

# ГІДРОЛОГІЯ, ВОДНІ РЕСУРСИ

УДК 551.501+556.16:519.21

М.М.Сусідко

*Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Київ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ В ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ**

На основі аналізу даних багаторічних спостережень і наукових публікацій показано порушення однорідності гідрометеорологічних величин при застосуванні статистичних методів їх узагальнення. Недотримання вимог щодо однорідності статистичних сукупностей призводить до невірних висновків.

### **Суть питання**

Теорія ймовірності та статистичні методи застосовуються в гідрометеорологічних дослідженнях при вирішенні багатьох завдань, оскільки вони часто слугують єдиним шляхом кількісного оцінювання характеристик метеорологічних і гідрологічних явищ. Гідрометеорологічні процеси за своєю сутністю багатофакторні, тому математичний опис їх результатів можливий лише статистичними методами. Вирішуючи проблеми узагальнення гідрометеорологічних спостережень, статистика одночасно визначає, яким якостям повинні відповідати дані, щоб на їх основі можна зробити повноцінні висновки.

Застосування теорії ймовірності та статистичних методів у гідрометеорологічних дослідженнях має деякі особливості, зумовлені своєрідністю явищ, що розглядаються в цій галузі [4, 5, 8-10]. Однією із основних, досить важливих вимог до застосування статистичних методів є однорідність сукупностей даних. Тому перед тим, як починати статистичні обчислення, дуже часто постає необхідність старанного аналізу даних, що залучаються, стосовно їхньої фізичної та статистичної однорідності [7-9].

Однорідність статистичних послідовностей гідрометеорологічних даних порушується з двох причин. Це може бути зміна умов зовнішнього середовища в пунктах метеорологічних спостережень чи на водних

об'єктах. І, по-друге, бувають випадки, коли неправомірно застосовують такі способи дослідження, узагальнення або подання даних, внаслідок чого до сукупностей, що опрацьовуються, включають генетично неоднорідні гідрометеорологічні величини або ж їх значення різної ймовірності настання.

Отже, можливості добре відпрацьованого апарата теорії ймовірностей використовуються у гідрометеорологічних дослідженнях і розрахунках не завжди досить коректно. Оскільки за останні роки з'явилося чимало публікацій стосовно кліматологічних і гідрологічних узагальнень, у статті звертається увага на деякі недоречності при їх опрацюванні.

### **Порушення однорідності даних метеорологічних спостережень**

Прикладом порушення однорідності даних може слугувати зміна мікрокліматичних умов на майданчику метеорологічних спостережень, яка переноситься на характеристики оточуючої місцевості. За 55-60 років з часу відновлення після війни спостережень на метеорологічних станціях, в оточенні багатьох із них відбулися зміни – піднялися деревні насадження, забудовано території поблизу метеорологічних майданчиків.

Ці перешкоди для вільного переміщення повітря та закритість небозводу призвели на багатьох метеостанціях до зміни мікрокліматичних умов на самих майданчиках спостережень. Таким чином на протязі декількох десятків років поступово змінювалися вітровий, радіаційний та термічний режими. Якщо такі дані спостережень залучаються до узагальнення без часового та просторового аналізу, вони можуть сприйматися як динаміка кліматичних умов на оточуючій місцевості. А потім робляться невірні кліматологічні оцінки з далекоглядними висновками про вплив антропогенних чинників на клімат.

Щоб пересвідчитися, як впливає захищеність майданчика спостережень на режим метеорологічних величин, варто проаналізувати такий кліматичний показник як швидкість вітру. При цьому слід мати на увазі, що на майданчиках спостережень тих метеостанцій, що знаходяться при аеропортах, умови їх захищеності майже не змінювалися. Можна вважати, що дані цих метеостанцій і ще деяких характеризують відкриту місцевість.

Якщо за матеріалами довідника [6] узагальнити характеристики швидкості вітру по території України на відкритій і захищеній місцевості,

то вони будуть мати наступні значення (за винятком гірських регіонів) – табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики швидкості вітру по території України

Регіон	Середня швидкість, м/с		Кількість днів зі швидкістю $\geq 15$ м/с	
	відкрита місцевість	захищена місцевість	відкрита місцевість	захищена місцевість
Північно-західний, Північний, Центральний	3,5 - 4,2	2,2 - 3,0	20 - 30	5 - 15
Східний, Південний, Південно-Східний	4,0 - 5,5	3,0 - 3,5	35 - 55	10 - 25

Таким чином, середня швидкість вітру на метеостанціях, де порушено вільне переміщення повітря, в 1,3-1,6 разів менша, ніж на відкритій місцевості. А вітер зі швидкістю  $\geq 15$  м/с спостерігається на відкритій місцевості в 2-4 рази частіше.

