

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
**«Вплив кліматичних змін на галузі економіки України»
(водне господарство)**

Для студентів денної та заочної форми навчання

Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 15 від «03» липня 2023 р.

Голова групи  Шакірзанова Ж.Р.

Затверджено
на засіданні кафедри гідро екології і водних досліджень
Протокол № 12 від «30» червня 2023 р.

Зав.кафедри  Лобода Н.С.

Одеса 2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з навчальної дисципліни
«Вплив кліматичних змін на галузі економіки України»
Для студентів денної та заочної форми навчання

Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи
забезпечення спеціальності
103 «Науки про Землю»
Протокол № 12
від « 30 » 06 2023 р.

Одеса 2023

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України» (водне господарство) за спеціальністю 103 «Науки про Землю», освітня програма «Гідрологія і комплексне використання водних ресурсів / проф., д.геогр.н. Лобода Н.С., доц., к.геогр.н. Отченаш Н.Д., Одеса, ОДЕКУ, 2023. – 58 с.

Методичні вказівки призначені для магістрів I року навчання за спеціальністю 103 «Науки про Землю»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 «Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку річок України протягом XX-XXI сторіч».....	7
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 «Кліматичні чинники формування стоку та їх зміни у майбутньому за сценаріями зміни клімату».....	15
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 «Оцінка змін запасів тепла, вологи і показника посушливості β_x у сучасності та майбутньому за даними сценарію глобального потепління (модель RCP4.5)».....	22
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 «Визначення статистичних параметрів річного кліматичного стоку України за моделлю «клімат-стік».....	27
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 «Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок в умовах наявності на водозборах штучних водойм за моделлю «клімат-стік».....	33
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 «Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок в умовах наявності зрошувальних земель (за рахунок місцевого стоку) за моделлю «клімат-стік». Оцінка сумарного впливу штучних водойм та зрошування».....	37
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 «Оцінка характеристик річного стоку в умовах кліматичних змін та водогосподарської діяльності».....	42
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8 «Оцінка впливу агро меліорацій та урбанізації в умовах кліматичних змін».....	49
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	53
ДОДАТОК А.....	54

ВСТУП

Актуальність проведення практичних занять з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України» обумовлена необхідністю розроблення методів розрахунку 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 визначення змін водних ресурсів в умовах водогосподарських перетворень (зрошування земель з місцевих водних ресурсів, вплив штучних водоймищ внаслідок додаткового випаровування з поверхні їх водного дзеркала) та 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» 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 водогосподарської діяльності;
- методичні підходи до визначення стану водних ресурсів в умовах глобального потепління;
- шляхи вирішення задач по управлінню водним господарством в умовах змін клімату.

У результаті виконання завдань з наведеного збірника практичних робіт студенти повинні отримати базові вміння:

- 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.

При виконанні практичних завдань з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України» студент повинен виконати наступні роботи: 1) Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку річок України протягом XX-XXI сторіч. 2) Кліматичні чинники формування стоку та їх зміни у майбутньому за сценаріями зміни клімату. 3) Оцінка змін запасів тепла, вологи і показника посушливості β_x у сучасності та майбутньому за даними сценарію глобального потепління (модель RCP4.5).

4) Визначення статистичних параметрів річного кліматичного стоку України за моделлю «клімат-стік». 5) Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок в умовах наявності на водозборах штучних водойм за моделлю «клімат-стік». 6) Визначення статистичних параметрів побутового річного стоку річок в умовах наявності зрошувальних земель (за рахунок місцевого стоку) за моделлю «клімат-стік». Оцінка сумарного впливу штучних водойм та зрошування. 7) Оцінка характеристик річного стоку в умовах кліматичних змін та водогосподарської діяльності. 8) Оцінка впливу агро меліорацій та урбанізації в умовах кліматичних змін

Контроль поточних знань виконується на базі модульної системи контролю відповідно до силлабусу дисципліни. В якості форми поточного контролю використовується усне опитування при захисті виконаних практичних робіт, або відповіді на контрольні питання у системі MOODLE.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ СТОКУ РІЧОК УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ ХХ – ХХІ СТОРІЧ

Мета роботи: виявлення тенденцій у змінах статистичної структури гідрометеорологічних полів у період кліматичних змін. На території України статистично значущі зміни річних температур повітря розпочалися після 1988р.

Теоретична частина

З 60-х років ХХ століття в багатьох регіонах Землі відбуваються зміни клімату, в тому числі, і на території України. На протязі останніх десятиріч спостерігаються зміни річних температур повітря, річних сум опадів та річного стоку

Температура – це одна з основних метеорологічних величин, яка впливає на випаровування з водної поверхні та поверхні суші. Від температури повітря в зимовий період залежать замерзання та скресання річок, накопичення запасів води у снігу, промерзання ґрунтів, початок весняного водопілля та інше.

Задачею практичної роботи є встановлення тенденцій у коливаннях опадів та температур повітря та виділення додатних та від’ємних фаз, а також рік перегину.

Матеріалами спостережень є температури повітря та суми опадів осереднені за теплий (IV-XI міс.) і холодний (XII-III міс.) періоди року, а також середньорічні температури повітря і суми опадів за період спостережень 1946-2015 рр.

Для розрахунків рекомендується використовувати методи регресійного аналізу та метод різницевих інтегральних кривих.

