

МІСЦЕ ТА РОЛЬ ГІДРОЛОГО-ГЕНЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ СЕРЕД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОГО СТОКУ РІЧОК

Проаналізовано основні методи, які застосовуються в гідрологічних дослідженнях, та виконано їхню класифікацію. Показано, що гідролого-генетичні методи належать до комбінованих методів дослідження, які дозволяють вивчати просторово-часові закономірності водного стоку річок. Розроблено методологічні основи комплексного гідролого-генетичного аналізу, які дозволяють вирішувати основні завдання щодо оцінки сучасних та можливих майбутніх змін водного стоку річок, а також представляти отримані результати дослідження на сучасному рівні, що повністю відповідає світовим тенденціям картографування.

Ключові слова: гідролого-генетичні методи, водний стік, методологія, просторово-часові закономірності.

Вступ

Водний стік річок визначає ступінь водозабезпеченості території та населення, а також надлишок або дефіцит водних ресурсів. Отже, зміни річкового стоку в разі зменшення або збільшення безпосередньо впливають на економічний та соціальний розвиток будь-якої держави. Саме тому, в загальних рисах, оцінка сучасних водних ресурсів, а також прогнозування їхнього стану на майбутнє є основними завданнями гідрологічної науки.

Для дослідження водного стоку річок у всьому світі використовують досить значну кількість методів, методик та методологічних підходів, які є загальновідомими. Так, у роботі Євстегнеева В.М. [1] методи, які використовуються для дослідження водного стоку річок поділено на три групи: гідрометричні методи, методи географо-гідрологічних узагальнень, методи математичного моделювання. Водночас гідрометричний метод багато дослідників називають статистичним методом [2-4]. Метод географо-гідрологічних узагальнень належить до генетичних [5-6]. У роботі Ходзінської А.Г. [7] зазначено, що в гідрології є два основних методи аналізу: генетичний та ймовірно-статистичний.

Деякі автори, наприклад, у роботі [8] показують тільки такі методи як експедиційний, стаціонарний, експериментальний та новітні методи (методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) за допомогою космічних супутників, географічні інформаційні системи та технології (ГІС) тощо). Найповніший аналіз сучасних методів дослідження (математичних методів й інформатики,

методів системного підходу, експерименту та моделювання, порівняння, типізації, класифікації, історичних методів, прогнозування, експедиційних, методів вимірювання, спостереження та моніторингу, балансових, географо-гідрологічних, еколого-гідрологічних, соціально-економічних методів), а також розвиток гідрологічних досліджень у світі наведено в роботі Ющенко Ю.С. та ін. [9].

Широкого вжитку в гідрологічних дослідженнях набув ландшафтно-гідрологічний аналіз. В Україні методологічні підходи та практичне застосування цього напрямку розвиває в своїх дослідженнях Гребінь В.В. [6]. Також в гідрологічних дослідженнях формують синергетичний підхід, у якому на передній план виходять цілісні системи, нелінійність їхньої динаміки тощо. В Україні нелінійну динаміку в дослідженнях водного стоку розвивають Глушков О.В. і Лобода Н.С. [10, 11].

За кордоном широко застосовують графічні методи: сумарної кривої (mass curve or Rippl diagram method), подвійної сумарної кривої (double mass analysis) та інтегральної кривої відхилень (residual mass curve), які описують у багатьох підручниках, монографіях з гідрології, дисертаціях і статтях [12-15]. Зазвичай ці методи використовують для водогосподарських розрахунків, оцінки однорідності рядів спостережень за атмосферними опадами, витратами води, дослідження довгострокових циклічних коливань у рядах спостережень тощо.

У керівництві з гідрологічної практики ВМО [16], яке акумулює найвагоміші дослідження

вчених зі всього світу, зазначено, що гідрологічний аналіз засновано на використанні добре розроблених принципів гідродинаміки, термодинаміки і статистики. Але головною проблемою гідрологічного аналізу є застосування цих принципів до природного середовища, яке характеризується неоднорідністю, має слабку мережу спостережень і лише частково вивчене. За гідрологічним аналізом отримують інформацію про просторово-часову мінливість гідрологічних характеристик, регіональних узагальнень та ін. При цьому використовують такі методи: детерміністичний, параметричний, ймовірнісний, стохастичний. Крім того, також зазначено, що необхідно враховувати зв'язок між вартістю й тривалістю проведення гідрологічного аналізу, а також очікуваною вигодою. Зазначено, що в багатьох випадках графічні й дуже прості методи є ефективнішими з погляду витрат, ніж складніші методи. Прості методи можуть бути досить точними завдяки досягненню цілей дослідження й отриманню необхідних даних.