Добре видно вплив оточення майданчиків спостереження на характер вітрового режиму, визначений через середні багаторічні швидкості вітру, на Правобережжі Прип'яті. Так, на метеостанціях Луцьк, Рівне і Житомир, які знаходяться в аеропортах, середня швидкість вітру досягає 3,6 - 4,2 м/с, тоді як в решті пунктів не перевищує 2,5 – 3,0, а то й знижується до 2,2 - 2,3 м/с (рис.1).

Згідно з рекомендаціями [15] вплив перешкод оточення на швидкість вітру може бути визначена через кутову висоту перешкод  $\alpha$ , як

$$U_h = (1 - 0,024\alpha)U, \quad (1)$$

де  $U$  – швидкість вітру на відкритій місцевості,

$U_h$  – швидкість вітру за наявності перешкод.

Виходячи із рівняння (1), можна наглядно подати коефіцієнти зменшення швидкості вітру в залежності від висоти перешкод і відстані до них (табл.2). Приблизно такі ж співвідношення за наявності перешкод вільному обміну повітря наведені в “Ресурсах поверхностных вод СССР” том 6, випуск 1 (1969 р.).

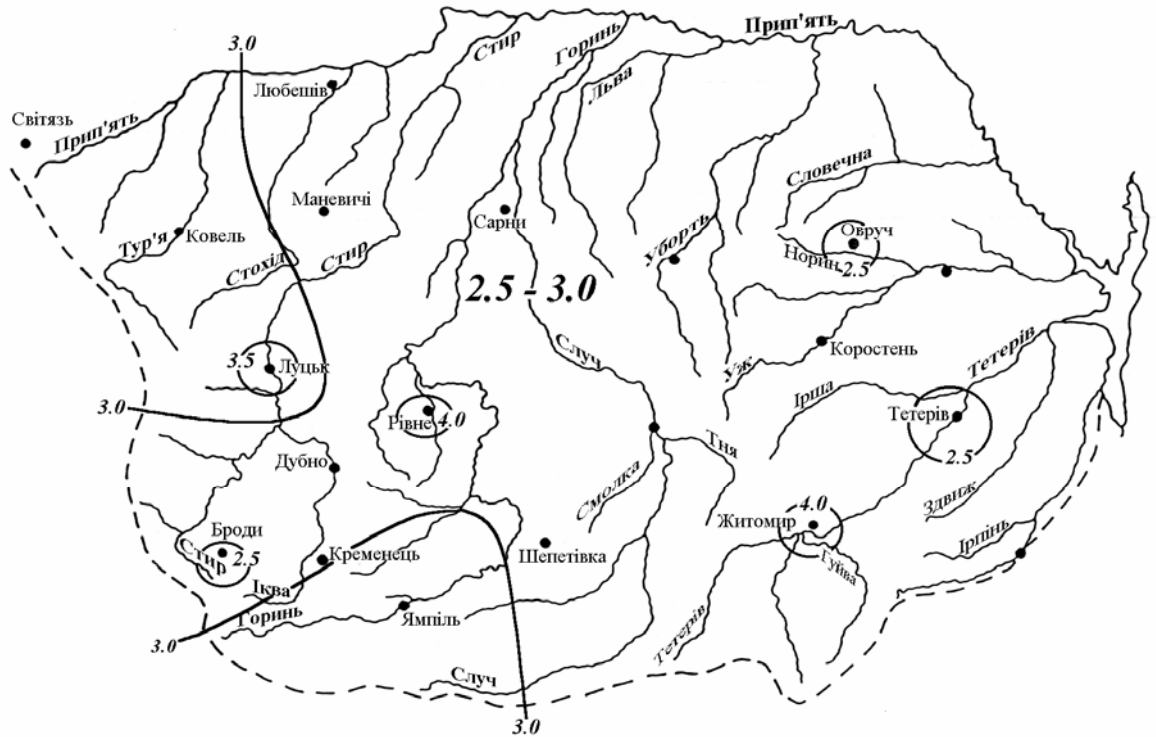


Рис.1. Середня річна швидкість вітру, м/с (за даними метеостанцій)