Під тенденцією часто розуміють загальний напрям розвитку випадкового процесу. Її зазвичай представляють у вигляді траєкторії. Траєкторія представлена у вигляді функції часу має назву тренд. Тренд описує усереднену для заданого періоду тенденцію процесу у часі. Зміни у часі є результатом впливу різних чинників. Часто тренд виявляють шляхом побудови регресії у часі.

Для вибірових даних рівняння умовного математичного сподівання $\hat{m}_{y/x}$ для залежних випадкових величин X та Y представляється у вигляді

$$\tilde{y}_i = \tilde{y}(x_i) = \hat{m}_{y/x} = ax_i + b, \quad (1.1)$$

де x_i – дискретні значення випадкової величини X ;

y – дискретні значення випадкової величини Y ;

\tilde{y}_i – значення випадкової величини Y , розраховані за рівнянням регресії;

a, b – шукані параметри рівняння.

Оцінка параметра рівняння лінійної регресії a зазвичай записується через коефіцієнт кореляції $r_{x,y}$

$$a = r_{x,y} \frac{S_y}{S_x}, \quad (1.2)$$

де S_x – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_x випадкової величини X ;

S_y – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_y випадкової величини Y .

Оцінка коефіцієнта кореляції, який відображає тісноту лінійного зв'язку між залежними змінними X та Y , надається у вигляді

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1.3)$$

де \bar{x}, \bar{y} – середні арифметичні значення вибірок довжиною n .

Середня квадратична похибка апроксимації S розраховується за рівнянням

$$S = S_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}. \quad (1.4)$$

S не є достатньо інформативною оцінкою, оскільки нев'язка розрахунку визначається в першу чергу вірогідністю визначення коефіцієнтів регресії та кореляції. Щоб переконатись у вірогідності побудованої регресійної моделі необхідно перевірити гіпотези про статистичну значущість коефіцієнта кореляції і коефіцієнтів рівняння регресії.

При спрощеному підході, рівняння лінійної парної регресії приймаються статистично значущими, якщо коефіцієнт кореляції r , який оцінює тісноту лінійного зв'язку, приймає значення більше подвоєної похибки свого визначення, тобто:

$$r \geq 2\sigma_r, \quad (1.5)$$

де r – коефіцієнт кореляції;

σ_r – середнє квадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції.

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}, \quad (1.6)$$

де n – довжина ряду.

Ординати різницевих інтегральних кривих являють собою послідовне накопичення відхилень досліджуваних величин від середнього багаторічного значення. Якщо переважає сума додатних відхилень, то мова йде про позитивну фазу коливань, якщо ж переважає сума від'ємних відхилень, то це означає, що у коливаннях триває від'ємна фаза.

Щоб криві набули безрозмірного виду їх представляють у вигляді безрозмірних величин, які називають модульними коефіцієнтами k . Вони являють собою відношення поточного значення досліджуваної характеристики до її середньої багаторічної величини. Наприклад, розрахунки модульних коефіцієнтів стоку виконуються за такими характеристиками водності як модуль стоку q , витрата стоку Q , об'єм стоку W та шар стоку Y .

$$k_i = \frac{q_i}{q} = \frac{Q_i}{Q} = \frac{W_i}{W} = \frac{Y_i}{Y}, \quad (1.7)$$

де q, Q, W, Y – модуль стоку, витрата стоку, об'єм стоку та шар стоку, відповідно;

$\bar{q}, \bar{Q}, \bar{W}, \bar{Y}$ – середні багаторічні значення розглядуваних характеристик стоку, відповідно.

Середнє багаторічне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці, отже, поточні ординати різницевої інтегральної кривої на кінець t -го року від початку побудування кривої визначають за рівнянням

$$\sum_{i=1}^t (k_i - 1) = f(t), \quad (1.8)$$

де k_i – модульний коефіцієнт;

$f(t)$ – функція часу.

Різницева інтегральна крива має таку властивість: відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за будь-який інтервал часу довжиною m від його середнього значення (одиниці) характеризується тангенсом кута нахилу лінії, яка поєднує точки початку та кінця інтервалу, до горизонтальної прямої і визначається за формулою

$$tga = (k_i - 1)_{сер} = \frac{l_k - l_n}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1) - \sum_{i=1}^{n-m} (k_i - 1)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i - 1)}{m}, \quad (1.9)$$

де l_k, l_n – відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається;

m – число років у розглядуваному періоді часу.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил уверх відносно осі абсцис та значення $(k_i - 1)_{сер}$ додатне (тому, що переважають додатні відхилення від середнього) відповідає додатній фазі коливань. Період, для якого з'єднуюча лінія і відповідна ділянка нахилени вниз та $(k_i - 1)_{сер}$ має від'ємне значення, відповідає від'ємній фазі. Для одного виділеного циклу, який складається з однієї додатної та однієї від'ємної фаз, середнє значення модульного коефіцієнта $k_{сер}$ дорівнюватиме 1, для додатної фази він більше 1, для від'ємної – менше за 1. Сума $\sum_{i=1}^m (k_i - 1)$ дорівнює нулю для одного або декількох циклів.

Різницеві інтегральні криві застосовуються для визначення фаз та повних циклів у коливаннях гідрометеорологічних характеристик. Цикли малої тривалості (декілька років) не враховуються.