У розвиток тези про прості й графічні методи дослідження зазначаємо, що в роботах Рождественського О.В. та ін. [17-19] окрім статистичних методів дослідження застосовували гідролого-генетичні методи, до яких також увійшли і графічні методи, які було розроблено закордонними вченими в ХІХ - ХХ ст. [13, 14, 20-24], а саме: методи сумарної кривої, подвійної сумарної кривої та інтегральної кривої відхилень. Зазвичай гідролого-генетичні методи застосовують для аналізу часових рядів та виявленню їхніх змін.

У сучасних умовах, у зв'язку з тим, що в роботах багатьох дослідників зі всього світу вказано на вплив кліматичних змін на водні ресурси, питання аналізу часових рядів та вибір методів, які можуть надавати достовірні результати, стає головним, оскільки аналіз часового ряду є першим етапом будь-якого дослідження. Зрозуміло, що від перших отриманих результатів надалі залежить як вибір методики, так і кінцеві результати гідрологічного аналізу.

Отже, інформація, яка існує в науковій літературі щодо методів дослідження водного стоку річок, дозволяє зробити такі висновки:

- у гідрологічних дослідженнях застосовують значну кількість різноманітних методів, які дозволяють вивчати водний стік річок на базі сучасних уявлень про механізми його формування;
- різні автори у своїх роботах описують методи за своїми уподобаннями, що призводить до певної мішанини і не дозволяє мати уявлення

про внесок кожного методу в розвиток гідрологічної науки;

- вирішення будь-якого гідрологічного завдання досягається тільки шляхом застосування декількох методів, зазвичай різних за своїми властивостями;

- актуальним завданням гідрологічного аналізу залишається оцінка правомірності застосування різних методів до гідрологічної інформації, а, відповідно, і отримання обґрунтованіших та достовірніших оцінок водного стоку.

Метою роботи є класифікація основних методів дослідження водного стоку річок, які застосовуються в гідрології, та визначення з-поміж них місця та ролі гідролого-генетичних методів.

Виклад основного матеріалу досліджень

Особливістю методів, які застосовуються в гідрологічних дослідженнях, є те, що всі вони тісно пов'язані між собою. Для ґрунтовнішого розуміння гідрологічних методів наукового аналізу доцільно виконати класифікацію, розділяючи їх на три основні блоки (рис. 1):

- методи за способом отримання вихідної інформації та знань;
- методи за приналежністю до наукової дисципліни;
- комбіновані методи.

До першого блоку увійшли методи, на основі яких спочатку отримують інформацію про водні об'єкти, що надалі дозволяє здобути нові знання, узагальнення тощо. До цих методів належать такі: експедиційний, стаціонарний, експериментальний та новітні методи. Саме ці методи й поклали підвалини для розвитку гідрологічної науки, а в сучасний період є основою для дослідження будь-якого її напрямку.

Другий блок містить методи, які тісно пов'язані з іншими науковими дисциплінами, методи і закони яких широко використовують у гідрологічних дослідженнях. Гідрологія використовує досягнення таких фундаментальних наук як математика, статистика, теорія ймовірності, фізика, хімія, філософія. Математичні методи широко приміняють під час обробки матеріалів спостережень, розробки емпіричних формул, прогностичних залежностей тощо. Неможливо уявити будь-яке гідрологічне дослідження без застосування статистичних і ймовірнісних методів. Найуживанішими серед них є визначення закону розподілу гідрологічної величини, кореляційний і регресивний аналіз. Фізичні й хімічні методи використовують, наприклад, у балансових розрахунках, методах електрохімічного, ультразвукового визначення витрат води тощо.



Рис. 1 Класифікація основних методів дослідження, які застосовують у гідрологічних дослідженнях

Динаміку руслових процесів, ґрунтових вод вивчають за допомогою саме фізичних законів, будь-яке наукове узагальнення виконують філософськими методами.

Гідрологія як наука тісно пов'язана з іншими науками про Землю, а саме: з метеорологією, кліматологією, геологією, геоморфологією, фізичною географією, картографією тощо. Отже, гідрологічні методи також базуються на методах, які широко використовують в географії, наприклад, методи класифікації, порівняння, типізації, районування. Крім того, у гідрологічних дослідженнях також використовують методи з соціології, економіки, наприклад, оцінка економічно-соціальної ефективності використання гідрологічної інформації та прогнозів на основі порівняльного аналізу за методом «витрати – вигода» тощо. Однак зазначені вище методи з географії, економіки, соціології не можна віднести до фундаментальних, оскільки ці методи «запозичені» з математики, фізики, філософії тощо.

Третій блок об'єднав методи, які складаються з різних методів, тобто це є взаємодоповнювальні методи гідрологічного аналізу, на підставі чого вони були віднесені до комбінованих методів. Наприклад, у роботі Гребеня В.В. [6] методи ландшафтно-гідрологічного аналізу застосовують факторний, кластерний аналізи, методи статистичної оцінки однорідності рядів спостережень, басейновий, порівняння, типізації, районування, картографування, графічні тощо.

