

formation and driving of sediment yields which not essentially depend on presence of ponds are defining. The offered equations allow counting reliably enough a sediment yields load in observed territory.

Keywords: *sediment yields; significant factors; regression equations.*

Надійшла до редколегії 12.10.2011

УДК 556.06+556.048

Дутко В.О., Сосєдко М.М.

Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ІЗ ДОСВІДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОЩОВОГО СТОКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОРОГРАФІЇ МІСЦЕВОСТІ

Ключові слова: *дощовий стік, математична модель; ідентифікація параметрів; оптимізація параметрів*

Актуальність питання. Зростання потреб до якості гідрологічних розрахунків і прогнозів стимулює розвиток досліджень по математичному моделюванню процесів формування стоку [6].

Математична модель в науках про Землю – наближений опис природних явищ та процесів за допомогою математичних правил та математичної символіки. Математичне моделювання – це спосіб дослідження об’єктів, явищ та процесів заснований на використанні математичних моделей.

На сучасному етапі розвитку гідрології дослідження гідрологічних об’єктів, явищ та процесів в дійсності ефективно тільки у межах методології математичного моделювання. При цьому для успішного моделювання необхідно добре знати сам об’єкт моделювання – процеси формування стоку.

Попередні дослідження. Найпростіша теоретична схема (модель) формування схилового стоку була розроблена М.А. Велікановим в 30-х роках минулого століття. На її основі була встановлена генетична формула стоку, яка використовується в області гідрологічних розрахунків і прогнозів до сьогоднішнього часу. Однак математичне моделювання в широкому сенсі цього поняття стало розвиватися лише в 60-х роках. Головним чином цьому сприяв накопичений гідрологією значний фактичний матеріал. Поступово здійснюється перехід від опису окремих процесів стокоутворення до створення замкнених моделей, які описують весь цикл формування стоку від надходження води на водозбір до проходження стоку в замикальному створі. Найбільш детальна схема розрахунку гідрографа стоку показана в роботах А.Н. Бефані, однак вона допускає широкі межі зміни параметрів.

Найбільш відомою моделлю формування дощового стоку являється Стенфордська модель, побудована в 1962 р. Н.Г. Крауфордом і Р.К. Лінслеєм

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)

на основі детального опису елементарних процесів стокоутворення на водозборі. Вона включає від 20 до 34 параметрів, в залежності від модифікації, більшість з яких задаються з фізичних міркувань і уточнюються шляхом підбору.

Перше дослідження присвячене застосуванню методів оптимізації для ідентифікації моделей стоку належить Доуді та О'Доннелу. Ними були розраховані гідрографи стоку по одному зі спрощених варіантів Стенфордської моделі. Порівняння отриманих оптимальних значень параметрів з початковими заданими показало перспективність ідентифікації параметрів за допомогою їх оптимізації [1].

Виклад основного матеріалу. В дослідженні була застосована модель процесів формування дощового стоку з технологією ідентифікації параметрів, яка дуже добре опрацьована на гірських водозборах річок Тиси, Дністра, Пруту та Сірету та проводилася вченими Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту (Сосєдко М.М., Маслова Т.В., Лук'янець О.І., Приймаченко Н.В.), а також болгарськими колегами для водозборів річок Береш та Росіца (Панайотов Т., Янков В.) [3, 5, 7].

Ідентифікація параметрів математичної моделі процесів формування дощового стоку для рівнинної території показана на прикладі річок басейнів Західного Бугу та Сяну (в межах України).

Математична модель процесів формування дощового стоку описує основні елементарні (часткові) процеси, що відбуваються на водозборі і в русловій мережі: випаровування, поверхневе затримання, поглинання та накопичення води в ґрунті, поверхневе та підповерхневе водоутворення, переміщення стоку в річці. Вихідними функціями моделі слугують значення інтенсивності опадів, дефіциту вологості повітря та швидкості приземного вітру. Річковий стік постає за дією гідрометеорологічних чинників та підстильної поверхні водозбору. Показники останньої не лише самі впливають на формування стоку, але й змінюють рівень впливу гідрометеорологічних умов [4].

Математична модель відображає поведінку реальної гідрологічної системи на конкретному водозборі та тісно пов'язана з параметрами, які описують процеси формування стоку на цьому водозборі, та їх ідентифікацією (калібруванням).