Таблиця 2

Вплив перешкод оточення на швидкість вітру

Середня кутова висота перешкод, $\alpha$	Висота перешкод (м) на відстані		Швидкість вітру відносно відкритої місцевості
	50 м	100 м	
5°	4	9	0,88
10°	9	18	0,76
15°	13	27	0,64
20°	18	37	0,52

Якщо застосувати коефіцієнти, подані в табл.2, для обчислення швидкості вітру на відкритій місцевості до всіх метеостанцій, то отримаємо для території Правобережжя Прип'яті значення, які погоджуються зі швидкостями вітру на метеостанціях в аеропортах (рис.2). І швидкість вітру на переважній частині території, що розглядається, буде просторово однорідна – 3,5-4,0 м/с (для всіх пунктів спостережень прийнято коефіцієнт, рівний в середньому 0,70).

До речі, у “Кліматичному атласі УРСР” за 1968 р. середня швидкість вітру на Правобережжі Прип'яті дорівнює 4 м/с. Деяко вища вона (близько 4,5 м/с) на Подільській височині – як при нашому обчисленні, так і в згаданому атласі.

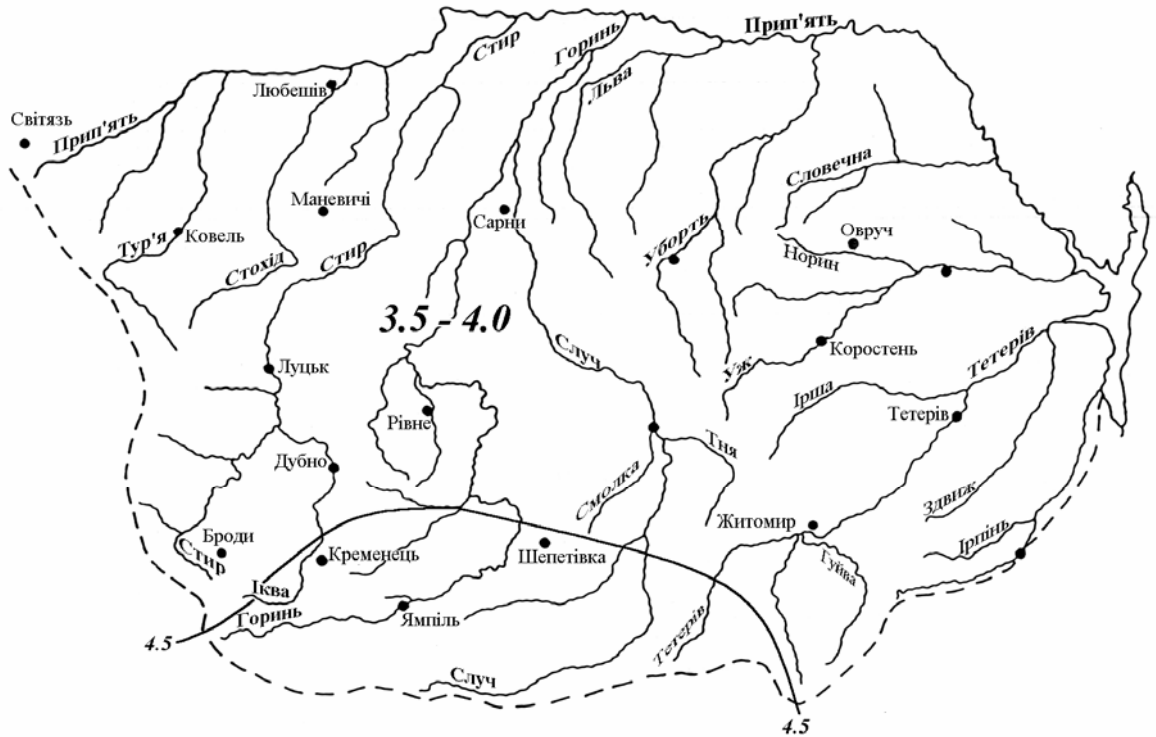


Рис. 2. Середня річна швидкість вітру, приведена до відкритої місцевості, м/с

Прикладом неправомірних висновків через залучення неоднорідних даних може слугувати стаття [3], де автор на доказ зміни клімату наводить тренди середньої річної швидкості вітру та випаровування з водної поверхні на метеостанції Лубни. За період з 1950 по 2000 рік середня річна швидкість вітру зменшилася у цьому пункті з 2,5 до 1,5 м/с. Така ж тенденція і щодо зміни випаровування за даними випарника – від 640 до 380 мм за теплий період року. У дійсності ці тренди характеризують часові зміни мікрокліматичних умов метеорологічного майданчика станції Лубни.