У роботі Дмитрієвої В.О. [5] для географо-гідрологічної оцінки водних ресурсів Воронезької області використано методи гідрологічної аналогії, географічної інтерполяції, водного балансу, статистичні, картографічного моделювання, географічних інформаційних систем. Звичайно, усі

інші методи, які входять до блоку комбінованих методів також застосовують синтез різних гідрологічних методів для вирішення тих чи інших завдань дослідження. Сьогодні українські вчені активно застосовують і розвивають ці методи в дослідженнях.

Гідролого-генетичні методи також належать до комбінованих методів гідрологічного аналізу. Існує значний перелік гідролого-генетичних прийомів та методів, які дозволяють виявити неоднорідність гідрологічних рядів. Основні з них такі [19]:

- побудова та аналіз сумарних кривих;
- побудова та аналіз інтегральних кривих відхилень гідрологічних та кліматичних характеристик;
- побудова та аналіз подвійних інтегральних кривих гідрологічних та кліматичних характеристик;
- побудова та аналіз суміщених хронологічних графіків гідрологічних характеристик для декількох пунктів, розташованих у межах однорідного гідрологічного району;
- побудова та аналіз графіків зв'язку гідрологічних характеристик для декількох пунктів, розташованих у межах однорідного гідрологічного району;
- побудова та аналіз графіків зв'язку гідрологічних характеристик та метеорологічних чинників стоку;
- побудова та аналіз кривих витрат води;
- побудова та аналіз комплексних графіків хронологічних коливань різних гідрометеорологічних характеристик та їхніх чинників.

Отже, аналіз переліку гідролого-генетичних методів показує, що, по-перше, усі вони є графічними методами, а, по-друге, для основних

з них графіки будують на основі попереднього математичного розрахунку. Зазначимо, що більшість цих методів у симбіозі з іншими методами застосовують у різних гідрологічних дослідженнях. Як правило, сьогодні за їхньою допомогою вирішують окремі завдання в межах комплексного дослідження. Наприклад, у роботі [6] за інтегральною кривою відхилень досліджують циклічні коливання гідрометеорологічних величин у межах ландшафтно-гідрологічного аналізу водного стоку річок України. У роботі [25] інтегральні криві відхилень використано для аналізу синхронних коливань річного стоку, річних сум опадів, середньорічної температури повітря з метою встановлення закономірностей змін стокоформування кліматичних чинників і річного стоку річок на території України. У роботі [26] послуговуються сумарними кривими для дослідження сучасних змін максимального стоку річок українського Полісся. Подвійну криву відхилень використано в роботі [27] для оцінки змін у землекористуванні та його впливу на гідрологію басейну Simly Dam у Пакистані. Широко використовують у дослідженнях графіки кореляційного зв'язку, хронологічні графіки. Можна зазначити, що гідролого-генетичні методи мають важливе значення і застосовують їх для вирішення різноманітних задач гідрологічного аналізу. Однак, як показано в роботах В. Клемеша (Клемель В.) [24, 28], які вийшли друком у 80-х роках ХХ ст., деякі дослідники на фоні інтенсивного розвитку комп'ютерних технологій і статистичних підходів ставляться до сумарної кривої як до застарілого методу, який втратив свою актуальність. На нашу думку, таке саме ставлення сформувалось і до інших гідролого-генетичних методів. Клемеш В. у своїх дослідженнях [24, 28] спростував таке «зверхне» ставлення до сумарної кривої щодо дослідження роботи водосховищ. У роботах Кундцевіча і Робсона [16, 29] доведено, що статистичні критерії для аналізу рядів спостережень унаслідок особливостей гідрологічних рядів повинні застосовувати тільки через певний апарат перетворень, залучаючи для перевірки результатів графічні методи й історичні дані. Отже, актуальність детерміністичного підходу щодо аналізу часових гідрологічних рядів спостережень залишається і навряд чи колись буде втрачена. У вітчизняній літературі розвиток та методичні надбання про гідролого-генетичні або графічні методи не представлено, а втім, ці методи мають понад 100-річну історію застосування в гідрологічних дослідженнях.