Ідентифікація гідрологічних систем – процес знаходження надійних значень параметрів моделі для конкретного водозбору шляхом зворотного рішення її рівнянь відносно цих параметрів, якщо відомі гідрографи стоку та ряди спостережень за вихідними даними.

При математичній побудові моделей стоку задачу ідентифікації гідрологічних систем можна сформулювати наступним чином:

1. заданий ряд спостережень за впливом на водозбір (ділянку річки) $q(t)$ і гідрограф або хід рівнів води в замикальному створі $Q(t)$;
2. необхідно знайти оператор, який найкращим чином узгоджує величини $q(t)$ та $Q(t)$.

Структура і параметри оператора, що відшукується, є невідомими, проте існує інформація про можливі класи структури оператора і межі параметрів. Джерелом цієї інформації є теоретичні уявлення про механізм фізичних процесів, що відбуваються на водозборі, а також результати аналізу матеріалів спостережень та чисельних експериментів на конкретних водозборах [2].

Тому однією з перших центральних задач є задача вірного визначення початкових значень параметрів, які входять у розрахункові вирази моделі, та можливих меж їх змінювання, а тільки потім за допомогою оптимізаційних процедур – знаходження так званих «оптимальних» їх значень для конкретного водозбору. Оптимізація параметрів математичних моделей – оцінювання параметрів шляхом мінімізації деякого критерію якості для оцінки наближення розрахованого та спостереженого гідрографів.

Розрахунковий інтервал часу, який було спочатку визначено для опису процесів формування стоку на водозборах р. Вісли (в межах України) складає 6 годин. В використаній моделі працює 14 констант і параметрів.

Для врахування умов формування стоку для окремих водозборів та ваги у ньому підповерхневої складової процес оптимізації параметрів виконується у чотири етапи і проводиться одночасно за декількома паводками щоб забезпечити надійність рішення та підвищити точність ідентифікації параметрів. На першому етапі визначаються значення групи параметрів на основі гідрометеорологічних спостережень. Далі проводиться оптимізація групи параметрів за даними низьких паводків. Для подальшої оптимізації певної групи параметрів використовуються високі паводки.

Значення чотирьох параметрів моделі розраховуються за матеріалами гідрометеорологічних спостережень і в подальшому не змінюються. З них 2 константи, що залежать від площі або часового проміжку часу, закладаються в модель в фіксованому стані. Такими параметрами є K_1 , K_2 – коефіцієнти рівняння для розрахунку інтенсивності випаровування з поверхні водозбору.

Значення коефіцієнтів K_1 і K_2 у формулі для розрахунку випаровування розраховуються за даними спостережень в межах досліджуваної території:

$$K_1 = 0,008 \Delta t, \quad K_2 = 0,003 \Delta t,$$

де Δt - розрахунковий інтервал в годинах.

Оскільки, розрахунковий інтервал для річок басейну Вісли (в межах України) становить 6 годин, то коефіцієнти мають відповідні значення: $K_1 = 0,048$, $K_2 = 0,018$.

Значення коефіцієнтів інтенсивності фільтрації води в шари ґрунту i_0 встановлюються, орієнтуючись на нижню частину кривої спаду, коли припиняється надходження води до замикального створу за рахунок поверхневого та підповерхневого стоку. Для водозборів Західного Бугу та Сяну параметр i_0 коливається в межах 0,02 – 0,04 мм/год.

Значення параметру кривої виснаження підповерхневого та ґрунтового стоку R доволі легко визначається шляхом побудови залежності $Q(t + \Delta t) = f[Q(t)]$, яка виражає в межах нижньої частини гілки спаду гідрографа зв'язок між витратами води за суміжні терміни. Для річок досліджуваних водозборів параметр виснаження становить 0,95-0,98 [6].

Для інших параметрів, значення яких уточнюються шляхом оптимізації, на основі гідрометеорологічних спостережень визначаються межі їх можливих змін в конкретних умовах (рис. 1).

Так, межі можливих змін параметрів функцій впливу поверхневого та підповерхневого стоку (τ_1, n_1 та τ_2, n_2) встановлюються виходячи з величин тимчасового здвигу між центрами ваги графіків опадів і гідрографів, відповідно при високих і низьких паводках [6].