Практична частина

Вихідні дані: температури повітря та суми опадів за теплий (IV-XI міс.) і холодний (XII-III міс.) періоди року, середньорічні дані про температуру повітря та опади за період спостережень 1946-2015 рр. на метеорологічній станції за варіантом наданим викладачем.

Приклад виконання

Завдання:

1 Сформувати таблицю вихідних даних

Таблиця 1.1 – Вихідні дані метеорологічних параметрів на м/с Тернопіль

Рік	Температура			Опади		
	Річна	Теплий період (IV-XI міс.)	Холодний період (XII-III міс.)	Річні	Теплий період (IV-XI міс.)	Холодний період (XII-III міс.)
1976	5,64	10,9		716	528	
1977	7,00	11,3	-1,14	653	537	129

Кінець табл. 1.1

1978	6,01	10,8	-3,42	707	566	97,6
1979	6,46	11,2	-4,14	548	381	208
1980	5,34	10,3	-4,11	839	646	151
1981	6,74	11,5	-2,47	735	533	208
1982	7,30	12,0	-3,32	450	358	114
1983	7,83	12,2	0,30	661	555	130
1984	6,57	11,4	-3,21	570	441	105
1985	5,44	11,3	-7,00	613	480	117
1986	6,67	12,1	-3,14	506	410	114
1987	5,36	11,3	-6,76	649	495	131
1988	6,75	11,1	-2,14	675	527	163
1989	8,50	12,0	1,05	493	439	73,5
1990	8,37	11,9	1,79	434	348	65,3
1991	7,02	11,7	-1,84	515	442	88,8
1992	7,52	12,1	-1,73	571	499	81,8
1993	6,74	10,8	-2,33	665	579	71,1
1994	8,21	12,6	0,03	476	333	121
1995	7,33	11,8	-0,48	534	390	164
1996	5,87	12,3	-7,08	495	382	101
1997	6,79	11,2	-2,72	589	480	88,7
1998	7,22	11,6	-0,77	730	627	152
1999	8,11	12,7	-2,13	578	434	109
2000	8,60	13,1	-1,02	544	377	183
2001	7,55	12,5	-0,42	798	631	182
2002	8,27	13,0	-0,80	456	363	94,0
2003	7,36	12,7	-5,21	538	442	95,7
2004	7,56	12,3	-2,02	595	472	123
2005	7,42	12,3	-2,36	583	393	153
2006	7,42	13,0	-4,23	603	476	167
2007	8,81	12,9	1,56	636	508	128
2008	8,70	12,8	-0,25	718	581	121
2009	8,28	13,4	-1,16	509	353	140
2010	7,55	13,4	-3,65	764	618	133
2011	8,10	12,9	-2,97	400	295	133
2012	7,76	14,0	-2,79	736	564	136
2013	8,09	13,4	-4,13	727	541	250
2014	8,58	12,9	0,15	582	469	98,5
2015	9,49	13,6	0,40	452	341	111

2. Побудувати графіки хронологічного ходу температур повітря та опадів за рік, теплий (IV-X міс.), холодний (XI-III міс.) періоди за даними спостережень.

Приклади хронологічних графіків наведені на рисунку 1.1 та 1.2 На графіках проведені лінії тренду. Добре видно, що тренд на рис 1.1 має додатну динаміку. Це пояснює збільшення середніх річних температур повітря. На рис. 1.2 тренд має від'ємну динаміку, що вказує на зменшення кількості опадів за теплий (IV-XI міс.) період.

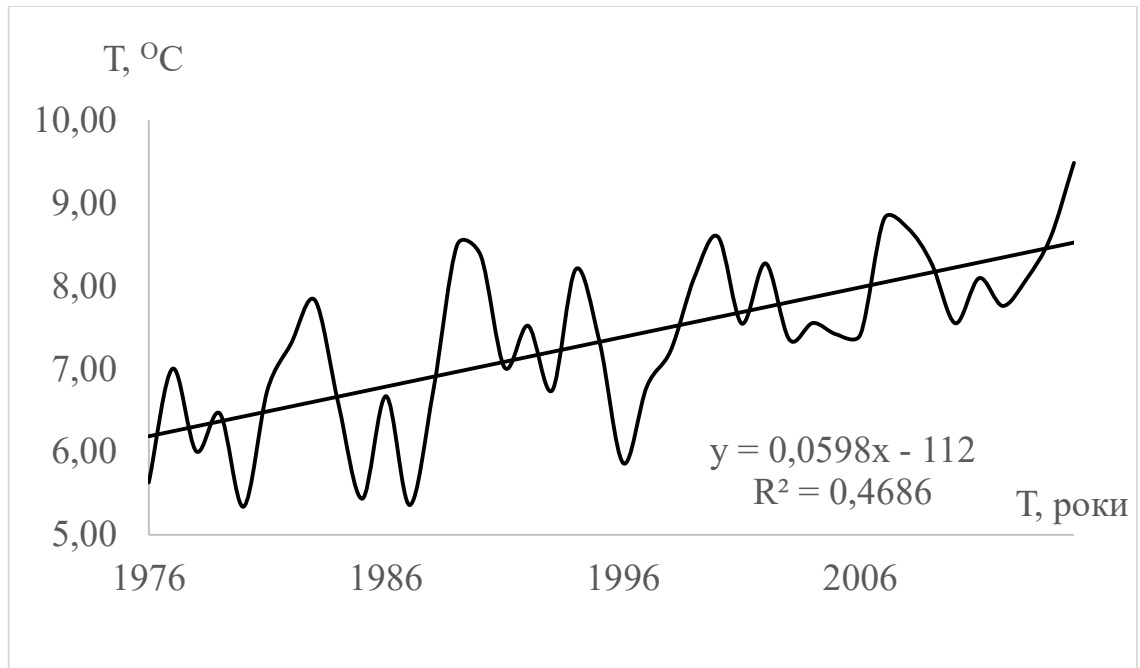


Рисунок 1.1 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря на м/с Тернопіль

