

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ

**«ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
(ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО)»**

для студентів I курсу магістерського рівня підготовки,
спеціальність «Гідрологія»

Затверджено:

каф. гідроекології та
водних досліджень
протокол №

від « » _____ 2016 р.

Зав. кафедрою _____ Лобода Н.С.

«Узгоджено»

на факультеті магістерської та
аспірантської підготовки

від « » _____ 2016 р.

Декан _____ Боровська Г.О.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З ДИСЦИПЛІНИ
«ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
(ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО)»**

Одеса 2016
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**
до практичних занять
з дисципліни

**«ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
(ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО)»**

для студентів **I** курсу магістерського рівня підготовки,
спеціальність «Гідрологія»

«Затверджено»
на факультеті магістерської та
аспірантської підготовки

Одеса 2016

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство)» за спеціальністю «Гідрологія» / проф., д.геогр.н. Лобода Н.С., ас., к.геогр.н. Божок Ю.В. / – Одеса, ОДЕКУ, 2016. – 29 с.

Методичні вказівки призначені для магістрів I курсу денної форми навчання за спеціальністю «Гідрологія».

ЗМІСТ

Загальні положення.....	6
1 Кліматичні чинники формування стоку (модель «клімат-стік») та їх зміни у сучасності та майбутньому.....	7
2 Визначення статистичних параметрів річного кліматичного та природного стоку річок в умовах заданих сценаріями глобального потепління.....	14
3 Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок на основі даних кліматичних сценаріїв.....	19
Додаток.....	26
Література.....	29

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Актуальність проведення практичних занять з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство)» обумовлена необхідністю розроблення методів розрахунків та прогнозу стану водного господарства України в умовах обмеженості водних ресурсів, значних масштабів водогосподарської діяльності та змін глобального клімату. Водні ресурси визначають стан оточуючого середовища, пов'язані із соціальним положенням суспільства і здоров'ям людини.

Метою досліджень є установлення можливих змін водних ресурсів у різних географічних зонах України за сценаріями глобального потепління на основі математичного моделювання.

Теоретичним базисом імітаційного моделювання є модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ. Модель дозволяє виконувати оцінку стану водних ресурсів за метеорологічними характеристиками, включаючи дані кліматичних сценаріїв змін глобального клімату.

Після виконання практичних завдань з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство)» студенти повинні отримати базові знання:

- методичні підходи до визначення стану водних ресурсів за даними метеорологічних сценаріїв;
- методичні підходи до визначення стану водних ресурсів в умовах глобального потепління та водогосподарської діяльності;
- шляхи вирішення задач по управлінню водним господарством в умовах змін клімату.

У результаті виконання завдань з наведеного збірника практичних робіт студенти повинні оволодіти наступними вміннями:

- давати оцінку змінам кліматичних факторів формування стоку у майбутніх кліматичних умовах;
- визначати водні ресурси за даними кліматичних сценаріїв;
- розраховувати характеристики природного та побутового стоку у нових кліматичних умовах;
- виконувати оптимізацію водогосподарської діяльності на основі результатів імітаційного моделювання.

Метою методичних вказівок є забезпечення студентів об'ємом теоретичних знань та практичних навичок, необхідних для ефективного вирішення питань водного господарства при змінах глобального клімату.

При виконанні практичних завдань з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство)» студент повинен виконати наступні роботи: 1) Кліматичні чинники формування стоку (модель «клімат-стік») та їх зміни у сучасному та майбутньому. 2) Визначення статистичних параметрів річного кліматичного та природного стоку річок в умовах заданих сценаріями глобального потепління. 3) Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок на основі даних кліматичних сценаріїв.

Контроль поточних знань виконується на базі модульної системи контролю відповідно до робочої програми дисципліни.

Практична робота №2
КЛІМАТИЧНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ СТОКУ
(МОДЕЛЬ «КЛІМАТ-СТІК») ТА ЇХ ЗМІНИ
У СУЧАСНОСТІ ТА МАЙБУТНЬОМУ

Теоретична частина

Зв'язок стоку з кліматичними чинниками витікає з рівняння водного балансу замкненого водозбору за багаторічний період [1].

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}. \quad (1.1)$$

де \bar{X} , \bar{E} , \bar{Y} – річні норми опадів, випаровування з поверхні суші та стоку, відповідно.

Норма річних опадів та випаровування з поверхні суші є кліматичними чинниками формування річного стоку, які розподіляються у просторі згідно із законами широтної або вертикальної зональності. Оскільки норма річного стоку залежить від кліматичних чинників, то її просторовий розподіл також визначається широтою місцевості або висотою, якщо мова йде про гірські райони.

Величина випаровування з поверхні суші залежить від теплоенергетичних ресурсів клімату та зволоження підстильної поверхні [2]. У свою чергу теплоенергетичні ресурси клімату визначаються припливом сонячної радіації, яка обумовлює термічний режим приземного шару повітря. Дуже часто температури повітря використовуються як основний чинник при розрахунках теплоенергетичних ресурсів та випаровування [3]. У північній півкулі випаровування з поверхні суші збільшується у напрямі з півночі на південь. Якщо на півночі випаровування з поверхні суші обмежене теплоенергетичними ресурсами, то на півдні ця величина обмежується ресурсами вологи. За рахунок цього у аридних та напіваридних зонах випаровування з поверхні суші може зменшуватися. *У загальному випадку температури повітря та опади розглядаються як головні кліматичні чинники формування стоку.*

В Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [4,5]. Математична модель розглядає кліматичні чинники формування стоку та вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарську діяльність. Модель складається з двох частин. Перша частина дозволяє виконувати оцінку природного річного стоку на основі метеорологічних даних, друга – оцінку побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. На вході у першу частину моделі використовуються метеорологічні дані, у другу – природний або

непорушений водогосподарською діяльністю річний стік та кількісні показники водогосподарських перетворень. Теоретичною базою першої частини є рівняння водно-теплого балансу водозбору, другої – рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у стохастичній (ймовірнісній) формі. Модель розглядає ланцюг послідовностей формування стоку: «клімат → кліматичний стік → підстильна поверхня → природний стік → водогосподарські перетворення → побутовий стік». Таким чином, вивчається та моделюється робота водогосподарської системи, яка підлягає зовнішнім (кліматичним) та внутрішнім (водогосподарським) впливам й певним чином реагує на ці впливи.

