ та льодоставу на річках басейну та температури повітря, що їх зумовлює, не виявив чітких залежностей між ними. Це обумовлено нестабільністю погодних умов осінньо-зимового сезону протягом останніх десятиріч. Через це, для даних характеристик подальші дослідження, щодо встановлення розрахункових залежностей, не проводились.

Для всіх інших досліджуваних характеристик льодового режиму (дат початку скресання та закінчення льодових явищ, а також значень середньої та максимальної товщини льодового покриву) річок басейну Південного Бугу також було побудовано залежності за період 1951-2000 роки.

Наростання товщини льоду на річках відбувається з початком льодоставу шляхом кристалізації води на нижній поверхні льодового покриву, промерзання шуги під льодовим покривом, а також за рахунок замерзання просоченого водою снігу, який знаходиться на льодовому покриві [3]. Тому, для характеристик товщини льодового покриву (середньої та максимальної), потрібно визначити межі тривалості льодоставу. Для басейну Південного Бугу льодостав може відбуватись у період із грудня по березень місяць включно. Тому, зв'язки для товщини льоду (середньої та максимальної) від температури повітря будували з урахуванням середньої температури зазначеного періоду ( $T_{\text{серXII-III}}$ ) (рис. 1-2).



**Рис.1.** Розрахункові залежності середньої товщини льодового покриву на річках басейну Південного Бугу від середньої температури повітря за грудень – березень за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну

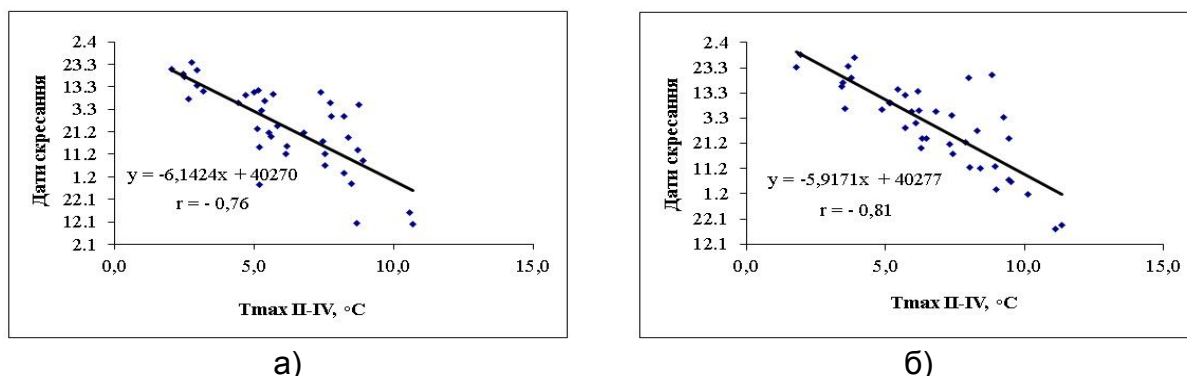


**Рис.2.** Розрахункові залежності максимальної товщини льодового покриву на річках басейну Південного Бугу від середньої температури повітря за грудень-березень за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну

Аналізуючи зв'язки середньої та максимальної товщини льоду від температури, що її зумовлює (рис. 1-2), можемо побачити, що найбільш тісні зв'язки характерні для нижньої частини басейну, як для середньої так, відповідно, і для максимальної товщини льоду. Отримавши непогані графічні залежності для товщини льодового покриву, також обираємо їх як розрахункові для досліджуваного басейну.

Для залежностей середньої дати скресання річок та середньої дати закінчення льодових явищ на річках від температури повітря, амплітуда коливань дат настання зазначених характеристик становила три місяці, із лютого по квітень місяць. Процес скресання та очищення річок від льоду є достатньо складним та багатофакторним, це комплекс гідрологічних та кліматичних чинників, де кліматичний фактор є домінуючим. Річки починають скресати від льоду при настанні певних максимальних значень температури повітря у весняний період, отже, залежності були побудовані від середньої з максимальних температур повітря за лютий-квітень місяці ( $T_{\max II-IV}$ ).

Для залежностей середньої дати початку скресання річок від льоду (рис.3) отримано достатньо високі коефіцієнти кореляції. Більш тісний зв'язок характерний для нижньої частини басейну, з коефіцієнтом кореляції  $r = -0,81$ . Враховуючи значну тісноту зв'язків, можемо обрати графічні залежності як розрахункові для даного басейну.

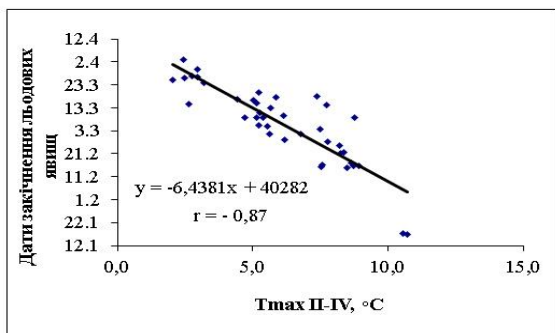


**Рис.3. Розрахункові залежності дат початку скресання на річках басейну Південного Бугу від середньої за лютий-квітень максимальної температури повітря за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну**

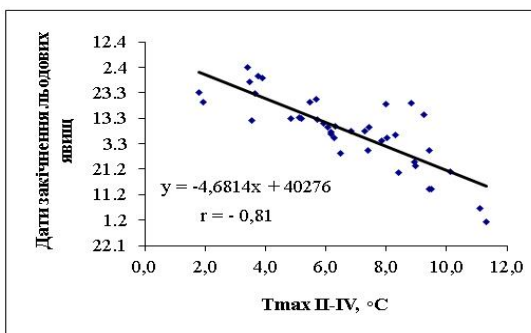
Для побудови залежності середньої дати закінчення льодових явищ на річках досліджуваного басейну, так само як і для середньої дати скресання, враховували середню за лютий-квітень максимальну температуру повітря. Отримали ще більш тісні зв'язки, а ніж для скресання річок. Але на відміну від залежностей із скресанням, найбільш тісний зв'язок характерен для верхів'я басейну (зони широколистяних лісів та лісостепу), де коефіцієнт парної кореляції становить  $r = -0,87$  (рис. 4). Так само, як для скресання річок, можемо обрати побудовані графічні залежності, як розрахункові.

Основним фактором, який визначає термічний режим річки, є температура повітря. Коливання температури води зазвичай відповідають ходу температур повітря в загальних рисах. Нами було побудовано залежності характеристик термічного режиму річок басейну Південного Бугу від температури повітря, за різні часові проміжки зимового періоду. На рис.5 наведено залежності середньої температури води річок басейну за листопад місяць ( $T_{\text{води XI}}$ ) від середньої температури повітря цього місяця ( $T_{\text{пов XI}}$ ) для окремих частин досліджуваного

басейну. Наведені залежності показують тісний зв'язок між зазначеними величинами, тому вважаємо їх розрахунковими, тіснота зв'язку змінюється в межах  $r = 0,87 - 0,88$ .

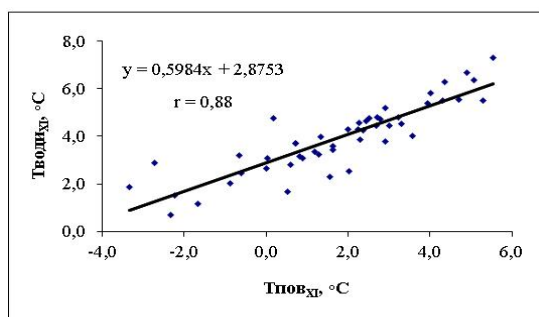


а)

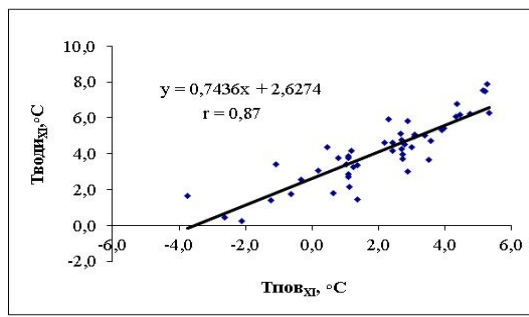


б)

**Рис.4.** Розрахункові залежності середньої дати закінчення льодових явищ на річках басейну Південного Бугу від середньої за лютий-квітень максимальної температури повітря за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну



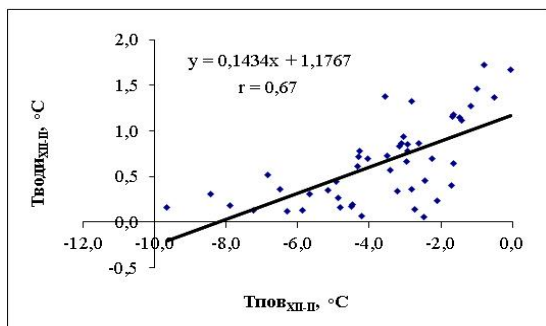
а)



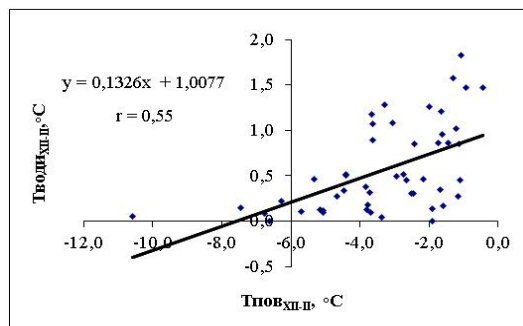
б)

**Рис.5.** Розрахункові залежності середньої температури води від середньої температури повітря за листопад місяць для басейну Південного Бугу за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну

Через нестабільність кліматичних умов періоду зимової межени, розрахункові залежності для періоду грудня-лютого місяця ( $T_{\text{водиXII-II}}=f(T_{\text{повXII-II}})$ ) мають менш тісний зв'язок ніж зв'язок між даними характеристиками для попереднього часового інтервалу. На рис.6 наведено зазначені розрахункові залежності, де більш тісний зв'язок характерний для верхньої та середньої частин басейну ( $r=0,67$ ).



а)

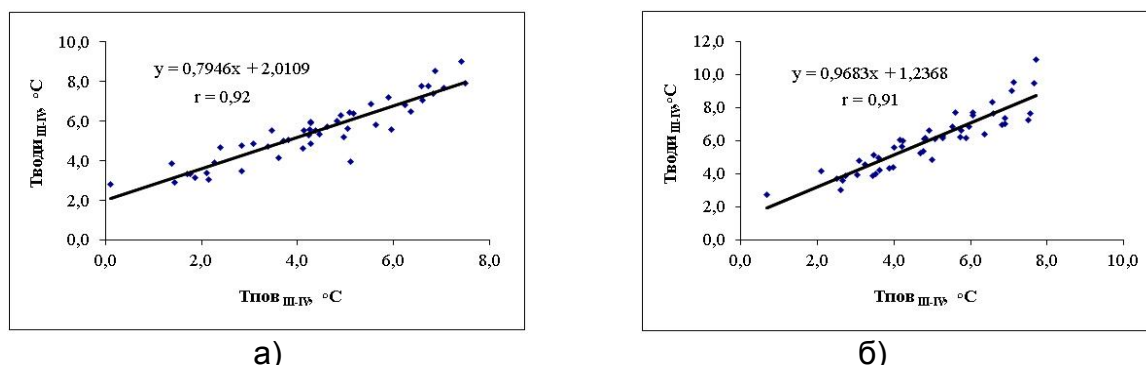


б)

**Рис.6.** Розрахункові залежності середньої температури води від середньої температури повітря за грудень-лютий місяці для басейну Південного Бугу за період 1951-2000 рр. : а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну



На рис. 7 наведено розрахункові залежності середньої температури води ( $T_{\text{водиIII-IV}}$ ) від середньої температури повітря ( $T_{\text{повIII-IV}}$ ) для весняного періоду (березень-квітень місяці), що свідчить про майже функціональні залежності між зазначеними характеристиками з коефіцієнтом парної кореляції більшим за 0,9.



**Рис. 7. Розрахункові залежності середньої температури води від середньої температури повітря за березень-квітень місяці для басейну Південного Бугу за період 1951-2000 рр.: а) верхня та середня частини басейну; б) нижня частина басейну**

Отже, із побудованих графічних залежностей обрано розрахункові для наступних характеристик: льодового режиму - скресання річок від льоду та закінчення льодових явищ на річках, середньої та максимальної товщини льоду від температури повітря, що їх зумовлює, та термічного режиму річок басейну від температури повітря. За ними були проведені наступні дослідження.

Відповідно другого пункту розробленого алгоритму для досліджуваних характеристик термічного та льодового режиму річок басейну Південного Бугу було розраховано допустимі похибки при оцінці за розрахунковими графічними залежностями.

Статистично обґрунтованим є прийняття за допустиму похибку прогнозу ( $\delta_{\text{дон}}$ ) деяку частку середнього квадратичного відхилення ( $\bar{\sigma}$ ):

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} \quad (1)$$

Середнє квадратичне відхилення відносно середнього ( $\bar{y}$ ), характеризує ступінь мінливості досліджуваних величин у часі в абсолютних величинах (табл.1).

Допустима похибка – це ймовірне відхилення значення прогнозної характеристики гідрологічного режиму від середнього і ймовірність попадання в діапазон відхилень передбачуваної величини від норми в долях від середнього квадратичного (0,674) становить 50%. При цьому, забезпеченість нижньої межі діапазону - 75%, верхнього - 25% [1, 2]. Допустимі похибки для досліджуваних характеристик наведено в таблиці 1.

Для оцінки мінливості досліджуваних характеристик розраховано також коефіцієнт варіації ( $C_v$ ), який показує відносну міру відхилення даних характеристик від середнього ( $\bar{y}$ ) (див. табл.1).

Передбачуване значення за розрахунковими рівняннями завжди відрізнятиметься від дійсного на більшу або меншу величину – похибку, під якою розуміють різницю між фактичним значенням  $y$  і значенням, вказаному в прогнозі  $y'$ :

$$\delta = y - y' \quad (2)$$

Справдженим та ефективним вважається прогноз, похибка якого ( $\delta$ ) знаходиться в межах допустимої ( $\delta_{дон}$ ) [4, 5].

Мірою точності методики є середня квадратична похибка перевірочних прогнозів  $\bar{s}$ , яка при малій кількості членів ряду розраховується як:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{\phi} - y_{np})^2}{n - m}}, \quad (3)$$

де  $n$ - кількість складених прогнозів,  $m$ - кількість параметрів в розрахунковому рівнянні.

За критерій придатності методики, її якості та ефективності застосовується відношення  $\bar{s} / \bar{\sigma}$ , тобто, відношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів до середнього квадратичного відхилення прогнозованої величини [8].

**Таблиця 1** Статистична оцінка можливості прогнозування досліджуваних характеристик басейну Південного Бугу на основі розрахункових графічних залежностей

	Вид залежності	Розрахункове рівняння	r	$\bar{y}$	$\bar{\sigma}$	Cv	$\pm \delta_{дон}$
1	$T_{води XI} = f(T_{повXI}) (B+C) *$	$y = 0,5984x + 2,8753$	0,88	3,9°C	1,4°C	0,37	0,94°C
2	$T_{водиXI} = f(T_{повXI}) (H) **$	$y = 0,7436x + 2,6274$	0,87	4,1°C	1,8°C	0,42	1,2°C
3	$T_{водиXII-II} = f(T_{повXII-II}) (B+C)$	$y = 0,1434x + 1,1767$	0,67	0,65°C	0,45°C	0,69	0,3°C
4	$T_{водиXII-II} = f(T_{повXII-II}) (H)$	$y = 0,1326x + 1,0077$	0,55	0,6°C	0,5°C	0,85	0,34°C
5	$T_{водIII-IV} = f(T_{повIII-IV}) (B+C)$	$y = 0,7946x + 2,0109$	0,92	5,5°C	1,5°C	0,28	1,0°C
6	$T_{водIII-IV} = f(T_{повIII-IV}) (H)$	$y = 0,9683x + 1,2368$	0,91	6,0°C	1,8°C	0,29	1,2°C
7	Дати скресання = $f(T_{пов II-IV}) (B+C)$	$y = -6,1424x + 40270$	0,76	23.02	19 діб	0,35	12діб
8	Дати скресання = $f(T_{пов II-IV}) (H)$	$y = -5,9171x + 40277$	0,81	28.02	17діб	0,3	12 діб
9	Дати очищення = $f(T_{пов II-IV}) (B+C)$	$y = -6,4381x + 40282$	0,87	5.03	17діб	0,26	11 діб
10	Дати очищення = $f(T_{пов II-IV}) (H)$	$y = -4,6814x + 40276$	0,81	8.03	14діб	0,21	9 діб
11	Середня товщина льоду = $f(T_{повXII-III}) (B+C)$	$y = -1,763x + 11,777$	0,54	16,4см	5,2 см	0,32	3,5 см
12	Середня товщина льоду = $f(T_{повXII-III}) (H)$	$y = -2,665x + 10,891$	0,61	16,9см	6,7 см	0,4	4,5 см
13	Максимальна товщина льоду = $f(T_{повXII-III}) (B+C)$	$y = -2,905x + 19,153$	0,50	26,7см	9,3 см	0,35	6,3 см
14	Максимальна товщина льоду = $f(T_{повXII-III}) (H)$	$y = -5,0118x + 16,406$	0,72	27,8см	10,8см	0,39	7,3 см

**Примітка.** \* - верхня та середня частини басейну; \*\* - нижня частина басейну

Придатними вважаються прогнози, коли відношення  $\bar{s} / \bar{\sigma}$  не перевищує 0,80. Методика відноситься до категорії «добра» якщо  $\bar{s} / \bar{\sigma} \leq 0,50$ , до категорії «задовільна» коли  $\bar{s} / \bar{\sigma} = 0,51 \div 0,80$ .

Також, для оцінки придатності методики використовується забезпеченість її прогнозування ( $P, \%$ ), яка вираховується як відношення кількості прогнозів з

похибками, що не перевищують допустиму ( $n_c$ ), до загальної кількості складених прогнозів ( $n_3$ ) і виражається у відсотках:

$$P = \frac{n_c}{n_3} \cdot 100\% \quad (4)$$

Для цього критерію методика прогнозу відноситься до категорії «добрих», якщо  $P \geq 82\%$ , до категорії «задовільних», коли  $P = 81 \div 60\%$  [6,7].

Для оцінки придатності запропонованих методик прогнозу характеристик гідрологічного режиму річок басейну Південного Бугу використано період 2001-2011 рр. Так для характеристик термічного режиму річок басейну методика прогнозу є доброю та ефективною для періодів кінця літньо-осінньої межени та весняного водопілля, та задовільною для періоду зимової межени. Для характеристик льодового режиму: для скресання річок методика є задовільною; для очищення річок від льоду – доброю та ефективною; для середньої товщини - у верхній та середній частині є задовільною, у нижній – доброю; для максимальної товщини льоду так само як і для середньої методика прогнозу є задовільною та доброю, відповідно, у верхній і середній та нижній частинах басейну (табл.2).

**Таблиця 2 Оцінка точності методики прогнозу, розрахована на незалежному періоді 2000-2011 рр.**

	Вид залежності	Розрахункове рівняння	$\bar{s}$	$\bar{s}/\bar{\sigma}$	P
1	$T_{\text{води XI}} = f(T_{\text{пов XI}}) (B+C) *$	$y = 0,5984x + 2,8753$	0,59	0,42	91
2	$T_{\text{води XI}} = f(T_{\text{пов XI}}) (H) **$	$y = 0,7436x + 2,6274$	0,74	0,41	91
3	$T_{\text{води XII-II}} = f(T_{\text{пов XII-II}}) (B+C)$	$y = 0,1434x + 1,1767$	0,54	1,2	36
4	$T_{\text{води XII-II}} = f(T_{\text{пов XII-II}}) (H)$	$y = 0,1326x + 1,0077$	0,74	1,48	27
5	$T_{\text{вод III-IV}} = f(T_{\text{пов III-IV}}) (B+C)$	$y = 0,7946x + 2,0109$	0,5	0,33	100
6	$T_{\text{вод III-IV}} = f(T_{\text{пов III-IV}}) (H)$	$y = 0,9683x + 1,2368$	0,42	0,23	100
7	Дати скресання = $f(T_{\text{пов II-IV}}) (B+C)$	$y = -6,1424x + 40270$	13,5	0,73	64
8	Дати скресання = $f(T_{\text{пов II-IV}}) (H)$	$y = -5,9171x + 40277$	10,2	0,59	73
9	Дати очищення = $f(T_{\text{пов II-IV}}) (B+C)$	$y = -6,4381x + 40282$	6,8	0,4	100
10	Дати очищення = $f(T_{\text{пов II-IV}}) (H)$	$y = -4,6814x + 40276$	6,7	0,49	91
11	Середня товщина льоду = $f(T_{\text{пов XII-III}}) (B+C)$	$y = -1,763x + 11,777$	3,6	0,69	64
12	Середня товщина льоду = $f(T_{\text{пов XII-III}}) (H)$	$y = -2,665x + 10,891$	3,3	0,49	82
13	Максимальна товщина льоду = $f(T_{\text{пов XII-III}}) (B+C)$	$y = -2,905x + 19,153$	7,9	0,85	45
14	Максимальна товщина льоду = $f(T_{\text{пов XII-III}}) (H)$	$y = -5,0118x + 16,40$	5,8	0,54	82

**Примітка.** \* - верхня та середня частини басейну; \*\* - нижня частина басейну

Випадкові коливання метеорологічних факторів, точність гідрометеорологічних даних і точність методики самих розрахунків визначають точність прогнозу. Більше або менше наближення методів гідрологічних прогнозів, відсутність окремих даних гідрологічних спостережень та їх неточність обумовлюють більшу або меншу похибку, яка носить характер змінної. Все це й визначає ймовірний характер прогнозів і відповідно цьому форми їх вираження і методику оцінки їх ефективності, оснований на відомих методах математичної статистики і теорії ймовірності [8].

**Висновки.** Отримано кореляційні залежності для характеристик термічного та льодового режимів річок басейну Південного Бугу від температури повітря, що їх обумовлює. Визначено та відібрано розрахункові залежності по окремих

досліджуваних характеристиках з найбільшим коефіцієнтом кореляції. Для обраних розрахункових залежностей проведено статистичну оцінку можливості прогнозування досліджуваних характеристик та розраховано допустимі похибки. На основі проведених досліджень оцінено точність та визначено ефективність запропонованої методики прогнозу. Визначено, що в більшості випадків методика прогнозу для басейну річок Південного Бугу є доброю та ефективною.

#### Список літератури

1. Аполлов Б. А. Курс гидрологических прогнозов / Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 419 с. 2. Бефани Н. Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам / Н. Ф. Бефани, Г. П. Калинин. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 390 с. 3. Вишневський В. І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок / В. І. Вишневський // Наук. праці УкрНДГМІ, 2002. – Вип. 250. – С. 190-202. 4. Владимиров А. М. Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 366 с. 5. Галущенко Н. Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Н. Г. Галущенко. – К.: Вища школа, 1987. – 248 с. 6. Гідрологічні розрахунки для річок України / відп. ред. Г. І. Швець. – К.: вид-во АН УРСР, 1962. – 262 с. 7. Попов Е. Г. Гидрологические прогнозы / Е. Г. Попов. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 256 с. 8. Струтинська В. М. Термічний та льодовий режим річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття / В. М. Струтинська, В. В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 196 с. 9. Схема гідрологічного районування України / [Л. Г. Будкіна, Л. М. Козинцева, С. П. Пустовойт, В. Г. Келембет] // Географічні дослідження на Україні. – 1969. – Вип.1. – С. 157-172.

#### **Аналіз взаємозв'язку характеристик термічного та льодового режиму річок басейну Південного Бугу з температурою повітря**

**Рахматулліна Е.Р., Гребінь В.В.**

*У роботі представлено та проаналізовано взаємозв'язок характеристик термічного та льодового режимів річок з температурою повітря на прикладі басейну Південного Бугу. На основі отриманих розрахункових залежностей визначено основні статистичні характеристики та допустимі похибки. Апробовано методику оцінки змін вище зазначених характеристик на незалежному періоді та визначено ефективність методики.*

**Ключові слова:** термічний режим, льодовий режим, розрахункові залежності, методика оцінки.

#### **Анализ взаимосвязи характеристик термического и ледового режимов рек бассейна Южного Буга с температурой воздуха**

**Рахматулліна Э.Р., Гребень В.В.**

*В работе представлено и проанализировано взаимосвязь характеристик термического и ледового режимов рек с температурой воздуха на примере рек бассейна Южного Буга. На основе полученных расчетных зависимостей определены основные статистические характеристики и допустимые ошибки. Опробована методика оценки изменений указанных характеристик на независимом периоде, и определена эффективность методики.*

**Ключевые слова:** термический режим, ледовый режим, расчетные зависимости, методика оценки.

#### **Analysis of the correlation of the characteristics of thermal and ice regime of the rivers of the Southern Buh River Basin with air temperature**

**Rakhmatullina E., Grebin V.**

*In the paper the correlation of the characteristics of thermal and ice regimes of rivers with air temperature are presented and analyzed on the example of the Southern Buh River Basin. The graphical dependencies of characteristics of ice (the appearance of ice phenomena, the formation of stable freezing, the average and maximum thickness of ice, breaking up and cleaning rivers from ice) and thermal regime by causes of the air temperature were created. The sufficiently significant closeness of correlation for individual characteristics of ice regime (the thickness of the ice cover and spring ice phenomena) and for thermal regime of the river of study basin was identified. The graphical dependencies with high the coefficient pair correlation were chosen as the calculation. On the basis these of the calculated dependencies the statistical estimation of the possibility of prediction of the study characteristics was*

carried out and allowable errors were calculated. The methodology of estimation changes shown above characteristics of the independent period was tested and the effectiveness of the methodology was identified. It was identified that in most cases the proposed methodology of forecast for the Southern Bug River Basin is good and effective.

**Keywords:** thermal regime, ice regime, calculated dependence, methods of assessment.

**Надійшла до редколегії 06.04.2017**

УДК: 551.435.2

**Сурай К.С. , Лук'янець О.І.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

## **ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЛЕВИХ БАСЕЙНІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ: СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ**

**Ключові слова:** Українські Карпати, селі, селевий потік, селевий басейн, характеристики селів, особливості територіального розповсюдження селів.

**Вступ.** Українські Карпати є одним з найбільших селенебезпечних районів не лише України, а і Європи. Вивчення селевих потоків (паводків) – причин їх виникнення, умов формування, аналіз та узагальнення характеристик селів та їх небезпечних проявів, територіального розповсюдження – є дуже важливим та одним із найскладнішим питанням гідрології. Адже *селевий потік (паводок) або сель* – це швидкоплинний та короткочасний потік води з великим вмістом наносів, пухкоуламкового матеріалу, що має руйнівну силу і характеризується раптовістю виникнення. Тобто, їх формування є доволі небезпечним і часто катастрофічним, а це завдає шкоди не лише навколишньому природному середовищу, а й населенню, інфраструктурі, сільському господарству.

Дослідженнями селів у Карпатах займалися Айзенберг М.М. [1-3, 16], Оліферов А.М. [9], Яблонський В.В. [2, 15-17], Лундін С.М. [3, 6], Тіщенко О.С. [13-14], Грищенко В.Ф. [4, 12, 18], Маслова Т.В. [4], Сусідко М.М. [11, 12, 18], Лук'янець О.І. [4, 11], Щербак А.В. [4, 18],

**Мета роботи** – статистичний аналіз основних характеристик селевих потоків та їх басейнів, взаємозв'язки між ними та особливості просторового розповсюдження селевих явищ в Українських Карпатах.

**Вихідні дані.** Дослідження проведено на основі багаторічних даних експедиційних робіт та досліджень Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, гідрометеорологічних даних мережі станцій і постів Карпатського регіону, відомостей від організацій автошляхового та лісового господарств про наслідки проходження селевих потоків (паводків) [12].