Наближені оцінки параметрів W_m (максимальна вологоємність діючого шару ґрунту, в якому формується підповерхневий стік) і K_3 (параметр, який визначає поглинаючу та дренажну здатність підповерхневого шару ґрунту) можуть бути дані за величиною максимальних витрат води в період паводків, коли переважає підповерхневий стік, враховуючи, що водоутворення цього виду стоку має верхню межу, яка дорівнює W_m / K_3 [6].

Межі зміни параметрів η і m (параметр, що характеризує зміну відносного показника діючої площі водозбору η , на якій формується поверхневий стік) оцінюються за значеннями об'ємних коефіцієнтів стоку високих паводків. На річках досліджуваного басейну вони складають близько 0,20 – 0,60 [6].

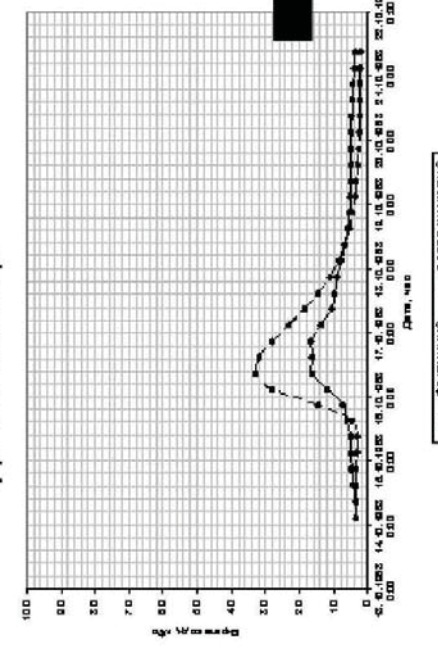
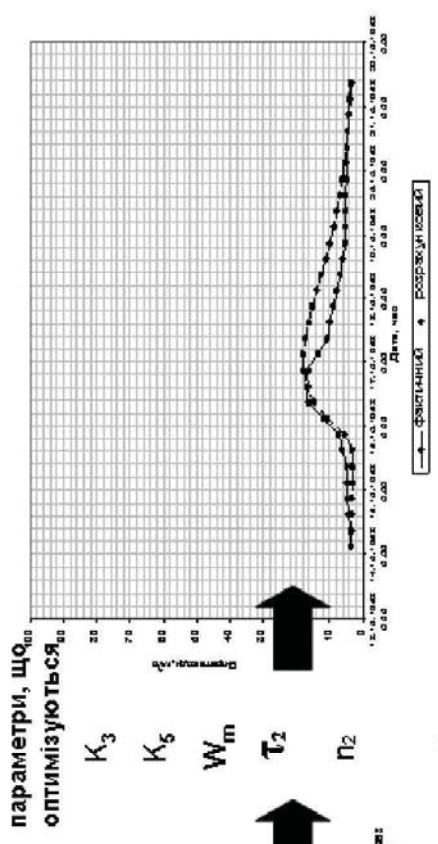
Оцінка результатів оптимізації та моделювання здійснювалася за найкращим наближенням розрахованого та спостереженого гідрографів та за критерієм якості, який дорівнює сумі квадратів відхилень розрахованих витрат води від спостережених. Коефіцієнт детермінації при цьому коливався від 0,485 до 0,885 (рис. 1).

Залежність параметрів моделі від характеристик водозбору. Як показує досвід, успішність використання методів оптимізації для визначення параметрів моделей стоку залежить головним чином від знання фізичних закономірностей та необхідного об'єму інформації. Невизначеність при заміні точних початкових значень параметрів діапазоном їх оптимальних значень повинна бути компенсована додатковою інформацією.

Якщо процеси формування стоку залежать від фізико-географічних умов, то й параметри математичної моделі формування стоку залежать від індивідуальних для конкретного водозбору показників цих умов. Фізична достовірність кінцевого результату моделювання, встановлення фізично обґрунтованих значень оптимальних параметрів показана на залежностях останніх від орографічних характеристик водозборів. Для цього були використані дослідження по моделюванню процесів формування дощового стоку як для водозборів Західного Бугу, так і для водозборів річок Тиси, Дністра, Пруту та Сирету.