У моделі «клімат-стік» основними стокоформуючими факторами є опади та *максимально можливе випаровування* E_m . Теплоенергетичний еквівалент E_m є величиною, яка за своїм фізичним змістом близька до поняття випаровуваності (E_0). Останнє різними авторами визначалося як верхня межа випаровування, але інтерпретувалося по-різному: "випаровування зі зволоженої поверхні" (М.І.Будико); "випаровування з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею" (М.А.Багров); "випаровування для полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологості" (А.Р.Константинов). В.С. Мезенцевим максимально можливе випаровування було представлено як таке, що має енергетичне походження LE_m [6]. Величина E_m входить до прибуткової частини теплового балансу суші й добуток LE_m розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування з поверхні суші у визначених кліматичних умовах

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2) , \quad (1.2)$$

де R^+ - позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу; P^+ - позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло; $B_1 - B_2$ - зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB); L - приховане тепло пароутворення; LE - витрата тепла на випаровування.

Величина E_m отримала назву "теплоенергетичний еквівалент" або "максимально можливе випаровування" і являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L} . \quad (1.3)$$

Згідно із цим формулюванням максимально можливе випаровування визначається за даними актинометричних станцій, яких у середині минулого

сторіччя на території України та Молдови було 19. Проф. Є.Д. Гопченко та проф. Н.С. Лобода по результатах розрахунків за даними актинометричних станцій були отримані регресійні рівняння, які показують зв'язок між величинами E_m та температурами повітря у межах України і Молдови й можуть бути використані для визначення максимально можливого випаровування за даними метеорологічних станцій [7]

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum \bar{T}_{>10} + 226, r = 0.91; \quad (1.4)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum \bar{T}_{>0} + 179, r = 0.87, \quad (1.5)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{\text{IX}} \bar{T}_M - 307, r = 0.94, \quad (1.6)$$

де $\sum_V^{\text{IX}} \bar{T}_M$ - сума норм середньомісячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно); $\sum T_{>10}$ - сума температур повітря більше 10°C ; $\sum T_{>0}$ - сума температур повітря більше 0°C .

Найчастіше для розрахунків максимально можливе випаровування використовується рівняння (1.6).

Для аналізу коливань років різної водності використане співвідношення між ресурсами вологи X та тепла E_m $\left(\beta_X = \frac{X}{E_m} \right)$. За величиною β_X згідно із рекомендаціями В.С. Мезенцева визначається ступінь зволоженості (посушливості) території або відповідних років :

$$\begin{aligned} \beta_X \geq 1.0 & - \text{рік надлишкового зволоження;} \\ 0.8 < \beta_X < 1.0 & - \text{рік достатнього зволоження;} \\ 0.5 \leq \beta_X < 0.8 & - \text{рік недостатнього зволоження;} \\ \beta_X < 0.5 & - \text{посушливий рік.} \end{aligned} \quad (1.7)$$

або

$$\begin{aligned} \beta_X \geq 1,0 & - \text{зона надмірного зволоження;} \\ 0,8 < \beta_X < 1,0 & - \text{зона достатнього зволоження;} \\ 0,5 \leq \beta_X < 0,8 & - \text{недостатнього зволоження;} \\ 0,2 < \beta_X < 0,50 & - \text{напіваридна зона;} \\ 0,03 < \beta_X < 0,20 & - \text{аридная зона;} \\ \beta_X < 0,03 & - \text{гіпераридна зона;} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Модель «клімат-стік» успішно застосована для розрахунків і прогнозів водних ресурсів України за даними сценаріїв глобального потепління.

Перші результати оцінок змін водних ресурсів України, виконувалися за прогнозними даними, отриманими за моделями ВМО, для Південної та Східної Європи. В кінці минулого сторіччя використовувалися кліматичні сценарії, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів та температур повітря: GISS - модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO_2 - $4,2^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1982; GFDL - модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO_2 - 4°C , рік розрахунків – 1989; CCCM - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989; UKMO - модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України. На їх основі виконувалися оцінки змін стоку з великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою передбачення екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря.

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опубліковано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [8], в якій сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних та науково-технічних факторів, що зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядалися чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2). Дослідження виконані в ОДЕКУ, дозволили установити, що найбільша відповідність фактичних та сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію M10 (модель REMO) з гілки сценаріїв A1B.

Практична частина

Вихідні дані: середньомісячні дані про температуру повітря та опади за період 1951-2100 рр. для сценарія A1B на метеорологічній станції Затишшя.

Завдання:

1. Побудувати й проаналізувати графіки хронологічного ходу температур повітря та опадів за рік, теплий (IV-X міс.) та холодний (XI-III міс.) періоди за даними сценарію A1B або A2 та, якщо це можливо, виділити окремі інтервали часу з тенденціями до збільшення або зменшення цих гідрометеорологічних характеристик.

Приклади графіків наведені нижче (рис.1.1, рис.1.2).

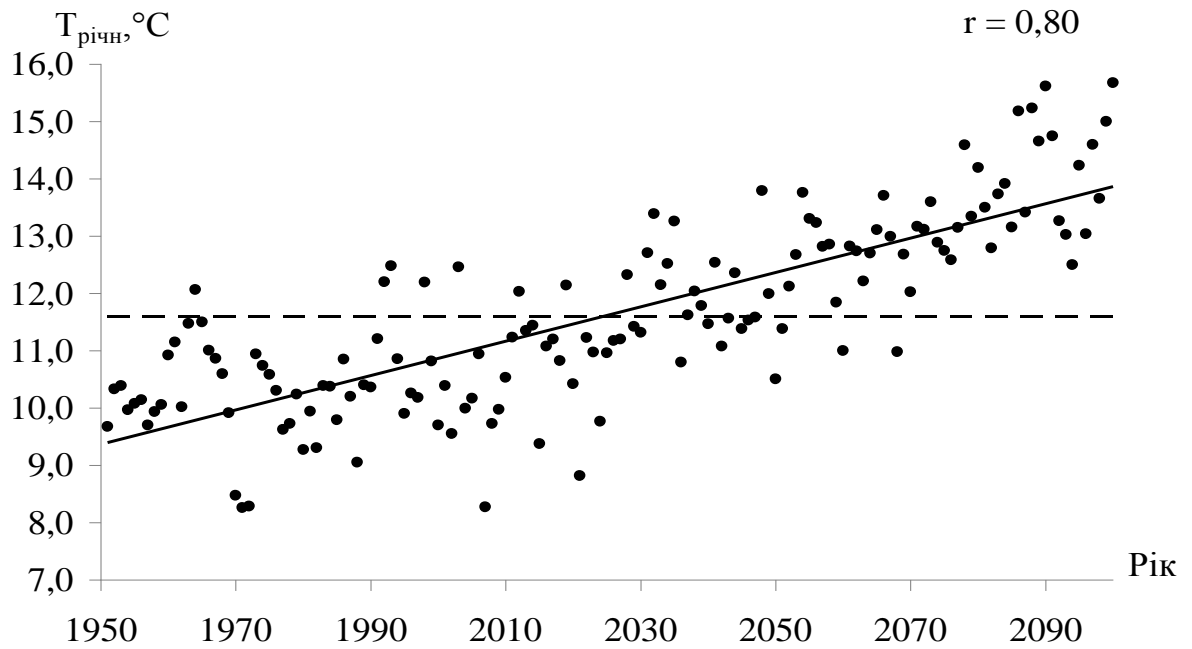


Рисунок 1.1 - Хронологічний хід річної температури повітря за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