У закордонній літературі детерміністичний підхід гідрологічного аналізу представлено гра-

фічними методами, до яких в основному відносять різноманітні графіки кореляційного зв'язку, частоти появи величини, гістограми, сумарну криву, подвійну сумарну криву, інтегральну криву відхилень, хронологічні графіки тощо. Автори у своїх роботах надають перевагу тим чи іншим методам на власній розсуд. Так, наприклад, Річард Мкуин (McCuen Richard H.) у роботі [30] описує прості графічні методи, які треба використовувати під час первинного аналізу часових рядів. Автор пояснює, що такі методи дозволяють аналізувати фізичні причини неоднорідності рядів спостережень, хоча оцінки за ними можуть містити деякий суб'єктивізм. У роботі [31] до графічних методів віднесено різноманітні графіки: частоти появи величини, гістограми, ймовірнісні тощо. Переважна більшість наукової літератури серед усіх графічних методів все ж таки надає перевагу методам сумарної та подвійної сумарної кривої, а також інтегральної кривої відхилень. У всіх керівництвах ВМО з гідрологічної практики (окрім останнього, шостого видання за 2009 р.), які виходили друком з 1965 року, сумарна та подвійна сумарна криві є основними методами, які рекомендують застосовувати під час аналізу рядів спостережень за атмосферними опадами. На відміну від національних нормативних документів України, опис гідрологічного аналізу як у керівництвах ВМО з гідрологічної практики, так і в закордонній літературі зазвичай починається саме з аналізу рядів спостережень за атмосферними опадами. Такий підхід є цілком виправданим, логічним і зрозумілим, оскільки атмосферні опади є основним джерелом живлення річок.

Сумарна крива є графіком накопичувальних значень змінної величини з часом [32]. Метод сумарної кривої було розроблено У. Ріпплом, який у 1883 році опублікував своє дослідження щодо визначення оптимальної ємності водосховища і відповідно, «ідеальної» висоти греблі [20]. Клемеш В. у своїй роботі [28] зазначив, що У. Ріппл започаткував повноцінну теорію водосховищ. У. Ріппл був першим, хто запропонував проектувати водосховища на основі аналізу часового ряду спостережень, а не за даними окремих років. Крім того, В. Клемеш зазначає, що, на жаль, у англійській літературі У. Ріппл відомий тільки як автор методики сумарної кривої, хоча він також уперше запропонував виконувати аналіз роботи водосховища на основі аналізу робочих циклів місткості водосховища за інтегральною кривою відхилень. А в радянській та пострадянській літературі України та Російської Федерації ім'я У. Ріппла взагалі не згадували, хоча результати його досліджень активно використовували і

використовують у дослідженнях. На жаль, жоден вітчизняний підручник з гідрології не містить відомостей про наукові надбання У. Ріппла. Так само не зазначено ім'я У. Ріппла і у відомому підручнику українського гідролога А. Огієвського [33], який містить розробки У. Ріппла щодо теорії водосховищ. У роботах [17-19] Державного гідрологічного інституту (ДГІ, м. Санкт-Петербург, Росія) також використовують надбання У. Ріппла без зазначення його авторства. Вочевидь, що це є наслідками ідеології тоталітарного комуністичного режиму, за якого всі найкращі розробки могли зробити тільки радянські вчені. Зрозуміло, що така історична несправедливість на пострадянському просторі потребує виправлення й ім'я видатного вченого XIX-XX ст. У. Ріппла повинно гідно займати своє місце в гідрологічній літературі.

Дослідження У. Ріппла базувалися на історичних даних спостережень, які не в змозі охопити всі гідрологічні події, які відбувалися і будуть відбуватися на річках. Значний розвиток у теорії водосховищ було зроблено у 1914 році А. Хазеном, який запропонував використати стохастичний підхід. Детальнішу інформацію про застосування методів сумарної кривої та інтегральної кривої відхилень, а також розвиток теорії водосховищ можна знайти в роботах [28, 34, 35]. Метод сумарної кривої У. Ріппла широко використовують у США. Майже всі великі водосховища цієї країни було побудовано на основі методу У. Ріппла [34, 35].

Інтегральна крива відхилень є графіком послідовно накопичувальних відхилень від певної вихідної величини, наприклад, арифметичного середнього, залежно від часу або дат [32]. У своїх дослідженнях У. Ріппл запропонував використовувати інтегральну криву відхилень, яку розраховували щодо проектної ємності водосховища. Цей оригінальний метод Ріппла був не зовсім зручним, оскільки за будь-яких змін у проекті необхідно було перебудовувати графік [28]. Недолік було усунуто винахідливою ідеєю використання інтегральної кривої відхилень, яку обчислювали щодо середньої величини стоку, а не до проектної ємності водосховища. В. Клемеш зазначає, що така ідея виникла в Європі у 20-х роках XX ст. і є в роботах А. Шокліча (Schoklitch A., 1923), Ю. Новотні (Novotny J., 1925) [28]. Однак систематично цей метод почали застосовувати в дослідженнях, починаючи з роботи американського вченого К. Садлера (C. Sudler, 1927). Саме цей метод у радянській і вітчизняній літературі використовують як метод різницево-інтегральної кривої [17-19].