НИЗЬКИЙ ПАВОДОК

пiсля оптимiзацiї



параметри, що оптимізуються:

K_3

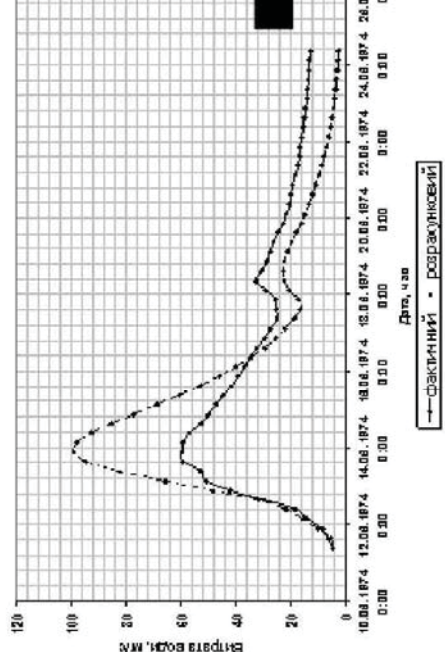
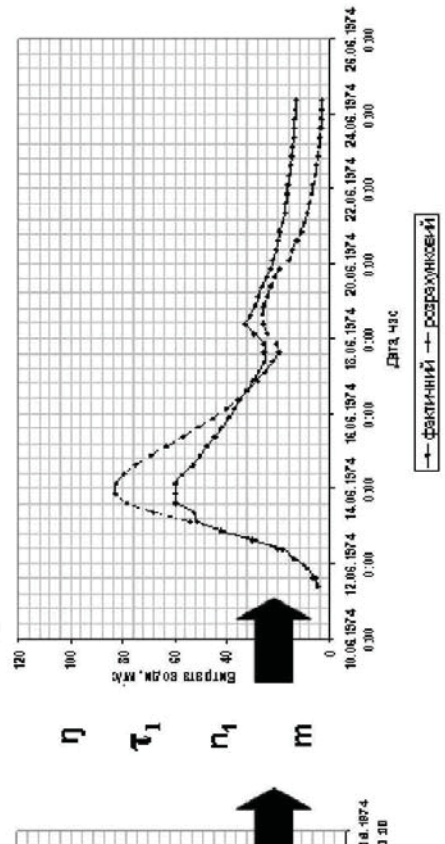
K_6

W_m

τ_2

n_2

ВИСОКИЙ ПАВОДОК



η

τ_1

n_1

m

Рис. 1. Етапи оптимізації гідрографів стоку під час паводків на прикладі р. Вишня – п. Твірка

Побудовані залежності деяких оптимальних параметрів моделі для водозборів зазначених басейнів від їх орографічних і ландшафтних характеристик (площа водозбору (F , км²), його середній похил (I , ‰), середня висота водозбору (H , см) та залісеність (f_l , ‰)) показали, що чим більша висота водозбору, тим меншим за значенням є параметр максимальної вологості діючого шару ґрунту, у якому формується підповерхневий стік (W_m). При цьому, при однакових середніх висотах водозбору, зі збільшенням його залісеності цей параметр зменшується (рис. 2).