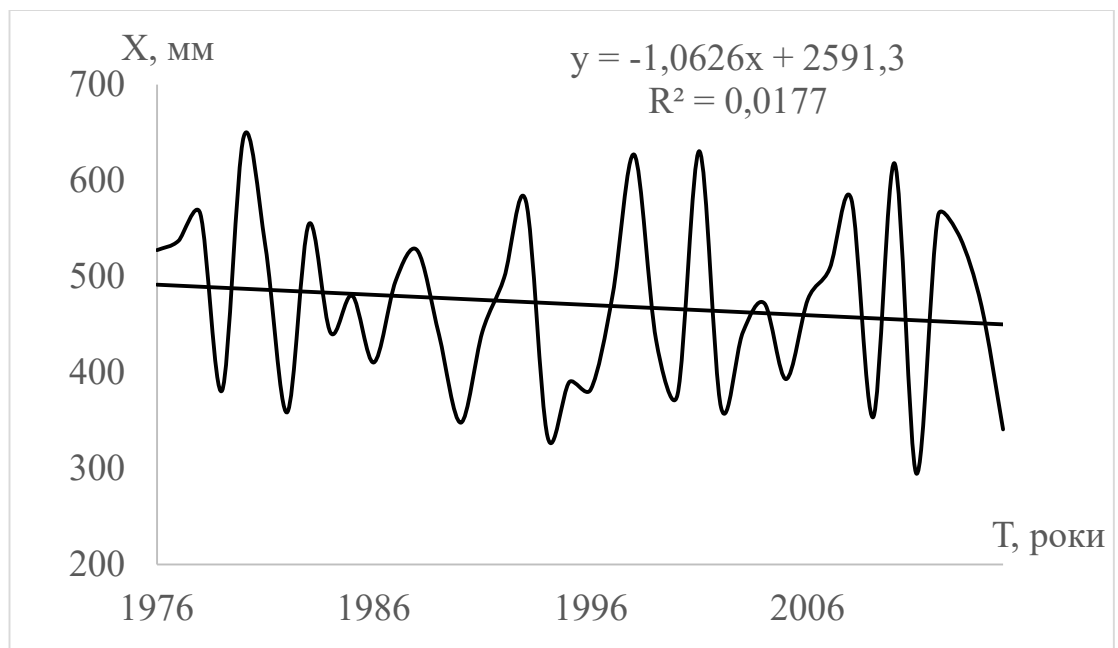


Рисунок 1.2 – Хронологічний хід опадів за теплий період на м/с Тернопіль

3. Установити наявність трендів за допомогою регресійних рівнянь, використовуючи програму Microsoft EXCEL. Необхідно отримати рівняння регресії та визначити коефіцієнт кореляції і похибку його розрахунку. Тренд приймається статистично значущим, коли виконується умова (1.5).

4. Побудувати графіки різницево-інтегральних кривих середніх річних температур повітря та річних сум опадів.

Для побудови різницево-інтегральної кривої середніх річних температур повітря заповнити таблицю 1.2 за прикладом. Побудувати графіки різницевої кривої та виділити додатні і від'ємні фази коливань (ілюстрація різницевої інтегральної кривої надана на рис.1.3).

Таблиця 1.2 – Розрахунок ординат різницево-інтегральної кривої річних температур повітря

№ з/п	Роки	Температура повітря за рік T, °C	$K_i = X_i / X_{\text{ср.}}$	$k_i - 1$	$\Sigma(k_i - 1)$
1	1976	5,64	0,77	-0,23	-0,23
2	1977	7,00	0,95	-0,05	-0,28
3	1978	6,01	0,82	-0,18	-0,46
4	1979	6,46	0,88	-0,12	-0,58
5	1980	5,34	0,73	-0,27	-0,86
6	1981	6,74	0,92	-0,08	-0,94
7	1982	7,30	0,99	-0,01	-0,95
8	1983	7,83	1,06	0,06	-0,89
9	1984	6,57	0,89	-0,11	-0,99
10	1985	5,44	0,74	-0,26	-1,25
11	1986	6,67	0,91	-0,09	-1,35
12	1987	5,36	0,73	-0,27	-1,62
13	1988	6,75	0,92	-0,08	-1,70
14	1989	8,50	1,15	0,15	-1,55
15	1990	8,37	1,14	0,14	-1,41
16	1991	7,02	0,95	-0,05	-1,46
17	1992	7,52	1,02	0,02	-1,43
18	1993	6,74	0,92	-0,08	-1,52
19	1994	8,21	1,12	0,12	-1,40
20	1995	7,33	1,00	0,00	-1,41
21	1996	5,87	0,80	-0,20	-1,61
22	1997	6,79	0,92	-0,08	-1,69
23	1998	7,22	0,98	-0,02	-1,70
24	1999	8,11	1,10	0,10	-1,60
25	2000	8,60	1,17	0,17	-1,44
26	2001	7,55	1,03	0,03	-1,41