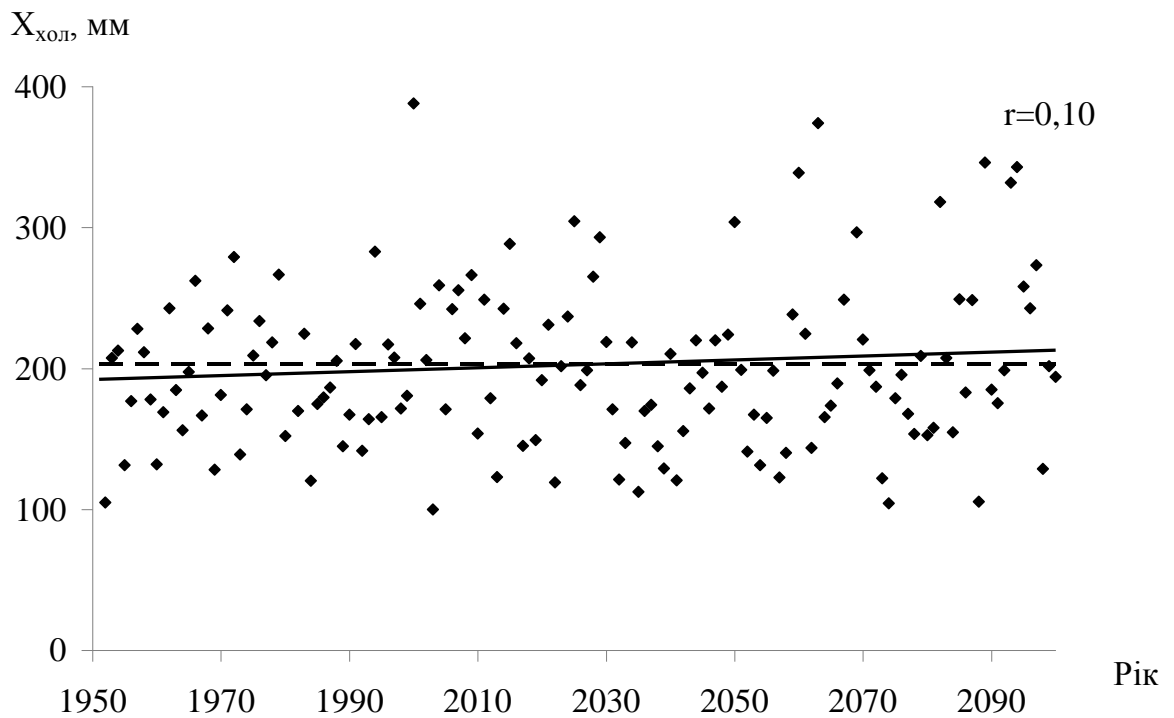


Рисунок 1.2 – Хронологічний хід опадів холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В, метеостанція Затишшя, 1951-2100 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

2. Оцінити зміни опадів \bar{X} , максимально можливого випаровування \bar{E}_m , показника посушливості β_x у майбутньому за даними сценарію глобального потепління А1В або А2 у періоди 1990-2030 рр., 2031-2070 рр., 2071-2100 рр. при порівнянні їх із ретроспективними даними (до 1989 р.). Результати представити у вигляді табл. 1.1

Відносні відхилення δ (у %) розраховувати за формулою

$$\delta = \frac{\bar{A}' - \bar{A}}{\bar{A}}, \quad (1.9)$$

де \bar{A}' - середня багаторічна величина параметру A , розрахована за даними сценарію, мм; \bar{A} - середня багаторічна величина параметру A , розрахована за даними до 1989 р. (початку значущого впливу глобального потепління).

Таблиця 1.1 – Зміни середніх багаторічних характеристик кліматичних чинників формування стоку у розрахункові кліматичні періоди на метеостанції Затишшя за даними сценарію А1В у порівняння із фактичними даними до 1989 р.

Період	Опади \bar{X} , мм	δ , %	Максимально можливе випаровування \bar{E}_m , мм	δ , %	Показник посушливості/ зволоженості β_x	δ , %
1951-1989 рр.	500		974		0,51	
1990-2030 рр.	511	2,2	1006	3,3	0,50	-1,1
2031-2070 рр.	505	1,0	1095	12,4	0,46	-10,2
2071-2100 рр.	492	-1,6	1202	23,4	0,41	-20,3
Середнє	502	$\pm 1,6$	1101	13,0	0,47	-10,5

3. Визначити багатоводні, середні по водності та маловодні роки (із забезпеченістю $P=25\%$, $P=50\%$, $P=75\%$, відповідно) у кожен із розглянутих сценарних кліматичних періодів (1951-1989 рр., 1990-2030 рр., 2031-2070 рр., 2071-2100 рр.), використовуючи показник посушливості β_x . Результати представити у вигляді табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Визначення років різної водності у сучасності та майбутньому на метеостанції Затишшя за даними сценарію А1В

Сценарій	Забезпеченість P, %	Період							
		1951-1989 рр.		1990-2030 рр.		2031-2070 рр.		2071-2100 рр.	
		Рік	β_X	Рік	β_X	Рік	β_X	Рік	β_X
А1В	25	1955	0,60	1994	0,60	2051	0,55	2094	0,48
	50	1959	0,52	2008	0,50	2046	0,44	2085	0,40
	75	1951	0,44	2020	0,40	2064	0,36	2077	0,32

Контрольні запитання

1. Як виглядає рівняння водного балансу замкненого водозбору за багаторічний період?
2. Що можна віднести до головних кліматичних чинників формування стоку?
3. Що представляє собою модель «клімат-стік»? З яких блоків вона складається?
4. Дати визначення поняття «максимально можливе випаровування». Як його можна розрахувати?
5. Що таке показник β_X ? Як його визначити?
6. Які сценарії зміни клімату Ви знаєте?

Практична робота №2
ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧНОГО
КЛІМАТИЧНОГО ТА ПРИРОДНОГО СТОКУ РІЧОК В УМОВАХ
ЗАДАНИХ СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Теоретична частина

Розроблена в ОДЕКУ модель «клімат–стік» дозволяє виконувати гідрологічні розрахунки стоку на основі метеорологічної інформації. Основним рівнянням, яке використовується для визначення природного стоку за будь який розрахунковий інтервал, є рівняння водно-теплогового балансу водозбору у модифікації В.С. Мезенцева, яке для багаторічного періоду має вигляд

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (2.1)$$

де \bar{Y} , \bar{X} , \bar{E}_m – середні багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквівалента, відповідно; n – параметр, який інтегрує фізико-географічні умови формування стоку, приймається рівним 3.