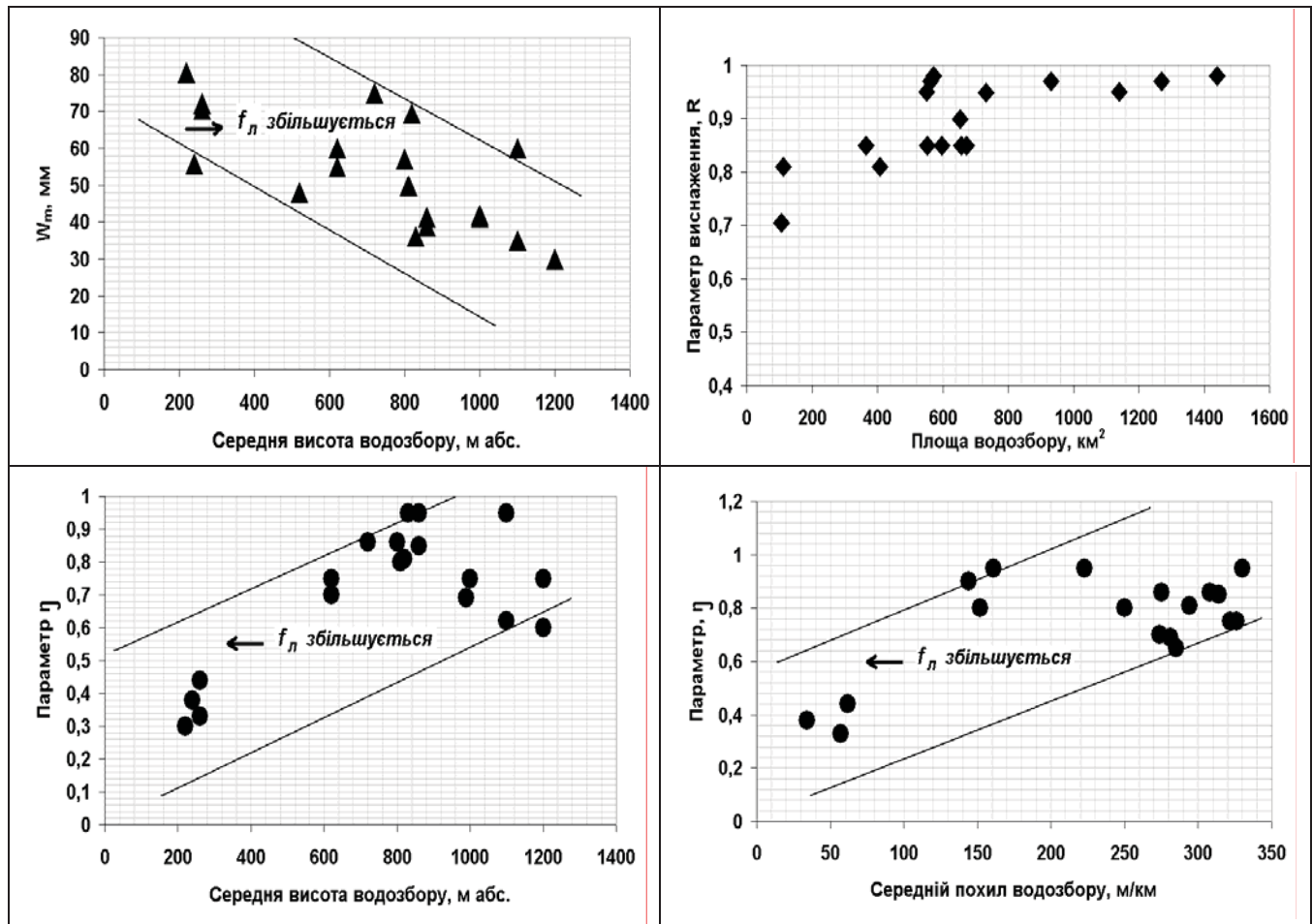


Рис. 2. Залежності оптимальних параметрів моделі для водозборів річок Західного Бугу, Тиси, Пруту та Сірету від їх орографічних та ландшафтних характеристик

Щодо параметру кривої виснаження підповерхневого і ґрунтового стоку (R) – то зі збільшенням площі водозбору його значення теж збільшуються.

Параметр діючої площі водозбору (η) поставлено у залежність від середнього похилу водозбору та середньої висоти водозбору з врахуванням залісеності (f_l , ‰). Зі збільшенням середнього похилу та висоти водозбору цей параметр збільшується. Але залісеність зменшує значення параметру η для водозборів з однаковими середніми похилами.

Все це показує певну достовірність визначення параметрів моделі для басейну Західного Бугу та Сяну. Також, в результаті узагальнення

параметрів моделі відкриваються можливості для використання їх при моделюванні гідрографів стоку води з водозборів, невивчених у гідрологічному відношенні.

Висновки. Встановлення оптимальної структури моделі та оцінювання параметрів, які входять в розрахункові вирази, є однією з серйозних проблем при практичному використанні математичних моделей стоку. Мається на увазі не лише прийнятність кінцевого результату моделювання, тобто отримання розрахункових гідрографів, які близькі до спостережених, але й встановлення достовірних, фізично обґрунтованих і стійких значень параметрів.

Достовірність та надійність визначення параметрів було перевірено за допомогою співставлення останніх з орографічними та ландшафтними характеристиками водозборів річок Західного Бугу та Сяну. На побудованих залежностях досить добре простежуються загальні тенденції зв'язку параметрів моделі формування процесів дощового стоку від зазначених характеристик.