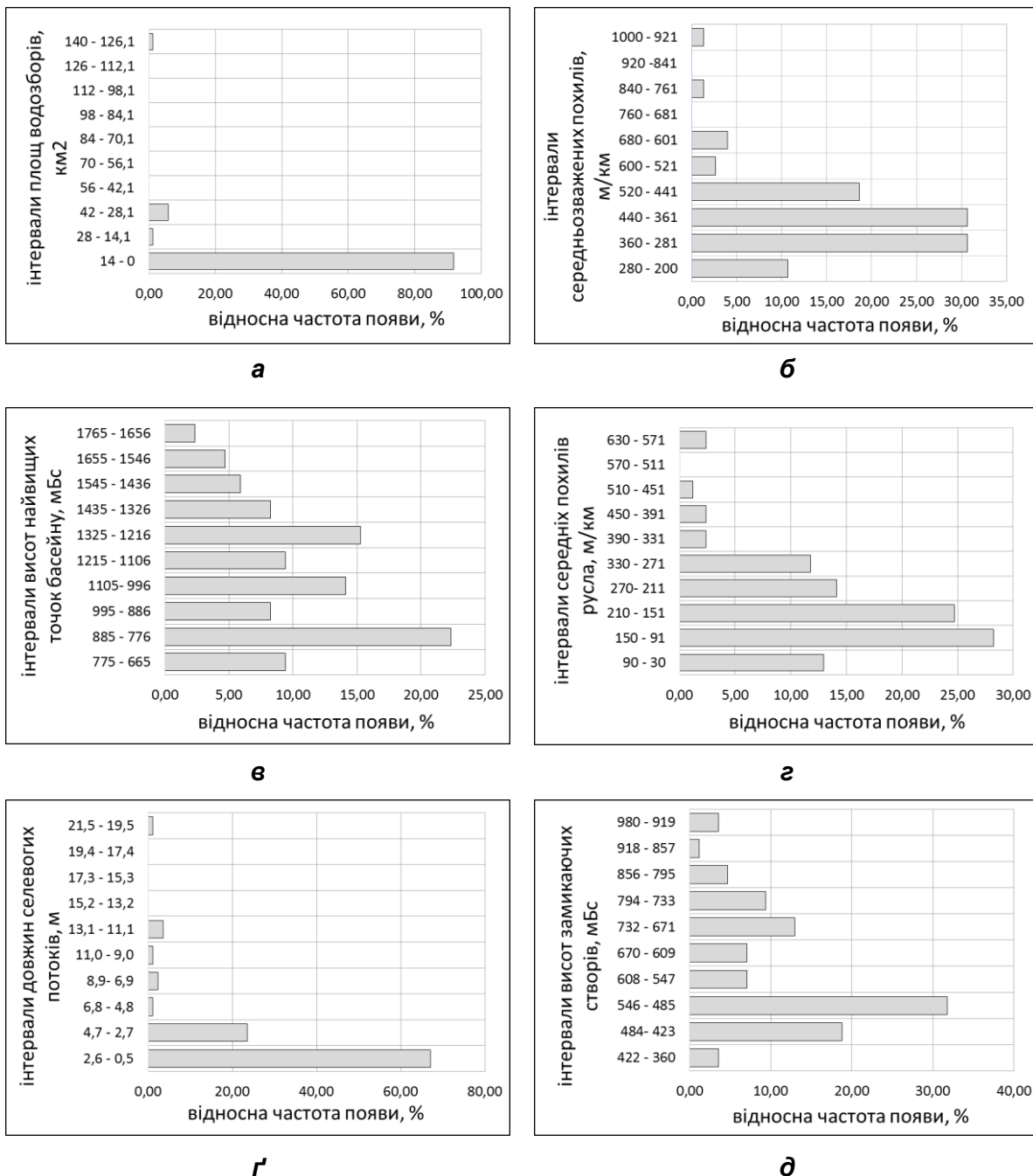
Банк даних для дослідження та статистичного аналізу складається з шести характеристик селевих потоків та їх басейнів – площі водозборів, середньозважені похили місцевості, відмітки найвищих точок басейнів, середні похили селевих русел, їх довжини, висотні відмітки замикаючих створів і в межах території Українських Карпат загалом було використано дані з 421 селевого басейну [12].

Українські Карпати поділяються на три селенебезпечні райони: північно-західний (басейн Дністра), південно-східний (басейни річок Прут та Сірет) та південно-західний (басейн Тиси) [5, 11, 12].

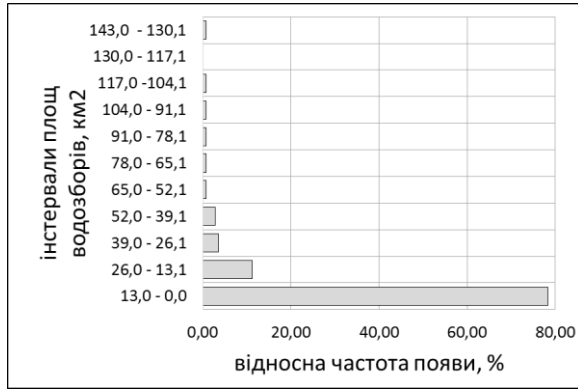
Для північно-західного Карпатського селенебезпечного району (басейн

Дністра) статистичні сукупності склали по кожній з характеристик селів – 85 випадків, для південно-східного (басейни річок Прут та Сірет) – 143 та для південно-західного (басейн Тиси) – 193.

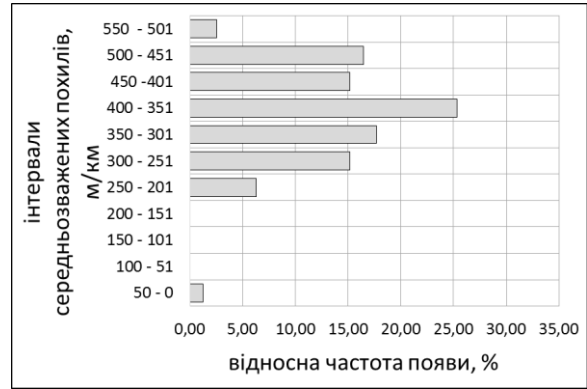
**Отримані результати та їх обговорення.** Для статистичного аналізу характеристик селевих потоків та їх басейнів були побудовані гістограми частот їх величин, що можна тлумачити як ймовірність попадання в заданий інтервал (повторюваність) [8]. Гістограми частот досліджуваних характеристик селевих потоків та їх басейнів для трьох селенебезпечних районів Українських Карпат подано на рис. 1-3.



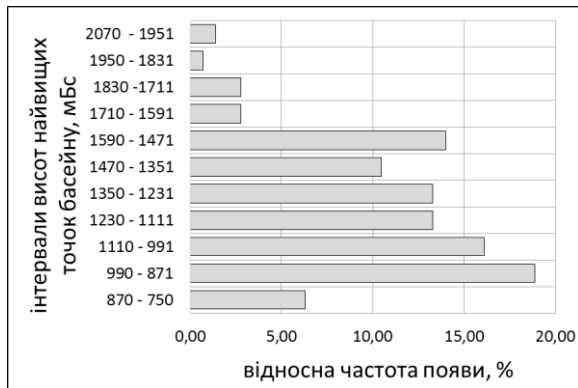
**Рис.1.** Гістограми розподілу характеристик селевих басейнів у північно-західному селенебезпечному районі (басейн р. Дністер): **а** – площ водозборів, км<sup>2</sup>; **б** – середньозважених похилів, м/км; **в** – висот найвищих точок басейну, мБс; **г** – середніх похилів русла, м/км; **д** – висот замикаючого створу, мБс



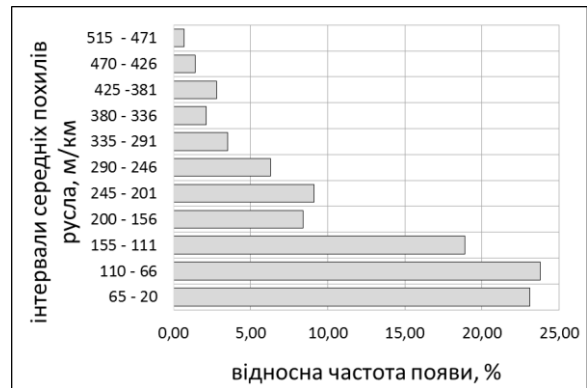
**а**



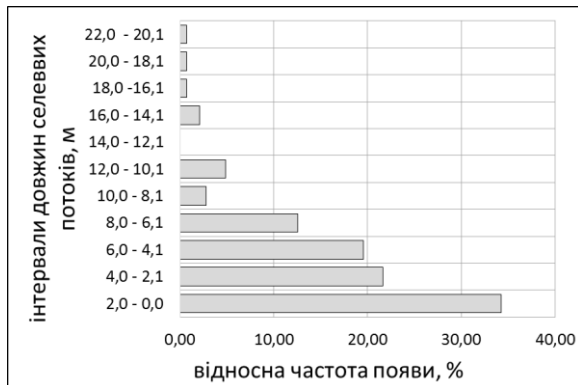
**б**



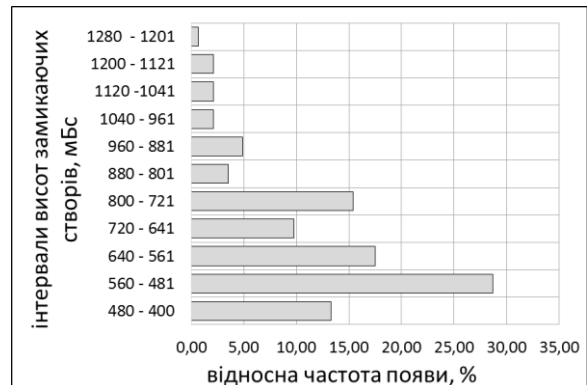
**в**



**з**



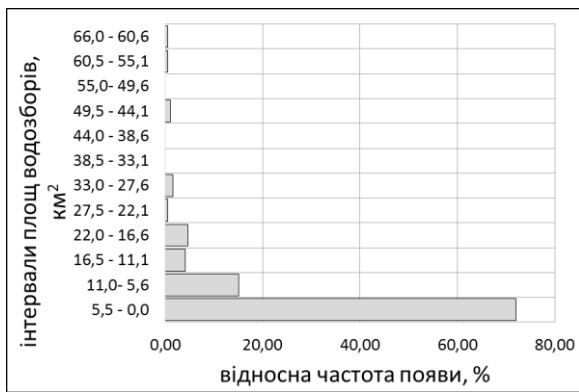
**р**



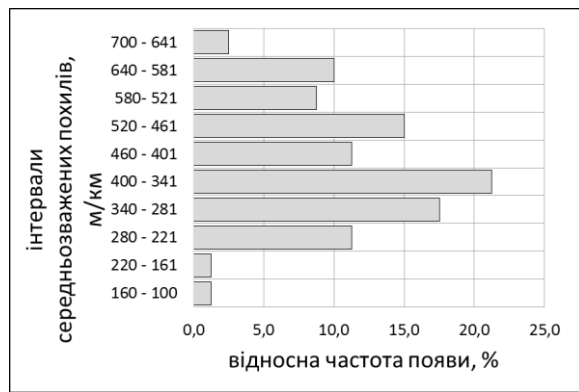
**д**

**Рис. 2.** Гістограми розподілу характеристик селевих басейнів у південно-східному селенебезпечному районі (басейни річок Прут та Сірет): **а** – площ водозборів, км<sup>2</sup>; **б** – середньозважених похилів, м/км; **в** – висот найвищих точок басейну, мБс; **з** – середніх похилів русла, м/км; **р** – довжин селевих потоків, км; **д** – висот замикаючого створу, мБс

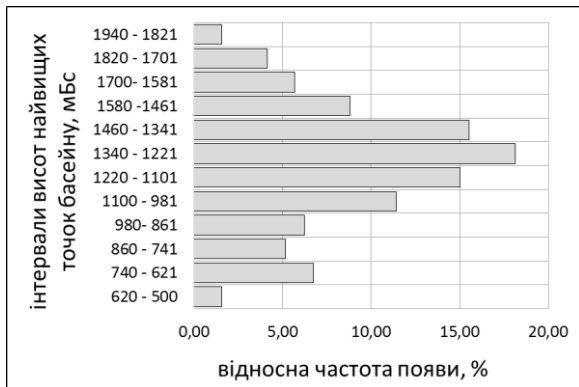
На основі аналізу отриманих гістограм частот характеристик селевих потоків та їх басейнів, можна виокремити найхарактерніші значення величин селевих потоків та осередків в селенебезпечних районах Українських Карпат (таблиця 1).



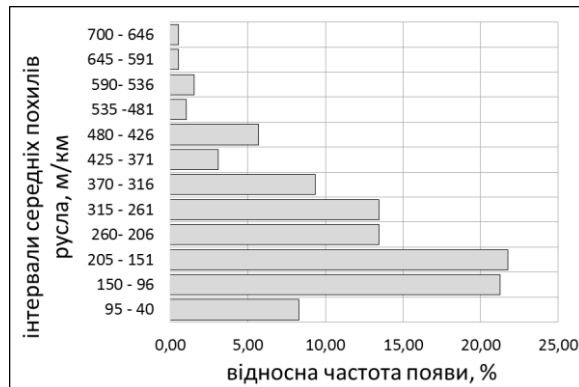
**а**



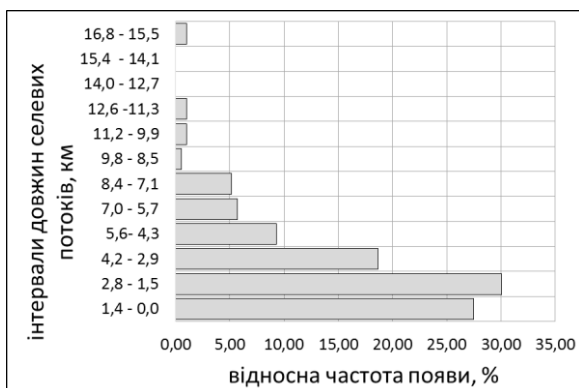
**б**



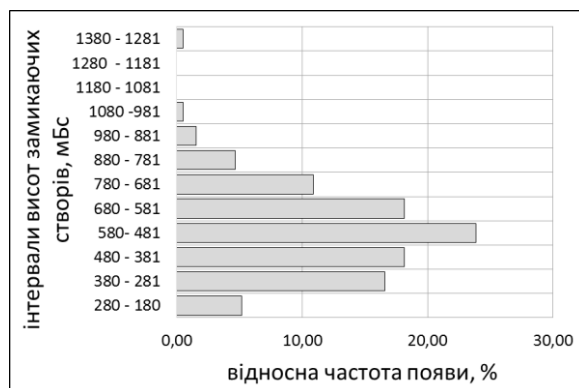
**в**



**з**



**р**



**д**

**Рис.3.** Гістограми розподілу характеристик селевих басейнів у південно-західному селенебезпечному районі (басейн р. Тиса): **а** – площ водозборів, км<sup>2</sup>; **б** – середньозважених похилів, м/км; **в** – висот найвищих точок басейну, мБс; **з** – середніх похилів русла, м/км; **р** – довжин селевих потоків, км; **д** – висот замикаючого створу, мБс

Для дослідження взаємозалежності характеристик селевих потоків та їх басейнів побудовано кореляційні зв'язки між ними. Досліджувані характеристики поєднані параметрами простору: селеві басейни мають різне територіальне розташування з різними висотами, похилами місцевості та руслами річок, площами басейнів тощо.



**Таблиця 1. Найхарактерніші для Українських Карпат значення характеристик селевих потоків та їх басейнів**

Найхарактерніше значення характеристики селевого потоку та його басейну					
Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Середньо-зважений похил, м/км	Висота найвищих точок басейну, мБс	Середній похил селевого русла, м/км	Довжина селевого потоку, км	Висота замикаючого створу, мБс
<i>Північно-західний селенебезпечний район (басейн Дністра)</i>					
до 14	280–440	775–885	90–210	0,5–2,5	485–545
<i>Південно-східний селенебезпечний район (басейни Пруту, Сірету)</i>					
до 13	350–400	870–990	20–110	до 2,0	480–560
<i>Південно-західний селенебезпечний район (басейн Тиси)</i>					
до 5,5	280–400	1000–1450	95–205	до 3,0	380–680

За результатами побудов наступних залежностей:

- 1) довжина селевого потоку ↔ висота замикаючого створу ( $D_{cp}=f(BB_{zc})$ );
- 2) довжина селевого потоку ↔ площа водозбору ( $D_{cp}=f(P_v)$ );
- 3) довжина селевого потоку ↔ середній похил селевого русла ( $D_{cp}=f(CP_{cp})$ );
- 4) площа водозбору ↔ середньозважений похил місцевості ( $P_v=f(C_{zv}P_m)$ );
- 5) площа водозбору ↔ висота найвищих точок басейну ( $P_v=f(BB_{ntb})$ ),

можна констатувати, що залежності між характеристиками селевих потоків та їх басейнами переважно виражені у вигляді нелінійних зв'язків.

Найбільш тісний зв'язок (табл. 2) спостерігається між такими характеристиками як довжина селевого потоку і площа водозбору, довжина селевого потоку і середній похил селевого русла.

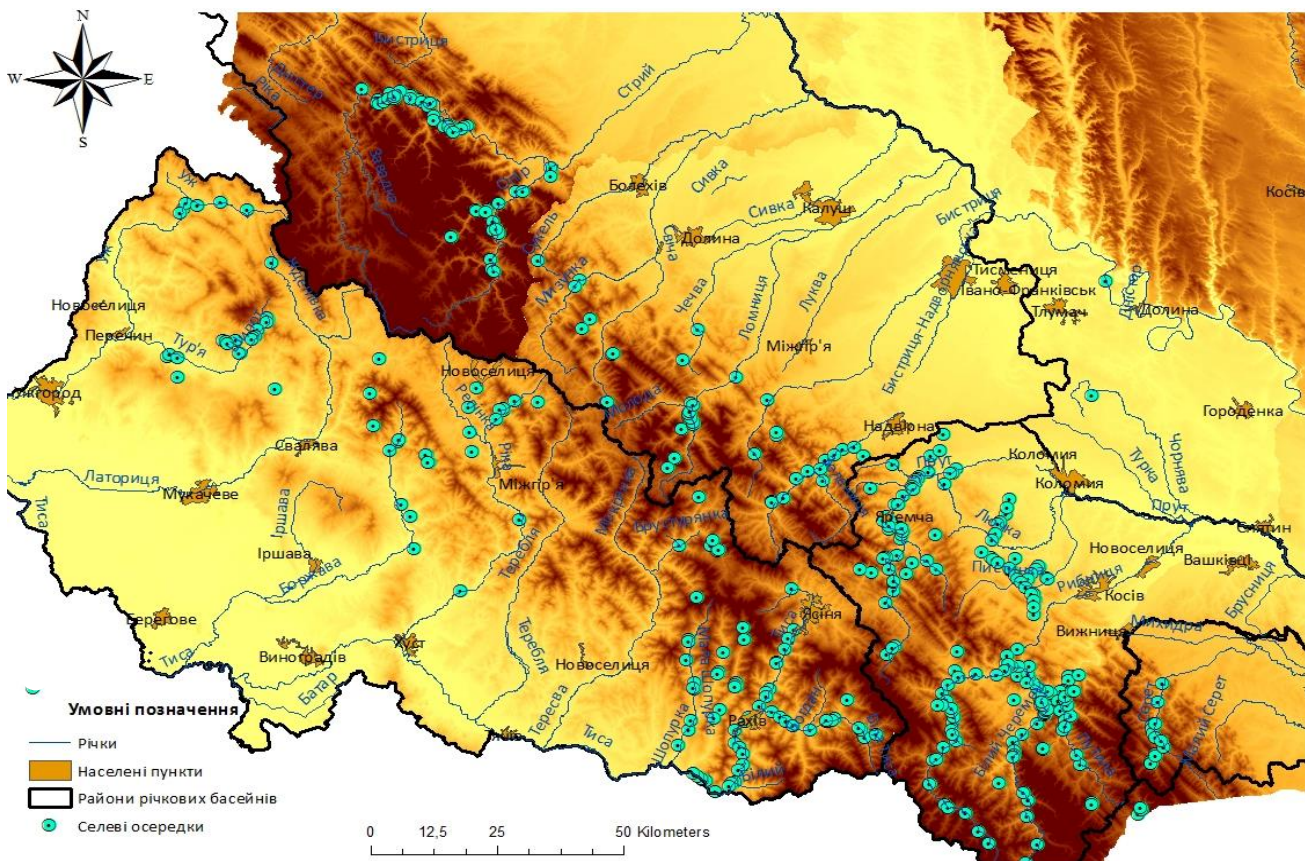
**Таблиця 2. Залежності між характеристиками селевих потоків та їх басейнів і їх оцінка для селенебезпечних районів Українських Карпат**

Вид залежності	Північно-західний селенебезпечний район (басейн Дністра)	Південно-східний селенебезпечний район (басейни Пруту, Сірету)	Південно-західний селенебезпечний район (басейн Тиси)
	Кореляційні відношення		
$D_{cp}=f(BB_{zc})$	0,04	0,13	0,1
$D_{cp}=f(P_v)$	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,78</b>
$D_{cp}=f(CP_{cp})$	<b>-0,64</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,71</b>
$P_v=f(C_{zv}P_m)$	0,25	0,3	0,23
$P_v=f(BB_{ntb})$	0,44	0,4	0,65

**Примітка:**  $D_{cp}$  – довжина русла селевого потоку, км;  $BB_{zc}$  – висотна відмітка замикаючого створу, мБс;  $P_v$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>;  $CP_{cp}$  – середній похил селевого русла, м/км;  $C_{zv}P_m$  – середньозважений похил місцевості, м/км;  $BB_{ntb}$  – висотна відмітка найвищої точки басейну, мБс.

Для просторового уявлення про розповсюдження селевих басейнів побудовано карту трьох селенебезпечних районів Українських Карпат (басейни Дністра, Тиси і Пруту, Сірету), на якій видно території найбільш щільного розташування селів (рис. 4).

Карту побудовано в ГІС за допомогою пакету програм ArcGIS та використання даних географічних координат замикаючих створів селевих потоків.



**Рис. 4. Карта просторового розповсюдження селевих осередків в Українських Карпатах**

**Висновки.** Українські Карпати є одним з найбільших селенебезпечних регіонів України. 65-80% припадає на водно-кам'яні, 20-35% на грязе-кам'яні селі. Основною причиною утворення селів в Українських Карпатах є дощі та зливи і наявність пухкоуламкового матеріалу.

На території північно-західного селенебезпечного району (басейну Дністра) найбільш повторюваними є селеві паводки з невеликими, до 14 км<sup>2</sup>, площами басейнів; на місцевостях із порівняно незначними середньозваженими похилами – від 280 до 440 м/км; у басейнах з висотами від 775 до 885 мБс; у руслах із незначними середніми похилами від 90 до 210 м/км; з невеликими довжинами – від 0,5 до 4,5 км; із замикаючим створом на висотах від 485 до 545 мБс.

У басейнах річок Пруту та Сірету (південно-східний селенебезпечний район) найбільш ймовірна поява селі з площами водозборів до 13 км<sup>2</sup>; середньозваженими похилами місцевостей в межах від 350 до 400 м/км; висотами розташування басейнів від 870 до 990 мБс; середніми похилами русел від 20 до 110 м/км; довжинами селевих потоків до 2 км та висотами розташування замикаючих створів селевих потоків від 480 до 560 мБс.

У південно-західному селенебезпечному районі (басейн р. Тиса) найбільш повторюваними є селеві потоки з площами басейнів до 5,5 км<sup>2</sup>; середньозваженими похилами місцевості від 280 до 400 м/км; максимальними висотами 1000–1450 мБс; середніми похилами русел від 95 до 205 м/км; довжиною селевих потоків до 3 км та замикаючими створами селевих потоків на висотах від 380 до 680 мБс.

Взаємозв'язок між окремими характеристиками селевих потоків та їх басейнів дали наступні результати: зв'язок є добрим та задовільним для двох пар характеристик – довжина та площа водозбору (кореляційні відношення  $r = 0,96$  для

басейну Дністра,  $r = 0,97$  для басейнів Пруту і Сирету та  $r = 0,78$  для басейну Тиси), довжина та середній похил селевого потоку (кореляційні відношення  $r = 0,64$  для басейну Дністра,  $r = 0,78$  для басейнів Пруту і Сирету та  $r = 0,71$  для басейну Тиси). Зв'язок між першою парою характеристик є прямим, а між другою – оберненим.

На основі побудованої карти просторового розповсюдження селевих осередків в Українських Карпатах можна виокремити підрайони найщільнішого їх розташування. У північно-західному селенебезпечному районі (басейн Дністра) найщільніше їх розташування знаходиться у верхів'ях р. Стрий (права притока Дністра), а також в середній і нижній частині р. Опір (права притока Стрия). Досить щільно селеві осередки розташовані і у верхів'ях річки Лімниця (притока Дністра) на ділянці річки між притоками Петрос і Молода. У південно-східному селенебезпечному районі (басейни Прута і Сирета) – верхів'я р. Прут до впадіння приток Красний і Кобилиця, межиріччя верхів'їв правих приток Пруту – Рибниця і Пістинька, Пістинька і Лючка, Лючка і Сопівка (притока Лючки), русло Білого Черемошу та Чорного Черемошу (річки, що з'єднуючись, утворюють р. Черемош – праву притоку Прута), а також їхніх приток, русло р. Сирет на ділянці між лівими притоками Звариш та Лопушна. У південно-західному селенебезпечному районі (басейн Тиси) – верхів'я річки Шипоти (притока Тур'ї, правої притоки Тиси), по всій довжині р. Біла Тиса, трохи менше селевих осередків у р. Косовська (права притока р. Тиса) і на ділянці між цими двома притоками.

#### Список літератури

1. Айзенберг М.М. О роли природных и антропогенных факторов в селеобразовании в Украинских Карпатах. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1972. – Вып.119. – С. 84-94.
  2. Айзенберг М.М. Селевые очаги в Украинских Карпатах / М.М. Айзенберг, С.М. Лундин, А.С. Семенихина, В.В. Яблонский. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1978. – Вып.162. – С. 64-70.
  3. Айзенберг М.М. Некоторые особенности селеобразования западной части Полонинского хребта в Украинских Карпатах / М.М. Айзенберг, М.Н. Гладкий, С.М. Лундин, А.С. Семенихина. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1980. – Вып. 183. – С. 80-87.
  4. Грищенко В.Ф. Селеві явища на території Карпат / В.Ф. Грищенко, Т.В. Маслова, О.І. Лук'янець, А.В. Щербак. – Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Стихійні явища у Карпатах" – Рахів. – 1999. – С. 98-105.
  5. Загальна гідрологія: підручник/ Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. – К.: ВЦ «Київський університет». – 2008. – 399 с.
  6. Лундин С.М. Сели. // В кн.: «Тепловой и водный режим Украинский Карпат» - Л.: Гидрометеиздат. – 1985. – с. 263-274.
  7. Лундин С.М. Некоторые особенности селевых очагов в Украинских Карпатах / С.М. Лундин. - Труды УкрНИИ Госкомгидромета – 1983. – вып. 194. – С. 122-127.
  8. Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету/ упоряд. О.І. Лук'янець. – К.: ВЦ Київський університет». – 2010. – 60 с.
  9. Оліферов А.М. Нові дані про селепрояви у Карпатах. // В кн. Селі України. – Київ: Наукова думка. – 1966. – с. 34-41.
  10. Оліферов А.М. Карпаты, Крым // В кн.: Селеопасные районы Союза. – М.: МГУ. – 1976. – С. 15-42.
  11. Сусідко М.М. Методичні засади ймовірного прогнозування селевих явищ в Українських Карпатах / М.М. Сусідко, О.І. Лук'янець. – Наукові праці УкрНДГМІ. – 1999. – Вип.247. – С. 114-124.
  12. Сусідко М.М., Грищенко В.Ф. Створення систем прогнозування селевих явищ у басейнах Тиси, Прута і Дністра (заключний). – Том 4: Звіт про науково-дослідну роботу. – 2005. – 40 с.
  13. Тищенко О.С. Водно-физические свойства селеформирующих грунтов Карпат / О.С. Тищенко, С.М. Лундин. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1988. – Вып.231. – С. 92-102.
  14. Тищенко О.С. Оценка гранулометрического состава селеформирующих грунтов и отложений селевых потоков Карпат и Крыма // Инженерная геология № 3. - М. 1992. - С.52-57.
  15. Яблонский В.В. Об особенностях развития селевого склона и механизмах формирования селей в Карпатах / В.В. Яблонский. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1972. – Вып. 135. – С. 64-83.
  16. Яблонский В.В. Селевые потоки в бассейне Тисы и их количественные характеристики / В.В. Яблонский, М.М. Айзенберг, С.А. Игнатенко, Е.В. Хлоева. – Труды
- Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

УкрНИИ Госкомгидромета. – 1976. – Вып. 143. – С. 155-161. **17.** Яблонский В.В. Статистические характеристики жидких осадков в горных районах Украины / В.В. Яблонский, Н.Ф. Василенко, А.В. Дезирон, С.И. Луценко. – Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1982. – Вып.190. – С. 109-119. **18.** Gryshchenko V. Murgangerscheinungen im Karpaten-Gebitt / V.Gryshchenko, M.Sosedko, A. Shcherbak. – XX Konferenz der Donaulander. – Bratislava (Slovakei). – 2000. – Kompakt-Disk – Kurzfassungen. – s.29.