У роботі С. Меріам (Merriam C.F., 1937) [21] сумарну криву та інтегральну криву відхилень було використано для аналізу атмосферних опадів у долині річки Саскуеханна в США. Було розроблено три варіанти дослідження. Найкращий результат надав другий метод, якого С. Меріам тоді не назвав, але надалі цей метод у науковій літературі отримав назву подвійної сумарної кривої [36]. Merriam C.F. емпірично встановив, що дані спостережень за опадами за 30-річний проміжок часу є однорідними. Ці дослідження було покладено в основу визначення кліматичних норм. Також для аналізу водного стоку він використав подвійну сумарну криву, поєднавши на ній опади та річковий стік.

Отже, подвійна сумарна крива є графіком, на якому послідовно накопичувальні величини однієї змінної наносять залежно від послідовно накопичувальних синхронних величин іншої змінної [32]. Такий графік має вигляд прямої лінії за умови, що дані є пропорційними. Нахил лінії представляє коефіцієнт пропорційності між двома величинами [13].

Основні методичні підходи щодо застосування методу подвійної інтегральної кривої розвивали М. Кохлер (Kohler M.A., 1949) [22], Л. Вайс і В. Вілсон (L.L. Weiss & W.T. Wilson, 1953) [23], Ю. Серси і К. Хардісон (Searcy J.K. & Hardison C.H., 1960) [13], К. Ехлерт (Ehlert K.W., 1972) [37] та ін. Так, М. Кохлер запропонував використовувати коефіцієнт нахилу подвійної сумарної кривої для виправлення порушень однорідності ряду спостережень за опадами. Цей підхід отримав широке використання під час аналізу часових рядів за атмосферними опадами і з появою комп'ютерної техніки його було автоматизовано [28]. Сьогодні це є один із основних методів для гомогенізації кліматичних даних [38].

Вайс і Вілсон досліджували питання оцінки щодо суттєвості зміни нахилу подвійної сумарної кривої [23]. Для цього було використано дисперсійний аналіз.

Ґрунтовне методичне надбання щодо аналізу часових рядів за подвійною сумарною кривою розробили Ю. Серси і К. Хардісон, в якому виклали методичні і практичні прийоми аналізу однорідності рядів спостережень за опадами, водним стоком та стоком наносів. Було запропоновано вважати суттєвими зміни в напрямку подвійної сумарної кривої, якщо вони тривають більше ніж 5 років. Рекомендовано використовувати метод подвійної сумарної кривої для аналізу опадів, оскільки для них зберігається пропорційна залежність між рядами спостережень, які розташовані в близьких однорідних районах.

Але співвідношення рядів річкового стоку мають складніший характер (не завжди лінійний), що під час аналізу може призводити до помилкових переломів на подвійній кривій. На формування річкового стоку навіть сусідніх басейнів окрім кліматичних чинників впливають чинники підстильної поверхні водозбору та антропогенна діяльність. Все це порушує постійне співвідношення між рядами [13]. Отже, Ю. Серси і К. Хардїсон рекомендували відновлювати порушення однорідності рядів водного стоку на основі кореляційних зв'язків. Також вони не рекомендували використовувати метод подвійної сумарної кривої для аналізу співвідношень опади-стік, оскільки таке співвідношення дуже рідко є постійним навіть за відсутності будь-яких змін. Ю. Серси і К. Хардїсон також запропонували модифікацію інтегральної кривої відхилень шляхом побудови графіка відхилень не від середнього значення ряду, а на основі віднімання значень водного стоку одного ряду спостережень від значень іншого ряду з подальшим накопиченням залишків.

У роботі [37] К. Ехлерт представив модифіковану версію методу подвійної інтегральної кривої відхилень, яку використовують для гомогенізації рядів спостережень за опадами. Метод за К. Ехлертом загалом схожий на метод Ю. Серси і К. Хардїсон, однак має відмінність – відносно накопичування відхилень відбувається від середнього з двох рядів спостережень.

Вестман (Westman S-E., 1982) запропонував комп'ютерну програму для автоматичного аналізу на однорідність рядів спостережень за опадами і температурою повітря за методом подвійної сумарної кривої, яку використовують як підпрограму в гідрологічній моделі HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning model). Зазначимо, що модель HBV використовують для сучасного гідрологічного прогнозування в Швеції, Австрії, Словенії, Норвегії та інших країнах. [39, 40].

Враховуючи наведене вище, зазначаємо, що за останні 30-40 років методичні надбання про застосування гідролого-генетичних методів у дослідженнях майже не поповнювали і на сьогодні потребують розробки нових підходів.