В умовах змін клімату рівняння (2.1) набуває вигляду

$$Y'_K = X' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (2.2)$$

де \bar{Y}'_K – середня багаторічна величина кліматичного стоку в умовах змін клімату, мм; E'_m – середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, мм; X' – середня багаторічна величина сум річних опадів в умовах змін клімату, мм.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (2.1), визначається кліматичними чинниками – нормою річних опадів \bar{X} й нормою максимально можливого випаровування \bar{E}_m , які підкоряються закону географічної зональності та представляються у вигляді карт ізоліній. *Величини стоку, розраховані за метеорологічними даними з використанням рівняння (2.1), отримали назву “кліматичного”*. Норма кліматичного стоку у подальшому позначена як \bar{Y}'_K .

Кarti ізоліній середніх багаторічних величин (норм) річних опадів, максимально можливого випаровування та розрахованого за (2.1) кліматичного стоку побудовані на топографічній основі 1:500000 для рівнинної території України [5] (додаток А.1-А.3?). При побудові карт

ізоліній норм річного кліматичного стоку значення \bar{Y}_K визначалися за даними метеорологічних станцій. На карті ці значення були віднесені до точок, які відповідають географічному положенню метеорологічних станцій. При визначенні норми кліматичного стоку з водозбору за допомогою побудованої карти ізоліній шукана величина \bar{Y}_K має визначатися як середня зважена по частинних площах водозбору, які містяться між ізолініями. Порівняння норм річного кліматичного стоку із фактичними даними, виконані для водозборів річок з усталеним підземним живленням у різних географічних зонах України, показали їх відповідність. Норма річного кліматичного стоку є тотожною нормі зонального річного стоку. Точність визначення норми річного кліматичного стоку за картою ізоліній, побудованій на основі метеорологічних даних, становить $\pm 10\%$.

Для річок з нестійким підземним живленням характерна суттєва відмінність природного стоку від зонального. Для таких випадків модель «клімат-стік» передбачає використання *коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку, визначеного за картами ізоліній, до природного*. Ці коефіцієнти описують вплив чинників підстильної поверхні у процесі формування річного стоку.

Територія Північно-Західного Причорномор'я знаходиться у зоні недостатнього зволоження і поділяється на область додатних виправлень до норми кліматичного стоку та область від'ємних виправлень. Границею між ними є границя зим із стійким сніговим покривом, який устанавлюється менше ніж у 50 % випадків. Область додатних виправлень знаходиться вище цієї межі, область від'ємних – нижче. Для розрахунку коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного до норм природного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в області додатних поправок $K_{ПЕР,1}$ розроблені емпіричні рівняння, які ураховують нерівномірність випадіння дощів та розподілу снігового покриву по площі водозбору [4].

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1), \quad \text{при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (2.3)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1, \quad \text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (2.4)$$

де F – площа водозбору, км^2 .

В області від'ємних поправок до норм кліматичного стоку велике значення у формуванні стоку річок мають втрати на поверхневе затримання. Перехідні коефіцієнти $K_{ПЕР,2}$ від норм кліматичного до природного стоку устанавлюються в залежності від середньої висоти водозбору, яка є непрямою характеристикою пласкості земної поверхні і пов'язана певним чином із уклоном поверхні:

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (2.5)$$

$$K_{ПЕР,2} = 1, \text{ при } H_{СЕР} \geq 280 \text{ м}, \quad (2.6)$$

де $H_{СЕР}$ – середня висота водозбору.

Чим менша висота місцевості, тим менший уклон поверхні й тим більше втрати талого та дощового поверхневого стоку на затримання у безстічних низинах.

За моделлю «клімат-стік» норма природного стоку $\bar{Y}_{ПР}$ водозбору розраховується як добуток норми кліматичного стоку, що визначається за картою ізолій або за рівнянням (2.1), на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K. \quad (2.7)$$

На базі аналізу статистичних параметрів рядів кліматичного річного стоку 30-річної тривалості (1951-1980 рр.) були установлені зв'язки між багаторічною мінливістю річного стоку (коефіцієнтом варіації C_V) та нормою річного кліматичного стоку \bar{Y}_K :

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_K}{10}\right)^{0,62}}, \quad (2.8)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку, а значення 1,5 є коефіцієнтом варіації, що відповідає нормі кліматичного стоку рівній 10 мм ($C_V=1,5$ при $\bar{Y}_K=10$ мм).

Між коефіцієнтами асиметрії та варіації для території Північно-Західного Причорномор'я для умов минулого сторіччя було установлене таке співвідношення

$$C_S = 1,7 C_V, \quad (2.9)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Коефіцієнти варіації та асиметрії природного стоку малих та середніх річок установлюються за формулами (2.8) та (2.9).

Практична частина

Вихідні дані: середньомісячні дані про температуру повітря та опади за період 1951-2100 рр. (сценарій А1В) на метеорологічній станції Любашівка.

Завдання:

1. Використовуючи рівнянням (2.2) розрахувати кліматичний стік у періоди 1951-1989 рр., 1990-2030 рр., 2031-2070 рр., 2071-2100 рр. та його статистичні параметри.

Таблиця 2.1 – Статистичні параметри кліматичного стоку у розрахункові кліматичні періоди на м/ст. Любашівка за даними сценарію А1В у порівняння із фактичними даними до 1989р.

Період	\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{Y}_k , мм	C_V	C_S
1951-1989 рр.	500	950	22	0,92	1,56
1990-2030 рр.	482	1021	16	1,12	1,91
2031-2070 рр.	478	1109	12	1,34	2,28
2071-2100 рр.	476	1209	9	1,60	2,72

2. Оцінити зміни водних ресурсів у майбутньому у порівнянні із базовим періодом (до 1989 р.) й представити у вигляді табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Зміни водних ресурсів у різні кліматичні періоди ХХІ сторіччя у порівнянні із періодом 1951-1989 рр., метеостанція Любашівка

Період	\bar{Y}_k , мм	δ , %
До 1989 р.	22	
1990-2030 рр.	16	-28,7
2031-2070 рр.	12	-45,4
2071-2100 рр.	9	-58,0
Середнє	15	-44,0

3. Розрахувати коефіцієнт переходу від норм кліматичного до норм природного стоку річки, заданої викладачем.

За даними метеостанції Любашівка можна визначити стік р.Тилігул. Водозбір р.Тилігул розташований в області від'ємних поправок. Тому перехідний коефіцієнт в даному випадку слід визначати за формулами (2.5), (2.6).

Середня висота водозбору р. Тилігул становить 120 м.

Отже , $K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}) = 0,52$.