**Основні характеристики селевих басейнів Українських Карпат: статистичний аналіз та особливості їх територіального розповсюдження**

**Сурай К.С., Лук'янець О.І.**

*У статті наведено статистичний аналіз основних характеристик селевих потоків та їх басейнів (площі водозборів, середньозважені похили місцевості, відмітки найвищих точок басейнів, середні похили селевих русел, їх довжини, висотні відмітки замикаючих створів) для трьох селенебезпечних районів Українських Карпат (басейни Дністра, Пруту та Сирету, Тиси). Встановлено взаємозв'язки між досліджуваними характеристиками. Побудовано карту просторового розповсюдження селевих явищ в Українських Карпатах.*

**Ключові слова:** Українські Карпати, селі, селевий потік, селевий басейн, характеристики селів, особливості територіального розповсюдження селів.

**Основные характеристики селевых бассейнов Украинских Карпат: статистический анализ и особенности их территориального распространения**

**Сурай К.С., Лукьянец О.И.**

*В статье приведен статистический анализ основных характеристик селевых потоков и их бассейнов (площади водосборов, средневзвешенные уклоны местности, отметки высоких точек бассейнов, средние уклоны селевых русел, их длины, высотные отметки замыкающих створов) для трех селеопасных районов Украинских Карпат (бассейны Днестра, Прута и Сирета, Тисы). Установлены взаимосвязи между исследуемыми характеристиками. Построено карту пространственного распространения селевых явлений в Украинских Карпатах.*

**Ключевые слова:** Украинские Карпаты, сель, селевой поток, селевой бассейн, характеристики селей, особенности территориального распространения селей.

**The main characteristics of the mudflow basins of the Ukrainian Carpathians: statistical analysis and peculiarities of their territorial distribution**

**Surai K., Lukyanets O.**

*The area of Ukrainian Carpathians is one of the largest mudflow dangerous regions of Ukraine. The article presents a statistical analysis of the main characteristics of mudflows and their basins (catchment areas, weighted average slopes of the area, marks of the highest points of the basins, average slopes of the mudflow channels, their length, elevation marks of the locking sections) for three mudflow dangerous areas of the Ukrainian Carpathians (the basins of Dniester, Prut and Siret, Tisa). In general, there were used data-out of 421 units of mudflow basins on the area of Ukrainian Carpathians. For the northwestern Carpathian Mudflow Dangerous Area (Dniester basin) statistical totality is 85 attributes for each of the mudflow characteristics, for the southeastern (Prut and Siret basins) is 143 and for the southwest (Tisa basin) is 193.*

*There were found the correlations between the studied characteristics. The correlation is good and satisfactory for two pairs of characteristics - the length and the catchment areas (correlation ratios  $r = 0.96$  for the Dniester basin,  $r = 0.97$  for the Prut and Siret basins and  $r = 0.78$  for the Tisa basin), the length and the average slope of the mudflow (correlation ratios  $r = 0.64$  for the Dniester basin,  $r = 0.78$  for the Prut and Siret basins and  $r = 0.71$  for the Tisa basin). The correlation between the first pair of characteristics is direct, and between the second one is inverse.*

*There was built the map of the territorial distribution of the mudflows phenomena on the area of the Ukrainian Carpathians. The map became a base for the allocation of zones with their densest locations.*

**Keywords:** Ukrainian Carpathians, mudflow, mudflow basin, characteristics of mudflows, peculiarities of territorial distribution of mudflows.

**Надійшла до редколегії 21.04.2017**

УДК 556.55

**Кулібабін О.Г., Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О.**

*Одеський державний екологічний університет*

### **ЕКОЛОГО–ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ПРИДУНАЙСЬКИХ ОЗЕР (НА ПРИКЛАДІ ОЗЕРА КАТЛАБУХ)**

*Ключові слова: водообмін, мінералізація, водний та сольовий баланси, модель водно–сольового режиму.*

**Вступ.** Група заплавлених озер, розташованих в нижній течії річки Дунай, таких як: Кагул, Картал, Ялпуг з Кугурлуєм, Сафьян, Катлабух і Китай, до 1950–60-х років минулого століття була зв'язана з Дунаєм природними протоками, які з'єднували озера з річкою, шляхом вільного надходження і спрацювання води в залежності від рівнів води в Дунаї. Режим рівнів води у водоймах відповідав їхній динаміці в р. Дунай [1,2].

У 50-х роках минулого століття шляхом будівництва захисних дамб і регулюючих споруд – шлюзів Придунайські озера перетворилися у водосховища з дотриманням необхідного режиму спрацювання і наповнення їх протягом року. Утворення таких водосховищ із значною площею дзеркала призвело до зміни екологічного стану цих водойм перш за все погіршилася якість води за рахунок зменшення можливостей регулювання водообміну. Протягом 60–90-х років минулого століття була проведена низка водогосподарських заходів для регулювання водообміну у Придунайських водоймах. Перш за все, були побудовані зрошувальні системи, які збирали з водойм значні об'єми води і тим самим давали можливість звільнити достатній об'єм в водоймі для заповнення її в період повені на Дунаї. Такими заходами вдавалося підтримувати більш – менш задовільний стан якості води відносно сольового складу завдяки заборам води на зрошування.

В 90-х роках через скорочення масштабів зрошення земель забори води з озер значно зменшились, а існуючі підкачки в озера з р. Дунай взагалі припинились. Це призвело до погіршення якості води. Так наприклад, мінералізація в оз. Катлабух в останні роки сягала 2,0–2,5 г/дм<sup>3</sup>, що значно перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

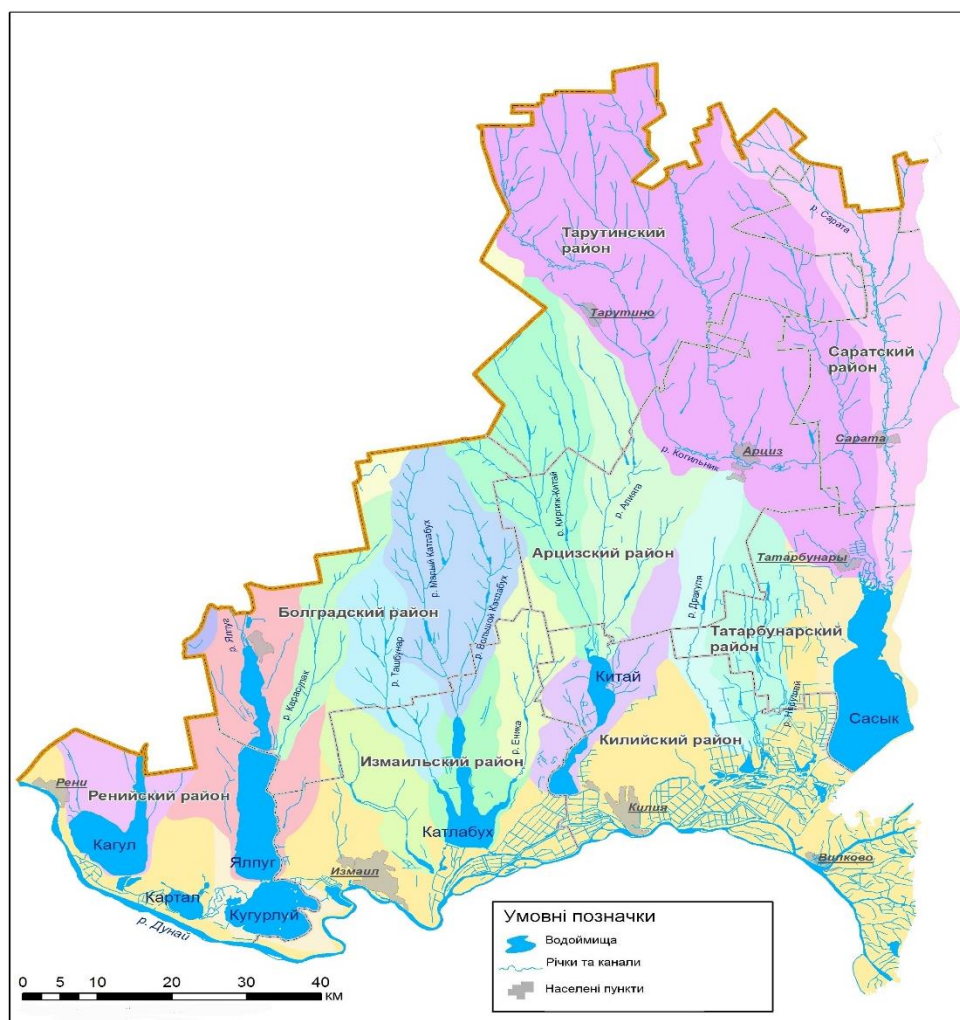
У зв'язку з цим актуальним при вирішенні цілої низки проблем, пов'язаних з відновленням раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер, у тому числі й оз. Катлабух, є аналіз складових водного і сольового балансів, подальша розробка моделі водно–сольового режимів за сучасних умов. Ще однією важливою задачею постає розробка рекомендацій, спрямованих на відновлення оптимальних умов функціонування водойми, враховуючи можливі економічні та технічні заходи.

**Мета роботи** полягає у встановленні основних еколого–економічних проблем функціонування та раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі оз. Катлабух), шляхів їх можливого вирішення щодо поліпшення якості води при використанні методів водного та сольового балансів.

**Методи дослідження та вихідні матеріали.** Озеро Катлабух, розташоване в Одеській області, відноситься до системи Придунайських озер і являє собою регульовану водойму [2]. Територія басейну озера відноситься до степової та південної частини лісостепової географічних зон. Клімат характеризується сукупністю помірно континентального із середземноморським з недостатнім зволоженням, короткою м'якою зимою і тривалим жарким літом.

Водосховище з'єднано з р. Дунай каналом Желявський та через каскад – канал «Суспільний» – водосховище Саф'ян – оз. Лунг. Озеро Катлабух відділене від плавнів та комплексу Лунг-Саф'ян захисною дамбою, яка відкривається у літній період для підтримки рівнів води за рахунок рівнів водосховища. Невеликі степові річки В.Катлабух, Ташбунар та Єніка, які впадають у оз. Катлабух і живлять його прісною водою, маловодні і пересихають в межінь. У зв'язку із скороченням існуючої раніше системи гідрометричних спостережень дані регулярних стокових вимірювань на річках практично відсутні. Карта-схема Придунайських озер та басейнів річок, що їх живлять представлена на рис.1.

У зв'язку із зміною режиму функціонування і погіршенням якості води в оз. Катлабух з метою раціонального використання водних ресурсів озера в роботі використаний метод водного і сольового балансів [3,4].



**Рис.1. Карта-схема Придунайських озер та басейнів річок, що їх живлять**

**Результати дослідження.** У перший період функціонування оз. Катлабух, як регульованого водоймища, якість води в них підтримувалася на задовільному рівні.

Водооновлення відбувалося в достатній мірі за рахунок забору значних об'ємів води на зрошення та підтримки рівнів за допомогою підкачки маломінералізованих дунайських вод. В останні роки, в зв'язку з економічною кризою у країні, забори води на зрошення значно зменшились, а підкачка у Придунайські озера води з р. Дунай відбувається лише у найнеобхідніших випадках. Не дивно, що за нових умов функціонування, мінералізація води збільшилась, і на цей час не задовольняє вимогам щодо якості питної та зрошувальної води. В оз. Катлабух, на цей час, мінералізація води досягає  $2,0\text{г/дм}^3$  і більше, що у 2 рази перевищує встановлений норматив для питної та зрошувальної води. Саме тому постало питання розглянути водно-сольовий режим оз. Катлабух та можливі шляхи поліпшення якості води в ньому.

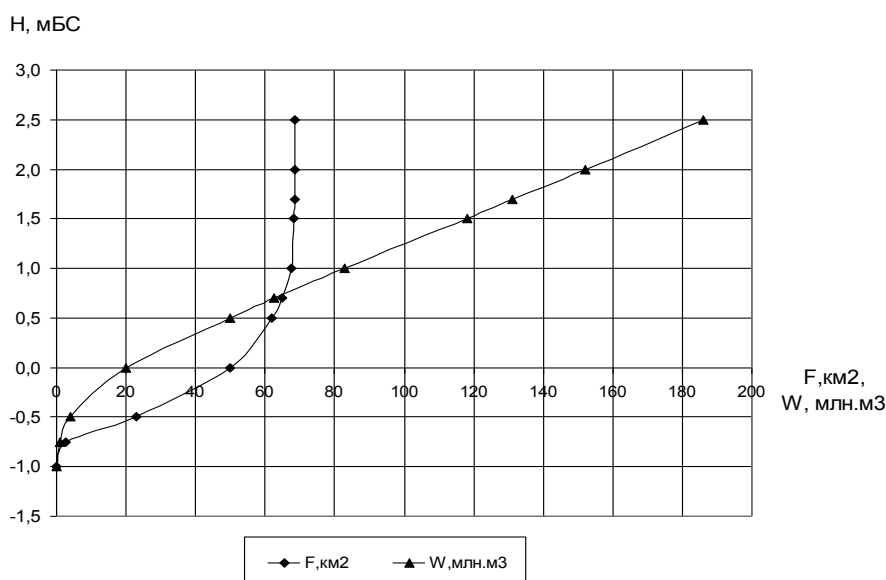
Важливими параметрами водойм, у тому числі й озер, є їхні морфометричні характеристики. Від них багато в чому залежить гідрологічний і гідрохімічний режими, прогрівання і охолодження, гідробіологічний стан. Окрім того, без наявності даних про морфометрію водойм неможливо виконувати будь-яке моделювання тих чи інших показників функціонування водойм.

Основні параметри водосховища: довжина 21 км, максимальна ширина – 6,0 км, середня – 3,3 км, максимальна глибина – 2,7 м, середня – 1,92 м, площа дзеркала водної поверхні при НПР –  $68,5\text{ км}^2$ , повний об'єм –  $131\text{ млн.м}^3$ , корисний –  $68,5\text{ млн.м}^3$ , довжина берегової лінії водосховища – 75,4 км. Відмітки рівнів: НПР= $1,70\text{ мБС}$ , РМО= $0,70\text{ мБС}$ , ФПР= $3,00\text{ мБС}$  [1,2].

Залежності площі водного дзеркала та об'єму води у водосховищі представлені в табл.1 та на рис.2.

**Таблиця 1. Координати залежностей площі водного дзеркала і об'єму води від рівнів води в оз. Катлабух**

Н, мБС	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	1,7	2,5
F, км <sup>2</sup>	0,0	23,0	50,0	62,0	67,5	68,2	68,5	68,7
W, млн.м <sup>3</sup>	0,0	4,0	20,0	50,0	83,0	118,0	131,0	186,0



**Рис.2. Залежності об'єму води водосховища і площі водної поверхні від рівня води в озері**

*Склад і коротка характеристика гідротехнічний споруд.* Наповнення оз. Катлабух самопливом проводиться головним чином з р.Дунай через канал

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

Желявський, через канал Суспільний і оз. Сафьян, а також стоком річок В.Катлабух, Ташбунар і Єніка. Можлива також примусова підкачка через ГНС Суворівської ЗС. Всі живлячі протоки обладнані шлюзами-регуляторами, які призначені для заповнення і спорожнення озера (скидання надмірних об'ємів води, промивок водосховища та ін.). Канал Желявський замулений на всьому протязі.

*Аналіз екологічної проблем та існуючої ситуації на водоймі Катлабух.* Одним з основних наукових підходів при дослідженні гідрологічного режиму водосховищ, озер і ставків є метод водного балансу [3]. Як відомо, рівняння водного балансу включає приходну та витратну частини. Складові водного балансу у його приходній  $(\sum V_i)_{np}$  та витратній  $(\sum V_i)_{вумп}$  частинах (млн.м<sup>3</sup>) для оз. Катлабух можна представити рівнянням (1):

$$\begin{aligned} (\sum V_i)_{np} - (\sum V_i)_{вумп} = & V_{Pi} + V_{ri} + V_{bi} + V_{gi} + V_{dri} + V_{Di} - \\ & - V_{Ei} - V_{tri} - V_{fi} - V_{zi} - V_{Di}' - V_{ozi}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $V_{Pi}$  – атмосферні опади;  $V_{ri}$  – річковий стік;  $V_{bi}$  – бічний приплив;  $V_{gi}$  – приплив ґрунтових вод;  $V_{dri}$  – надходження дренажних і комунально-побутових вод;  $V_{Di}$  – стік р. Дунай;  $V_{Ei}$  – об'єм випаровування;  $V_{tri}$  – об'єм транспірації водною рослинністю;  $V_{fi}$  – об'єм фільтрації у береги;  $V_{zi}$  – сумарний забір води з озера;  $V_{Di}'$  - скиди води у р. Дунай;  $V_{ozi}$  – підтримка рівнів системи озер Лунг–Саф'ян;  $i$  – розрахунковий місяць.

Приходну частину водних балансів за 1999–2014 рр. у найбільшій мірі визначають опади на водну поверхню озера (від 21 і до 58%) і надходження води з р. Дунай (від 30 до 75%). Значний відсоток складає і поверхневий стік (річковий від 1 і до 39%, бічний приплив – від 1 і до 9%). Надходження ґрунтових і дренажних вод є незначним (менше 6%) [4, 5].

У витратній частині більшості водних балансів 1999-2014 рр. є випаровування разом з транспірацією водною рослинністю (від 41 і до 74%), менше скиди води до р. Дунай (від 9 до 36 %), за виключенням 2002, 2007, 2008, 2011 рр., коли зовсім не було скидів до р. Дунай, забори води на зрошування, риборозведення, комунально-побутові потреби та ін. склали від 3 до 24%, об'єми води на фільтрацію до 8,9 %.

Спираючись на рівняння водного балансу (1), можна записати рівняння сольового балансу у вигляді:

$$\begin{aligned} W_1 S_1 + V_P S_P + V_r S_r + V_b S_b + V_g S_g + V_{dr} S_{dr} + V_D S_D = \\ = W_2 S_2 + V_f S_f + V_z S_z + V_{D'} S_{D'} + V_{oz} S_{oz}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $S_1$  і  $S_2$  – середні по озеру мінералізація на початку та в кінці розрахункових місяців;  $W_1$  і  $W_2$  – об'єми води в озері на початку та у кінці розрахункових місяців;  $S_P, S_r, S_b, S_g, S_{dr}, S_D, S_f, S_z, S_{D'}, S_{oz}$  – мінералізація складових водного балансу.

Результати розрахунків за формулою (2) показали, що приходну частину сольових балансів оз. Катлабух у 1999 – 2014 рр. складає надходження солей з поверхневим стоком річок В.Катлабух, Ташбунар і Єніка (від 10 до 65%), надходження солей разом з дунайською водою складає від 10 до 62%, з опадами – 5,5–24%. Приплив солей разом з іншими складовими незначний і складає не більш за 10% (за винятком 2011 р.) [5].



Витратна частина у найбільшій мірі обумовлена скидами води (разом із солями) у р. Дунай (за виключенням 2002, 2007, 2008, 2011 рр., коли не було скидів), величини яких змінюються від 9 % до 70 %. Дещо менше солі виводяться з водою на зрошування (більше 15 %) та підтримку рівнів води в системі озер Лунг-Саф'ян (4-41%). Витрата солей з фільтрацією становить від 12 до 42 %.

За розрахунками, мінералізація води в оз. Катлабух в період 1999-2014 рр. змінювалась від 1,56 до 3,42 г/дм<sup>3</sup> в залежності від водності і пори року. Розраховані її величини задовільно узгоджується з результатами прямих вимірювань мінералізації води у водоймі (коефіцієнт кореляції  $r=0,74$ ).

За умови заборів води на зрошування та компенсуючи підкачок води з р. Дунай ураховувалось, що з водойми, при існуючих умовах функціонування і рівні водокористування, забирають воду на зрошування та інші потреби, у тому числі й для підтримки рівнів води в системі Лунг–Саф'ян, в об'ємах 10,0; 20,0; 30,0; 60 млн.м<sup>3</sup> та підкачують такі ж самі об'єми води з р. Дунай у водоймі. Об'єми забору і підкачки води розподілені порівну на три літні місяці (червень, липень і серпень). При заборах і підкачках води об'ємом 10,0 млн.м<sup>3</sup> мінералізація води зменшується і коливається біля 2,0 г/дм<sup>3</sup>, за умови забору і підкачки в об'ємі 20,0 млн.м<sup>3</sup> – біля 1,75 г/дм<sup>3</sup>, за умови забору 60 млн.м<sup>3</sup> – коливається біля 1,0 г/дм<sup>3</sup>, що пов'язано з тим, що мінералізація води р. Дунай значно менша за мінералізацію води в озері.

*Основні пропозиції поліпшення умов використання водойми Катлабух і необхідні наукові дослідження щодо їх реалізації.* Екологічні зміни на території оз. Катлабух вказують на ознаки деградації екосистеми. Щорічне надходження солей, які приносяться річковим стоком і ґрунтовими водами, складає від 2 до 3 тис. тон. Середня мінералізація в озері по проектних розрахунках за умов глибокого водообміну повинна була коливатися від 1 до 1,47 г/дм<sup>3</sup>. Порушення процесів водообміну озера за даними моніторингу привели до накопичення солей і погіршення якості води: у північній частині до 3г/дм<sup>3</sup>, в центральній – до 1,6 г/дм<sup>3</sup>, в південній – до 0,90 г/дм<sup>3</sup>.

Для поліпшення якості води в озері необхідно збільшити об'єми наповнення Дунайською водою. При виборі технічного рішення по поверненню озеру близької до природного зв'язку з р. Дунай, враховувалася також і позитивна роль одамбування, яке захищає екосистему від можливих забруднень, що поступають з верхів'їв Дунаю.

Водно–сольові розрахунки оз. Катлабух показали, що для підтримки середньої мінералізації від 1–1,6 г/дм<sup>3</sup> необхідно пропустити в піковий період першої фази водопілля (квітень місяць) по каналах в умовах року 75 % - забезпеченості і мінімального водозабору до 80 м<sup>3</sup>/с або 71 млн. м<sup>3</sup>.

Однак, водно–сольові розрахунки виконувались без урахування багатьох факторів, які впливають на зміну мінералізації.

Для детальної проробки всіх факторів, що впливають на екологічні зміни, потрібні детальні наукові дослідження з аналізом водного і сольового балансів і з розробкою моделі водно – сольових режимів за сучасних умов. Тільки після виконання низки цих заходів можливо дати обґрунтування технічних рішень по поліпшенню екологічного стану на водоймі Катлабух.

#### **Висновки.**

1. Попередній розрахунок водно – сольового режиму оз. Катлабух показує, що не дивлячись на можливість управління рівнями води в ньому, ситуація багато в чому визначається рівневим режимом р. Дунай (Кислицький рукав).

2. Попередні розрахунки водно – сольового балансу водойми проводились без урахування складових дійсного водного балансу озера, тобто без припливу із існуючих річок з визначенням розрахункової забезпеченості, бічного припливу,

припливу ґрунтових і дренажних вод. Всі ці складові певно впливають на величини об'ємів поповнення водойми з р. Дунай.

3. Для обґрунтування додаткового об'єму наповнення оз. Катлабух дунайською водою необхідна розробка моделі водно-сольових режимів за сучасних умов і на перспективу. А для цього необхідно зібрати певну інформацію за останні 30-40 років по рівневому режиму р. Дунай і оз. Катлабух і визначити забезпеченість режиму рівнів і об'ємів в водоймі відповідно з нормативними документами.

4. Основний наповнювач оз. Катлабух з р. Дунай – це канал Желявський. На теперішній час він замулений. Його пропускна здатність не перевищує 30 м<sup>3</sup>/с. Для наповнення водоймища Дунайською водою необхідно 32–35 діб. Така тривалість наповнення створить проблеми самопливного його наповнення водами весняного паводку на р. Дунай. При існуючих спостереженнях за проходженням весняного паводку по Дунаю, наповнення можливо провести лише за 10–12 діб. А це потребує витрат в підвідному каналі порядку 65–80 м<sup>3</sup>/с. Щоб забезпечити подібні витрати води по каналу Желявський, необхідна його капітальна реконструкція. Крім того, слід провести днопоглиблювальні роботи в самому озері і на барі, що утворився. Існуюча екологічна і економічна ситуація на каналі Желявський не дає можливості виконати ці роботи (велика вартість днопоглиблювальних робіт та неможливість розмістити вийнятий ґрунт).

5. Слід відзначити, що озеро Катлабух витягнуте з півдня на північ на довжину 21 км. За даними наявних гідрохімічних зйомок, в північній частині водоймища мінералізація вища за середню в 1,72 рази, в центральній – в 1,13 рази, а в південній – на 0,64 рази нижче. Таким чином, на кінець року при середній по водоймищу мінералізації 1470 мг/дм<sup>3</sup> в північній частині, де мають місце водозабори на зрошення, вона буде рівною 2528 мг/дм<sup>3</sup>, в центральній – 661 мг/дм<sup>3</sup>, а в південній – 941 мг/дм<sup>3</sup>.

6. При існуючій економічній ситуації треба детальніше вивчити вищезазначені умови, провести певні наукові дослідження і визначити обґрунтовані технічні рішення для раціонального використання водних ресурсів озера Катлабух.

#### **Список літератури**

1. Правила експлуатації озера Катлабух: Південний науковий центр академії АН України, Регіональний науковий центр з водних проблем «Фобіус», 2000 р. 2. *Озеро Катлабух*: [Правила експлуатації водохранилища/ Укрюжгіпроводхоз]. – Одеса, 2000. – 74 с. 3. *Гушля А.В.* Водно-балансові дослідження / А.В. Гушля, В.С. Мезенцев. – К.: Вища школа. Головне изд-во, 1982. – 229 с. 4. *Гопченко Є.Д.* Визначення складових водних балансів озера Катлабух / Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакірзанова, Ю.С. Медведєва, М.М. Бурукова // Вісник ОДЕКУ. - 2016. – Вип. 20. – С.52-61. 5. *Кулібабін О.Г.* Еколого – економічні проблеми раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух) / О.Г. Кулібабін, Ж.Р. Шакірзанова, Є.О. Романова // Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду з міжнародною участю / Одеса: ОДЕКУ, 2017. – С.144-145.

**Еколого-економічні проблеми раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух)**

**Кулібабін О.Г., Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О.**

*У статті наведена існуюча ситуація функціонування Придунайських водосховищ на прикладі озера Катлабух, пропозиції щодо поліпшення умов раціонального використання водних ресурсів водойми, проведені необхідні наукові дослідження, які потрібні для обґрунтування заходів поліпшення екологічної ситуації і можливості використання водних ресурсів Катлабуха.*

**Ключові слова:** водообмін, мінералізація, водний та сольовий баланси, модель водно-сольового режиму.

**Эколого-экономические проблемы рационального использования природных ресурсов Придунайских озер (на примере озера Катлабух)**

**Кулибабин А.Г., Шакирзанова Ж.Р., Романова Е.А.**

*В статье приведена существующая ситуация функционирования Придунайских водохранилищ на примере озера Катлабух, предложения по улучшению условий рационального использования водных ресурсов водоема, проведены необходимые научные исследования, необходимые для обоснования мероприятий улучшения экологической ситуации и возможности использования водных ресурсов Катлабуха.*

**Ключевые слова:** водообмен, минерализация, водный и солевой балансы, модель водно-солевого режима.

**Ecological-economic problems of natural resource Danube lakes (for example Lake Katlabuh)**  
**Kulibabin A., Shakirzanova ZH., Romanova E.**

*Introduction. Katlabuh Lake is one of the largest Danube floodplain lakes located in the Odessa region. The main source of water exchange of the lake is Danube river. Due to the change in operating conditions and the deterioration of water quality in the lake Katlabuh topical research Hydroecological state of the lake by analyzing its water-salt balance.*

*Purpose is to establish basic ecological - economic problems in the operation and management of natural resources Danube lakes (for example Lake Katlabuh), ways of possible solutions to improve water quality by using methods of water and salt balance.*

*Methods. In connection with the change of mode of operation and the deterioration of water quality in the lake Katlabuh for the rational use of water resources in the Lake adopted method of water and salt balance.*

*Results. In the lake Katlabuh, this time, water mineralization up to 2.0 g /dm<sup>3</sup> and more that 2 times exceeds the norm for drinking and irrigation water. Water-Salt calculation of Lake Katlabuh showed that for support of medium mineralization 1.0 - 1.6 g/dm<sup>3</sup> must pass through the channel in the peak period in the first phase of the flood (April month) to 80 m<sup>3</sup> /s or 71 million m<sup>3</sup> ( in conditions, 75% - probability year and the minimum intake).*

*Conclusion. For substantiation of additional volume filling lakes Katlabuh of Danube water is necessary to develop model of water - salt regimes under current conditions and the future. An important task is to develop recommendations aimed at restoring optimal operating conditions of the reservoir, including the possible economic and technical measures.*

**Keywords:** water exchange, mineralization, water and salt balance, model of water-salt regime.

**Надійшла до редколегії 23.02.2017**

УДК 551.571.7

**Савенець М.В.**

*Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ*

## **КОРОТКОСТРОКОВА МІНЛИВІСТЬ ВИСОТНОГО РОЗПОДІЛУ ПОКАЗНИКІВ ВОЛОГОСТІ АТМОСФЕРИ НАД ТЕРИТОРІЮ УКРАЇНИ ТА СУМІЖНИМИ ТЕРИТОРІЯМИ**

*Ключові слова: відносна вологість, співвідношення суміші, ізобаричний рівень, сезонний хід.*

**Вступ.** Вміст вологи в атмосферному повітрі відіграє значну роль в різноманітних метеорологічних процесах різних просторових та часових масштабів: від хмароутворення до глобального парникового ефекту. Дослідити весь цей вплив можливо лише із залученням інформації на висотах як відносних, так і абсолютних показників вологості. В даній роботі використано дані відносної вологості (%) та співвідношення суміші (г/кг). Особливості розподілу вологи в атмосфері необхідно розглядати саме з урахуванням обох показників, оскільки відносна вологість дає інформацію лише про те, наскільки повітря близьке до стану насичення, проте, не дає чіткого уявлення про кількість водяної пари в атмосфері. В той же час показник співвідношення суміші є абсолютним показником, який дозволяє оцінити кількість водяної пари у повітрі.