Кінець табл. 1.2

27	2002	8,27	1,12	0,12	-1,29
28	2003	7,36	1,00	0,00	-1,29
29	2004	7,56	1,03	0,03	-1,26
30	2005	7,42	1,01	0,01	-1,25
31	2006	7,42	1,01	0,01	-1,24
32	2007	8,81	1,20	0,20	-1,05
33	2008	8,70	1,18	0,18	-0,86
34	2009	8,28	1,12	0,12	-0,74
35	2010	7,55	1,03	0,03	-0,71
36	2011	8,10	1,10	0,10	-0,61
37	2012	7,76	1,05	0,05	-0,56
38	2013	8,09	1,10	0,10	-0,46
39	2014	8,58	1,17	0,17	-0,29
40	2015	9,49	1,29	0,29	-0,01
		$T_{сер.} = \Sigma T_i / 40 = 7,36$			

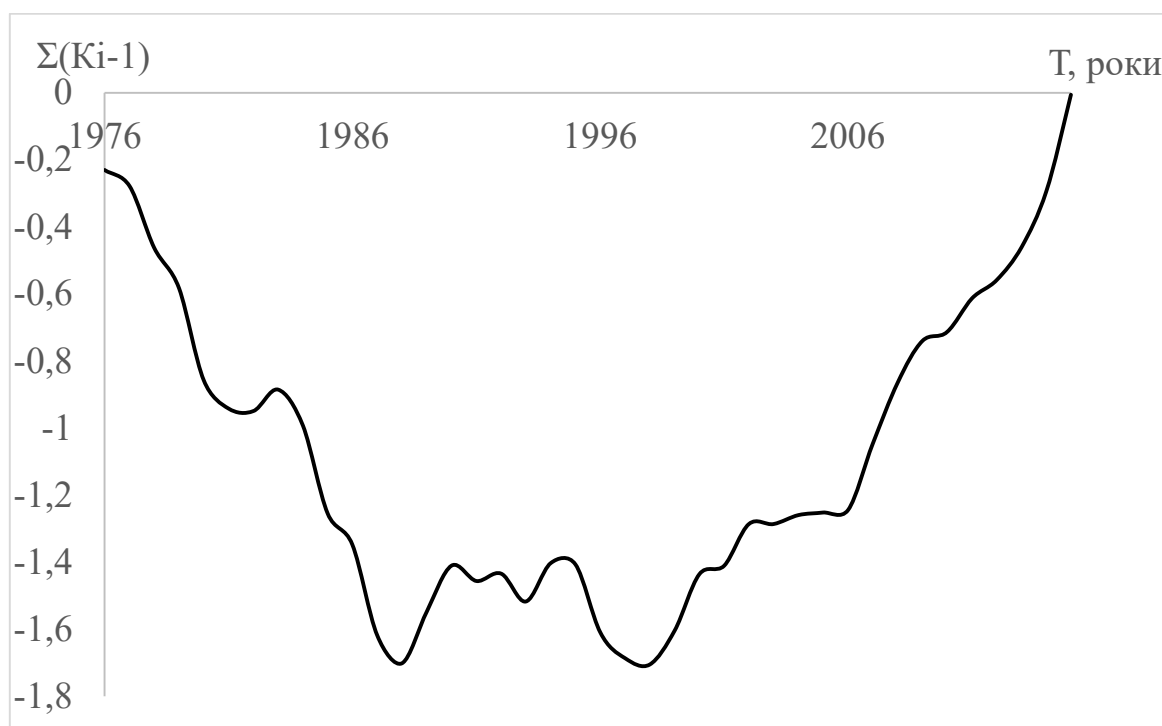


Рисунок 1.3 – Різницево-інтегральні криві середніх річних температур повітря

Якщо проаналізувати різницево-інтегральну криву середніх річних температур повітря, можна виділити від'ємну фазу (1976 – 1988 рр.) та додатну (1989-2015 рр.)

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

1. Дати визначення тренду.
2. Що характеризує коефіцієнт кореляції?
3. У яких межах змінюється коефіцієнт кореляції за своєю абсолютною величиною?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2
КЛІМАТИЧНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ СТОКУ
ТА ЇХ ЗМІНИ У МАЙБУТНЬОМУ
ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Мета роботи – виявлення та аналіз тенденцій змін кліматичних чинників формування стоку за даними сценаріїв зміни клімату.

Теоретична частина

Основними кліматичними чинниками формування стоку є температури повітря та опади.

На відміну від першого завдання у другому під час виконання роботи використовуються метеорологічні дані сценаріїв змін клімату, які наводяться у Додатку Б.

Під тенденцією часто розуміють загальний напрям розвитку випадкового процесу. Її зазвичай представляють у вигляді траєкторії. Траєкторія представлена у вигляді функції часу має назву тренд. Тренд описує усереднену для заданого періоду тенденцію процесу у часі. Зміни у часі є результатом впливу різних чинників. Часто тренд виявляють шляхом побудови регресії у часі.