Автор публікації [3], наводячи дані зі станції Лубни, робить без просторового аналізу висновки про зміни клімату на території України. Тоді як дані метеостанцій, що розташовані в тому ж районі, але на відкритій місцевості, не підтверджують таких категоричних висновків. Так, середня річна швидкість вітру на метеостанції Полтава становить 3,9 м/с проти 2,3 м/с в Лубнах, а кількість днів зі швидкістю  $\geq 15$  м/с – відповідно 33 і 13.

Із сказаного вище пересвідчуємося, що заяви про зменшення швидкості вітру та випаровування на території України [3, 14]

потребують обґрунтування на основі фізичного та просторово-часового аналізів із залученням однорідних даних.

### **Оцінювання максимальних кількостей опадів**

Аналіз однорідності гідрометеорологічних величин при просторовому поданні їх максимальних показників має свої особливості, яких подеколи не враховують. Наприклад, щоб побудувати карту максимального стоку води, потрібно модулі максимальних витрат привести до однієї за розмірами площі (приміром 200 км<sup>2</sup>) та визначити їхні значення певної ймовірності (1, 2, 5,...%). Це будуть однорідні для просторового районування дані.

У той же час наукові публікації, присвячені просторовому поданню максимальних опадів, рясніють порушеннями однорідності.

Можна навести безліч прикладів, коли подаються відомості про максимальні кількості опадів за добу по території України та окремих її регіонів без зазначення ймовірності випадіння їх. Це стосується багатьох публікацій, у т.ч. й праці [6]. За такої інформації спотворюється уявлення про часовий і просторовий режим опадів. Наприклад, метеостанція Семенівка Чернігівської області, де в серпні 1946 р. за добу випало 145 мм, фігурує в [6] нарівні з територією Карпатського регіону. А для останнього такі й більші опади спостерігаються не менше як раз на 7-10 років і при тому в декількох пунктах одночасно. Так, під час дощового паводку 6-10 червня 1969 р. опади кількістю 100 мм і більше випали за 24 год. в басейні Дністра та Пруту на площі 7000 км<sup>2</sup>. При цьому в 11 пунктах спостережень вони перевищували 140-150 мм, досягаючи місцями 200-240 мм.

Крім того, статистичний опис сукупностей максимальних добових кількостей опадів у принципі неправомірний, оскільки вони сформовані із неоднорідних величин [11], які прив'язані до стандартних строків метеорологічних спостережень. І таким чином, ядра опадів нерідко виявляються розчленованими між суміжними добами. Аналіз показав, що співвідношення між максимальними опадами за добу  $P_0^m$  і 24 год.  $P_{24}^m$  нестабільні й визначаються нерівністю:

$$0,5P_{24}^m \leq P_0^m \leq P_{24}^m. \quad (2)$$

Через такий підхід до узагальнення максимальних опадів утрачається цінна для споживачів інформація.

Слід звернути увагу на можливість досить важливого статистичного узагальнення максимальних опадів, яке багатьма дослідниками

ігнорується, про що зверталася увага в роботах [1, 5, 7]. Справа в тому, що в окремо взятій часовій послідовності (тобто, послідовності даних окремого пункту спостережень) рідкісні значення максимальних за добу чи 24 год. опадів відхиляється від часткової емпіричної кривої розподілу. Тому автори територіальних узагальнень або ігнорують такі величини або ж неправомірно сприймають їх як закономірні для цього пункту спостережень, приписуючи невинуватому ймовірність їх настання, оскільки їм невідоме, хоча б приблизно, положення цієї величини на осі часу. Внаслідок цього на картах ізоліній з'являються плями, які намагаються характеризувати як “викиди”, що не належать до генеральної сукупності, випадкова вибірка якої розглядається [1]. Та й, крім того, такі намагання призводять до переплутування варіювання в просторі з варіюванням в часі.