Найбільш повно дослідження висотного розподілу показників вологості були виконані у 1970-х – початку 1980-х рр. [1, 2, 12, 13]. Режим вологості було вивчено у тропосфері, шляхом аналізу як відносної вологості, так і вологовмісту та вологопереносу. На жаль, ці дослідження були останніми детальними узагальненнями показників вологості для території України, незважаючи на велику кількість праць, присвячених їх приземному розподілу [3, 4, 9, 10, 11, 14, 16]. Серед останніх робіт найбільш детально висотний розподіл показників вологості проаналізовано у [5]. За даними радіозондування представлено динаміку вологовмісту тропосфери Причорноморського регіону в теплий період року за останні 40 років. Авторами виявлено розподіл найбільших середніх значень вологовмісту в центральній частині регіону, пов'язаний із західним напрямком вологопереносу. Вертикальний розподіл вогності було досліджено у роботах [6-8], проте вони стосувалися хмарного покриву та виконані на основі даних літакового зондування. У [15] досліджено особливості розподілу вологи на основі даних аерологічного зондування атмосфери під час проходження снігопадів над територією України.

Відсутність узагальнень середніх багаторічних значень та сезонної динаміки показників вологості на висотах протягом останніх 30 років є суттєвою проблемою на шляху до розуміння гідротермодинамічних процесів в над територією України в сучасних умовах клімату.

**Вихідні дані та методика досліджень.** Вихідними даними стали ряди відносної вологості та співвідношення суміші за період з 1979 по 2010 рр., представлені в базах даних університету Вайомінг [20], де зібрано результати аерологічного зондування атмосфери. Інформація у [20] представлена і за більш ранній період, проте вибірка формувалася із можливістю залучення даних

радіозондування сумісно із супутниковими вимірами, зокрема приладу TOMS, запуск якого відбувся в кінці 1978 р. [19]. Після 2010 р. радіозондування проводилося несистематично, більш того було зменшено кількість строків спостережень до виключно нічних чи виключно денних. Все це унеможлиблює проведення якісної оцінки вибірок після 2010 року. Всього задіяно дані 13 аерологічних станцій [18]: Київ, Ужгород, Чернівці, Харків, Одеса, Сімферополь (Україна), Гомель (Білорусь), Курськ, Воронеж, Ростов-на-Дону, Туапсе (Росія), Бухарест (Румунія) та Легіоново (Польща). Станції на суміжних територіях були взяті з метою уникнення небажаних крайових ефектів та для повного охоплення території України. Ряди вологості у [20] присутні на усіх стандартних ізобаричних рівнях, починаючи з 1000 гПа. Проте, у зв'язку з тим, що датчики вологості при низьких температурах перестають працювати правильно [17], рівень 400 гПа ( $\approx 7$  км) є останнім рівнем, для якого дані вологості є коректними.

Розрахунок сезонних коливань та середніх багаторічних значень виконувався за допомогою гармонічного аналізу. Статистична значущість гармонік перевірялася критерієм Стьюдента на 95% рівні забезпеченості. В результаті аналізу було отримано центральну частоту та напівширину спектру коливань; амплітуди коливань відносної вологості та співвідношення суміші; фази коливань, переведені із кутових одиниць у юліанські дні, що відповідають датам настання максимумів; коефіцієнти детермінації ( $R^2$ ) сезонного ходу; та осереднені значення відносної вологості та співвідношення суміші на всіх відібраних рівнях.

**Результати.** Для характеристик вологості значущими на всіх станціях є перша та друга гармоніки, а на окремих станціях третя – п'ята гармоніки сезонного ходу, що свідчить про значну роль місцевих факторів формування вологовмісту (в основному, випаровування), поряд із більш масштабними: перенесенням вологи з морів та Атлантичного океану. Для відносної вологості кількість значущих гармонік менша ніж для співвідношення суміші.

Чіткість виділення сезонних коливань залежать від висоти. Найбільш чіткі сезонні коливання, як для відносної вологості, так і для співвідношення суміші, характерні для ізобаричних рівнів 1000 – 850 гПа ( $\approx 0.1$ – $1.5$  км) – найближчих до поверхні землі рівнях. Для відносної вологості форма вертикальних профілів коефіцієнту детермінації сезонного ходу практично незмінна з ізобаричного рівня 700 гПа ( $\approx 3$  км) та не перевищує значення  $R^2=0.1$ . Коефіцієнти детермінації для співвідношення суміші характеризуються наявністю вторинних максимумів – близько ізобаричних рівнів 500 – 400 гПа ( $\approx 5.5$ – $7$  км), але значення не досягають  $R^2=0.5$ .

В граничному шарі атмосфери сезонні коливання відносної вологості найбільш чітко простежуються на північному-сході території України. При наближенні території до моря коефіцієнти детермінації сезонного ходу відносної вологості зменшуються до значень  $R^2=0.2$ – $0.3$ . Причиною такого зменшення є більш сталі умови стану насичення повітря. Для більшої ж частини України показники лежать в межах  $R^2=0.3$ ... $0.4$  та зменшуються у напрямку на південний захід. Коефіцієнти детермінації сезонного ходу співвідношення суміші в граничному шарі мають найвищі значення біля морів, досягаючи  $R^2=0.7$ , оскільки надходження вологи з водних поверхонь характеризується чіткою сезонністю. Для західних регіонів, де показники дещо менші, коефіцієнти детермінації змінюються в межах  $R^2=0.6$ ... $0.65$ .

Енергетичні особливості спектру коливань можна отримати при аналізі центральної частоти та напівширини спектру. Для відносної вологості характерно значні відмінності центральної частоти спектру по всьому вертикальному профілю. Найменші різниці між різними станціями спостерігаються на ізобаричних рівнях 700–500 гПа, де значення лежать в межах  $1.6$ – $4.2$  доба $^{-1}$  на рівні 700 гПа та  $0.2$ – $2.1$

доба<sup>-1</sup> на рівні 500 гПа. Це свідчить про суттєві відмінності у розподілі енергії по частотам між різними регіонами України. На усіх інших рівнях відмінності у розподілі центральної частоти спектру відносної вологості ще більші. Максимальні значення на усіх рівнях спостерігаються на півночі. Так, наприклад, на ізобаричному рівні 1000 гПа, центральна частота спектру відносної вологості досягає 5 – 6 доба<sup>-1</sup>, що є результатом більш складних процесів, за яких формується стан насичення атмосфери. Найменші значення простягаються вздовж лінії моря до північного-сходу території України. Зі збільшенням висоти значення 1–2 доба<sup>-1</sup> поширюються ще далі від морів на північний-схід. Півширина спектру коливань відносної вологості досягає найбільших значень на ізобаричному рівні 850 гПа. По території України значення не змінюються у широких межах і дорівнюють в середньому 0.7–1.1 доба<sup>-1</sup>. Проте на південь від України спостерігається різке зменшення показників до 0.1–0.4 доба<sup>-1</sup>. У середній тропосфері півширина спектру змінюється в межах 0.4–0.7 доба<sup>-1</sup>.

На відміну від відносної вологості, значення центральної частоти спектру та півширини спектру коливань співвідношення суміші розподілені дуже однорідно як по висоті, так і по території, що говорить про зосередженість енергії на окремих частотах спектру коливань. Значення центральної частоти спектру коливаються лише в межах 3.4–3.7 доба<sup>-1</sup>, а півширини спектру коливань – 0.1–0.3 доба<sup>-1</sup>.

Вертикальні профілі амплітуд відносної вологості суттєво відрізняються на різних станціях. Загалом, можна виділити окремі групи станцій, що подібні за висотою, де спостерігаються максимальні значення амплітуд. Для станцій Київ, Ужгород, Харків, Чернівці, Гомель, Курськ найсуттєвіші сезонні коливання відносної вологості спостерігаються на ізобаричних рівнях 1000–850 гПа ( $\approx 0.1$ –1.5 км). На цьому ж рівні спостерігається вторинний максимум амплітуди на станції Легіоново. Для усіх вище названих станцій характерна чітка сезонність розподілу балу хмарності [11]. А оскільки основні конденсаційні процеси спостерігаються саме до вказаних висот, амплітуди тут найбільші. Для станцій Сімферополь, Ростов-на-Дону, Воронеж та Туапсе максимальні амплітуди сезонних коливань спостерігаються не нижче ізобаричного рівня 700 гПа ( $\approx 3$  км).

Вертикальні профілі амплітуд співвідношення суміші подібні на всіх станціях. Вони характеризуються максимальними значеннями у граничному шарі з подальшим різким зменшенням показників, які на ізобаричному рівні 500 гПа ( $\approx 5.5$  км) мало відрізняються від нуля.

Основні відмінності у просторовому розподілі амплітуд першої гармоніки спостерігаються на ізобаричному рівні 850 гПа ( $\approx 1.5$  км). Нижче цього рівня максимальні значення амплітуди відносної вологості зменшуються у напрямку із північного сходу на південь. Амплітуди першої гармоніки досягають значень 20% на північному-сході України. Для території Криму характерні найменші значення 8 – 12%.

Амплітуди на рівні 850 гПа зменшуються та порушується чіткий широтний розподіл. Для території України основна частина значень лежить в межах 0.6...1.8%. При переході на більші висоти, знову з'являється широтна залежність, але більші значення спостерігаються на півдні України поблизу морів, зменшуючись у північно-західному напрямку. Якщо на півдні амплітуди перевищують 6%, то на заході не перевищують 3%.

Для співвідношення суміші доцільно розглядати просторовий розподіл амплітуди першої гармоніки виключно в граничному шарі, оскільки значущих сезонних коливань у середній тропосфері не спостерігається. Найбільші амплітуди спостерігаються на півдні України на станціях близьких до узбережжя морів – основного джерела вологи. Для Криму характерними амплітудами першої гармоніки

сезонних коливань на ізобаричному рівні 1000 гПа ( $\approx 0.1$  км) є 3.8 г/кг та вищі. Найменші амплітуди зі значеннями, що не перевищують 3.2 г/кг спостерігаються на заході, північному-заході та північному-сході України.

Вертикальні профілі фази першої гармоніки відносної вологості характеризуються більш раннім настанням максимумів у середній тропосфері в порівнянні з граничним шаром атмосфери. Визначальний вплив на більш раннє настання максимумів в середній тропосфері повинно справляти західне перенесення, що транспортує значну кількість вологи із Атлантики. У середній тропосфері фази першої гармоніки на усіх станціях не перевищують за значенням 70 день року (виняток – Легіоново з фазами 220–240 день). В граничному шарі максимуми відносної вологості наступають на 105–363 дні року, в залежності від місця розташування станції.

Для співвідношення суміші по всьому шару тропосфери фази першої гармоніки лежать в межах 200–220 день року. На ізобаричних рівнях 1000–700 гПа, максимуми настають раніше, у кінці липня. У середній тропосфері найвищі значення співвідношення суміші спостерігаються з початку серпня.

Розрахунок сезонних моделей дозволив отримати середні багаторічні значення та перейти до аналізу їх вертикального та просторового розподілу. Отримані вертикальні профілі відносної вологості повітря (рис. 1) дають змогу оцінити основні закономірності розподілу показника з висотою. В холодний період року відносна вологість повітря вища ніж у теплий період року в приземному шарі. Причиною цього є значна повторюваність циклонічної діяльності у порівнянні з теплим періодом року. У грудні – лютому середні показники відносної вологості більші на 15–30 % в граничному шарі та близько 5–10 % у середній тропосфері на рівнях 500–400 гПа (5 – 7 км).

Проте, у шарі 850–700 гПа (1.5–3 км) влітку повітря характеризується ближчими умовами до стану насичення, оскільки високі середні показники відносної вологості повітря пов'язані зі значною повторюваністю конвективних явищ.

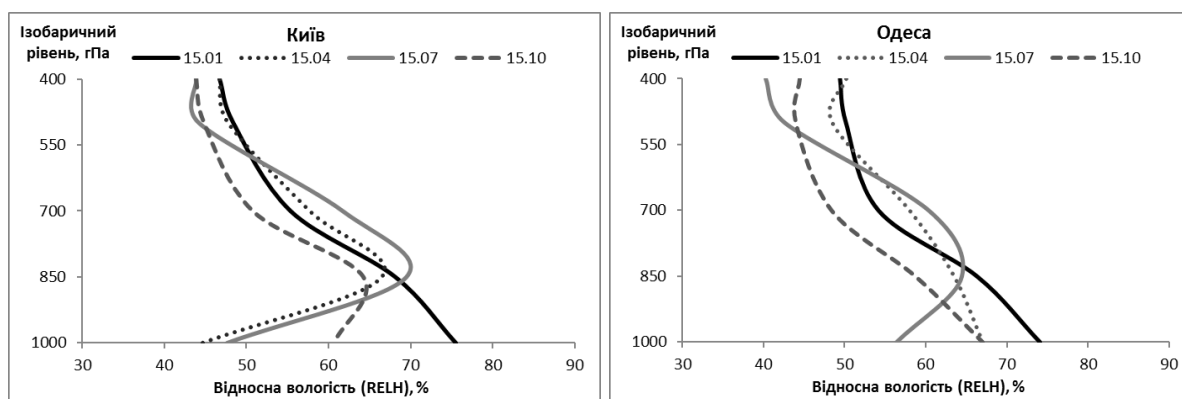


Рис. 1. Типові профілі відносної вологості повітря (%) для різних сезонів року

Загалом типовим є поступове зменшення відносної вологості з висотою, проте, на більшості станціях в період з березня до жовтня спостерігається підвищення відносної вологості у підхмарному шарі, досягаючи максимальних значень на рівні хмароутворення. Так, показники відносної вологості на ізобаричному рівні 850 гПа можуть перевищувати значення на 1000 гПа на 20%. Близькість розташування станції до морів сприяє збільшенню запасів вологи у приземному шарі та зменшення різниці у показниках між 1000 та 850 гПа. Період інверсійного розподілу вологості може охоплювати від 5 місяців (травень – вересень), як в Одесі, до майже 11 місяців (кінець лютого – початок грудня), як на станції Ужгород.

Вертикальні профілі співвідношення суміші характеризуються стрімким зменшенням з висотою, особливо в теплий період року (рис. 2). Вже на ізобаричному рівні 500 гПа середні багаторічні показники не перевищують 2 г/кг, а на рівні 400 гПа вміст водяної пари в атмосфері наближається до мінімальних значень. Кількість водяної пари в атмосфері у теплий період року втричі перевищує показники холодного сезону у зв'язку з інтенсифікацією випаровування та розвитком купчастої хмарності.

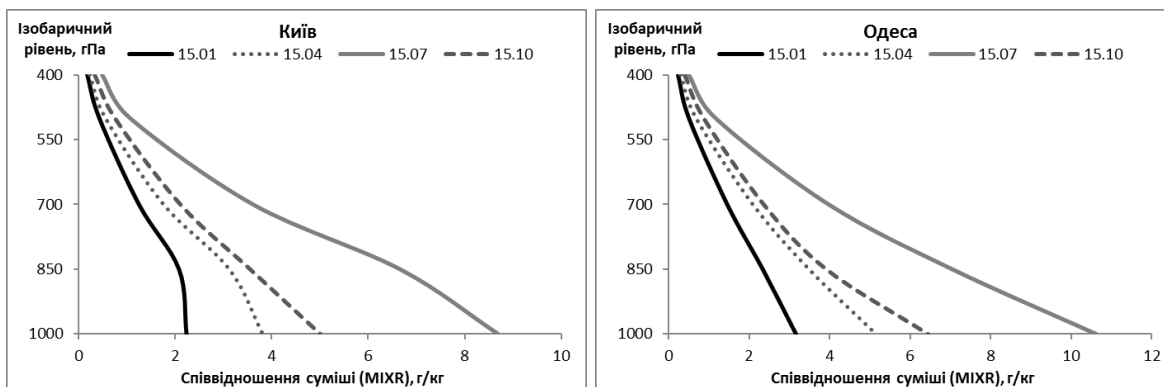


Рис. 2. Типові профілі співвідношення суміші (г/кг) для різних сезонів року

Просторовий розподіл показників вологості на ізобаричному рівні 1000 гПа характеризується типовою залежністю від температурних умов та впливу підстильної поверхні, що особливо чітко проявляється на межі морів та суходолу.

Найменші показники відносної вологості спостерігаються у серпні на північному-сході України, де середні багаторічні показники не перевищують 40% (рис. 3).

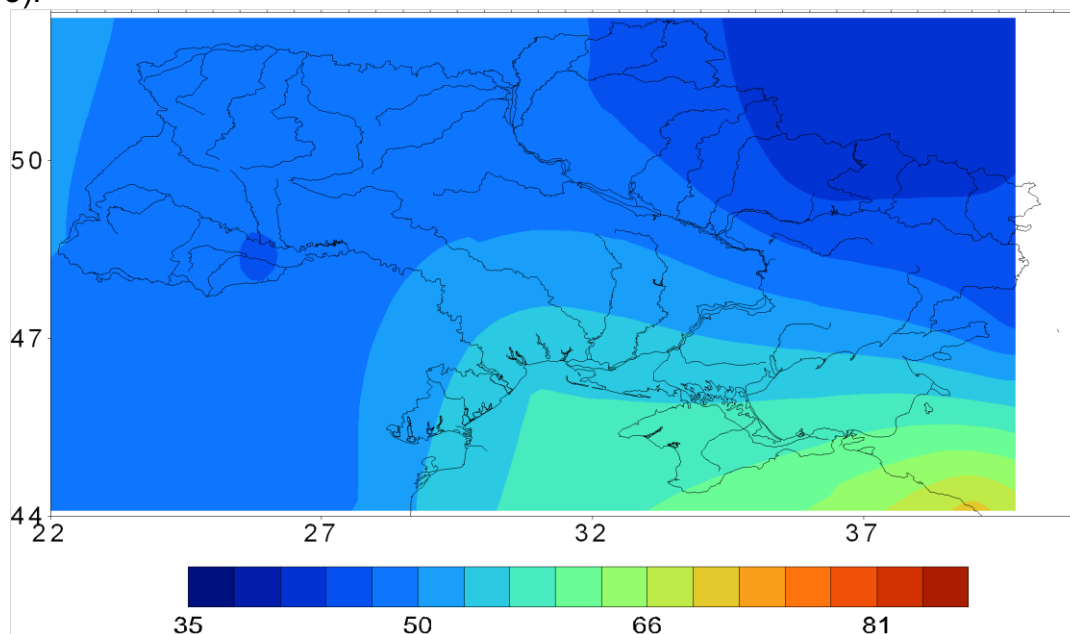
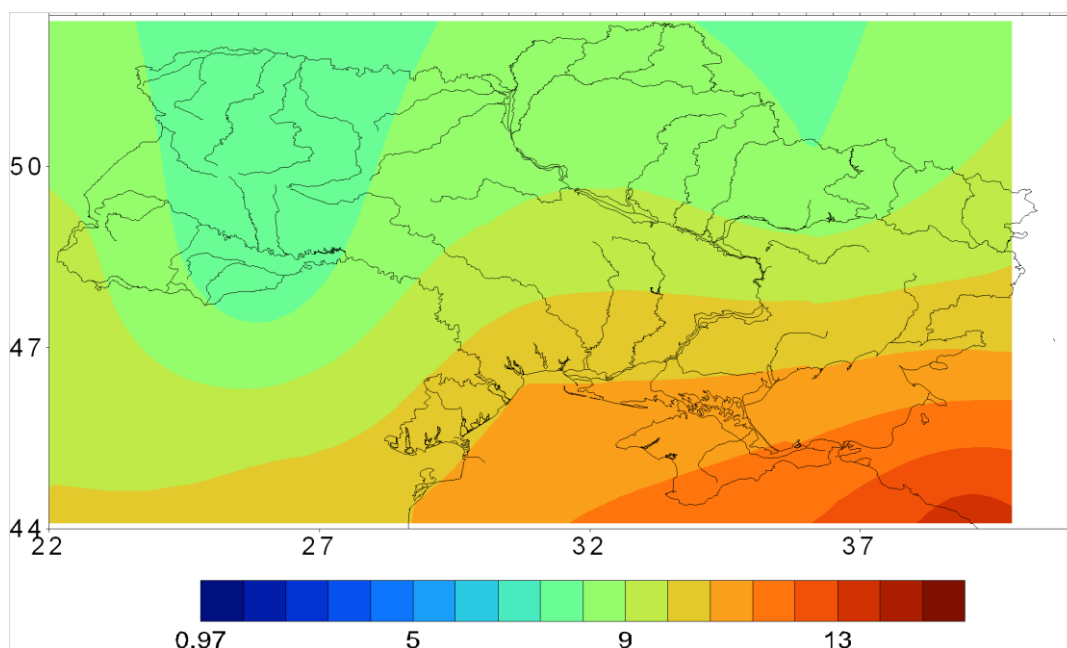


Рис. 3. Просторовий розподіл середніх багаторічних значень відносної вологості повітря (%) на ізобаричному рівні 1000 гПа, 15 липня

Практично над усією територією України показники лежать у межах 50 – 55%. Найбільш насичене повітря влітку над акваторією Чорного моря, де в східній частині середні показники досягають 70%. Вміст вологи в атмосфері в теплий період року найбільший. Так на ізобаричному рівні 1000 гПа показники співвідношення суміші збільшуються у напрямку з північного-заходу на південний-схід (рис. 4). Найвищі



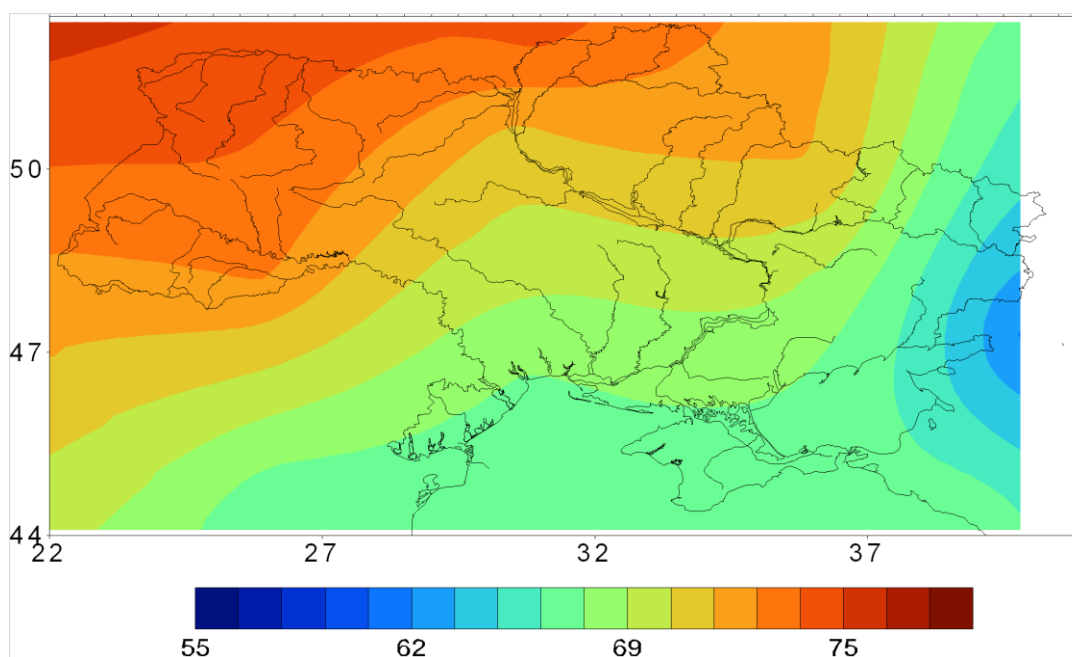
показники в сезонному ході спостерігаються над східною частиною Чорного моря, досягаючи значень 14 г/кг.



**Рис. 4. Просторовий розподіл середніх багаторічних значень співвідношення суміші (г/кг) на ізобаричному рівні 1000 гПа, 15 липня**

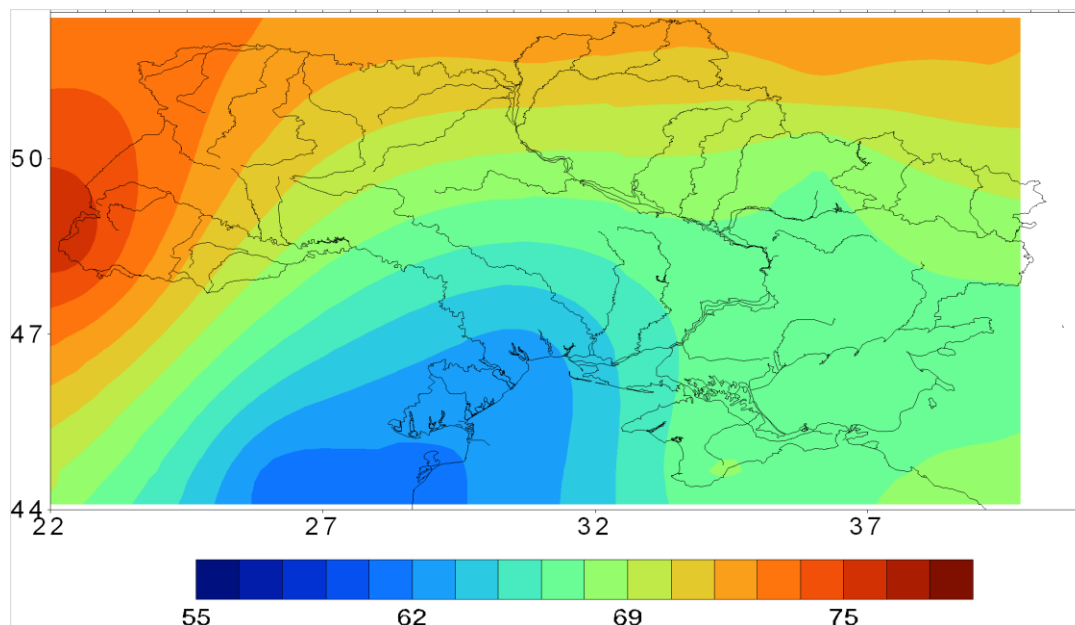
Найвищі значення відносної вологості, пов'язані з частими вторгненнями циклонів на територію України, спостерігаються у грудні і практично на всій території перевищують 80%. Проте, вологовміст в зимовий сезон найменший і не перевищує 4 г/кг.

Сезонний хід відносної вологості у шарі 850 – 700 гПа пов'язаний, в першу чергу, з інтенсивністю хмароутворення. Максимальні значення спостерігаються в липні (рис. 5) та листопаді – грудні (рис. 6).



**Рис. 5. Просторовий розподіл середніх багаторічних значень відносної вологості повітря (%) на ізобаричному рівні 850 гПа на початку липня**

Літні максимуми є результатом значного надходження вологи та утворення конвективної хмарності. Найвищі середні значення, що перевищують 75% спостерігаються над північними та північно-західними районами. Проте, на сході України в цей час вологість не перевищує 60%. Такі різниці пов'язані з дефіцитом вологості у східних регіонах, тоді як на північному-заході запаси вологи набагато більші [11]. Співвідношення суміші має чітку широтну залежність з найбільшими значеннями (7–8 г/кг) над морями.



**Рис. 6. Просторовий розподіл середніх багаторічних значень відносної вологості повітря (%) на ізобаричному рівні 850 гПа на початку грудня**

Максимуми відносної вологості в листопаді – грудні пов'язані з циклонічною діяльністю, де на рівнях до 700 гПа спостерігається інтенсивне утворення шаруватоподібних хмар [11]. Найбільші значення спостерігаються над західними територіями.