Аналіз наукової літератури щодо застосування гідролого-генетичних методів показує, що методичні рекомендації розробляли для кожного методу окремо і для вирішення окремого завдання. Наприклад, застосування сумарної кривої для оцінки роботи водосховища або подвійної сумарної кривої для виявлення змін у рядах спостережень. А в наших роботах [41-44] показано, що за допомогою певних гідролого-генетичних методів успішно можна вирішувати оцінку просторово-

часових закономірностей водного стоку річок. Отже, такий алгоритм досліджень доцільно назвати гідролого-генетичним аналізом. Враховуючи актуальність детерміністичного (генетичного) підходу, який на фізичному рівні дозволяє вивчати закономірності умов формування водного стоку і відповідно, їхні зміни як у часі, так і просторі, на нашу думку, вдалішим є саме термін «гідролого-генетичний аналіз». По-перше, така назва розкриває сутність дослідження, тобто пріоритетними методами дослідження є методи, які розкривають фізичні причини мінливості, змін водного стоку річок. По-друге, такий аналіз оперує не просто загальним набором методів, що належать до гідролого-генетичних (графічних), а тільки певною методологічно обґрунтованою кількістю методів, послідовність застосування яких і дозволяє вирішувати основні завдання гідролого-генетичного аналізу. У ході гідролого-генетичного аналізу використовують як основні графічні методи (сумарна крива, інтегральна крива відхилень, суміщені хронологічні графіки, криві Ендрюса), так і філософські, статистичні, ймовірнісні, порівняння, узагальнення, синтезу, аналогії, ГІС-технології тощо.

Метою гідролого-генетичного аналізу є дослідження просторово-часових закономірностей водного стоку річок.

Головним завданням гідролого-генетичного аналізу є встановлення тенденцій, мінливості та змін водного стоку річок як у часі, так і просторі.

Об'єктом дослідження гідролого-генетичного аналізу є водний стік річок.

Предметом дослідження гідролого-генетичного аналізу є тенденції, мінливість, зміни водного стоку річок та особливості їхнього розподілу як у часі, так і просторі.

Головним принципом гідролого-генетичного аналізу є отримання обґрунтованих і, відповідно, більш достовірних як сучасних, так і перспективних оцінок водного стоку річок. Такий принцип реалізується шляхом одночасного застосування декількох методів з подальшим аналізом отриманих результатів, а також ретельною адаптацією, верифікацією моделей тощо.

Виходячи з мети, завдань та методів, можна сформулювати і певний алгоритм реалізації гідролого-генетичного аналізу водного стоку річок, який розроблено для річок України. Зазначимо, що такий алгоритм майже не відрізняється від загальної процедури будь-якого гідрологічного аналізу. Його особливістю є саме методологія, за якою і відбувається дослідження, що складається з застосування певних послідовно-обґрунтованих

методик та підходів. Отже, загальна комплексна схема дослідження гідролого-генетичного аналізу водного стоку річок, а також методи та підходи, які застосовують при цьому такі:

- оцінка однорідності й стаціонарності рядів спостережень (сумарна крива, інтегральна крива відхилень, суміщені хронологічні графіки);
- дослідження внутрішньорічного розподілу стоку води річок (інтегральна крива відхилень, суміщені хронологічні графіки, криві Ендрюса, метод компоновки);
- аналіз просторово-часової мінливості водного стоку річок (інтегральна крива відхилень, суміщені хронологічні графіки, криві Ендрюса);
- розрахунок гідрологічних характеристик різної ймовірності перевищення (криві ймовірного розподілу);
- побудова карт просторового розподілу гідрологічних характеристик із використанням ГІС-технологій (MapInfo, загальна інформаційна стратегія реалізації основних положень Рамкової Директиви 2000/60/ЕС, принцип неперекривання водозборів річок);
- дослідження можливих майбутніх змін водного стоку річок з використанням даних регіональних кліматичних моделей (моделювальний комплекс Mike 11, метод водного балансу, кореляційний аналіз, суміщені хронологічні графіки, ансамблевий підхід, методи порівняння, узагальнення).

Запропонована комплексна схема реалізації гідролого-генетичного аналізу дозволяє вирішувати основні завдання щодо оцінки сучасних та можливих майбутніх змін водного стоку річок, а також представляти отримані результати дослідження на сучасному рівні, що повністю відповідає світовим тенденціям картографування.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Виконано аналіз сучасних методів дослідження водного стоку річок, а також їхню класифікацію. Усі методи було поділено на три основні групи, а саме: за способом отримання вихідної інформації та знань, методи за приналежністю до наукової дисципліни та комбіновані методи. Доведено, що гідролого-генетичні методи належать до комбінованих методів дослідження.
2. Показано, що гідролого-генетичні методи мають понад 100-річну історію застосування в гідрологічних дослідженнях, а основні їхні методологічні положення було розроблено

закордонними вченими протягом XIX-XX ст. Зазначено, що такі методологічні рекомендації розробляли для кожного методу окремо і сьогодні потребують оновлення та розробки нових підходів.

3. Ураховуючи актуальність детерміністичного підходу щодо аналізу часових гідрологічних рядів спостережень обґрунтовано та відпрацьовано методологічні засади комплексного гідролого-генетичного аналізу водного стоку річок.
4. Практична реалізація методологічних розробок гідролого-генетичного аналізу водного стоку річок надасть можливість отримувати обґрунтованіші та достовірніші оцінки.