Для вибіркового даного рівняння умовного математичного сподівання $\hat{m}_{y/x}$ для залежних випадкових величин X та Y представляється у вигляді

$$\tilde{y}_i = \tilde{y}(x_i) = \hat{m}_{y/x} = ax_i + b, \quad (2.1)$$

де x_i – дискретні значення випадкової величини X ;

y – дискретні значення випадкової величини Y ;

\tilde{y}_i – значення випадкової величини Y , розраховані за рівнянням регресії;

a, b – шукані параметри рівняння.

Оцінка параметра рівняння лінійної регресії a зазвичай записується через коефіцієнт кореляції $r_{x,y}$

$$a = r_{x,y} \frac{S_y}{S_x}. \quad (2.2)$$

де S_x – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_x випадкової величини X ;

S_y – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_y випадкової величини Y .

Оцінка коефіцієнта кореляції, який відображає тісноту лінійного зв'язку між залежними змінними X та Y , надається у вигляді

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.3)$$

де \bar{x}, \bar{y} – середні арифметичні значення вибірок довжиною n .

Середня квадратична похибка апроксимації S розраховується за рівнянням

$$S = S_y \sqrt{1 - r_{xy}^2} \quad (2.4)$$

S не є достатньо інформативною оцінкою, оскільки нев'язка розрахунку визначається в першу чергу вірогідністю визначення коефіцієнтів регресії та кореляції. Щоб переконатись у вірогідності побудованої регресійної моделі необхідно перевірити гіпотези про статистичну значущість коефіцієнта кореляції і коефіцієнтів рівняння регресії.

При спрощеному підході, рівняння лінійної парної регресії приймаються статистично значущими, якщо коефіцієнт кореляції r , який оцінює тісноту лінійного зв'язку, приймає значення більше подвоєної похибки свого визначення, тобто:

$$r \geq 2\sigma_r, \quad (2.5)$$

де r – коефіцієнт кореляції;

σ_r – середнє квадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції.

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (2.6)$$

де n – довжина ряду.

Ординати різницевих інтегральних кривих являють собою послідовне накопичення відхилень досліджуваних величин від середнього багаторічного значення. Якщо переважає сума додатних відхилень, то мова йде про позитивну фазу коливань, якщо ж переважає сума від'ємних відхилень, то це означає, що у коливаннях триває від'ємна фаза.

Щоб криві набули безрозмірного виду їх представляють у вигляді безрозмірних величин, які називають модульними коефіцієнтами k . Вони являють собою відношення поточного значення досліджуваної характеристики до її середньої багаторічної величини. Наприклад,

розрахунки модульних коефіцієнтів стоку виконуються за такими характеристиками водності як модуль стоку q , витрата стоку Q , об'єм стоку W та шар стоку Y .

$$k_i = \frac{q_i}{q} = \frac{Q_i}{Q} = \frac{W_i}{W} = \frac{Y_i}{Y}, \quad (2.7)$$

де q, Q, W, Y – модуль стоку, витрата стоку, об'єм стоку та шар стоку, відповідно;

$\bar{q}, \bar{Q}, \bar{W}, \bar{Y}$ – середні багаторічні значення розглядуваних характеристик стоку, відповідно.

Середнє багаторічне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці, отже, поточні ординати різницевої інтегральної кривої на кінець t -го року від початку побудування кривої визначають за рівнянням

$$\sum_{i=1}^t (k_i - 1) = f(t), \quad (2.8)$$

де k_i – модульний коефіцієнт;

$f(t)$ – функція часу.

Різницева інтегральна крива має таку властивість: відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за будь-який інтервал часу довжиною m від його середнього значення (одиниці) характеризується тангенсом кута нахилу лінії, яка поєднує точки початку та кінця інтервалу, до горизонтальної прямої і визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = (k_i - 1)_{\text{сеп}} = \frac{l_k - l_n}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1) - \sum_{i=1}^{n-m} (k_i - 1)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i - 1)}{m}, \quad (2.9)$$

де l_k, l_n – відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається;

m – число років у розглядуваному періоді часу.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил уверх відносно осі абсцис та значення $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ додатне (тому, що переважають додатні відхилення від середнього) відповідає додатній фазі коливань. Період, для якого з'єднуюча лінія і відповідна ділянка нахилені вниз та $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ має від'ємне значення, відповідає від'ємній фазі. Для одного виділеного циклу, який складається з однієї додатної та однієї від'ємної фаз,

середнє значення модульного коефіцієнта $k_{сер.}$ дорівнюватиме 1, для додатної фази він більше 1, для від'ємної – менше за 1. Сума $\sum_{i=1}^m (k_i - 1)$ дорівнює нулю для одного або декількох циклів.

Різницеві інтегральні криві застосовуються для визначення фаз та повних циклів у коливаннях гідрометеорологічних характеристик. Цикли малої тривалості (декілька років) не враховуються.

Практична частина

Вихідні дані: середні місячні та середні за рік температури повітря та суми опадів по місяцях та роках.

Приклад виконання

Завдання:

1. Розрахувати середні суми опадів за теплий (IV-XI міс.) та холодний (XII-III міс.) періоди року за сценарними умовами з 2021 по 2050 роки.