4. Визначити природний річний стік та його статистичні параметри стік у періоди 1951-1989 рр., 1990-2030 рр., 2031-2070 рр., 2071-2100 рр. за сценарієм. Результати представити у вигляді табл. 2.1

Таблиця 2.3 – Статистичні параметри природного річного стоку р.Тилігул у різні кліматичні періоди, сценарій А1В

Сценарій	Період	Норма кліматичного стоку, \overline{Y}_K , мм	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР}$	Статистичні параметри природного річного стоку		
				$\overline{Y}_{ПР}$, мм	C_V	C_S
А1В	1951-1989 рр.	22	0,52	11	1,41	2,40
	1990-2030 рр.	16	0,52	8	1,72	2,93
	2031-2070 рр.	12	0,52	6	2,06	3,50
	2071-2100 рр.	9	0,52	5	2,31	3,92

Контрольні запитання

1. Який стік називають кліматичним?
2. Що представляє собою рівняння для розрахунку кліматичного стоку?
3. Що таке «природний стік»?
4. У яких випадках поняття «природний стік» та «кліматичний стік» ототожнюються, а у яких відрізняються?
5. Як здійснюється перехід від норм кліматичного до норм природного стоку?

Практична робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОБУТОВОГО РІЧНОГО СТОКУ РІЧОК НА ОСНОВІ ДАНИХ КЛІМАТИЧНИХ СЦЕНАРІЇВ

Теоретична частина

Задачею стохастичного моделювання в моделі «клімат-стік» є установлення закономірностей ймовірнісного розподілу річного стоку при наявності на водозборах річок водогосподарських перетворень (зрошування, осушування, створення штучних водойм). Модель «клімат-стік» може бути використана для визначення побутового, тобто порушеного водогосподарською діяльністю, стоку [9].

Рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у ймовірнісній формі має такий вигляд

$$W_{\text{ПОБ},P_t} = W_{\text{ПР},P_t} \pm \Delta W_{\text{АНТР},P_{t_1}}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{ПОБ},P_t}$ – розрахункове значення об'єму побутового (порушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку з водозбору у рік із забезпеченістю водності P_t ; $W_{\text{ПР},P_t}$ – розрахункове значення об'єму природного річного стоку з водозбору у рік із забезпеченістю водності P_t ; $\Delta W_{\text{АНТР},P_t}$ – зміна природного річного стоку, яка обумовлена впливом антропогенної (водогосподарської) діяльності у рік із забезпеченістю водності P_t , але забезпеченість випадкових складових цієї компоненти позначається як $P_{t_1} = f(P_t)$.

Для урахування впливу чинників водогосподарської діяльності на норму річного стоку рекомендується застосовувати функції відгуку стоку на водогосподарські заходи, які отримані на базі імітаційного стохастичного моделювання річного стоку та виражаються через коефіцієнти антропогенного впливу $k_{\text{АНТР}}$

$$K_{\text{АНТР}} = \frac{D_{\text{АНТР}}}{D_{\text{ПР}}}, \quad (3.2)$$

де $D_{\text{АНТР}}$ – значення статистичного параметру річного стоку у порушених водогосподарською діяльністю умовах (побутовий стік); $D_{\text{ПР}}$ – значення того ж параметру у природних умовах формування стоку (природний стік).

Як параметр D , можуть розглядатися середня багаторічна величина річного стоку, коефіцієнти варіації, асиметрії.

За наявності одного чинника антропогенної діяльності розрахунок статистичного параметру річного стоку виконується за формулою:

$$D_{АНТР} = D_{ПР} K_{АНТР,1} = D_{ПР} K_1; \quad (3.3)$$

за наявності двох чинників господарської діяльності –

$$D_{АНТР} = D_{ПР} (K_1 + K_2 - 1); \quad (3.4)$$

за наявності трьох чинників водогосподарської діяльності –

$$D_{АНТР} = D_{ПР} (K_1 + K_2 + K_3 - 2). \quad (3.5)$$

Сумісний вплив m водогосподарських чинників на параметр $Q_{ПР}$ оцінюють за наступним рівнянням:

$$D_{АНТР} = D_{ПР} [K_1 + K_2 + \dots + K_m - (m - 1)] = \left[\sum_{j=1}^m K_j - (m - 1) \right] D_{ПР}, \quad (3.6)$$

де K_1, K_2, \dots, K_m – коефіцієнти антропогенного впливу, які кількісно враховують зміни статистичних параметрів річного стоку за рахунок водогосподарської діяльності; m – кількість видів водогосподарської діяльності.

Для кількісної оцінки впливу *додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм* на річний стік використані функції антропогенного впливу наступного виду

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (3.7)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}; \quad (3.8)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (3.9)$$

де $k'_{\bar{Y}}, k'_{C_V}, k'_{C_S}$ – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного побутового стоку \bar{Y}, C_V, C_S ; α_A – коефіцієнти антропогенного впливу на параметр A , які залежать від норми кліматичного стоку \bar{Y}_K як інтегрального показника зволоженості водозбору; f_B – сумарна площа водної поверхні штучних водойм, виражена в частках від загальної площі водозбору F .

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається на основі таких рівнянь

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_K^{(-0.49)}; \quad (3.10)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 e^{(-0.0274 \bar{Y}_K)}; \quad (3.11)$$

$$\alpha_{C_s} = 0,179e^{(-0.0246\bar{Y}_K)}. \quad (3.12)$$

Антропогенний коефіцієнт, який характеризує *втрати на заповнення водосховищ водою*, визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{ПП} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{ПП}} = \frac{W_{ПОБ}}{W_{ПП}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (3.13)$$

де $\bar{W}_{ПП}$ – об'єм природного стоку, який надходить до водосховищ або ставків; \bar{W}_3 – об'єм заповнення; $k_{\bar{Y},3}$ – коефіцієнт втрат на заповнення штучних водойм.

Для оцінки коефіцієнтів антропогенного впливу *за наявності на водозборах зрошування, яке відбувається за рахунок вод даної річки та її приток*, запропоновані рівняння

$$K_{\bar{Y}} = 1,00 - a_{\bar{Y}} \lg(\Omega_{3P} + 1) - b_{\bar{Y}} v_0 + m_{\bar{Y}} \eta_{3P}, \quad (3.14)$$

$$K_{C_v} = 1,00 + a_{C_v} \lg(\Omega_{3P} + 1) + b_{C_v} v_0 - m_{C_v} \eta_{3P}, \quad (3.15)$$

$$K_{C_s} = 1,00 + a_{C_s} \lg(\Omega_{3P} + 1) + b_{C_s} v_0 - m_{C_s} \eta_{3P}, \quad (3.16)$$

де $K_{\bar{Y}}$, K_{C_v} , K_{C_s} – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок місцевих водних ресурсів на середню багаторічну величину стоку \bar{Y} та накоєфіцієнти варіації C_v й асиметрії C_s , відповідно; a_G, b_G, m_G – коефіцієнти рівнянь множинної регресії для різних статистичних параметрів стоку G ; Ω_{3P} – сумарна площа зрошуваних масивів, виражена в частках від загальної площі водозборів; η_{3P} – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи; v_0 – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідних сільськогосподарських культур є оптимальним: $v_0 = 0,8$ – для зернових культур; $v_0 = 0,90$ – для овочевих та кормових культур; $v_0 = 1$ – для вологолюбивих культур, наприклад, рису; α_Q, b_Q, m_Q – коефіцієнти рівнянь множинної регресії.