Список літератури

1. *Георгиевский Ю.М.* Гидрологические прогнозы : учебник / Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. – СПб. : изд-во. РГГМУ, 2007. – 436 с. 2. *Кучмент Л.С.* Математическое моделирование речного стока. / Л.С.Кучмент. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 192 с. 3. *Лук'янець О.І.* Ландшафтні характеристики як основа оцінювання параметрів математичних моделей формування стоку води / О.І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – Т. 5. – С. 78–84. 4. Методика идентификации математической модели формирования дождевого стока на горных водосборах / Соседко М.Н., Панайотов Т., Янков В. – София : Наука, 1987. – 116 с. 5. *Приймаченко Н.В.* Узагальнення параметрів математичної моделі формування дощового стоку на прикладі малих водозборів басейну Дністра / Н.В. Приймаченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 18. – С. 47 – 55. 6. *Применение математических моделей в задачах расчета и прогноза дождевого стока.* Методическое руководство. – София – Киев, 1990. – 117 с. 7. *Соседко М.Н.* Из опыта идентификации математической модели формирования дождевого стока на горных водосборах / М.Н. Соседко // Труды УкрНИГМИ. – 1985. – Вып. 201. – С. 40 – 55.

Із досвіду ідентифікації параметрів математичної моделі дощового стоку в залежності від орографії місцевості

Дутко В.О., Соседко М.М.

Ідентифікація параметрів математичної моделі процесів формування дощового стоку для рівнинної території показана на прикладі річок басейнів Західного Бугу та Сяну (в межах України). Достовірність та надійність оптимальних параметрів було перевірено за допомогою співставлення останніх з орографічними та ландшафтними характеристиками досліджуваних водозборів.

Ключові слова: дощовий стік, математична модель; ідентифікація параметрів; оптимізація параметрів.

С опыта идентификации параметров математической модели дождевого стока в зависимости от орографии местности

Дутко В.О., Соседко М.Н.

Ідентифікація параметрів математичної моделі процесів формування дощового стоку для рівнинної території показана на прикладі рек басейнів

Западного Буга и Сяна (в пределах Украины). Достоверность и надежность оптимальных параметров было проверено с помощью сопоставления последних с орографическими и ландшафтными характеристиками исследуемых водосборов.

Ключевые слова: дождевой сток, математическая модель; идентификация параметров; оптимизация параметров.

Experience of parameters identification of the rainfall runoff mathematical model depending from area's orography

Dutko V.O., Sosedko M.M.

Parameters identification of the mathematical model of rainfall runoff forming for the plain territory showed on the rivers of the Western Bug and San Basins (on the territory of Ukraine). Authenticity and reliability of optimal parameters was checked by comparing parameters with orographic and landscape characteristics of the studied catchments.

Keywords: rainfall runoff, mathematical model; parameters identification; optimization method;.

Надійшла до редколегії 12.10.2011

УДК 551.215.3.72

Порхун Є. І., Сніжко С.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ДИНАМІКА ГІДРОКЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ПРОЯВ КАТАСТРОФІЧНИХ ПАВОДКІВ НА РІЧКАХ БАСЕЙНУ ДНІСТРА ЗА ПЕРІОД 1955-2008 РР.

Ключові слова: катастрофічні паводки; цикли водності; фази водності.

Актуальність досліджень. Згідно узагальненій доповіді Міжурядової групи зі змін клімату протягом двадцятого століття глобальні зміни клімату характеризуються зростанням температури повітря Землі приблизно на $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, на 5-10% збільшилися опади у північній півкулі, зросла кількість злив та випадків надмірного випадіння опадів у середніх та високих широтах північної півкулі, зросли темпи аридизації в Азії та Африці, середній рівень Світового океану підвищувався щорічно на 1-2 мм, тривалість льодоставу на річках і озерах північної півкулі знизилась приблизно на два тижні, товщина льодового покриву арктичних морів зменшилась на 15-40%, сніговий покрив скоротився на 10% а багаторічна мерзлота почала деградувати [5]. Ці факти свідчать про те, що глобальне потепління є важливим чинником, який визначає умови формування і функціонування компонентів гідросфери, зокрема континентальних водних ресурсів.

Крім того, сучасні дослідження свідчать, що в регіонах, де внаслідок глобального потепління зросла кількість атмосферних опадів, збільшилась і частота інтенсивних та екстремальних опадів [5], а, відповідно, і частота катастрофічних паводків на річках.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)