Результати заносимо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Вихідні дані метеорологічних параметрів на м/с Тернопіль за сценаріями з 2021 по 2050 роки

Рік	Температура			Опади		
	Річна	Теплий період (IV-XI міс.)	Холодний період (XII-III міс.)	Річні	Теплий період (IV-XI міс.)	Холодний період (XII-III міс.)
2021	7,8	14,1		357	237	
2022	7,3	12,1	-0,16	610	453	159
2023	7,3	12,6	0,68	601	456	150
2024	7,6	12,3	1,32	713	556	140
2025	6,4	12,5	-0,78	634	480	117
2026	7,6	13,1	-1,38	550	401	199
2027	6,7	12,1	-0,78	676	542	144
2028	6,8	12,4	-0,64	656	472	123
2029	6,9	13,2	-2,88	580	379	229
2030	6,9	11,6	-0,04	635	511	157
2031	5,4	12,5	-2,22	707	493	185
2032	7,0	14,0	-4,3	470	314	162
2033	7,9	12,9	0,12	786	598	175
2034	7,5	12,7	0,22	731	496	255
2035	6,8	13,0	0	554	364	160

Кінець таблиці 2.1

2036	4,9	11,4	-4,8	598	419	208
2037	5,2	11,9	-3,48	574	337	207
2038	7,0	12,7	-2,82	512	328	196
2039	6,0	12,6	-1,68	805	553	275
2040	7,9	13,9	-2,3	550	370	179
2041	7,2	13,1	0,38	709	553	163
2042	6,3	13,4	-4,68	463	321	156
2043	6,2	12,6	-2,38	743	539	154
2044	7,8	13,3	-0,28	647	496	156
2045	6,3	12,4	-2,8	584	385	206
2046	8,5	14,2	0,78	347	219	139
2047	6,2	12,6	-2,52	535	376	192
2048	7,1	13,2	-1,04	666	524	140
2049	7,3	12,9	-1,96	596	439	144
2050	5,8	13,4	-2,84	627	412	187

2. Побудувати хронологічні графіки коливань сум опадів по роках, та за теплий і холодний періоди. Отримати рівняння лінійної парної регресії.
3. Побудувати хронологічні графіки коливань середніх річних температур повітря, середніх річних температур повітря за теплий і холодний періоди. Отримати рівняння лінійної парної регресії.

Хронологічні графіки будуються за сценарними даними, отримані за моделлю RCP4.5, за 2021–2050 роки

Приклади хронологічних графіків наведені на рисунку 2.1 та 2.2 На графіках проведені лінії тренду. Добре видно, що тренди на рис 2.1 та 2.2 мають від’ємну динаміку. Це пояснює зменшення середніх річних температур повітря та кількості опадів за теплий (IV-XI міс.) період.

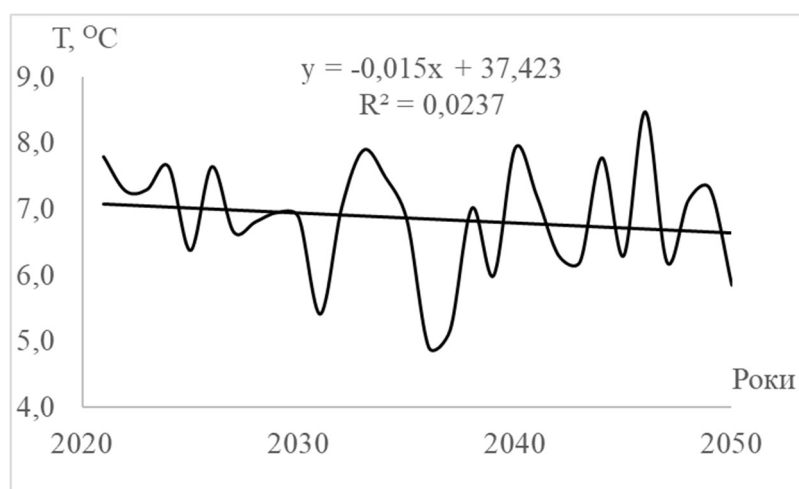


Рисунок 2.1 – Хронологічний хід середніх річних температур повітря на м/с Тернопіль за період 2021–2050 роки (за сценарієм RCP4.5)

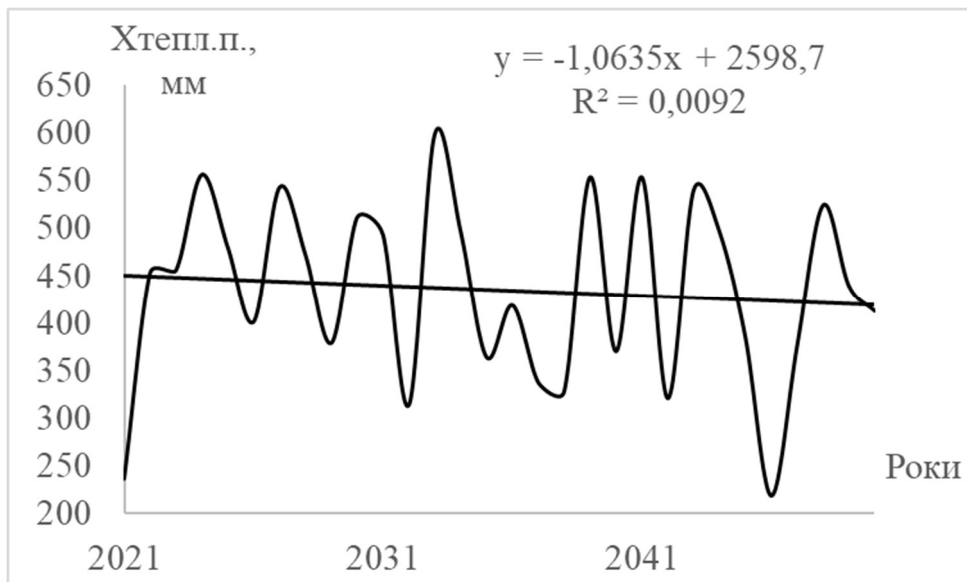


Рисунок 2.2 – Хронологічний хід опадів за теплий період на м/с Тернопіль за період 2021–2050 роки (за сценарієм RCP4.5)

4. Побудувати різницево-інтегральні криві для річних сум опадів та середніх річних температур повітря.