Значення коефіцієнтів рівнянь змінюються за географічними зонами в залежності від норм кліматичного стоку.

Для оцінки коефіцієнтів антропогенного впливу *за рахунок зрошування водами річки-донору*, використовуються формули вигляду:

$$K_{\bar{Y}}'' = 1,00 + n_{\bar{Y}} \Omega_{3P} + l_{\bar{Y}} v_0 + d_{\bar{Y}} \xi - C_{\bar{Y}} \eta_{3P}; \quad (3.17)$$

$$K_{C_v}'' = 1,00 - n_{C_v} \Omega_{3P} - l_{C_v} v_0 - d_{C_v} \xi + C_{C_v} \eta_{3P}; \quad (3.18)$$

$$K_{C_s}'' = 1,00 + n_{C_s} \Omega_{3P} + l_{C_s} v_0 + d_{C_s} \xi - C_{C_s} \eta_{3P}, \quad (3.19)$$

де K_G'' – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок річки-донора на досліджуваний статистичний параметр X ; $\eta_{зр}$ – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи; ξ – коефіцієнти зворотних вод, які утворюються за рахунок втрат води на інфільтрацію при зрошуванні сільськогосподарських масивів і надходять до русла річки підземним шляхом; значення коефіцієнту ξ відповідає розташуванню масивів відносно водоприймача; коефіцієнт ξ приймається рівним одиниці при зрошуванні заплавлених земель та $\xi = 0.5$ – при зрошуванні інших ділянок; для малих водозборів, які не дрениують водоносні горизонти, вплив зрошування сільськогосподарських земель за рахунок річок-донорів не виконується; $\Omega_{зр}$ – сумарна площа зрошуваних масивів, виражена в частках від загальної площі водозборів; v_0 – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідної сільськогосподарської культури є оптимальним: $v_0 = 0.8$ – для зернових культур; $v_0 = 0.90$ – для овочевих та кормових культур; $v_0 = 1$ – для вологолюбивих культур, наприклад, рису; n_G, l_G, d_G, C_G – коефіцієнти рівнянь множинної регресії.

Значення коефіцієнтів наведених рівнянь змінюються за географічними зонами в залежності від зміни норм кліматичного стоку.

Рівняння для визначення коефіцієнтів антропогенного впливу отримані шляхом застосування методу множинної регресії та результатів імітаційного стохастичного моделювання річного стоку в умовах водогосподарських перетворень при заданих кліматичних умовах. Показники водогосподарських перетворень $\Omega, \eta_{зр}, \xi, v_0$ визначаються на основі даних спостережень гідрологічної мережі регіональних підрозділів Гідрометеорологічної служби України та Агенства водних ресурсів України.

Практична частина

Вихідні дані: статистичні параметри природного стоку річки із практичної роботи №2; площа водозбору річки; площа водного дзеркала штучних водойм f_B , об'єм природного стоку, який надходить до водосховищ або ставків $\bar{W}_{ПР}$; об'єм заповнення штучних водойм \bar{W}_3 .

Завдання:

1. Розрахувати побутовий стік річки та його статистичні параметри при умові існування на водозборі штучних водойм.

Відома наступна інформація (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Статистичні параметри річного природного стоку р.В.Куяльник у різні сценарні періоди

Період	Норма опадів \bar{X} , мм	Норма максимально можл. випаровування, \bar{E}_m , мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Площа водозбору, F , км ²	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР}$	Параметри природного річного стоку			
						$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶ *	C_V	C_S
1990-2030 рр.	508	1015	19,6	1860	0,52	10,2	19,0	1,48	2,52
2031-2070 рр.	509	1101	15,7	1860	0,52	8,2	15,2	1,70	2,89
2071-2098 рр.	495	1200	11,1	1860	0,52	5,8	10,7	2,11	3,58

$$* W_{ПР} = Y_{ПР} \cdot F \cdot 1000 / 10^6 = [\text{млн. м}^3]$$

Для кількісної оцінки впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік використані функції антропогенного впливу використовуємо рівняння (3.7-3.12).

Таблиця 3.2 – Розрахунок коефіцієнтів впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного побутового стоку ($f_B=0,33\%$) у різні сценарні періоди, р.В.Куяльник

Сценарій	Період	Площа водозбору, F , км ²	Коефіцієнти α_A			Коефіцієнти антропогенного впливу		
			$\alpha_{\bar{Y}}$	α_{C_V}	α_{C_S}	$K'_{\bar{Y}}$	K'_{C_V}	K'_{C_S}
А1В	1990-2030 рр.	1860	0,25	0,19	0,14	0,92	1,06	1,05
	2031-2070 рр.	1860	0,27	0,20	0,15	0,91	1,07	1,05
	2071-2098 рр.	1860	0,33	0,21	0,16	0,90	1,07	1,05

Для розрахунку антропогенного коефіцієнту, який характеризує втрати на заповнення штучних водойм водою використовується відношення (3.13).

Об'єм природного стоку $\bar{W}_{ПР}$ беремо із табл. 3.1, об'єм заповнення штучних водойм \bar{W}_3 для р. В.Куяльник становить 7,8 млн. м³.

Сумарний коефіцієнт визначається за рівнянням (3.4).

Результати розрахунку коефіцієнтів антропогенного впливу при різних чинниках водогосподарської діяльності вносити в таблицю виду 3.3

Таблиця 3.3 – Розрахунок коефіцієнтів антропогенного впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм та втрат на заповнення штучних водойм у різні сценарні періоди, р.В.Куяльник

Сценарій	Період	$\bar{W}_{ПР},$ млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	$f_B,$ %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
					наповнення	додаткове випаровування	сумарний коефіцієнт
А1В	1990-2030 рр.	19,0	7,8	0,33	0,59	0,92	0,51
	2031-2070 рр.	15,2	7,8	0,33	0,49	0,91	0,40
	2071-2098 рр.	10,7	7,8	0,33	0,27	0,90	0,17

Побутовий стік річки розраховуємо як

$$\bar{W}_{ПОБ} = K_{сум} \bar{W}_{ПР}.$$

Статистичні параметри побутового стоку визначаються аналогічно статистичним параметрам природного стоку.