На рівнях 500 гПа та нижче сезонний хід показників вологості чітко узгоджується із сезонним ходом температури як в часі, так і в просторі, та має широтну залежність. Мінімальні значення відносної вологості спостерігаються влітку та зменшується у напрямку на південь зі збільшенням температурних показників. По всій території України відносна вологість не перевищує 40%. Вміст вологи в атмосфері влітку, як і температура, найвищі, але показники співвідношення суміші на рівнях 500 гПа і нижче вже незначні – 0.5–0.6 г/кг. Незважаючи на більше надходження вологи в атмосферу з акваторії морів, повітря є менш насиченим ніж над суходолом не тільки через вищі температури, але й через переважання надходження повітря саме зі сторони суходолу. Взимку співвідношення суміші не перевищує 0.2 г/кг, а відносна вологість повітря над усією територією України змінюється в межах 45–55% з максимумами над східними територіями України.

**Висновки.** Формування сезонних коливань показників вологості над територією України відбувається як під впливом випаровування, так і під впливом циркуляції, що переносить вологу від морів та Атлантики, про що свідчать значущість першої гармоніки та більш високочастотних гармонік сезонного ходу, а також розподіл амплітуд і фаз. Найкраще короткострокові коливання проявляються у граничному шарі поблизу морів, де коефіцієнти детермінації досягають  $R^2=0.7$  для співвідношення суміші. Для відносної вологості поблизу морів  $R^2=0.4$ .

Проаналізовано зміни просторового розподілу показників вологості в різні сезони року. Вертикальний розподіл показників вологості значним чином визначається циклонічною діяльністю та процесами інтенсифікації випаровування.

#### Список літератури

1. Брюхань Ф.Ф. Архивы исходных радиозондовых наблюдений и характеристик климата свободной атмосферы и пограничного слоя СССР/ Ф.Ф. Брюхань, И.Г. Гутерман, И.Ш. Карасик. – Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып.91, 1981. – с. 87–95. 2. Гаврилова Л.А. Аэроклиматология (климат свободной атмосферы) / Л.А. Гаврилова. – Л.: Ленинградский ордена Ленина Политехнический институт им. М.А. Калинина, 1982. – 156 с. 3. Гидрометеорологические условия морей Украины: монография. т.1. Азовское море/ Ю.П. Ильин, В.В. Фомин, Н.Н. Дьяков, С.Б. Горбач – Укр. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-т НАН Украины. - Севастополь, 2009. - 401 с. 4. Гидрометеорологические условия морей Украины: т.2: Черное море / Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. – Укр. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-т НАН Украины. - Севастополь, 2012. - 421 с. 5. Данова Т. Сучасні зміни вологовмісту тропосфери в теплий період року в Причорноморському регіоні/ Т. Данова, Т. Касаджик. – Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, 16 (265), 2013. – с. 49–54. 6. Заблоцька Т.М. Вертикальний і горизонтальний розподіл фазового стану в хмарах різних форм/ Т.М. Заблоцька, В.М. Підгурська, Т.М. Шпиталь. – Наукові праці УкрНДГМІ, Вип.260, 2011. – с. 80 – 94. 7. Заблоцька Т.М. Вертикальний розподіл водності у хмарах різних форм/ Т.М. Заблоцька, Т.М. Шпиталь, В.М. Підгурська. – Наукові праці УкрНДГМІ, Вип. 259, 2010. – с.121–131. 8. Заблоцька Т.М. Горизонтальний розподіл водності у хмарах різних форм/ Т.М. Заблоцька, Т.М. Шпиталь. – Наукові праці УкрНДГМІ, Вип. 258, 2009 – с. 106–113. 9. Затула В.І. Особливості просторово-часової структури полів дефіциту насичення та їх зв'язок з Північноатлантичним коливанням в умовах сучасного клімату України/ В.І. Затула, А.В. Сидоренко. – Наукові праці УкрНДГМІ, Вип. 260, 2011. – с. 95–109. 10. Ильин Ю.П. Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря/ Глобальные и региональные изменения климата. – Киев, Ника-Центр, 2011. – с. 247-254. 11. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – Київ, Видавництво Раєвського, 2003. – 344 с. 12. Клімат свободной атмосферы и пограничного слоя над территорией СССР/ Труды Всесоюзного научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. – М.: Гидрометеоиздат, 1979. – 148 с. 13. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР/ под ред. И.Г. Гутермана. – М.: Гидрометеоиздат, 1979. – 27 с. 14. Продан А.В. Просторово-часовий розподіл та динаміка дефіциту насичення в теплий період року на території України/ А.В. Продан. – Фізична географія та геоморфологія, Вип. 59, 2010. – с. 75–79. 15. Ромаш Т.А. Особливості зміни запасу вологи в атмосфері в період сильних снігопадів/ Т.А. Ромаш, В.М. Шпиг. – Часопис картографії, Вип. 7, 2013. – с. 219–235. 16. Сидоренко А.В. Оцінка залежності дефіциту насичення від висоти над рівнем моря та географічного положення/ А.В. Сидоренко. – Фізична географія та геоморфологія, Вип. 63, 2011. – с. 186–190. 17. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation/ WMO-No. 8, Seventh Edition, Chairperson Publications Board WMO, 2008. – 681 p. 18. Savenets M.V. Vertical distribution and seasonal variability of wind over Ukraine and adjacent territories/ M.Savenets, I.Dvoretzka, G.Kruchenitsky – Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Conference of Young Scientists on Energy Issues, Kaunas, Lithuania, May 26 – 27, 2016. – pp. 64–70. 19. Total Ozone Meter Spectrometer (TOMS). Data overview [Electronic resource]. – Mode of access: [https://disc.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS/toms13\\_dataset.gd.html](https://disc.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS/toms13_dataset.gd.html) 20. Upper air soundings/ Wyoming University. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (Дата звернення: 16.03.2015).

**Короткострокова мінливість висотного розподілу показників вологості атмосфери над територією України та суміжними територіями**

**Савенець М.В.**

*В статті подаються результати розрахунку короткотермінової мінливості відносної вологості та співвідношення суміші у нижній та середній тропосфері над територією України та*

**Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)**

суміжними територіями. Проведено аналіз кількісних показників сезонних моделей: центральної частоти та напівширини спектру коливань; амплітуд, фаз, коефіцієнтів детермінації сезонного ходу та середніх багаторічних значень показників вологості.

**Ключові слова:** відносна вологість, співвідношення суміші, ізобаричний рівень, сезонний хід.

**Кратковременная изменчивость высотного распределения показателей влажности атмосферы над территорией Украины и смежными территориями**

**Савенец М.В.**

В статье подаются результаты расчета кратковременной изменчивости относительной влажности и соотношения смеси в нижней и средней тропосфере над территорией Украины и смежными территориями. Проведен анализ количественных показателей сезонных моделей: центральная частота и полуширина спектра колебаний; амплитуд, фаз, коэффициентов детерминации сезонного хода и средних многолетних значений показателей влажности.

**Ключевые слова** относительная влажность, соотношение смеси, изобарический уровень, сезонный ход.

**Short-term variability of atmospheric humidity altitudinal distribution above Ukraine and adjacent territories**

**Savenets M.**

The paper is dedicated to the analysis of relative humidity and mixing ratio short-term variability in lower and middle troposphere above Ukraine and adjacent territories. There were analyzed quantitative indexes of seasonal models: central frequency and semi-width of spectrum; amplitudes, phases, determination coefficients of seasonal variations and average humidity values. Aerological soundings data from Wyoming University databases on 13 stations were used. 6 stations are situated in Ukraine – Kyiv, Uzhhorod, Chernivtsi, Kharkiv, Odessa and Simferopol. 7 stations were selected on adjacent territories for avoiding possible negative edge effects and full covering of Ukraine territory – Legionovo (Poland), Bucharest (Romania), Gomel (Belarus), Rostov-na-Donu, Kursk, Voronezh and Tuapse (Russia). Because of errors in humidity observations upper than 400 hPa level, there were selected 5 standard isobaric levels: 1000, 850, 700, 500 and 400 hPa. It was explored the significance of 3 – 5 harmonics in seasonal variations, which shows that humidity above Ukraine is formed not only under local factors (evaporation), but also under large circulation patterns. The most significant short-term variations are observed in boundary level near the seas, where determination coefficients reach 0.4 for relative humidity and 0.7 for mixing ratio. In middle troposphere phases are lower for relative humidity, which could be explained by westerlies and humidity transport from the Atlantic Ocean. Research shows high impact of cyclonic activity and evaporation intensification on humidity vertical distribution. Seasonal variation of mixing ratio formed mostly under inflow factors. In middle troposphere humidity fluctuations coincide with temperature seasonal variations.

**Keywords:** relative humidity, mixing ratio, isobaric level, seasonal variations.

**Надійшла до редколегії 05.04.2017**

УДК 551.524:551.574.42

**Пясецька С. І., Гребенюк Н.П., Щеглов О.А.**

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м.Київ

## **ОЦІНКА ПОВТОРЮВАНOSTІ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНОГО КЛІМАТУ**

**Ключові слова:** температура повітря, осередки відкладення ожеледі, ожеледь категорії НЯ.

**Вступ.** Актуальність проблеми полягає в тому, що суттєві зміни клімату, які відбулися, призвели до значних кліматичних аномалій, пов'язані причинно-наслідковим зв'язком зі стихійними гідрометеорологічними явищами в даному випадку такими, як ожеледь на дротах стандартного ожеледного станка та ожеледь категорії НЯ.

**Hidrolohiia, hidrokhiimia i hidroekolojiia. – 2017. – Т.2(45)**

Тенденції, що спостерігаються в зміні гідрометеорологічних величин за останні 15 років вказують на процеси потепління. На території України глобальне потепління проявляється здебільшого у підвищенні температури повітря особливо взимку, що зумовлене частотою відлиг та їх тривалістю, та як наслідок зміна розподілу кількості випадків з ожеледдю та їх інтенсивності, що відбувається при значній різниці температур, яка виникає при різкому потеплінні або різкому похолоданні, а також частою повторюваністю температур близьких до 0 °С та випаданням рідких переохолоджених опадів [1, 2, 3].

**Метою дослідження** є вивчення середньої місячної температури повітря та повторюваності кількості випадків відкладень ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка і встановлення особливостей її просторово-часового розповсюдження на фоні сучасних змін клімату.

**Метод досліджень:** емпірико-статистичний.

**Вихідні дані та основні результати досліджень.** В роботі використані середня місячна температура повітря (по 78 станціям) та кількість випадків ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка (по 187 станціях) за період 2001-2015 рр.

У зимовий період спостерігається основна кількість випадків з відкладеннями ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка. Тому було доцільно розглянути температурний режим у окремі зимові місяці на фоні якого спостерігались ці явища. На рисунку 1 для грудня, січня та лютого представлено розподіл аномалій температури повітря за період 2001-2015 рр. відносно стандартної кліматологічної норми (1961-1990 рр.)

Січень є визначальним місяцем для зимового періоду. Порівняно з попередніми десятиріччями за останні 15 років нового тисячоліття січень значно потеплішав. Отримані результати ще раз підтвердили підвищення температури повітря відносно кліматологічної стандартної норми, особливо у північних, східних та центральних районах країни, яке перевищує 2 °С. На решті території аномалії перевищують 1 °С.

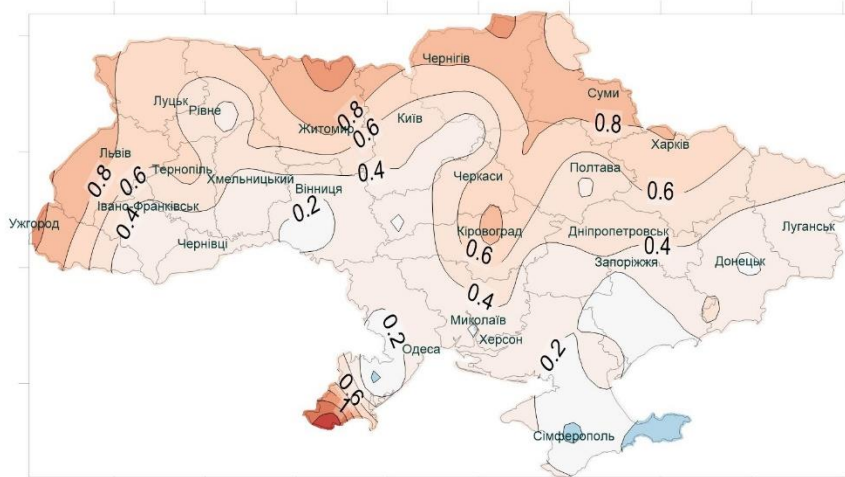
За період 2001-2015 рр. додатні аномалії лютого дещо менші ніж у січні. На півночі, північному сході та центральних районах їх величина не перевищувала 1,1-1,3 °С. Дедалі частіше саме лютий у окремі роки починає відповідати своїй назві, як найхолоднішому місяцю року. Таким за останні роки нового тисячоліття був лютий 2003, 2005, 2006, 2011, 2012 рр. які характеризувались значною від'ємною аномалією.

Незначне підвищення температури відмічається у грудні. Додатні аномалії на всій території України становили не більше 1 °С, лише на півдні Одеської області аномалія складає більше 1,2 °С.

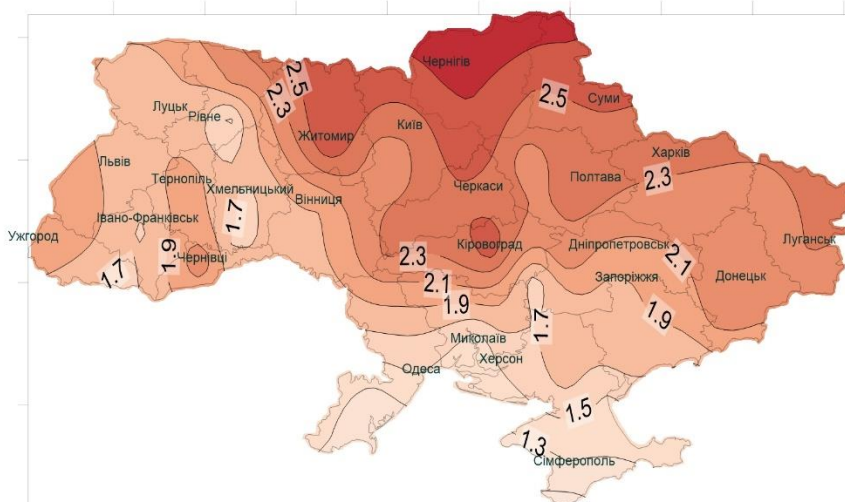
Такі температурні аномалії створюють певні умови для утворення ожеледі та її розповсюдження. Для визначення тенденції в територіальному розподілі кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка було розраховано різницю середньої кількості випадків за різні часові періоди 1961-1990 та 2001-2015 рр.(рис. 2).

Порівнюючи різницю середньої кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка у сучасний період відносно кліматологічної стандартної норми у окремі зимові місяці прослідковується значне збільшення кількості осередків ожеледі саме у **січні**, який зазнав значних температурних змін до потепління у порівнянні з іншими зимовими місяцями. Збільшення кількості випадків спостерігається у північних, північно - східних районах, а також в деяких південних областях.

### Грудень



### Січень



### Лютий

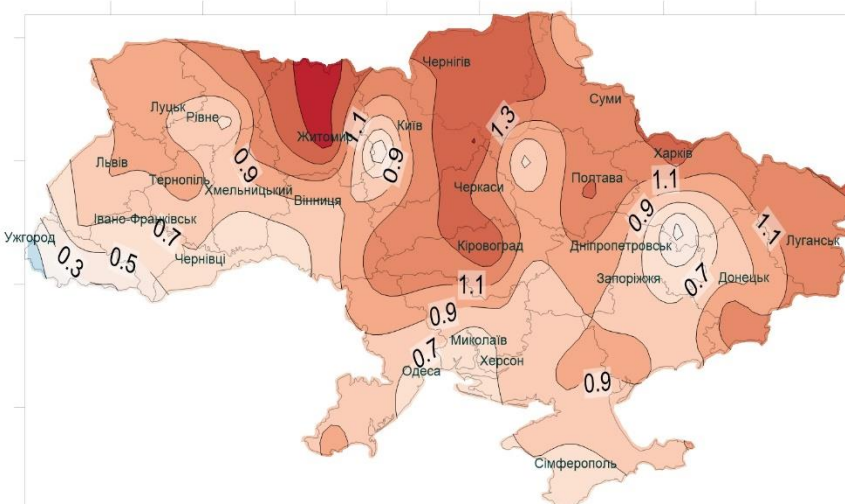
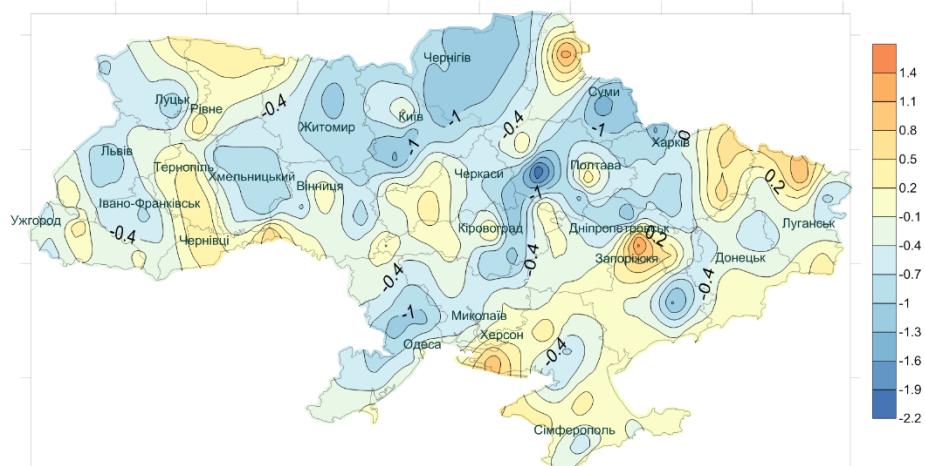
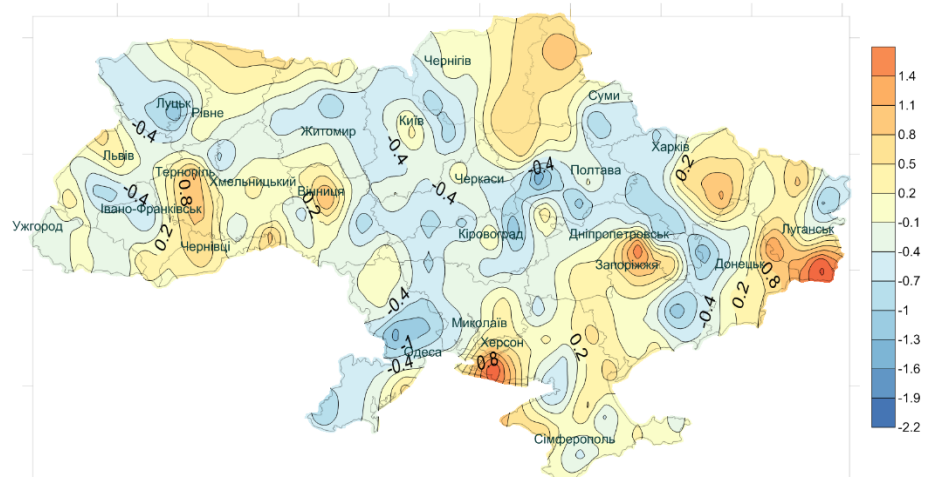


Рис. 1. Аномалія температури повітря °С (відхилення від норми 1961-1990 рр.) у окремі зимові місяці за період 2001-2015 рр.

## Грудень



## Січень



## Лютий

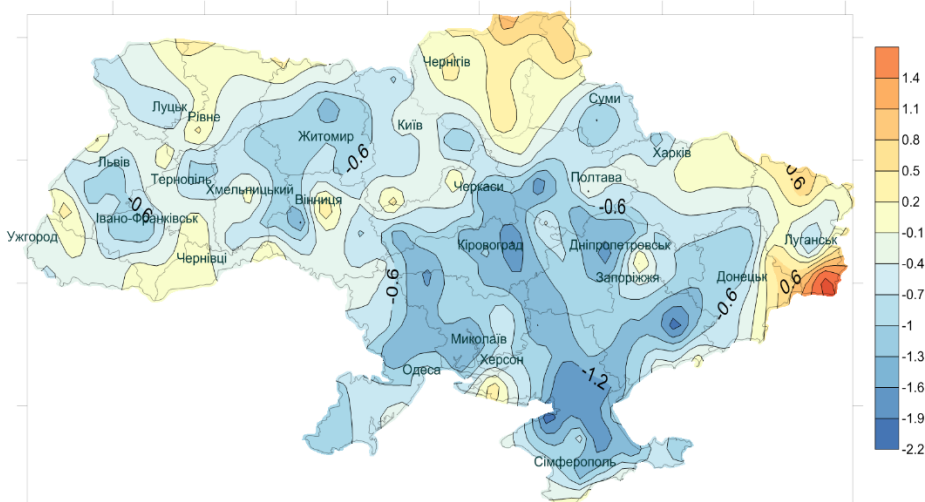


Рис. 2. Відхилення кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка за період 2001-2015 рр. відносно базового періоду 1961-1990 рр.

Максимальні додатні відхилення (+1,9, +2,1 та +2,2) встановлено відповідно у Дніпропетровській (Синельнікове), Херсонській (Бехтери) та у Луганській областях (Дар'ївка). Значення додатних відхилень, які перевищували +1,0...+1,5 спостерігались на окремих станціях у 8 областях – Тернопільській (Тернопіль, Чортків), Чернівецькій (Новодністровськ), Вінницькій (Вінниця), Сумській (Глухів), Харківській (Харків), Луганській (Новопсков), Донецькій (Дебальцеве), Дніпропетровській (Комісарівка). Решта осередків з додатними відхиленнями які не перевищували +0,6...+0,8 відмічались у 12 областях - Львівській, Закарпатській, Чернівецькій, Чернігівській, Житомирській, Кіровоградській, Одеській, Херсонській, Сумській, Полтавській, Харківській та АР Крим. Від'ємні відхилення спостерігаються на решті території, але їх значення не перевищують -0,4...-0,6 і тільки на півдні становлять -1,0 у Одеській області.

У **лютому** треба відмітити зменшення кількості осередків з додатними аномаліями у порівнянні з січнем. Максимальні значення становили +1,0 та +2,0 та відмічались відповідно у Семенівці (Чернігівська область) та Дар'ївці (Луганська область). У 6 областях – Львівській (Турка), Вінницькій (Вінниця), Херсонській (Бехтери), Сумській (Дружба, Глухів), Луганській (Новопсков), Донецькій (Дебальцеве, Амвросіївка) найбільші значення додатних відхилень становили +0,6...+0,9. Відмічено збільшення від'ємних аномалій особливо у центральних та південних областях. Максимальні від'ємні значення відхилень середньої кількості випадків із відкладенням ожеледі, які становили -1,0...-1,8 спостерігались на окремих станціях у 13 областях – Івано-Франківській (Коломия), Житомирській (Коростень), Черкаській (Черкаси, Чигирин, Умань), Вінницькій (Вінниця), Кіровоградській (Новомиргород, Знамянка, Бобринець, Долинська), Одеській (Сербка, Роздільна), Миколаївській (Первомайськ, Миколаїв, Очаків), Херсонській (Велика Олександрівка, Асканія Нова, Генічеськ), Сумській (Лебедин), Полтавській (Кобеляки), Дніпропетровській (Губініха, Дніпропетровськ, Кривий Ріг), Запорізькій (Гуляй Поле, Пришиб, Кирилівка), АР Крим (Ішунь, Роздольне, Джанкой, Нижнегірськ, Владиславівка, Білогірськ, Ангарський перевал). На решті території від'ємні аномалії становили менші -0,6.

Температура повітря у **грудні** не зазнала таких значних змін, як у січні та лютому. Локальні осередки до збільшення кількості випадків ожеледі спостерігались у період 2001-2015 рр., але значно менше ніж у вищезгадані місяці. На окремих станціях відмічаються їх максимальні значення +1,1...+1,7 у Херсонській області (Бехтери), Сумській (Глухів), Луганській (Новопсков), Дніпропетровській (Синельнікове). Додатні відхилення середньої кількості випадків із відкладеннями ожеледі становлять +0,6...+0,9 у 7 областях – Рівненській (Дубно), Тернопільській (Чортків), Закарпатській (Плай), Чернівецькій (Новодністровськ), Полтавській (Полтава), Харківській (Великий Бурлук, Ізюм), Дніпропетровській (Чаплине). Найбільша кількість від'ємних відхилень становили -0,6...-0,9. Вони були досить поширені у 19 областях Укаїни. Крім того на окремих станціях було встановлено ще нижчі від'ємні відхилення -1,0...-1,5. Вони спостерігались у 13 областях, і найбільше у областях - Чернігівській (Семенівка, Щорс, Чернігів, Ніжин, Остер), Київській (Київ, Баришівка, Фастів, Біла Церква), Кіровоградській (Знамянка, Бобринець, Долинська), Одеській (Сербка, Роздільна), Сумській (Суми, Лебедин). Найнижче від'ємне відхилення середньої кількості випадків із відкладенням ожеледі становило -2,4 і відмічалась на станції Веселий Поділ (Полтавська область).

На більшій частині території у лютому та грудні відмічається зменшення кількості осередків ожеледі відносно січня, але це не виключає існування окремих локальних осередків до збільшення.



При вивченні такого несприятливого явища, як ожеледь доцільно було розглянути випадки які відносяться до категорії небезпечні явища (НЯ) і можуть виявляти певну загрозу для господарства. До таких відносяться відкладення діаметром 6-19 мм. [4] Відкладення ожеледі категорії НЯ нерівномірно розповсюджуються не тільки на території України у межах кожної окремо взятої області, а й істотно змінюється від місяця до місяця та з року в рік (рис.3). Саме у січні відзначається найбільша повторюваність ожеледі категорії НЯ у сучасний період (33 % від загальної кількості) у порівнянні з періодом 1961-1990 рр. (23%). Зменшення повторюваності у лютому до 20% (відносно 25), жовтні 2% (відносно 5%) та листопаді до 8%(відносно 13%). Повторюваність випадків з ожеледдю категорії НЯ у березні та грудні залишилася не змінною.

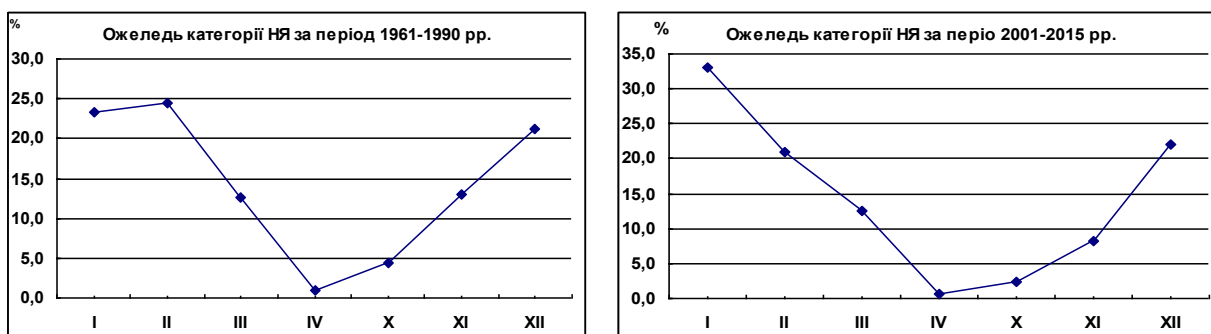


Рис. 3. Повторюваність кількості випадків ожеледі категорії НЯ у окремі місяці за періоди 1961-1990 та 2001-2015 рр.

Регіональні зміни клімату обумовлені глобальними змінами кліматологічної системи. У ряді робіт [3] відзначається, що відбувається переміщення центрів дії атмосфери на захід і це сприяє розбудові атмосфери. Ці зміни призводять до її аномального стану та впливають на зміни температури, атмосферні опади, стихійні явища і їх інтенсивність. Подальший розвиток потепління глобального і регіонального клімату в свою чергу може призвести до порушення кліматичної рівноваги. Це сприяє виникненню нових непередбачених кліматичних загроз, які завдають значних економічних збитків.

Доцільність подальших досліджень треба розглядати як напрямок, що дозволяє вивчити наслідки змін клімату та визначити збільшення чи зменшення повторюваності таких небезпечних явищ таких, як ожеледь.

#### Висновки.

1. Температура повітря в усі зимові місяці зазнала змін до підвищення. Найбільші значення аномалій відмічаються у січні, які перевищують 2 °С майже на всій території України (крім півдня та заходу). Такі температурні аномалії створюють певні умови для утворення ожеледі та її розповсюдження.