* *

1. *Евстегнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчёты: учебник для высших учебных заведений // Евстегнеев В.М. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 304 с.
2. Водные ресурсы России и их использование / под ред. *И.А. Шикломанова*. — СПб.: Государственный гидрологический ин-т. — 600 с.
3. *Виноградов Ю.Б.* Современные проблемы гидрологии: учебное пособие для высших учебных заведений // Ю.Б. Виноградов, Т.А. Виноградова. — М.: Изд. центр «Академия», 2008. — 320 с.
4. *Магрицкий Д.В.* Речной сток и гидрологические расчёты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ // Магрицкий Д.В. — М.: Изд-во Триумф, 2014. — 184 с.
5. *Дмитриева В.А.* Географические основы гидрологических исследований / В.А. Дмитриева // Вестник Воронежского государственного ун-та. Серия — География. Геоэкология. — № 4. — 2000. — С. 40-43.
6. *Гребінь В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / Гребінь В.В. — К.: Ніка-Центр, 2010. — 316 с.
7. *Ходзинская А.Г.* Инженерная гидрология: учебное пособие для вузов // Ходзинская А.Г. — М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2012. — 256 с.
8. *Давыдов Л.К.* Общая гидрология: учебник для высших учебных заведений // Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. — Л.: Гидрометеоздат, 1985. — 461 с.
9. *Ющенко Ю.С.* Загальна гідрологія: навчальний посіб. / Ющенко Ю.С., Гринь Г.І., Масікевич Ю.Г. та ін. — Чернівці: Зелена Буковина, 2005. — 368 с.
10. *Глушков А.В.* Многофакторный системный и мультифрактальный подходы в моделировании годового стока (р. Дунай) / А.В. Глушков, Н.Г. Сербов, А.К. Балан, Т.В. Лукаш // Вісник Одеського державного екологічного ун-ту. — 2009. — № 7. — С. 186-191.
11. *Glushkov A.V.* Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol / A.V. Glushkov, V.N. Khokhlov, N.S. Loboda *et al.* // Stoch. Environment Res. Risk Assess. (Springer). — 2008. — Vol. 22/6. — P. 777-788.
12. *Linsley R.K.* Applied Hydrology / R.K. Linsley, M.A.