Таблиця 3.4 - Статистичні параметри річного побутового стоку р.В.Куяльник у різні сценарні періоди

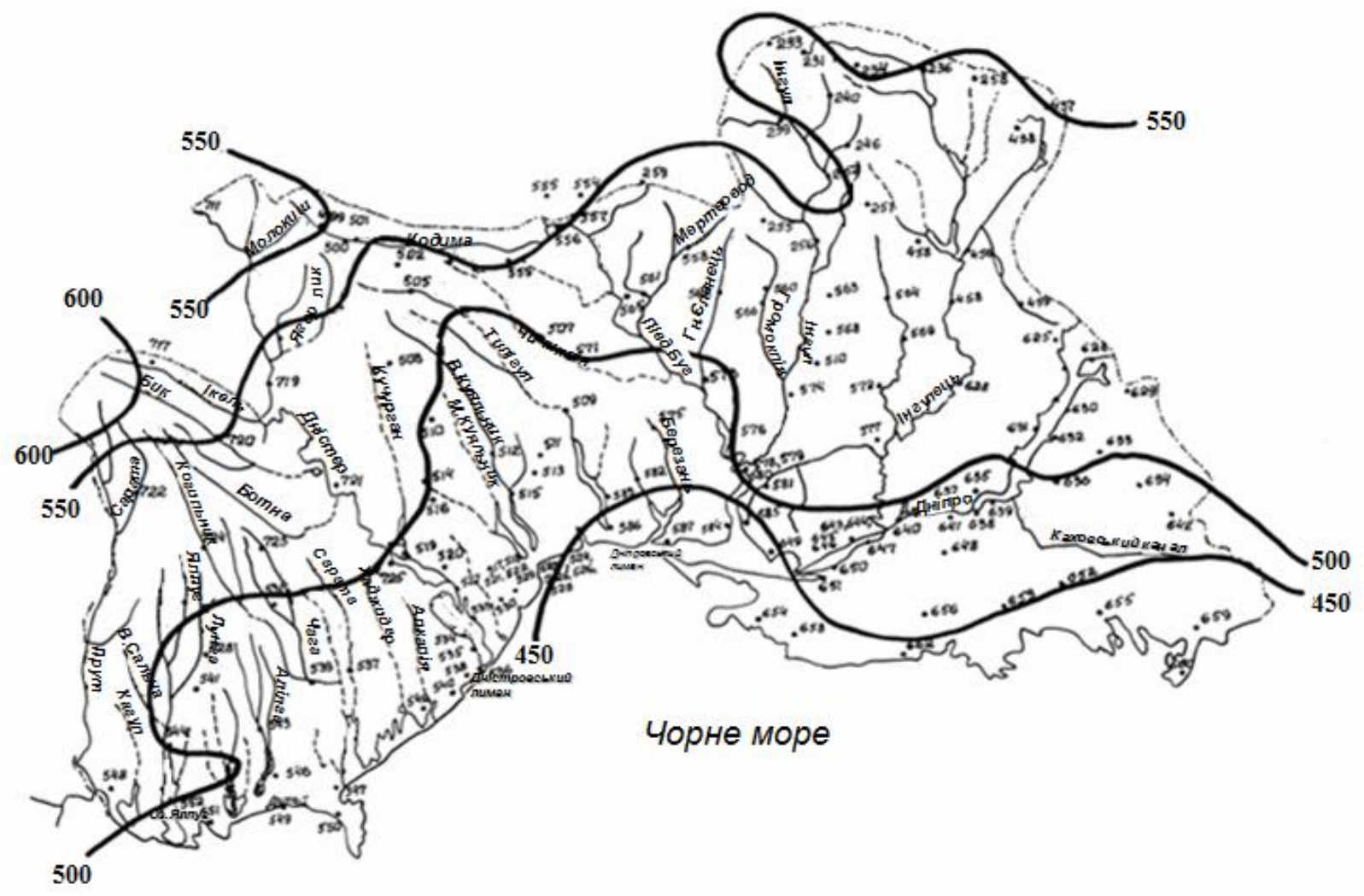
Сценарій	Період	Норма природного річного стоку, $\bar{W}_{ПР},$ млн.м ³	Параметри побутового річного стоку			
			$\bar{Y}_{ПОБ},$ мм	$\bar{W}_{ПОБ},$ м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
А1В	1990-2030 рр.	19,0	5,21	9,69	2,25	3,82
	2031-2070 рр.	15,2	3,28	6,11	2,99	5,09
	2071-2098 рр.	10,7	0,98	1,81	6,35	10,8

2. Зробити висновок щодо зменшення стоку річок за рахунок водогосподарської діяльності.