2. Результати досліджень показали, що у період 2001-2015 рр. на фоні значних температурних аномалій у січні відмічається збільшення осередків з додатними аномаліями кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка, особливо у північних та північно-східних областях України, де спостерігається значне підвищення температури. У цьому місяці зросла також повторюваність кількості випадків ожеледі категорії НЯ.

3. При зменшенні величин додатних температурних аномалій у лютому відмічається зменшення кількості осередків з додатними аномаліями кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка. Їх максимальні величини відмічались у Чернігівській та Луганській областях.

4. Температура повітря у грудні не зазнала таких значних змін, як у січні та

лютому. Локальні осередки зі збільшенням кількості випадків ожеледі спостерігались у період 2001-2015 рр., але їх кількість була значно менша ніж у вищезгадані місяці.

5. Наведені відомості про таке явище, як ожеледь та зокрема ожеледь категорії НЯ відображають особливості клімату останніх 15 років, які є незвичайними за кліматичним режимом і за частотою випадків цих небезпечних явищ. При подальшому розвитку глобального потепління частота випадків таких небезпечних явищ може змінитися у бік їх збільшення.

### Список літератури

1. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: /Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z. and all // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - Cambridge University Press, - Cambridge: NY, 2007. 2. Гребенюк Н.П. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку XXI ст. /Гребенюк Н.П., Корж Т.В., Яценко О.О./ Водне господарство України. 2002. – № 5-6. – С.34-38. 3. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М.Бабіченко./ – К.: Від-во Ніка-Центр. 2006. – 311 с. 4. Пясецька С.І.Порівняльна характеристика відкладень ожеледі категорії НЯ (небезпечні) та СГЯ (стихійні) на території України протягом кінця XX- початку XXI сторіч (діаметри та маси відкладень) //Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія. Наук. збірник . – 2015. Т. 4(39) - С. 40-52 ,

**Оцінка повторюваності відкладень ожеледі у зимовий період на території України в умовах сучасного клімату.**

**Пясецька С. І., Гребенюк Н.П., Щеглов О.А.**

*Розглянуто тенденцію змін режиму температури в зимові місяці на території України за період 2001-2015 рр. Температура повітря в усі зимові місяці зазнала змін до підвищення і найбільші значення аномалій відмічаються у січні, які на основній частині території України перевищують 2°C.*

*Наведена повторюваність відкладень ожеледі на дротах стандартного ожеледного станка та визначені особливості її просторово часового розповсюдження. Результати досліджень показали, що у сучасний період на фоні значних температурних аномалій таких, як у січні відмічається збільшення кількості випадків ожеледі на дротах ожеледного станка, а також зростає повторюваність кількості випадків ожеледі категорії НЯ (небезпечні явища).*

**Ключові слова:** температура повітря, осередки відкладення ожеледі, ожеледь категорії НЯ.

**Оценка повторяемости отложений гололеда в зимний период на территории Украины в условиях современного климата.**

**Пясецкая С.И. , Гребенюк Н.П. , Щеглов А.А.**

*Рассмотрено тенденцию изменения режима температуры в зимние месяцы на территории Украины за период 2001-2015 гг.. Наблюдается повышение температуры воздуха во все зимние месяцы. Наибольшие значения аномалий отмечаются в январе, которые на значительной части территории Украины превышают 2°C.*

*Приведена повторяемость отложений гололеда на проводах стандартного гололедной станка и определены особенности ее пространственно-временного распространения. Результаты исследований показали, что в современный период на фоне значительных температурных аномалий, таких как в январе отмечается увеличение количества случаев гололеда на проводах гололедного станка, а также рост повторяемости количества случаев категории ОЯ (опасные явления).*

**Ключевые слова:** температура воздуха, центры отложений гололеда, гололед категории ОЯ.

**Repeatability of ice deposits in winter on the territory of Ukraine in today's climate.**

**Pyasetska S., Grebenyuk N., Shcheglov A.**

*The study is examining the relationship between the average monthly air temperature and the deposits of ice on wires of standard ice machine against the backdrop of modern climate change.*

**Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)**

Raising the temperature during the 2001-2015 biennium was all in the winter months. The largest temperature anomalies observed in January to 2 ° C. These temperature anomalies create conditions for the formation of ice on wires of standard ice machine.

Features of repeatability deposits of ice. The results showed that the significant temperature anomalies, such as January marked increase in of ice on wires of standard ice machine. It is observed in the northern and north-eastern regions of Ukraine. This month has also increased the frequency of the incidence of AEs ice category (hazards).

As the values of positive temperature anomalies in February also marked reduction in the number of cells with abnormalities of ice on wires of standard ice machine. Maximum values were recorded in Chernihiv and Luhansk regions.

In December, the temperature not much changed. Local branches ice with positive anomalies observed during the 2001-2015 biennium, but their number was much smaller than the aforementioned months. In most of the February and December marked decrease in the number of cells of ice, but it does not exclude the existence of separate centers of cells to increase.

The frequency of AEs category ice deposits unevenly distributed on the territory of Ukraine and varies from month to month. This January 2001-2015 marked the highest frequency category ice AEs in the current period (33%) compared with the period 1961-1990. (23%). The reduction of recurrence in February to 20% (relative to 25%), October 2% (relative to 5%) and November to 8% (against 13%). The frequency the deposits of ice on wires of standard ice machine category of AEs in March and December remained not variable.

The regional climate changes due to global climatological system. Further development of the global and regional warming climate may affect the climate balance. This contributes to new unforeseen environmental threats that cause significant economic losses.

The feasibility of further research should be viewed as a direction that allows us to study the effects of climate change and to determine the increase or decrease the frequency of these hazards such as ice.

**Keywords:** air temperature, ice deposits centers, ice category hazards.

**Надійшла до редколегії 06.02.2017**

УДК 551.509.6;551.577.2

**Носар С.В.<sup>1</sup>, Степура Є.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> - Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України

<sup>2</sup> -Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## **ПОТЕНЦІАЛ ШТУЧНОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ОПАДІВ ХОЛОДНОЇ ЧАСТИНИ РОКУ В ПІВНІЧНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І (НА ПРИКЛАДІ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ)**

**Ключові слова:** дефіцит природних опадів; ресурси хмар; штучні впливи; зимові хмари; сезон проведення робіт; додаткові опади.

**Вступ.** Для південних регіонів України, куди відноситься Північне Причорномор'я, однією з основних проблем, що стримують подальший розвиток інтенсивного сільськогосподарського виробництва, є обмежений ресурс прісної води, пов'язаний з недостатньою кількістю природних опадів, які тут випадають. Одним з можливих шляхів вирішення проблеми дефіциту вологи на згаданій території могло б стати застосування технології інтенсифікації природних опадів холодної частини року, розробленої в УкрГМІ [1-4].

**Аналіз попередніх досліджень.** У попередніх дослідженнях, проведених нами для східної та центральної частин цього регіону України, було обчислено потенційну кількість додаткових опадів, яку можливо було б отримати протягом сезону робіт (листопад-березень) за умови здійснення штучного впливу на всі хмари, з яких зафіксовано випадіння природних опадів [5,6]. Для розрахунків використовувались дані спостережень за опадами на метеостанціях за тридцятирічний період (1980-2010 рр.). Виявлено, що для метеостанцій східної частини регіону (Херсонська область) розрахована потенційна кількість додаткових  
Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.2(45)

опадів коливалась від 19,2 мм до 105,6 мм за сезон робіт (середні значення: від 47,0 мм до 69,6 мм), а відносне збільшення опадів становило від 24 % до 77 % суми природних опадів за цей же період (середні значення: від 32% до 44%). На метеостанціях центральної частини цього регіону (Миколаївська область) величина суми потенційної кількості додаткових опадів за сезон робіт становила від 19,4 мм до 113,1 мм (середні значення: від 47,3 мм до 72,7 мм), а відносне збільшення опадів коливалось від 23 до 63% (середні значення від 32% до 41% суми природних опадів за цей же період).

**Мета дослідження.** Ця публікація узагальнює результати подібних обстежень ресурсів хмар та розподілу природних опадів у сезон проведення робіт за тридцятирічний період (з 1980 по 2010 рік) на метеостанціях Одеської області, що розташована у Північно-Західному Причорномор'ї. Тут здійснена спроба визначити можливу кількість додаткових опадів, що могли би бути отримані внаслідок штучного впливу на хмари, з яких випадали природні опади протягом сезону робіт.

**Матеріали та методи досліджень.** Розподіл природних опадів та розрахунок можливої кількості штучних опадів у сезонах робіт визначались за даними спостережень на 11 метеорологічних станціях Одеської області, а саме: Білгород-Дністровський, Болград, Вилкове, Затишшя, Ізмаїл, Чорноморськ (Іллічівськ), Любашівка, Одеса, Роздільна, Сарата, Сербка. На рис. 1 показана карта-схема розташування цих метеостанцій.



Рис. 1. Схема розташування метеостанцій Одеської області

Як видно зі схеми, частина метеостанцій Одеської області, які були прийняті до обробки, розташована у її північній смузі, яка має вихід до узбережжя Чорного моря у напрямку з північного заходу на південний схід (Любашівка, Затишшя, Роздільна, Сербка). Інша частина метеостанцій цієї області (Одеса, Чорноморськ (Іллічівськ), Білгород-Дністровський, Сарата, Вилкове, Ізмаїл, Болград) знаходиться у її південно-західній смузі і витягнута вздовж чорноморського узбережжя у напрямку з північного сходу на південний захід.

Було опрацьовано дані щодобових спостережень за атмосферними опадами, отримані в єдині стандартні строки спостережень за міжнародним скоординованим часом (МСЧ): кількість, вид, тип, час випадіння (початок – закінчення). За цими даними між строками спостережень вираховувалась кількість природних опадів, які випадали з хмар, за одиницю часу (година) – **інтегральна інтенсивність опадів**. Тривалість випадіння опадів визначалась як різниця між часом їх початку і закінчення у період між строками спостережень. Тобто, якщо між строками спостережень опади окремо випадали декілька раз, тривалість часу їх випадіння підсумовувалась. За даними про інтегральну інтенсивність опадів (надалі – **інтенсивність**) для кожного випадку, де вона була визначена, з використанням алгоритму, приведеному в [7], розраховувалось потенційне збільшення кількості опадів, до якого б призвело застосування активного впливу на хмари, з яких випадали ці природні опади.

**Отримані результати.** На рис. 2–11 і в табл. 1 розміщено дані про динаміку коливань кількості природних опадів та розрахованих величин можливих додаткових опадів для кожної із метеостанцій Одеської області. Вони обчислювались для кожного сезону робіт і були усереднені за 30 років спостережень (1980-2010 рр.).

**Таблиця 1. Середні та екстремальні значення величин природних опадів та їх можливого абсолютного і відносного збільшення по місяцях та за сезон робіт за даними метеостанцій Одеської області. XI – III місяці, 1980-2010 рр.**

Метеостанція	Місяць	XI	XII	I	II	III	Сезон
	Величина						
Любашівка	R, мм	42,5	36,1	30,5	27,5	28,4	165,1
	R <sub>min</sub> , мм	9,4	2,4	4,4	2,2	2,6	65,5
	R <sub>max</sub> , мм	112,6	79,0	78,6	64,4	70,6	294,9
	ΔR, мм	12,7	13,7	14,1	12,6	10,9	64,0
	ΔR <sub>min</sub> , мм	2,2	3,1	3,9	1,9	2,1	28,2
	ΔR <sub>max</sub> , мм	29,1	27,7	36,3	30,1	24,3	95,2
	R <sub>B</sub> , %	37	53	52	54	44	40
	R <sub>Bmin</sub> , %	11	23	28	24	21	28
	R <sub>Bmax</sub> , %	84	207	89	128	135	54
Затишшя	R, мм	37,0	36,3	32,4	29,7	28,3	164,0
	R <sub>min</sub> , мм	6,6	2,0	6,1	1,9	1,0	55,3
	R <sub>max</sub> , мм	82,8	76,8	75,2	78,2	91,7	263,7
	ΔR, мм	8,2	9,7	10,2	9,3	8,0	45,5
	ΔR <sub>min</sub> , мм	0,8	0,9	2,5	1,0	0,8	17,2
	ΔR <sub>max</sub> , мм	21,2	20,6	28,1	27,4	22,4	76,2
	R <sub>B</sub> , %	25	30	34	34	32	28
	R <sub>Bmin</sub> , %	4	15	11	16	11	19
	R <sub>Bmax</sub> , %	50	65	70	43	80	36

Метеостанція	Місяць	XI	XII	I	II	III	Сезон
	Величина						
Роздільна	R, мм	<b>39,2</b>	<b>35,0</b>	<b>30,3</b>	<b>31,5</b>	<b>30,9</b>	<b>165,9</b>
	R <sub>min</sub> , мм	3,5	1,3	2,5	2,0	1,2	46,6
	R <sub>max</sub> , мм	136,3	81,4	108,9	83,5	80,5	282,1
	$\Delta R$ , мм	<b>9,7</b>	<b>10,4</b>	<b>10,5</b>	<b>9,5</b>	<b>9,1</b>	<b>49,4</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	1,3	0,8	1,7	1,3	0,4	17,4
	$\Delta R_{max}$ , мм	21,4	21,5	30,9	22,1	20,3	68,8
	RВ, %	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>31</b>
	RВ <sub>min</sub> , %	10	14	24	16	18	19
RВ <sub>max</sub> , %	73	100	68	65	108	39	
Сербка	R, мм	<b>34,5</b>	<b>30,2</b>	<b>24,7</b>	<b>26,0</b>	<b>25,8</b>	<b>141,1</b>
	R <sub>min</sub> , мм	4,3	0,0	4,4	3,3	0,2	36,6
	R <sub>max</sub> , мм	97,7	99,1	90,6	61,6	70,8	242,6
	$\Delta R$ , мм	<b>7,3</b>	<b>8,2</b>	<b>7,8</b>	<b>8,1</b>	<b>7,2</b>	<b>38,6</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	0,4	0,0	1,5	1,2	0,1	9,7
	$\Delta R_{max}$ , мм	17,3	22,7	21,9	20,7	22,0	62,8
	RВ, %	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>28</b>
	RВ <sub>min</sub> , %	4	0	15	14	7	20
RВ <sub>max</sub> , %	58	59	70	58	100	38	
Одеса	R, мм	<b>42,5</b>	<b>35,3</b>	<b>34,2</b>	<b>37,0</b>	<b>32,5</b>	<b>181,6</b>
	R <sub>min</sub> , мм	1,7	2,5	3,7	2,1	0,7	39,6
	R <sub>max</sub> , мм	114,8	124,5	112,8	94,5	91,2	319,9
	$\Delta R$ , мм	<b>12,3</b>	<b>13,1</b>	<b>14,4</b>	<b>12,9</b>	<b>11,5</b>	<b>64,6</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	3,0	3,6	3,7	2,2	0,5	26,1
	$\Delta R_{max}$ , мм	34,0	27,4	32,0	29,2	26,4	99,2
	RВ, %	<b>43</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>44</b>	<b>58</b>	<b>39</b>
	RВ <sub>min</sub> , %	14	14	15	13	3	25
RВ <sub>max</sub> , %	176	212	133	129	318	66	
Чорноморськ (Іллічівськ)	R, мм	<b>41,5</b>	<b>32,8</b>	<b>33,1</b>	<b>31,4</b>	<b>29,9</b>	<b>168,5</b>
	R <sub>min</sub> , мм	5,2	2,7	4,7	2,4	5,5	54,2
	R <sub>max</sub> , мм	122,1	85,6	81,5	71,1	76,1	259,6
	$\Delta R$ , мм	<b>12,2</b>	<b>12,8</b>	<b>14,4</b>	<b>12,6</b>	<b>12,2</b>	<b>64,7</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	2,9	3,2	5,1	4,1	4,5	35,2
	$\Delta R_{max}$ , мм	29,6	29,8	31,3	27,8	24,4	98,6
	RВ, %	<b>38</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>54</b>	<b>51</b>	<b>40</b>
	RВ <sub>min</sub> , %	13	15	23	22	20	27
RВ <sub>max</sub> , %	70	226	126	221	111	65	
Білгород- Дністровський	R, мм	<b>38,9</b>	<b>33,1</b>	<b>30,4</b>	<b>29,1</b>	<b>28,8</b>	<b>157,4</b>
	R <sub>min</sub> , мм	5,1	1,8	4,9	1,7	0,0	42,0
	R <sub>max</sub> , мм	120,1	122,1	93,6	72,6	75,9	289,8
	$\Delta R$ , мм	<b>12,4</b>	<b>13,5</b>	<b>14,1</b>	<b>12,7</b>	<b>11,9</b>	<b>64,7</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	3,2	3,0	4,1	2,3	0,2	27,0
	$\Delta R_{max}$ , мм	31,8	24,5	35,1	30,1	25,8	111,8
	RВ, %	<b>42</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>55</b>	<b>75</b>	<b>45</b>
	RВ <sub>min</sub> , %	11	16	18	11	19	26
RВ <sub>max</sub> , %	79	350	170	135	500	78	

Метеостанція	Місяць	XI	XII	I	II	III	Сезон
	Величина						
Сарата	R, мм	<b>36,0</b>	<b>35,6</b>	<b>29,1</b>	<b>26,9</b>	<b>29,7</b>	<b>157,3</b>
	R <sub>min</sub> , мм	3,8	1,4	3,3	3,8	0,0	48,4
	R <sub>max</sub> , мм	117,6	113,8	108,4	67,8	102,2	266,7
	$\Delta R$ , мм	<b>10,1</b>	<b>10,4</b>	<b>10,6</b>	<b>9,5</b>	<b>9,1</b>	<b>49,7</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	0,9	2,3	1,5	2,4	0,0	25,3
	$\Delta R_{max}$ , мм	26,1	22,2	28,7	23,6	26,3	81,7
	R <sub>в</sub> , %	<b>34</b>	<b>42</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>55</b>	<b>33</b>
	R <sub>вmin</sub> , %	8	16	14	11	16	19
R <sub>вmax</sub> , %	74	164	85	87	500	52	
Болград	R, мм	<b>38,8</b>	<b>39,0</b>	<b>30,1</b>	<b>30,2</b>	<b>36,0</b>	<b>171,7</b>
	R <sub>min</sub> , мм	6,7	2,9	2,2	4,0	0,7	53,1
	R <sub>max</sub> , мм	106,7	87,1	77,5	73,9	101,7	273,0
	$\Delta R$ , мм	<b>11,1</b>	<b>14,0</b>	<b>11,9</b>	<b>12,1</b>	<b>11,5</b>	<b>60,1</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	3,3	3,7	2,4	2,9	0,5	27,4
	$\Delta R_{max}$ , мм	26,6	34,2	31,7	28,2	43,6	108,1
	R <sub>в</sub> , %	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>53</b>	<b>40</b>	<b>32</b>	<b>35</b>
	R <sub>вmin</sub> , %	12	19	13	16	17	22
R <sub>вmax</sub> , %	97	128	155	118	119	54	
Ізмаїл	R, мм	<b>37,2</b>	<b>37,5</b>	<b>28,5</b>	<b>29,1</b>	<b>33,3</b>	<b>164,7</b>
	R <sub>min</sub> , мм	4,0	6,9	1,3	4,7	0,0	66,4
	R <sub>max</sub> , мм	85,8	91,5	63,7	81,4	97,3	288,4
	$\Delta R$ , мм	<b>11,6</b>	<b>14,1</b>	<b>12,0</b>	<b>12,1</b>	<b>11,5</b>	<b>61,0</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	1,5	3,8	2,4	2,1	0,1	28,0
	$\Delta R_{max}$ , мм	30,9	28,7	28,4	29,6	41,7	105,8
	R <sub>в</sub> , %	<b>36</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	<b>46</b>	<b>59</b>	<b>38</b>
	R <sub>вmin</sub> , %	19	26	19	15	14	28
R <sub>вmax</sub> , %	68	86	185	123	500	57	
Вилкове	R, мм	<b>42,4</b>	<b>38,5</b>	<b>32,7</b>	<b>31,5</b>	<b>32,9</b>	<b>178,1</b>
	R <sub>min</sub> , мм	4,0	5,3	3,0	4,4	0,0	65,5
	R <sub>max</sub> , мм	109,8	128,9	91,6	92,6	106,1	336,9
	$\Delta R$ , мм	<b>9,6</b>	<b>11,8</b>	<b>11,1</b>	<b>10,4</b>	<b>9,7</b>	<b>52,0</b>
	$\Delta R_{min}$ , мм	1,2	2,5	2,4	3,3	0,1	14,3
	$\Delta R_{max}$ , мм	27,7	22,8	26,7	26,0	33,1	97,1
	R <sub>в</sub> , %	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>55</b>	<b>30</b>
	R <sub>вmin</sub> , %	4	10	21	17	9	10
R <sub>вmax</sub> , %	71	66	97	89	500	45	

**Примітка.** R, R<sub>min</sub>, R<sub>max</sub> – відповідно середня, мінімальна та максимальна кількості природних опадів [мм];  $\Delta R$ ,  $\Delta R_{min}$ ,  $\Delta R_{max}$  – середня, мінімальна та максимальна кількості додаткових опадів [мм]; R<sub>в</sub>, та R<sub>вmin</sub>, R<sub>вmax</sub> – середня, мінімальна і максимальна величини відносного збільшення опадів [%], тренд R, тренд  $\Delta R$  – лінії трендів середньої кількості природних і додаткових опадів, відповідно.

Із даних табл. 1 випливає, що найменше значення середньої (за тридцять років) кількості природних опадів, які випадають за сезон робіт, зафіксовано на метеостанції Сербка. Загалом у північній частині Одеської області помітна тенденція до зменшення середньої кількості природних опадів протягом сезону робіт на 23-25 мм у південно-східному напрямку: від 165,9 мм – Роздільна, 165,1 мм

– Любашівка та 164,0 мм - Затишшя до 141,1 мм у Сербці.

У південно-західній частині Одеської області найнижчі значення середньої кількості природних опадів за сезон робіт зафіксовано у її центрі - Сарата (157,3 мм) та Білгород-Дністровський (157,4 мм). Але ці значення на 16 мм більші, ніж мінімум на півночі області (Сербка). Звідси середня сезонна сума природних опадів збільшується на 7,5-21 мм у західному напрямку: Ізмаїл - 164,7 мм, Болград - 171,7 мм, Вилкове - 178,1 мм, та на 11 – 24 мм у східному напрямку: Чорноморськ (Іллічівськ) – 168,5 мм, але дані по цій станції за неповний період (з грудня 1988 р. по січень 1994 р. вона не функціонувала), Одеса – 181,6 мм.

Найбільше значення середньої суми природних опадів за сезон робіт у період з 1980 по 2010 рр. відмічено на метеостанції Одеса. Це можна пояснити тим, що Одеса – тут найбільше промислове місто і значно перевищує всі інші міста цієї області як за розмірами, так і за промисловим потенціалом. А процеси утворення природних опадів, як відомо, дещо стимулюються і загострюються над великими містами.

Щодо середнього рівня сезонної кількості опадів, визначеного за 30 років спостережень, то максимальна кількість щорічних показників для цього параметру наближалась до нього саме на метеостанціях півночі Одеської області. Так, для метеостанції Роздільна показник асиметрії був найменшим (0,0), для Сербки і Затишшя він склав -0,1 і лише для Любашівки був дещо більшим (0,3). Для південно-західної частини області показники асиметрії для середньої сезонної кількості опадів знаходились на рівні 0,3-0,6, що говорить про те, що тут її щорічні значення частіше ніж на півночі області відрізнялись від середнього рівня за весь період.

Найбільш посушливим за розглянутий нами 30-річний період спостережень став сезон робіт 1989-1990 рр., коли на метеостанціях Одеської області було відмічено найнижчі значення сезонної кількості природних опадів: у Сербці, наприклад, 36,6 мм, в Одесі – 39,6 мм. Дещо вищі значення кількості природних опадів у той же посушливий сезон було зафіксовано на метеостанціях Вилкове і Любашівка – по 65,5 мм та в Ізмаїлі - 66,4 мм (рис. 2 – рис. 12).

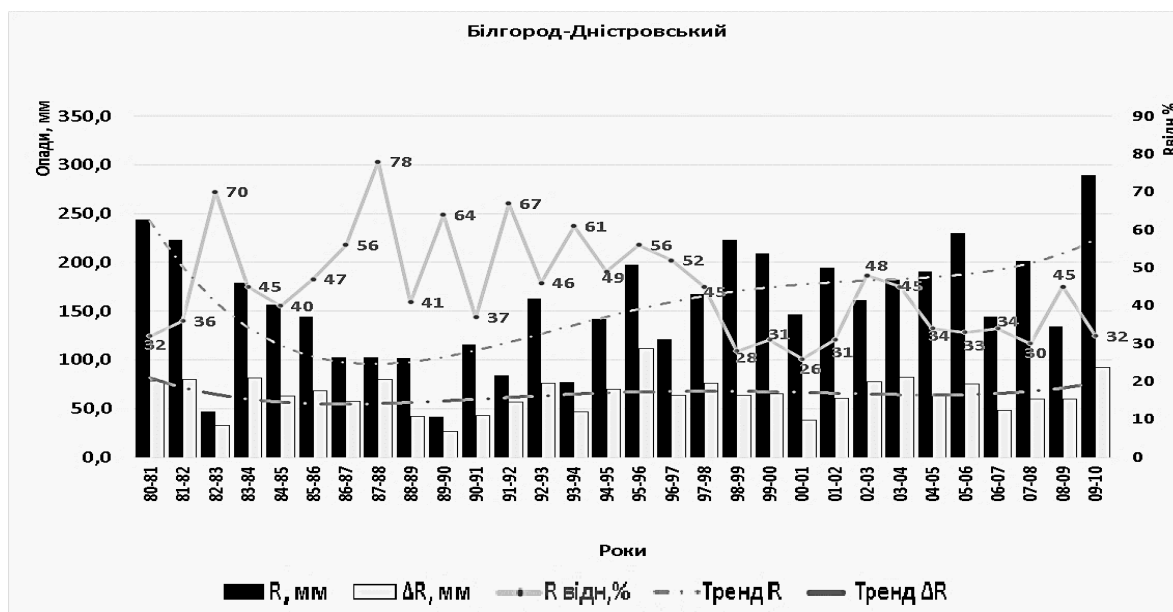


Рис. 2. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Білгород-Дністровський



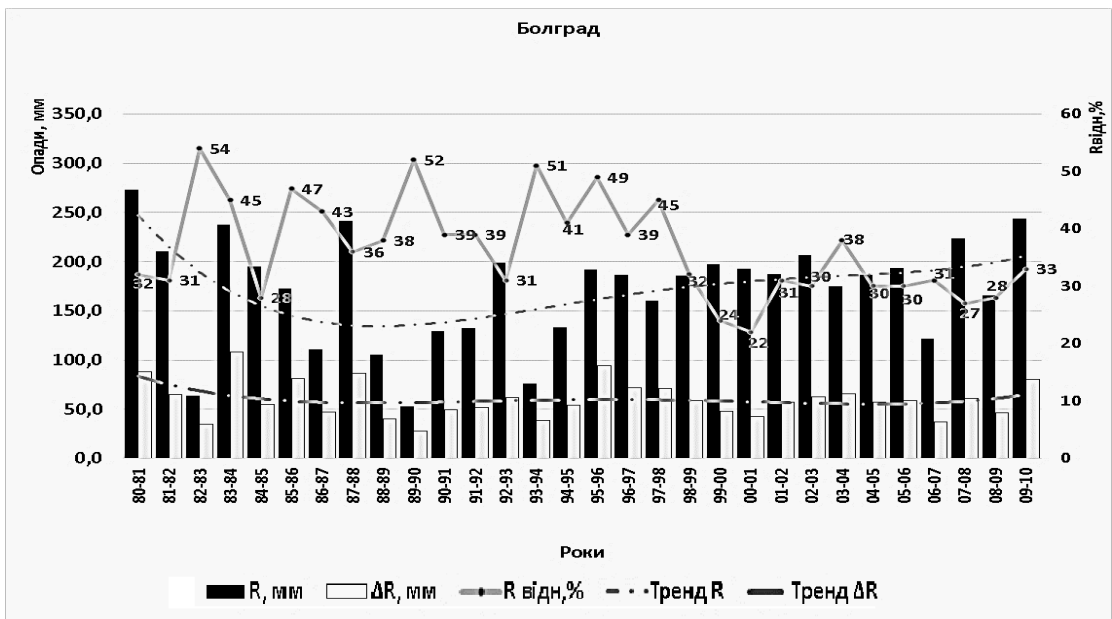


Рис. 3. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Болград

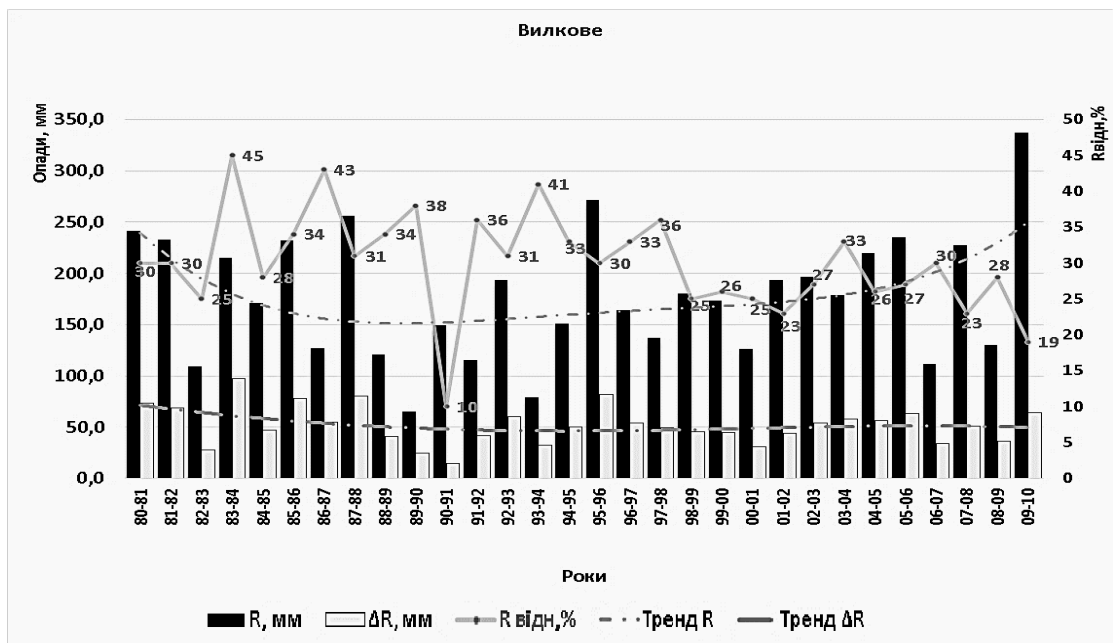


Рис. 4. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Вилкове

Максимальні значення кількості природних опадів у сезоні робіт відмічені на метеостанціях Вилкове – 336,9 мм та Одеса – 319,9 мм (у 2009 - 2010 рр.), найменші серед сезонних максимумів значення спостережені на метеостанції Сербка у 1980-1981 рр. - 242,6 мм та 259,6 мм на метеостанції Іллічівськ у 1981-1982 рр.. Територіально найбільші значення максимумів суми природних опадів за сезон робіт, відмічених за 30 років спостережень, характерні для тих метеостанцій, що розташовані безпосередньо на узбережжі Чорного моря, чи близько до нього (Вилкове, Одеса, Білгород-Дністровський) – у південно-західній частині досліджуваної області, або ж, у її крайній північній частині – Любашівка (294,9 мм),

Роздільна (282,1 мм), найменші ж значення максимумів властиві для південного сходу цієї частини області (Сербка).