- Kohler, J.L.H Paulhus. – New York: Published by McGraw-Hill, 1949 – 689 p.
13. *Searcy J.K.* Double-mass curves. Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B / James K. Searcy & Clayton. H. Hardison. – Washington: United States Government Printing Office. – 1960. – P. 36.
 14. *Wilson E.M.* Engineering Hydrology, 3rd edition / E.M. Wilson. – London: Macmillan Press, 1983. – 309 p.
 15. *Das M.M.* Hydrology / Madan Mohan Das & Mimi Das Saikia. – New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2009. – 341 p.
 16. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. 6th edition. – WMO-No. 168, 2009.
 17. Определение расчетных гидрологических характеристик СниП 2.01.14-83. – М.: Гос. комитет СССР по делам строительства. – 1983. – 97 с.
 18. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 447 с.
 19. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчётных значений по неоднородным данным. – ГУ «ГГИ». – 2010. – С. 39-40.
 20. *Rippl W.* The capacity of storage reservoirs for water supply / W. Rippl / Proceedings of the Institute of Civil Engineers. – 1883. – Vol. 71. – P. 270-278.
 21. *Merriam C.F.* A comprehensive study of the rainfall on the Susquehanna Valley / C. F. Merriam / Transactions American Geophysical Union. – 1937. – Vol. 18/2. – P. 471-476.
 22. *Kohler M.A.* Double-mass analysis for testing the consistency of records for making adjustments / M.A. Kohler / Bulletin of the American Meteorological Society. – 1949. – Vol. 30. – P. 188-189.
 23. *Weiss L.L.* Evaluation of significance of slope changes in double mass curves / L.L. Weiss, W.T. Wilson // Transactions American Geophysical Union. – 1953. – Vol. 34. – P. 893-896.
 24. *Klemesš V.* Storage mass-curve analysis in a systems-analytic perspective / V. Klemesš / Water Resources Research. – 1979. – Vol. 15/2. – P. 359-370.
 25. *Лобода Н.С.* Изменение климата и его влияние на реки Украины / Н.С. Лобода, А.А. Коробчинская, А.А. Рудник // Укр. гідрометеорологічний журн. – 2011. – №. 6. – С. 199-204.
 26. *Войцехович В.О.* Сучасні зміни максимального стоку річок українського Полісся / В.О. Войцехович, Л.І. Лузан // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 247. – С. 175-185.
 27. *Shahid M.* Evaluation of Development and Land Use Change Effects on Rainfall-Runoff and Runoff-Sediment Relations of Catchment Area of Simly Lake Pakistan / Muhammad Shahid, Hamza Farooq Gabriel, Amjad Nabi *et al.* // Science Journal. – 2014. – Vol. 11(7s). – P. 11-15.
 28. *Klemesš V.* One hundred years of applied storage reservoir theory // Water Resources Management. – 1987. – Vol. 1/3. – P. 159-175.
 29. *Kundzewicz Z.W.* Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data / Kundzewicz Z.W. and A. Robson // World Climate Programme Data and Monitoring – WCDMP-45. – Geneva: WMO/TD-№ 1013, 2000.
 30. *McCuen Richard H.* Modeling hydrological change: statistical methods. Lewis Publishers. – 2003. – 433 p.
 31. *Machiwal D.* Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice / Deepesh Machiwal & Madan Kumar Jha. – India, New Delhi: Springer, 2010. – 303 p.
 32. International glossary of hydrology. 2nd edition. – WMO and UNESCO, 1992. – 413 p.
 33. *Огиевський А.В.* Гідрологія суші (общая и инженерная): учебник для гидромелиоративных институтов и факультетов / Огиевський А.В. – М.: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1952. – 515 с.
 34. *Graves T.* A brief history of long memory [Electronic-Resource] // Timothy Graves, Robert B. Gramacy, Nicholas Watkins, Christian L.E. Franzke. – 2014. – Access to the paper: <http://arxiv.org/pdf/1406.6018.pdf>
 35. Stochastic and statistical methods in hydrology and environmental engineering. Time series analysis in hydrology and environmental engineering / *Keith W. Hipel, A. Ian McLeod, U.S. Panu, Vijay P. Singh* (eds.). – Springer Science, 1994. – 474 p.
 36. *Svensson Ch.* Analys av påverkade grundvattennivåer [Rapport] / Chester Svensson. – Göteborg: Chalmers University of Technology, 1988. – 44 p.
 37. *Ehlert K.W.* Homogeni tets kontroll av hydrologiska tidsserier // Nordisk Hydrologisk Konferanse, Sandefjord. – 1972. – P. 47-59.
 38. Руководство по климатологической практике. 2-е издание [на русском языке]. – Женева: ВМО-№ 100, 2014. – 146 с.
 39. *Kobold M.* Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment / M. Kobold, K. Suselj, J. Polajnar, N. Pogacnik // Conference abstracts XXIVth of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management: 2-4 June 2008, Bled, Slovenia // In. Mitja Brilly and Mojca Sraj (eds). – 2008. – P. 14.
 40. *Христюк Б.Ф.* Особливості формування водного стоку річки Дунай та розробка методик його прогнозування) автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія» / Б.Ф. Христюк. – К., 2014. – 18 с.
 41. *Gorbachova L., Bauzha T.* Complex analysis of stationarity and homogeneity of flash flood maximum discharges in the Rika River basin / L. Gorbachova, T. Bauzha // Energetika. – Т. 59. – Nr. 3. – 2013. – P. 167-174.
 42. *Горбачова Л.О.* Методичні підходи щодо оцінки однорідності та стаціонарності гідрологічних рядів спостережень / Л.О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 5 (32). – С. 22-31.
 43. *Gorbachova L.* The intra-annual streamflow distribution of Ukraine rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations / L. Gorbachova // Energetika. – Т. 61. – Nr. 2. – 2015. – P. 71-80.
 44. *Горбачова Л.О.* Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України / Л.О. Горбачова // Укр. географічний журнал. – № 3. – 2015. – С. 16-23.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Горбачёва Л.А.

Место и роль гидролого-генетического анализа среди современных методов исследования водного стока рек

Проанализированы основные методы, применяемые в гидрологических исследованиях, и выполнена их классификация. Показано, что гидролого-генетические методы относятся к комбинированным методам исследования, которые позволяют изучать пространственно-временные закономерности водного стока рек. Разработаны методологические основы комплексного гидролого-генетического анализа, которые позволяют решать основные задачи по оценке современных и возможных будущих изменений водного стока рек, а также представлять полученные результаты исследования на современном уровне, который соответствует мировым тенденциям картографирования.

Ключевые слова: гидролого-генетические методы, водный сток, методология, пространственно-временные закономерности.

L.O. Gorbachova

Place and role of hydro-genetic analysis among modern research methods runoff

Analyzed the main methods used in hydrological studies and their classification was carried out. The hydro-genetic methods are the combined methods. It allows studying the spatial-temporal regularity of runoff. The methodological basis of the complex hydro-genetic analysis of runoff were developed. It allows to carrying out the assessments the current and possible future changes in the runoff, as well as to submit the results of research in accordance with modern trends of mapping.

Keywords: hydro-genetic methods, runoff, methodology, spatial-temporal regularity.