У дійсності, якщо аналізуються дані про опади у межах однорідного у фізико-географічному відношенні району, де погодні ситуації зумовлюються за багаторічний період однотипними атмосферними процесами, фізично й статистично неправомірно відносити послідовності даних окремих пунктів спостережень до різних генеральних сукупностей, Візьмемо за приклад територію Волинської області, на кожній із 6 метеостанцій якої максимальні за багаторічний період добові кількості опадів спостерігалися в різні роки (1913, 1948, 1955, 1959, 1965, 1977). Отже, статистичні послідовності даних кожної із станцій слід розглядати як реалізації однієї генеральної сукупності на основі прийняття гіпотези ергодичності.

У такому випадку більш чітке уявлення про часовий розподіл максимальних опадів може дати районна крива розподілу ймовірностей, побудована за об'єднаною методом періодопунктів [1] послідовністю однорідних часткових послідовностей. Така послідовність статистично більш стійка, вона враховує ймовірності рідкісних значень опадів, що спостерігалися лише в окремих пунктах. А ці рідкісні значення, без сумніву, найбільш цінні в теоретичному та практичному відношеннях.

Об'єднані за методом періодопунктів просторово-часові варіаційні послідовності містять досить значний обсяг ефективної незалежної інформації про максимальні опади, який дорівнює сумарній кількості незалежних часткових послідовностей. Таким чином, постає можливість оцінити для однорідного району ймовірність максимальної кількості опадів, як це зроблено, наприклад, для Волинської області (табл. 3). Там за періоди спостережень на метеостанціях зареєстрована максимальна за 24 год. кількість опадів у межах 66-122 мм і тільки в Луцьку – 179 мм.

Максимальна кількість опадів за 24 години на території  
Волинської області

Ймовірність, %	Кількість опадів, мм
0,2	180
0,5	112
1,0	95
2,0	66

**Приклади генетично неоднорідних послідовностей гідрологічних величин**

Дотримання умов можливості застосування методів теорії ймовірності стосовно характеристик річкового стоку визначається через узагальнення генетично однорідних величин стоку (витрат води) [7, 9, 10]. Показником такої однорідності може слугувати належність величин стоку до однієї фази внутрішньорічного розподілу водності: максимальні витрати води весняної повені, максимальні витрати води дощових паводків, об'єми чи шари стоку води за весняний період, літню межень, зимову межень, річні значення сумарного стоку та його складових. Тому намагання деяких дослідників узагальнювати в одній сукупності, наприклад, максимальні витрати води весняної повені та дощових паводків не тільки безпідставні, але й призводять до втрати важливої інформації.

Це зауваження стосується в першу чергу публікації [2], де безпідставно об'єднано у одну статистичну сукупність максимальні витрати дощових і сніго-дощових (весняних) паводків.

У цій же публікації автор застосовує кластерний аналіз для районування території Карпатського регіону за умовами формування паводкового стоку води. Внаслідок неповноцінного дослідження до одного району включені території, де формування паводків відбувається за різних гідрометеорологічних умов – верхів'я притоків Тиси і Дністра.

Для басейну Тиси, на відміну від басейну Дністра, характерними є визначні паводки, які відбуваються в холодний період року – пізньої осені та на початку зими. Такий режим водності зумовлений кліматичними особливостями Закарпаття, територія якого захищена від холодних повітряних мас і в той же час протягом усього року доступна для надходження теплого повітря з Атлантики та Середземномор'я. Так що стверджувати про однорідність умов формування паводків у верхів'ях

Тиси та Дністра немає підстав, що видно із повторюваності максимальних витрат води (табл.4). Просторовий кореляційний аналіз дозволив би у цьому випадку уникнути неправомірних висновків.

Таблиця 4

Повторюваність максимальних витрат води в теплий і холодний періоди

Річка – пост	Басейн	Відносна кількість, %	
		за холодний період	за теплий період
Лімниця – Осмолода	Дністер	18	82
Тересва – Усть Чорна	Тиса	61	39

Слід зауважити також, що не завжди обґрунтовано характеризувати режим рівнів води в річках шляхом опрацювання їхніх багаторічних значень. Особливо це стосується гірських річок, де процеси руслових переформувань відбуваються досить інтенсивно при проходженні паводків і охоплюють значні за протягом річкові ділянки [13]. Тобто, і в цьому випадку ми маємо справу з неоднорідними часовими послідовностями.