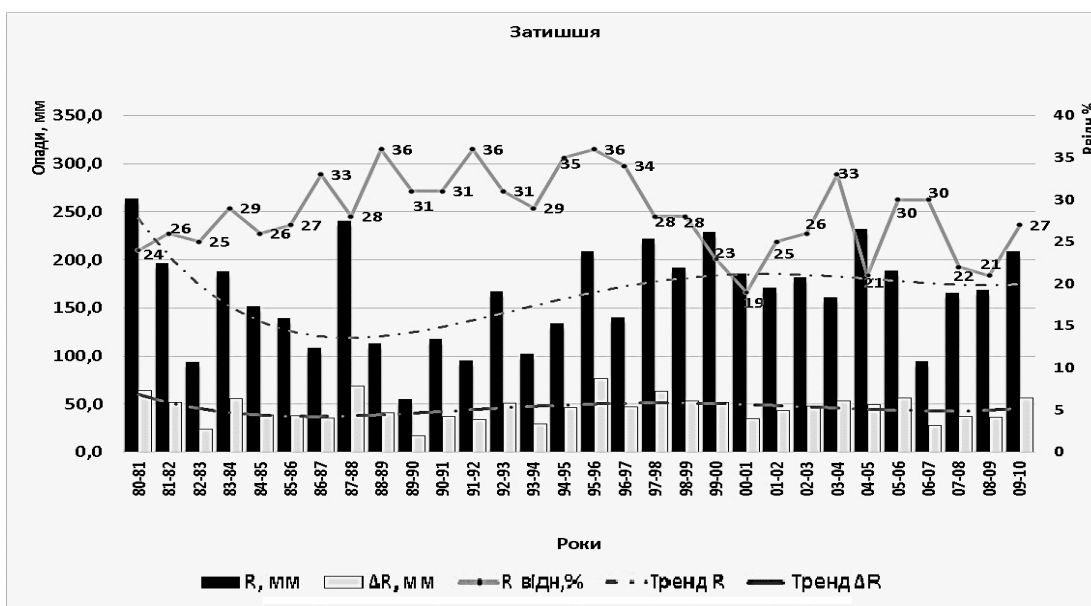


Рис. 5. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Затишшя

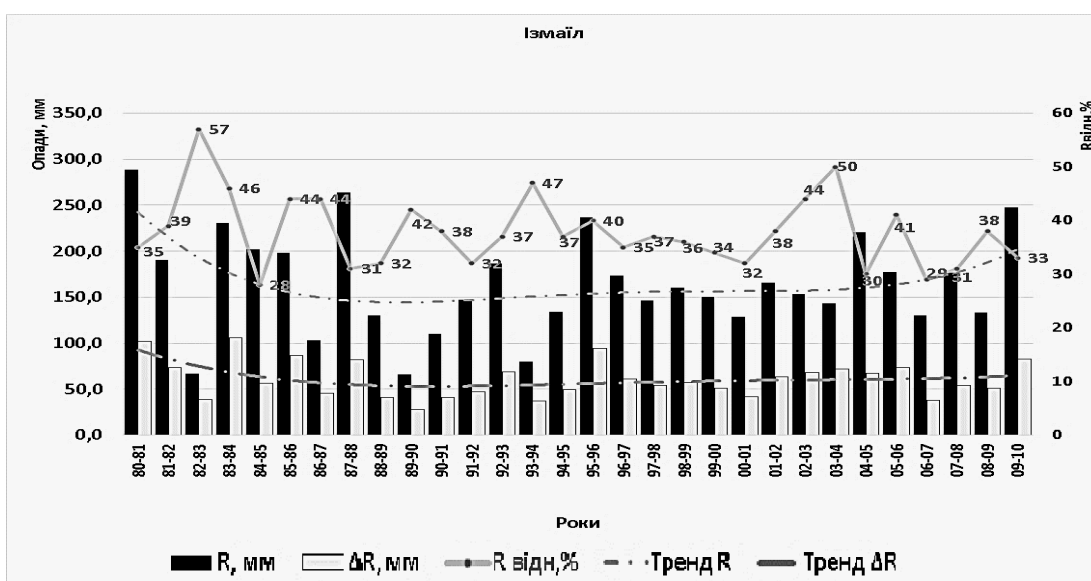


Рис. 6. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Ізмаїл

Розглянемо розподіл сум природних опадів по місяцям у сезон проведення робіт. Із згаданих вище таблиці і рисунків видно, що у північній частині Одеської області за вказаний 30-річний період у сезон робіт найбільше природних опадів в середньому випадало у листопаді та грудні місяцях, а саме: Любашівка (42,5 і 36,1 мм), Затишшя (37,0 і 36,3 мм), Роздільна (39,2 і 35,0 мм), Сербка (34,5 і 30,2 мм) відповідно. У наступні три місяці сезону (січень, лютий і березень) середньомісячні суми природних опадів тут поступово знижувались, досягаючи мінімуму (Любашівка

– 27,5 мм у лютому, Затишшя – 28,3 мм у березні, Роздільна – 30,3 мм у січні, Сербка – 24,7 мм у січні).

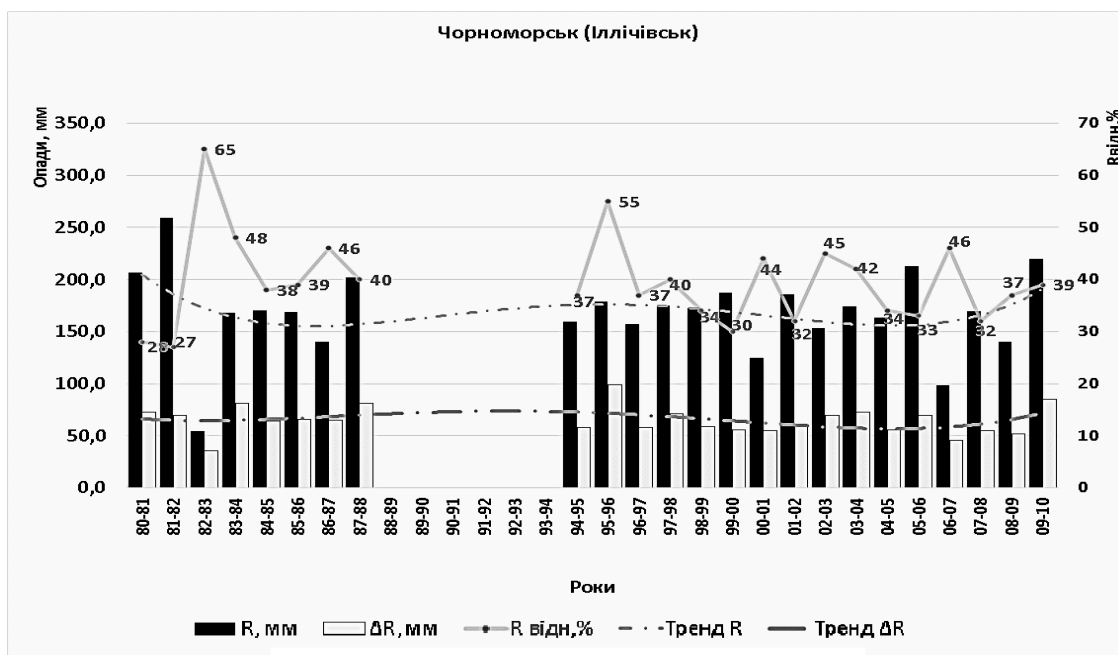


Рис. 7. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Чорноморськ (Іллічівськ)

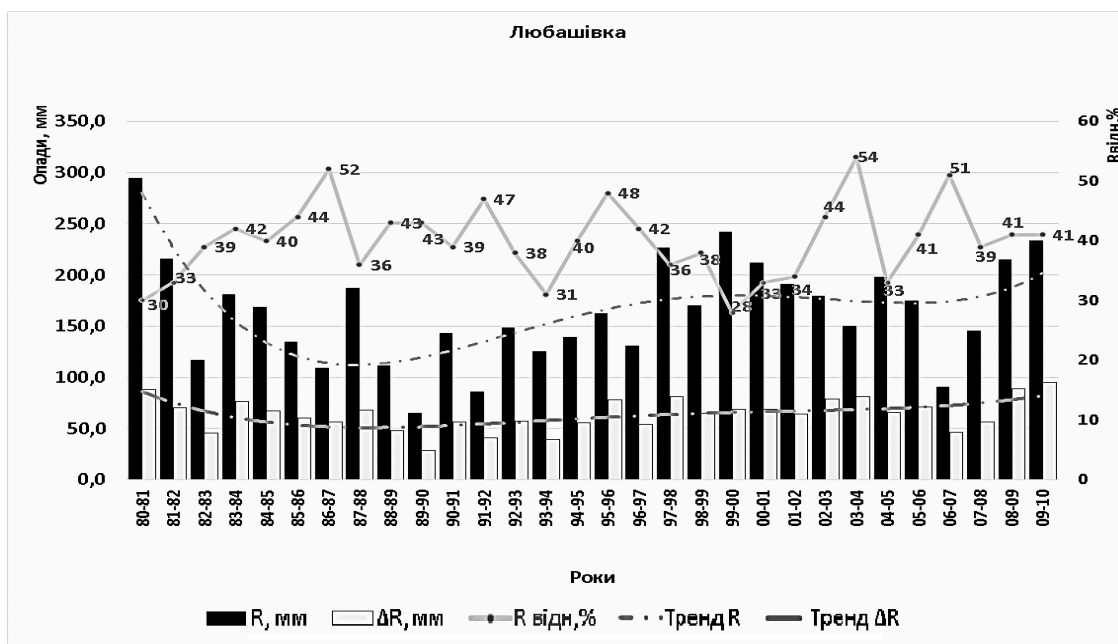


Рис. 8. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Любашівка

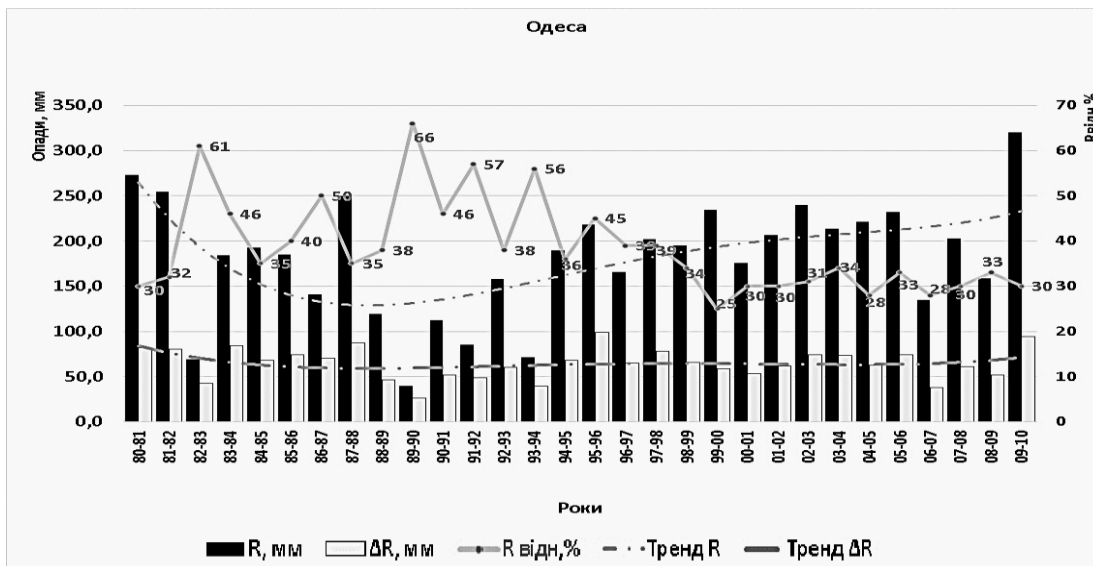


Рис. 9. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Одеса

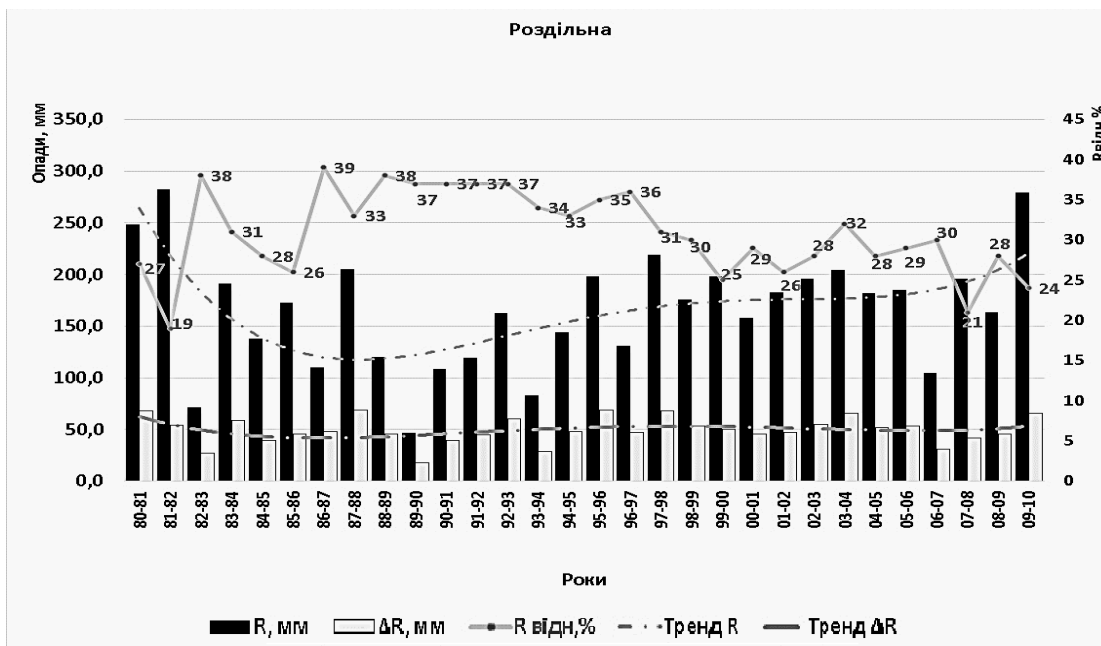


Рис. 10. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Роздільна

У південно-західній частині області ми також спостерігаємо подібний розподіл середньомісячних сум природних опадів – від максимальних значень у листопаді та грудні з подальшим зниженням у січні-березні: Болград (від 38,8 мм і 39,0 мм до 29,2 мм); Ізмаїл (від 37,2 мм і 37,5 мм до 28,5 мм); Вилкове (від 42,4 мм і 38,5 мм до 31,5 мм); Сарата (від 36,0 мм і 35,6 мм до 26,9 мм); Білгород-Дністровський (від 38,9 мм і 33,1 мм до 28,8 мм); Одеса (від 42,5 мм і 35,3 мм до 32,5 мм) та Іллічівськ (від 41,5 мм і 32,8 мм до 29,9 мм), відповідно.

Найбільші значення середньомісячних сум природних опадів спостерігались на метеостанціях Одеса і Любашівка (42,5 мм), Вилкове (42,4 мм) та Іллічівськ (41,5 мм) - у листопаді місяці. Найменші середньомісячні суми природних опадів відмічені

на метеостанціях Сербка: 24,7 мм - у січні, 25,8 мм - у березні та у Сарата: 26,9 мм у лютому.

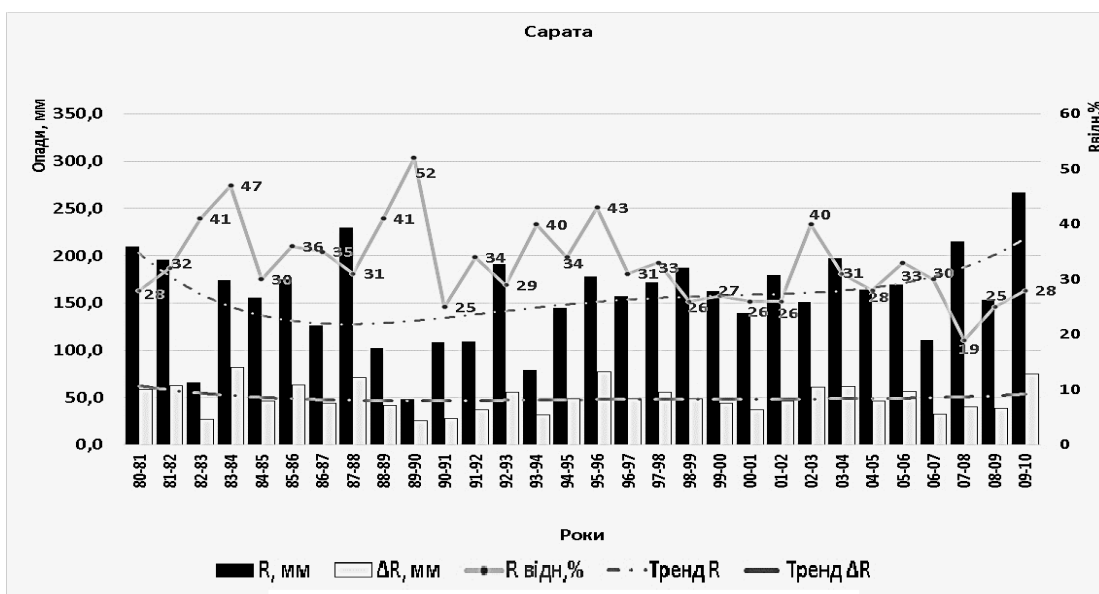


Рис. 11. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Сарата

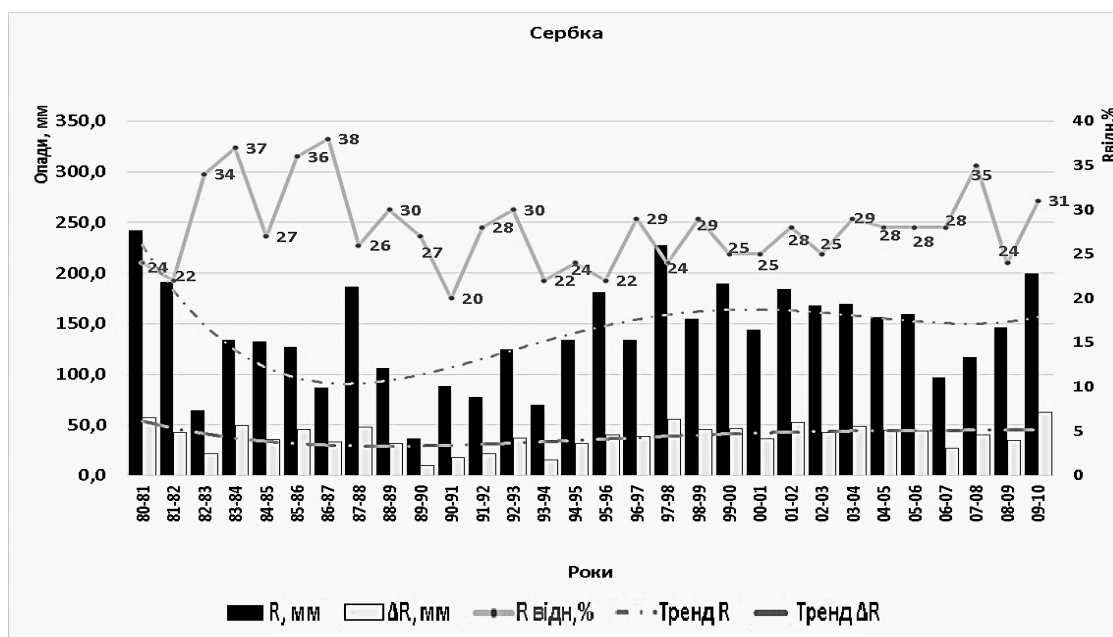


Рис. 12. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Сербка

Як бачимо, найменші значення середньомісячної суми опадів територіально також відмічаються на південному сході північної частини Одеської області (Сербка), а найбільші – на приморських метеостанціях (Одеса, Вилкове, Іллічівськ) у її південно-західній частині.

Проаналізуємо розподіл кількості потенційно можливих штучних опадів, розрахованих нами з використанням алгоритму, приведеному в [7]. Для

метеостанцій, розташованих у північній частині Одеської області, дещо віддалених від узбережжя Чорного моря, величини середньої кількості штучних опадів за сезон робіт, узагальнені за період 30 років (1980-2010 рр.), також зменшуються у напрямку на південний схід - Роздільна (49,4 мм); Затишшя (45,5 мм); Сербка (38,6 мм). Тільки у Любашівці, що найбільше віддалена від морського узбережжя, середня величина кількості штучних опадів за сезон виявилась дещо більшою – 64,0 мм, що можна пояснити зменшенням впливу бризового ефекту і збільшенням вологозапасів хмар.

Як показують розрахунки, внаслідок активних впливів у сезон робіт на метеостанціях південного заходу Одеської області можна було б отримати дещо більшу кількість штучних опадів, ніж у її північній частині – Болград (60,1 мм); Ізмаїл (61,0 мм); Білгород-Дністровський та Чорноморськ (Іллічівськ) (по 64,7 мм), Одеса (64,6 мм); Вилкове (52,0 мм). Найбільші суми додаткових опадів, які можливо було б отримати за сезон робіт під час штучного впливу на хмари, з яких йдуть природні опади, властиві для району Одеси (Одеса, Іллічівськ, Білгород-Дністровський) та для крайньої півночі області (Любашівка). Це слідує із даних таблиці 1 та рис. 2 – 12. Різниця середніх за сезон робіт сум додаткових штучних опадів, розрахованих нами, між крайніми південно-західними (Болград, Ізмаїл) і ближчими до району Одеси метеостанціями (Вилкове, Сарата) склала до +11 мм. На метеостанціях району Одеси (Одеса, Іллічівськ, Білгород-Дністровський) у порівнянні з Вилкове та Сарата, ця різниця зростала до + 15 мм. Між метеостанціями району Одеси і крайньогопівденного сходу області (Сербка) вона збільшувалась вже до + 26 мм за сезон робіт.

Для північної частини Одеської області середні за сезон розраховані суми додаткових опадів зростали у напрямку на північ до + 25 мм (від 38,6 мм у Сербці до 64,0 мм у Любашівці) – табл. 1.

Найбільші величини серед середніх значень розрахованої сезонної суми додаткових опадів у період з 1980 по 2010 рр. зафіксовано на метеостанціях Білгород-Дністровський (111,8 мм), Болград (108,1 мм), Ізмаїл (105,8 мм) у сезоні 1983-84 рр. та Одеса (99,2 мм) у сезоні 1995-96 рр. Всі вони розташовані у південно-західній частині Одеської області.

Найменші значення розрахованої сезонної суми додаткових опадів за весь 30-річний період спостережень було отримано у сезоні 1989-90 рр. На сході та у центрі північної частини області вони сягнули 9,7 мм у Сербці, 17,2 мм - у Затишші, 17,4 мм - у Роздільній. На південному заході Одещини, у Вилкове, в той же сезон розрахунок показав 14,3 мм додаткових опадів. Як ми відмічали вище, у сезоні 1989-90 рр. спостережено і найменші значення суми природних опадів для цих пунктів.

Дослідимо помісячний розподіл кількості розрахованих штучних опадів у сезон робіт. Для переважної більшості пунктів Одеської області характерне поступове зростання величини середньомісячної кількості додаткових опадів, починаючи з листопада і закінчуючи січнем, потім поступове її зниження у лютому та березні. Лише на метеостанціях Сербка (на сході) та Болград, Ізмаїл, Вилкове (на південному заході) максимум обчисленої нами середньомісячної кількості можливих додаткових штучних опадів припадав на грудень, але поступово зменшувався до березня місяця.

Найвищі значення середньої місячної величини додаткових опадів, обчисленої за період 30 років (1980-2010 рр.), склали 14,0-14,4 мм і відмічені на метеостанціях південно-західної частини області та в Любашівці - на крайній її півночі, а мінімальними вони були в Сербці (7,2-7,3 мм) - на сході північної частини області та в Затишші (8,0-8,2 мм) – у центральній смузі півночі області.

Абсолютні максимуми розрахованих значень місячної суми штучних опадів, які могли б бути отримані внаслідок активного впливу на хмари, з яких випадали

природні опади, найбільших значень набули на метеостанціях півдня Одеської області: Ізмаїл – 41,7 мм (березень місяць сезону 1983-84 рр.); Болград – 34,2 мм (грудень сезону 1996-97 рр.); Білгород-Дністровський – 35,1 мм (у січні сезону 2003-04 рр.); Одеса – 34,0 мм (листопад сезону 1981-82 рр.), а також у Любашівці на півночі області – 36,3 мм (у січні сезону 2009-10 рр.).

Абсолютні мінімальні значення місячної суми штучних опадів, отримані методом розрахунку, склали: 0,0 мм - у Сербці (грудень сезону 1989 - 90 рр.) та у Сараті (березень місяць сезону 1989-90 рр.); 0,1 мм – у Ізмаїлі та Вилкове (у березні сезону 1989-90 рр.); 0,2 мм - у Білгород-Дністровському (березень сезону 1989-90 рр.). Взагалі мінімальні значення місячних сум можливих додаткових опадів на більшості метеостанцій Одеської області, як і найменші значення суми природних опадів для цих пунктів, припали на посушливий сезон 1989-90 рр.

Проаналізуємо хід можливого відносного збільшення опадів із хмар, розрахованого для метеостанцій Одеської області за згадане 30-ліття. Як видно із даних вищеназваних таблиць та рисунків, на півдні та в центрі північної частини області за розглянутий період середні значення можливого відносного збільшення опадів за сезон робіт склали від 27% у Сербці до 30% у Роздільній. Лише на самій півночі області можливе відносне збільшення опадів внаслідок активного впливу на хмари зросло до 39% на метеостанції Любашівка, як і сама його розрахункова абсолютна величина.