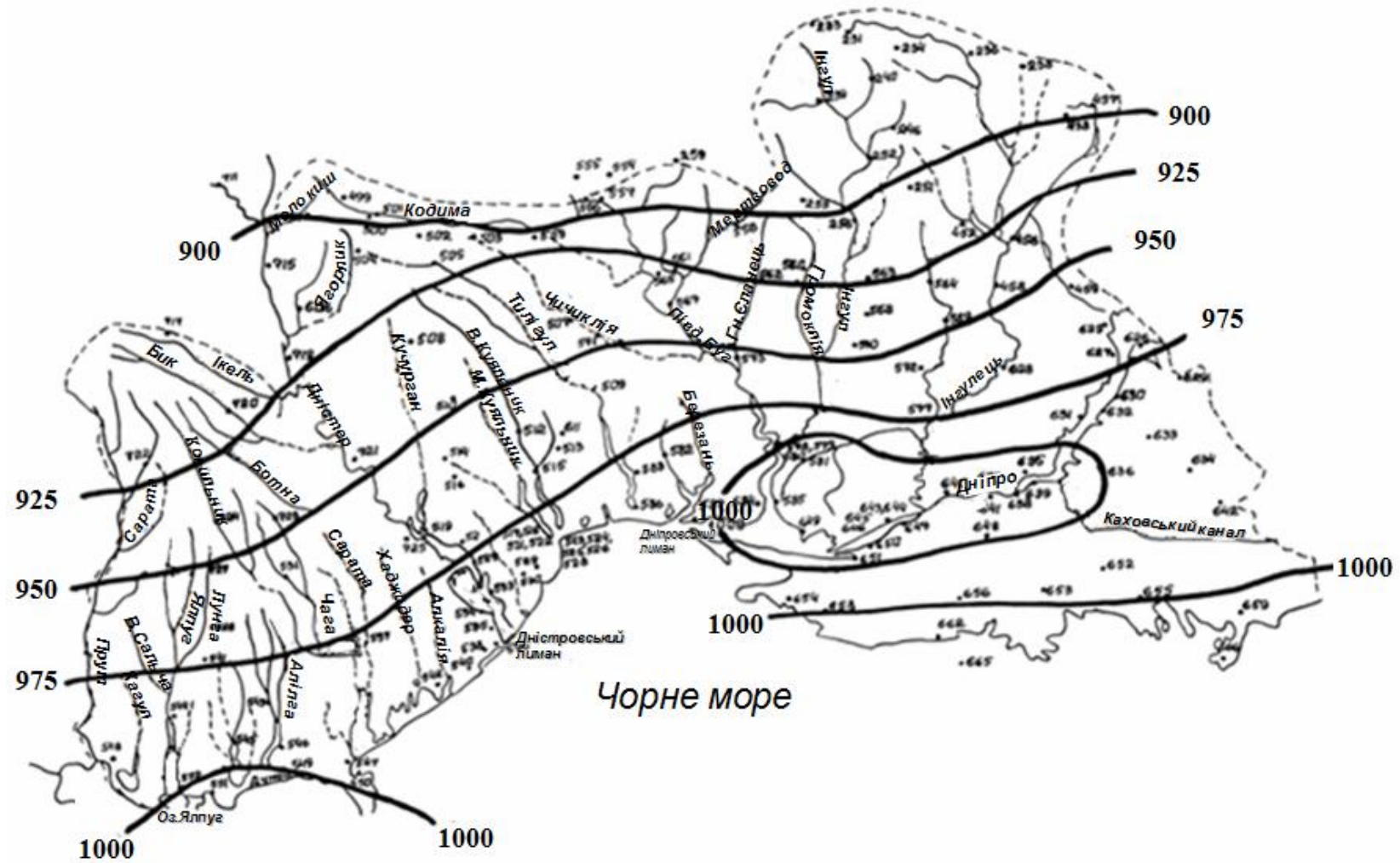
Контрольні запитання

1. Які види водогосподарської діяльності може враховувати модель «клімат-стік» при розрахунках побутового стоку?
2. Що називається коефіцієнтами антропогенного впливу?

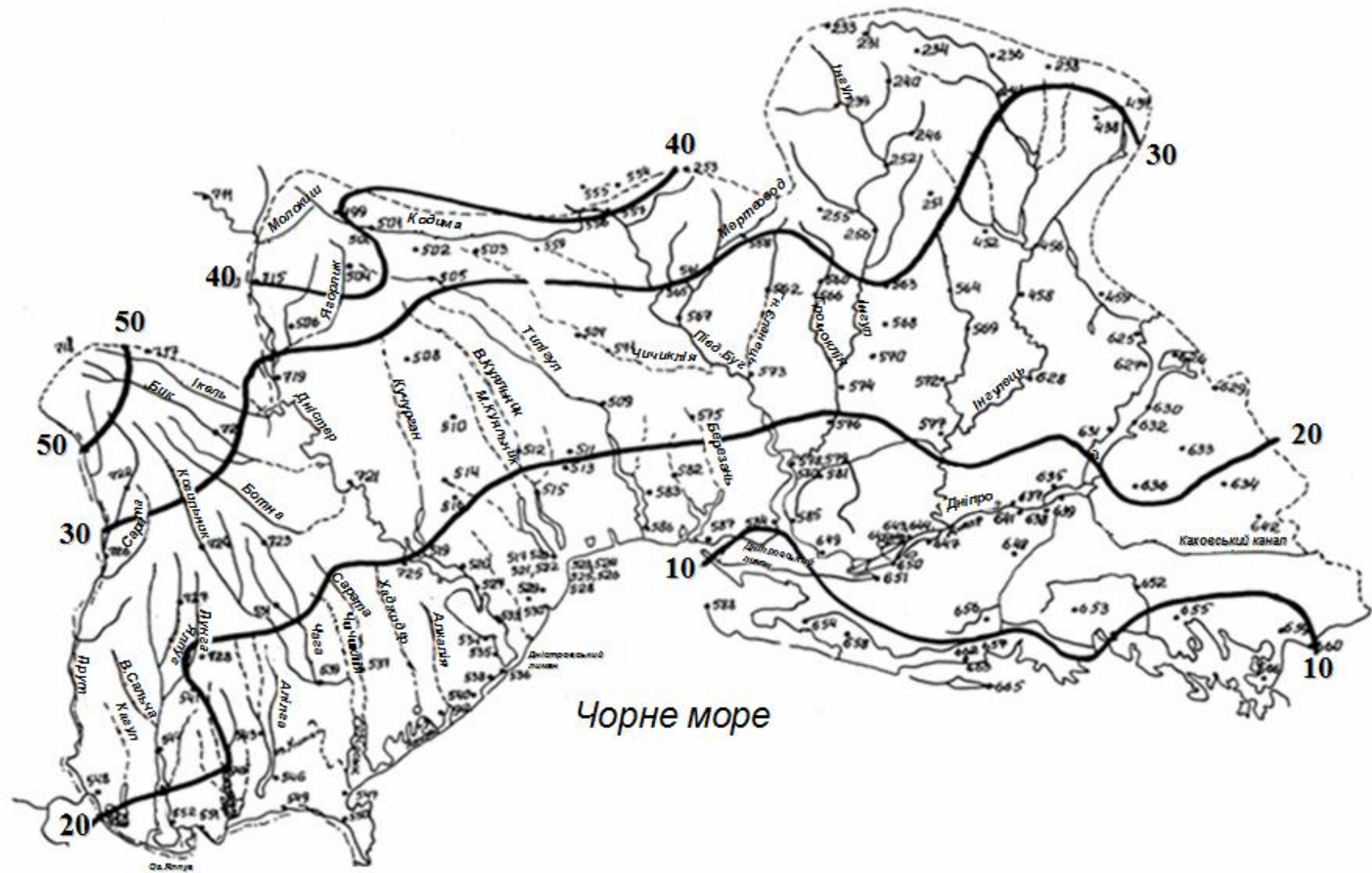
3. Як враховується вплив додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм при розрахунках стоку?



Додаток А.1 – Норми річних опадів, мм, на території Північно-Західного Причорномор'я [43]



Додаток А.2 – Норми річного максимально можливого випаровування, мм, на території Північно-Західного Причорномор'я [43]



Додаток А.3 – Норми річного кліматичного стоку, мм, на території Північно-Західного Причорномор'я [43]

Література

1. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 546 с.
2. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. - Л.: Гидрометеиздат, 1988.- 303 с.
3. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. - Л.: Гидрометеиздат, 1956. - 255 с.
4. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Киев: КНТ, 2005. – 188 с.
5. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
6. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 75 с.
7. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Нормування характеристик природного річного стоку України // Наукові праці УкрНДГМІ. – Вип.252. – К.:Ніка-Центр. –2003. – С.5 - 10.
8. IPCC (2000) Special Report In Emissions Scenarios (SRES) / Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.). UK, 2000. 570 p.
9. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: Навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.