Ще одне зауваження стосовно необхідності дотримання однорідності при узагальненні гідрологічних величин. З метою виявлення коливань чи змін стоку води у часовому розрізі застосовують розгляд згладжених їх значень за певні довільно задані періоди (частіше всього, за 5 чи 10 років), куди залучаються таким чином роки з різною водністю. Більш доцільно орієнтуватися в таких випадках на природні коливання стоку води – спочатку виявити циклічності в часових послідовностях і таким чином оцінити чергування періодів різної водності та кількісні характеристики останніх. Такий підхід до вивчення структури багаторічних коливань стоку води (та й взагалі гідрометеорологічних величин) більш результативний. Він дозволяє навіть подавати їх перебіг на наступні роки з певною ймовірністю [15, 16].

### **Висновки та пропозиції**

1. При статистичному узагальненні гідрометеорологічних величин важливе значення має використання однорідних сукупностей даних. Функції часового та просторового розподілу даних, як емпіричні, так і теоретичні, призначені для опису статистично однорідних сукупностей. Тому узагальнення неоднорідних гідрометеорологічних сукупностей спричиняє появу неповноцінних результатів, а то й хибних висновків.

2. На прикладі швидкості вітру показано, що зміна оточення метеорологічних майданчиків призводить до неоднорідності даних як у часовому, так і в просторовому відношеннях. Тому визначені на їх основі тренди викликають сумніви. Таке ж запитання можна задати й відносно оцінок трендів інших метеорологічних величин.

Взагалі, опубліковані за останні роки відомості про багаторічні зміни кліматологічних показників (тренди) потребують уточнення з урахуванням приведення даних спостережень до однорідності або ж залучення матеріалів лише репрезентативних метеостанцій.

3. Щоб з більшою достовірністю можна було здійснювати статистичне узагальнення метеорологічних даних, потрібно в матеріалах, які публікуються (довідниках, щорічниках) вказувати відомості про захищеність метеорологічних майданчиків і закритість небозводу в кількісному виразі (кутову висоту перешкод).

4. Подання максимальних добових кількостей в окремих пунктах спостережень без оцінки їх ймовірності та просторової визначеності не може іменуватися як кліматологічні показники. Доцільно опрацювати ці дані методом періодопунктів по однорідних у фізико-географічному відношенні районах.

5. Статистичне узагальнення стокових величин, у тому числі й оцінювання багаторічних коливань водності, вимагає залучення генетично однорідних даних із застосуванням просторового кореляційного аналізу.

\* \*

*На основани анализа многолетних наблюдений и научных публикаций показано нарушение однородности гидрометеорологических величин при применении статистических методов их обобщения. Несоблюдение требований к однородности статистических рядов приводит до неверных выводов.*

\* \*

1. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 364 с.
2. Вишневський В.І. Максимальні витрати води на річках Українських Карпат // Наук. праці УкрНДГМІ . – 1999. – Вип.247. – С. 102-113.
3. Вишневський В.І. Зміни клімату та річкового стоку на території України та Білорусі // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип.249. – С. 89-105.

4. Груза Г.В., Рейтенбах Р.Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.
5. Жуковский Е.Е., Киселева Т.Л., Мандельштам С.М. Статистический анализ случайных процессов. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 408 с.
6. Кліматологічні стандартні норми. Київ: УкрНДГМІ, ЦГО, 2003. – 446 с.
7. Линслей Р.К., Колер М.А., Паулюс Д.Л.Х. Прикладная гидрология. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 760 с.
8. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 210 с.
9. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.
10. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 528 с.
11. Соседко М.Н. О принципах определения максимального слоя осадков за расчетный интервал времени // Метеорология и гидрология. – 1980. - №10. – С. 39-43.
12. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань // Наук. праці УкрНДГМІ. – 1998. – Вип.246. – С. 46-55.
13. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Оцінювання характерних рівнів води з урахуванням зміни умов переміщення водних мас на річковій ділянці // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – Т.5. – С. 72-78.
14. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Оцінка змін випаровування з водної поверхні на території України // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2000. – Вип.248. – С. 67-76.
15. International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge. Instruments and Observing Methods Report No.17, WMO/TD – No.38. - 1984, 135 p.
16. Luk'yanets O., Sossedko M. Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen. – Sammelband der XIX. Konferenz der Donauländer, Osijek. – 1998. – S. 393-401.