У південно-західній частині Одеської області середні значення можливого відносного збільшення опадів у сезон робіт за згаданий вище період набули більших значень, ніж у північній частині області: від 29% на метеостанції Вилкове і 32% у Сараті до 35% і 37% на метеостанціях Болград та Ізмаїл, відповідно.

Найбільші середні значення можливого відносного збільшення опадів, обчисленого за період 30 років, відмічені на метеостанціях прибережної зони Чорного моря: Одеса – 36%, Іллічівськ – 38%, Білгород-Дністровський – 41%. Зазначимо, що і абсолютні розрахункові середні величини збільшення опадів внаслідок штучного впливу на хмари на цих метеостанціях також були найвищими.

Розглянувши помісячний розподіл розрахованого середнього відносного збільшення опадів за період 30 років (1980-2010 рр.), можна вважати, що для метеостанцій північної частини Одеської області максимальні значення (від 32 – 35% для більшості пунктів і до 46% для Любашівки) характерні для січня і лютого місяців, зі зменшенням значень у інші місяці сезону робіт. Такий же помісячний хід в сезоні для цієї величини характерний і для південної частини області (від 33-34% за січень і лютий місяці у Вилкове, 35-36% у Сараті, до 40-42% у Болграді та Ізмаїлі). Теж саме можна сказати і про метеостанції Одеси (37-42%) та Білгород-Дністровського (44-46%).

Придивимось до максимальних та мінімальних значень відносного збільшення опадів на метеостанціях Одеської області по рокам, взятого нами для обробки 30-річного періоду (1980-2010 рр.). Ми бачимо, що найбільші значення максимуму перевищують мінімум від 2,5 до 4-х разів. Це характерно для метеостанцій південно-західної частини цієї області: Вилкове – від 10% у сезоні 1990-91 рр. до 45% у сезоні 1983-84 рр., Сарата – від 19% у сезоні 2007 - 08 рр. до 52% у сезоні 1989-90 рр., Болград – від 22% у сезоні 2001-02 рр. до 54% у сезоні 1982-83 рр., Одеса – від 25% у 1999-2000 рр., Іллічівськ – від 27% у сезоні 1981-82 рр. та Білгород-Дністровський – від 26% у сезоні 2000-01 рр. до 78% для цих метеостанцій у сезоні 1987-88 рр.). Для півночі області це відношення зменшується до 2 і менше разів (Сербка – від 20% у сезоні 1990-91 рр. до 38% у сезоні 1986-87 рр., Затишся – від 19% у сезоні 2000-01 рр. до 36% у сезоні 1986-87 рр., Любашівка – від 28% у сезоні 1999-2000 рр. до 54% у сезоні 2003-04 рр.). Як видно із наведеного, явної

прив'язки максимумів і мінімумів відносного збільшення опадів до певних сезонів робіт на метеостанціях Одеської області не простежувалось.

Проаналізуємо приведену на рис. 2-12 динаміку щорічних коливань кількості природних і додаткових штучних опадів, що можна було б отримати, впливаючи на хмари, з яких випадали ці природні опади, та хід ймовірного відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) на метеостанціях Одеської області за 30-річний період.

Як слідує з рисунків, для всіх метеостанцій Одеської області характерним стало таке співпадіння: пікові значення кількості природних і розрахованих можливих додаткових штучних опадів спостерігались на початку 30-річного періоду обробки даних у 2 сезонах: 1980-81 рр. та 1981-82 рр.. Потім відбулось різке зменшення величини сезонної суми природних опадів і суми їх можливого збільшення у сезоні 1982-83 рр.

У подальшому часовому ході цих величин між окремими частинами Одеської області виявлено певні відмінності. У північній частині області (метеостанції Любашівка, Затишся, Роздільна та Сербка) спостережене значне зростання середньорічних значень суми природних опадів та суми їх можливого збільшення у сезоні 1983-84 рр. Потім, у сезони робіт з 1984 по 1987 рр. ми бачимо поступове зменшення сезонних сум природних опадів та сум їх можливого збільшення. Наступного сезону (1987-88 рр.) знову спостерігаємо пікові зростання сезонних сум природних та можливих додаткових опадів. У подальшому можна відмітити спад значень величин сезонних сум природних і можливих штучних опадів, з набуттям мінімальних значень у сезоні 1989-90 рр. Потім можемо відзначити значне збільшення кількості природних і розрахункових штучних опадів у сезоні 1990-91 рр. та більш-менш рівномірний хід значень цих характеристик у подальшому часі, аж до закінчення сезону 1996-97 рр. У наступному сезоні 1997-98 рр. значення сум природних і можливих додаткових штучних опадів підвищились. В подальшому можна відмітити помірний рівномірний хід значень цих характеристик аж до закінчення сезону 2005-06 рр.

У сезоні 2006-07 рр. спостерігалось зниження величин сезонних сум природних і можливих штучних опадів. Кінцевий період спостережень відзначився поступовим зростанням сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів, починаючи з сезону 2007-08 рр.. Максимуму значень величин, про які йшла мова, було досягнуто у сезоні 2009-10 рр., що став останнім у ряду спостережень, взятого нами до розгляду.

Динаміка щорічних коливань значень можливого відносного збільшення опадів для метеостанцій півночі області виявилась зворотно пропорційною до коливань абсолютних величин кількості природних та розрахованих штучних опадів за сезон робіт. Відносне збільшення кількості опадів зростало у ті сезони, коли спостерігалось зменшення абсолютних значень сезонних сум природних і розрахованих додаткових опадів. І, навпаки, мало тенденцію до спадання значень у сезони, коли сезонні суми природних і розрахованих штучних опадів зростали у порівнянні з попередніми періодами. Як видно з рис. 2 – 12, динаміка щорічних коливань значень можливого відносного збільшення опадів є зворотно пропорційною і до щорічного ходу ліній трендів сезонної кількості природних та розрахованих штучних опадів. Зауважимо, що лише для метеостанції Роздільна властивим виявився більш плавний хід коливань значень відносного збільшення кількості опадів для проміжку часу, починаючи з сезону 1987-88 рр. і закінчуючи сезоном 1996-97 рр.

У південно-західній частині Одеської області відмічено наступні особливості динаміки щорічних коливань кількості природних і додаткових штучних опадів. Для



приморських метеостанцій (Одеса, Іллічівськ, Білгород-Дністровський) у сезонах, що припали на 1980-83 рр., як і для метеостанцій півночі Одеської області, властивий пік максимальних значень сезонних сум природних і обчислених штучних опадів на початку періоду обробки (1980-82 рр.), та подальший мінімум значень у сезоні 1982-83 рр. У сезонах 1983-88 рр. для Одеси та Іллічівська спостерігалось значне зростання сезонної суми як природних, так і обчислених штучних опадів у порівнянні з 1982-83 рр.. Максимум значень настав у сезоні 1987-88 рр. Для метеостанції Білгород-Дністровський максимум значень відмічений у сезоні 1983-1984 рр., одразу за посушливим сезоном 1982-83 рр., а в подальшому відбулося поступове зниження значень сезонних сум природних і обчислених штучних опадів, з настанням мінімуму значень у сезоні 1989-90 рр.. Для Одеси сезон 1989-90 рр. також характерний найнижчими сумами природних і обчислених штучних опадів. Що стосується Іллічівська, то у цей період ( аж до 1994 р.) метеостанція не функціонувала. У 1990-94 рр. для метеостанцій Одеси і Білгород-Дністровського були властиві щорічні незначні коливання сум природних і можливих додаткових опадів, які перевищували значення суми опадів у посушливому сезоні 1989-90 рр. Надалі, аж до кінця періоду обробки даних (2010 рік), характерним стало поступове наростання значень сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів, хоч і з невеликими перепадами, аж до настання максимуму значень цих сум у сезоні 2009-10 рр., останньому, який був взятий нами до обробки. І тільки лише для однієї з цих трьох приморських станцій (Іллічівськ) спостережено більш менш рівномірний хід значень цих сум за період з кінця 1994 року до 2006 року.

У багаторічному ході розрахованого нами відносного збільшення опадів можна відмітити екстремум, що припав на сезон 1982-83 рр., коли суми природних і обчислених штучних опадів сягнули мінімальних значень у порівнянні з попередніми роками. Після цього спостережений ще один мінімум величини відносного збільшення опадів в сезоні 1984-85 рр. У подальшому, починаючи з сезону 1987-88 рр. і закінчуючи сезоном 1996-97 рр., ми відзначили трирічні цикли коливання розрахованого відносного збільшення опадів (мінімум значень, максимум значень і знову мінімум). Лише для метеостанції Іллічівськ цього неможливо констатувати, оскільки вона не функціонувала у період з 1988 по 1994 рр. У перспективі для метеостанції Одеса, аж до сезону 1999-2000 рр., властивим стало зниження значень обчисленого відносного збільшення опадів, з настанням мінімуму у згаданому сезоні, і подальший рівномірний хід значень аж до кінця періоду обробки даних у 2010 році. Для метеостанцій Білгород-Дністровський та Іллічівськ, починаючи з сезону 1997-98 рр. і до кінця періоду спостережень, характерними виявились незначні коливання величин розрахованого відносного збільшення опадів з трирічними та п'ятирічними циклами.

Тепер розглянемо динаміку часового ходу величин сум природних та обчислених можливих додаткових опадів і їх відносного збільшення для інших метеостанцій південно-західної частини Одеської області (Болград, Вилкове, Ізмаїл, Сарата). Як відмічалось раніше, сезони 1980-83 рр. для території всієї області мали спільні риси у динаміці щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів. Для цих пунктів також можна відмітити пік значень сезонної суми природних і обчислених штучних опадів у сезоні 1980-81 рр., із подальшим зниженням до мінімуму у сезоні 1982-83 рр. На метеостанціях Болград та Ізмаїл у сезоні 1980-81 рр. було відмічено найбільші пікові значення суми природних і розрахованих додаткових опадів, отриманих внаслідок штучного впливу на хмари за сезон робіт, протягом всього 30-річного періоду спостережень, прийнятого нами для обробки.

В наступному сезоні 1983-84 рр. знову спостерігалось зростання значень сум природних та обчислених можливих додаткових опадів для всіх метеостанцій

південного-заходу Одеської області. У подальших сезонах на всіх метеостанціях цієї частини області відбувались незначні коливання сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів, з настанням чергового мінімуму значень у сезоні 1986-87 рр.

Черговий сезон 1987-88 рр. можна відмітити черговим максимумом значень сезонної суми природних і розрахованих штучних опадів. Після нього спостерігаємо зниження цих сум до абсолютного мінімуму для всіх станцій, про які йде мова, що настало у 1989-90 рр.

Наступний цикл коливань значень сезонних сум природних і обчислених додаткових опадів відбувся у 1990-1994 рр., коли максимум значень сезонних сум природних і штучних опадів був спостережений у 1992-93 рр., а мінімум припав на сезон 1993-94 рр. В послідуєчі роки, аж до закінчення взятого нами до обробки 30-річного ряду (2010 рік), для метеостанцій Болград, Ізмаїл та Сарата відмічались дещо менші ніж у попередні роки коливання сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів. Лише для метеостанції Вилкове стала характерною дещо більша різниця значень між максимумами і мінімумами сум природних і обчислених додаткових опадів. Для метеостанцій Вилкове та Сарата у 2009-2010 рр. сезонна сума природних опадів виявилась найвищою за весь 30-річний період спостережень.

Для обчисленого відносного збільшення опадів, отриманих за рахунок штучного впливу, на деяких метеостанціях у південно-західній частині обстежуваної області існують певні відмінності у порівнянні з метеостанціями району Одеси. Так, для метеостанцій Болград та Ізмаїл відмічені піки максимумів значень, що припали на сезон 1982-83 рр., коли суми природних і обчислених штучних опадів були найнижчими, але для станцій Вилкове та Сарата ці піки максимумів відносного збільшення опадів були спостережені наступного сезону, коли сезонні суми природних і обчислених штучних опадів значно зросли. У подальшому для всіх зазначених метеостанцій спостерігались три або чотирирічні цикли коливань пікових значень розрахованої нами величини відносного збільшення опадів за рахунок активних впливів на хмари. Абсолютні максимальні значення цієї величини для станцій Болград, Ізмаїл та Сарата у окремі роки перевищували 50%.

Цікавим є факт зниження цієї величини до 10% у сезон 1990-91 рр. на метеостанції Вилкове, коли, при доволі таки середньому значенні сезонної суми природних опадів, було отримано найнижчу за весь період спостережень розраховану суму штучних опадів. Це можна було б пов'язати тим, що вклад у суму природних опадів внесли опади з хмар, де відбувались досить інтенсивні процеси опадоутворення, а інтенсивність природних опадів була такою, що активний вплив на ці хмари не дав би жодних результатів. Але перевірка такого припущення потребує більш детальних досліджень.

**Висновки.** Аналіз результатів проведеного дослідження ресурсів природних опадів, що випадали із хмар у сезон робіт (з 1 листопада по 31 березня) у Одеській області, що належить до Північного Причорномор'я, за тридцятирічний період спостережень (з 1980 по 2010 рр.), дав підстави для наступних висновків.

1. У північній частині Одеської області помітна тенденція до зменшення середньої кількості природних опадів протягом сезону робіт на 23-25 мм у південно-східному напрямку: від 165,9 мм – Роздільна, 165,1 мм – Любашівка та 164,0 мм – Затишшя до 141,1 мм у Сербці. Південно-західній частині області властивий спад значень сумарної кількості природних опадів за сезон робіт на 10-20 мм у напрямку з південного заходу і півдня на північний схід (від 178 мм до 157 мм). Найменше значення середньої кількості природних опадів за сезон робіт у цій області

зафіксовано на метеостанції Сербка (141,1 мм) – у її північній частині, найбільше - на метеостанції Одеса (181,5 мм) – у її південно-західній частині.

2. Найменші значення кількості природних опадів за сезон робіт протягом 30-річного періоду спостережень (1981-2010 рр.) серед метеостанцій Одеської області зафіксовано у сезоні 1989-1990 рр. на метеостанціях Сербка – 36,6 мм та Одеса – 39,6 мм, найбільші значення сезонної кількості природних опадів за цей же період припали на сезон 2009-2010 рр. на метеостанціях Вилкове – 336,9 мм та Одеса – 319,9 мм. Найбільші за величиною максимальні значення кількості природних опадів за сезон робіт відмічені на метеостанціях, які розташовані близько або безпосередньо на узбережжі Чорного моря, або ж на крайній півночі області (Любашівка), а найменші - на сході північної частини області (Сербка).

3. В Одеській області найбільше природних опадів випадало у листопаді та грудні місяцях. Найвищі значення середньомісячних сум природних опадів за сезон робіт протягом періоду, за який оброблені дані, спостерігались у листопаді місяці на метеостанціях Одеса і Любашівка (по 42,5 мм), Вилкове (42,4 мм) та Іллічівськ (41,5 мм). Найменші середньомісячні значення суми опадів зафіксовані на сході Одеської області (Сербка), найбільші – на приморських метеостанціях (Одеса, Вилкове, Іллічівськ).

4. Виконані розрахунки свідчать, що за 1980-2010 рр. у Одеській області за умови використання для активних впливів усіх придатних для засіву хмар, з яких випадали природні опади, максимально можливе збільшення середньої за сезон (листопад – березень) суми опадів склало б від 38,6 мм у Сербці до 64,7 мм у Білгород-Дністровському та Чорноморську. Ця величина зменшувалась у напрямку із заходу на схід для метеостанцій, розташованих на півночі Одеської області. Виключення склала лише метеостанція Любашівка, розташована на самій півночі області. На метеостанціях, які розташовані у південно-західній частині Одеської області, особливо тих, що знаходяться у прибережній смузі Чорного моря, у сезон робіт можна було б отримати більше штучних опадів, ніж у її північній частині (від 49,7 мм у Сараті, 52,0 мм у Вилкове до 64,6 мм у Одесі та 64,7 мм у Білгород-Дністровському та Чорноморську). Величини розрахованої середньої сезонної суми додаткових штучних опадів для метеостанцій, розташованих у південно-західних і прибережних районах півдня Одеської області, на 10-15 мм більші, ніж для метеостанцій північних районів цієї області. А для крайнього сходу області (Сербка) ця різниця збільшується до + 26 мм за сезон робіт (5 місяців).

5. Можливе відносне збільшення природних опадів у сезон робіт, осереднене за 30 років, на півночі та в центрі області склало від 27% у Сербці до 30% у Роздільній. Лише на крайній півночі області воно зросло до 39% (Любашівка), повторюючи хід розрахункової абсолютної величини збільшення опадів. На півдні цієї області середні величини відносного збільшення опадів у сезон робіт набули вищих значень, ніж у її північній частині: від 29% на метеостанції Вилкове, 32% у Сараті до 35% і 37% на метеостанціях Болград та Ізмаїл, відповідно. Найбільших відміток значення можливого відносного збільшення опадів, середнього за період 30 років, сягнули на метеостанціях прибережної зони Чорного моря: Одеса – 36%, Іллічівськ – 38%, Білгород-Дністровський – 41%, причому і абсолютні значення величини збільшення природних опадів за рахунок штучного впливу на хмари, з яких випадали природні опади, тут також мали найвищі значення.

6. Максимальні значення розрахованої сезонної суми додаткових штучних опадів за період з 1980 по 2010 рр. зафіксовані на метеостанціях Білгород-Дністровський (111,8 мм), Болград (108,1 мм), Ізмаїл (105,8 мм) - у сезоні 1983-84 рр. Найменше додаткових опадів було б отримано у сезоні робіт 1989-90 рр. - на сході та у центрі північної частини цієї області: Сербка (9,7 мм), Затишшя (17,2 мм),

Роздільна (17,4 мм), та на півдні: у Вилкове - 14,3 мм. У цей же сезон спостерігались і найменші значення сум природних опадів у цих пунктах.

7. Для переважної більшості метеостанцій області характерним виявилось поступове зростання розрахованої величини середньомісячної кількості додаткових опадів з листопада по січень місяці і поступове її зменшення у лютому та березні. Максимальні середні місячні значення величини додаткових опадів склали 14,0-14,4 мм на метеостанціях, розташованих на півдні області, і приморських метеостанціях та у Любашівці - на крайній півночі області. Мінімальні середні місячні значення відмічені у Сербці (7,2-7,4 мм) - південно-східна частина півночі області та у Затишші (8,0 - 8,2 мм) – центр півночі області. Абсолютні максимуми значень місячних сум штучних опадів найбільших величин досягли на півдні області: Ізмаїл – 41,7 мм (березень місяць сезону 1983-84 рр.); Болград – 34,2 мм (грудень місяць сезону 1996-97 рр.); на приморських метеостанціях: Білгород-Дністровський – 35,1 мм (у січні сезону 2003-04 рр.); Одеса – 34,0 мм (листопад місяць сезону 1981-82 рр.) та на самій півночі області: Любашівка – 36,3 мм (у січні місяці сезону 2009-10 рр.). Абсолютні мінімальні значення місячних сум штучних опадів склали 0,0 мм у Сербці (грудень місяць сезону 1989-90 рр.) та Сараті (у березні місяці сезону 1989-90 рр.), 0,1 мм у Ізмаїлі та Вилкове (у березні сезону 1989-90 рр.). Взагалі мінімальні значення місячних сум можливих додаткових опадів на більшості метеостанцій Одеської області припали на сезон 1989-90 рр.

8. Помісячний розподіл відносного збільшення опадів для метеостанцій Одеської області за період 30 років (1980-2010 рр.) відзначився наступними особливостями: максимальні значення були досягнуті у січні і лютому місяцях, і зменшувались у інші місяці. Найбільша різниця між максимумом і мінімумом відносного збільшення опадів від 2,5 до 4-х разів була характерною для півдня та приморських метеостанцій області. Для північних районів згаданої області ця різниця знижувалась до 2 і менше разів. Певної прив'язки максимумів і мінімумів відносного збільшення опадів до певних періодів часу на метеостанціях Одеської області не простежувалось.

9. Динаміка щорічних коливань кількості природних і додаткових штучних опадів та відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) на метеостанціях Одеської області за 30-річний період для всіх метеостанцій мала характерне співпадіння: пікові значення кількості природних і розрахованих можливих додаткових штучних опадів спостерігались на початку 30-річного періоду обробки даних (у 2 сезонах: 1980-81 рр. та 1981-82 рр.), потім відбулось різке зменшення сезонної суми природних опадів і суми їх можливого збільшення у сезоні 1982-83 рр. У подальшому періоді часу між різними частинами області існують певні відмінності у згаданій вище динаміці, але для всіх метеостанцій спостерігаються три або чотирирічні цикли коливань пікових значень величини відносного збільшення опадів.

#### **Список літератури**

1. *Леонов М.П.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие. / М.П. Леонов, Г.И. Перелет - Л.: Гидрометеиздат; –1967. – 152 с. 2. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на фронтальные облака с целью увеличения осадков в холодный период года / Б.Н. Лесков // Тр. УкрНИГМИ, вып. 114, 1972. – С. 124-137. 3. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на облака холодного периода года с целью увеличения осадков. / Б.Н. Лесков // Тр. УкрНИГМИ, вып. 163, 1978. – С. 5-14. 4. *Половина И.П.* Воздействия на внутримассовые облака слоистых форм. / И.П. Половина - Л.: Гидрометеиздат, – 1971. – 216 с. 5. *Носар С.В.* Можливість штучного збільшення зимових опадів в Північно-Західному Причорномор'ї / С.В. Носар, Є.А. Степура // Наук. пр. УкрНДГМІ, вип.266. – 2014.– С. 26-38. 6. *Носар С.В.* Оцінка можливого штучного збільшення опадів у Північному Причорномор'ї в холодну

**Hydrolohiia, hidrokhiimia i hidroekolohiia. – 2017. – Т.2(45)**

частину року (на прикладі Херсонської області) / С.В. Носар, Є.А. Степура // Наук. пр. УкрНДГМІ, вип.269.– 2016.– С. 27-40. 7. Лесков Б.Н. О пригодности к воздействиям фронтальных облаков, дающих осадки / Б.Н. Лесков, Т.Д. Неробеева //Тр. УкрНИГМИ, вып. 103.– 1971. – С. 34-41.

**Потенціал штучного збільшення опадів холодної частини року в Північному Причорномор'ї (на прикладі Одеської області)**

**Носар С.В., Степура Є.А.**

*Обстежено запаси вологи хмар в Одеській області України (Північне Причорномор'я) за тридцятирічний період (з 01.11.1980 по 31.03.2010 року) у сезони проведення робіт (листопад-березень). За режимом зволоження у сезоні цю область можна розділити на північну і південно-західну частини. У згаданому регіоні розрахунки виявили, що штучні впливи на хмари, з яких випадали природні опади, можуть збільшити суму опадів за цей сезон на величину від 9,7 мм до 95,2 мм у північній частині та від 14,3 мм до 111,8 мм у південно-західній, а відносне збільшення опадів становитиме від 19% до 54% суми природних опадів за цей же сезон у північній частині та від 10% до 78% - у південно-західній.*

**Ключові слова:** дефіцит природних опадів; ресурси хмар; штучні впливи; зимові хмари; сезон проведення робіт; додаткові опади

**Потенциал искусственного увеличения осадков холодной части года в Северном Причерноморье (на примере Одесской области),**

**Носарь С.В., Степура Е.А.**

*Обследовано запасы влаги облаков в Одесской области Украины (Северное Причерноморье) за тридцатилетний период (с 01.11.1980 по 31.03.2010 года) в сезоны проведения работ (ноябрь-март). По режиму увлажнения в сезоне эту область можно разделить на северную и юго-западную части. В упомянутом регионе расчеты обнаружили, что искусственные воздействия на облака, из которых выпадали природные осадки, могут увеличить сумму осадков за этот сезон на величину от 9,7 мм до 95,2 мм в северной части и от 14,3 мм до 111,8 мм в юго-западной, а относительное увеличение осадков составит от 19% до 54% суммы природных осадков за этот же сезон в северной части и от 10% до 78% - в юго-западной.*

**Ключевые слова:** дефицит природных осадков; ресурсы облаков; искусственные воздействия; зимние облака; сезон проведения работ; дополнительные осадки.

**The potential for artificial increase in precipitation in the cold part of the year in the Northern Black Sea Region (on the example of the Odessa region)**

**Nosar S., Stepura E.**

*The distribution of natural precipitation in the seasons of the work was investigated according to the data of daily observations at 11 meteorological stations. Between the standard terms of observations of precipitation, the amount of natural precipitation falling from the clouds was calculated, per unit of time (hour) - the integrated intensity of precipitation. For each case where this parameter was determined, using the algorithm developed at the Ukrainian Hydrometeorological Institute (UkrGMI), a potentially possible increase in the amount of precipitation was calculated, due to the application of active influences on the clouds from which these natural precipitations fell.*

*According to the moistening regime in the season of work, this area can be divided into the northern and southwestern parts. In the mentioned region, the calculations found that artificial impacts on clouds from which natural precipitation fell can increase the amount of precipitation during this season by a value from 9.7 mm to 95.2 mm in the northern part and from 14.3 mm to 111.8 Mm in the south-west, and the relative increase in precipitation will be from 19% to 54% of the amount of natural precipitation for the same season in the northern part and from 10% to 78% in the south-west.*

**Keywords:** deficit of natural precipitation; resources of clouds; weather modification; winter clouds; additional precipitation.

**Надійшла до редколегії 11.04.2017**

## 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 рубежом, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Редакційна колегія просить звернути увагу авторів статей на Постанову ВАК України “Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України” за №7-05/1 від 15 січня 2003 р. Зокрема, на пункти 3 і 4 цієї Постанови:

“3. Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов'язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: *постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

4. Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт *зарахувати статті, подані до друку, починаючи з лютого 2003 р., як фахові лише за умови дотримання вимог до них, викладених у п.3 даної постанови”.*

**Відповідно до постанови ВАК України статті повинні мати такі чітко означені в тексті структурні елементи:**

**Вступ** (*постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями*);

**Вихідні передумови** (*аналіз останніх досліджень і публікацій*);

**Формулювання цілей статті, постановка завдання**;

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів**;

**Висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому науковому напрямі;

**Список літератури** (*7-10 джерел, в т.ч. інтернет-джерел, оформлених згідно з ДСТУ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації...»*). Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера і використаних сторінок.

Мова публікацій – українська. Можуть бути статті російською та іншими іноземними мовами. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Для одноосібних статей, поданих студентами, аспірантами, здобувачами обов'язковим є відгук наукового керівника.

**Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті матеріалів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.**

Статті обсягом **5-10 сторінок** (разом із резюме, таблицями, рисунками (рисунки чорно-білі) та списком літератури) необхідно надсилати на адресу редколегії у **електронному вигляді** (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у роздрукованому вигляді у 2-х примірниках (для рецензування), один – із підписами авторів; другий – копія першого без підпису. Шрифт Arial, кегль 12, Word 6-8. Поля всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00.

Подані до збірника рукописи, обсягом **менше 5 сторінок**, а також ті, що не мають відповідної рубрикації, будуть розміщуватись у розділі **"Наукові повідомлення"**.

Необхідно мати на увазі, що одиниці вимірювання величин і характеристик у статтях треба наводити згідно системи СІ. Зокрема, концентрацію хімічних компонентів у воді – в **мг/дм<sup>3</sup>** (а не в мг/л).

*Крім того, до статті додаються відомості про авторів згідно зразка:*

*Прізвище, ім'я, по батькові;*

*Науковий ступінь та вчене звання;*

*Місце роботи;*

*Посада;*

*Службова адреса;*

*Контактний телефон, E-mail.*

Зразок оформлення статті (обов'язково ставити УДК, дотримуватися виділення шрифту і абзаців):

УДК 551.49

(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.

Після тексту через інтервал підзаголовок **"Список літератури"** (кегель 11, напівжирний), а потім власне список за його наявності (також кегль 11). Список літератури має бути оформлений згідно вимог ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 та вимог ВАК України («Бюлетень ВАК України», № 3 від 2008).

Після "Списку літератури" через інтервал – **анотації** українською, російською і англійською мовами, що **додаються за схемою:**

1) **назва статті** (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).

Наукове видання

**ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ**

**Науковий збірник**

**2017 рік**

**Том 2 (45)**

*Збережено авторський стиль та орфографію*

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 26.06.2017  
Формат 60x90/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Arial. Друк різнограф.  
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.  
Наклад 300 прим. Зам. № 52-014.



**Видавництво географічної літератури “Обрії”**

Свідоцтво Держкомінформ України

ДК № 23 від 30.03.2000 р.

Київ, вул. Старокиївська, 10

Тел.: (096) 882-30-30

e-mail: vgl\_obrii@ukr.net

**Hidrolohiiia, hidrokhiimia i hidroekolohiia. – 2017. – T.2(45)**