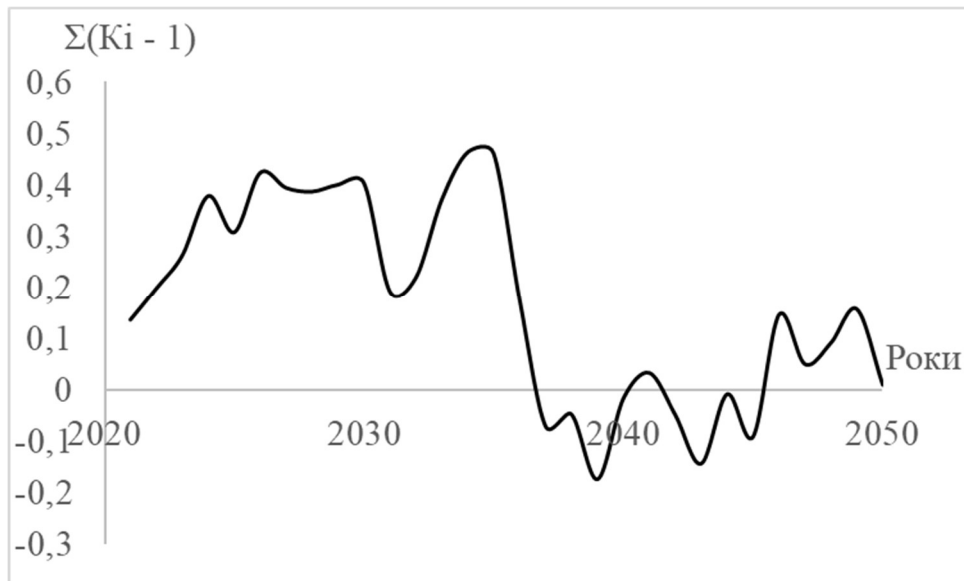


Рисунок 2.3 – Різницево-інтегральна крива середніх річних температур повітря

5. Провести аналіз можливих кліматичних змін у найближчі десятиріччя за отриманими графіками.

Якщо проаналізувати різницево-інтегральну криву середніх річних температур повітря можна виділити 2035 рік, як переламний. До 2035 року спостерігаємо додатну фазу.

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

1. У якому випадку коефіцієнт кореляції приймає знак мінус?
2. Коли виявлений тренд, описаний через рівняння лінійної парної регресії, можна вважати статистично значущим?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3
«ОЦІНКА ЗМІНИ ЗАПАСІВ ТЕПЛА, ВОЛОГИ І ПОКАЗНИКА
ПОСУШЛИВОСТІ β_x У СУЧАСНОСТІ ТА МАЙБУТНЬОМУ ЗА
ДАНИМИ СЦЕНАРІЮ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ (МОДЕЛЬ
RCP4.5)

Мета роботи: визначити ступінь посушливості клімату за прогнозний період.

Теоретична частина

Характеристикою запасів тепла є максимально можливе випаровування, яке розраховується за даними про температуру повітря в літній сезон за такою формулою

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (3.1)$$

де $\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ - сума норм середньомісячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно).

Характеристикою запасів вологи за багаторічний період є середня багаторічна сума опадів \bar{X} за рік.

Один з найпоширеніших підходів до аналізу посушливості заснований на застосуванні спеціальних індексів/показників, які повинні відобразити метеорологічні явища й умови, які передують виникненню сільськогосподарської або гідрологічної посухи. Практично усі існуючі індекси посух базуються на порівнянні наявних запасів води (причому основною складовою є опади) з втратами води на випаровування, яке визначається припливом радіації. Серед них індекс Мартоні, стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (СІОСВ) або (SPEI), гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК), показник посушливості/ зволоженості β_x .

За рекомендаціями ЮНЕСКО, ступінь аридності (посушливості) території визначається наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} X / PET < 0,03 & - \text{гіпераридна зона;} \\ 0,03 < X / PET < 0,20 & - \text{аридная зона;} \\ 0,20 < X / PET < 0,50 & - \text{напіваридна зона,} \end{aligned} \quad (3.2)$$

де X – шар середньорічних опадів; PET – потенційне випаровування.

Неважко провести аналогію між величиною PET та максимально можливим випаровуванням або теплоенергетичним еквівалентом E_m , який

тракується як максимально можливе випаровування з поверхні суші, яке мало б місце, якщо б на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату .

Згідно із рекомендаціями В.С. Мезенцева за величиною β_X , яке являє собою співвідношення між ресурсами вологи X та тепла E_m , визначається ступінь зволоженості (посушливості) території:

$$\beta_x = \frac{\bar{X}}{E_m} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \beta_X \geq 1,0 & - \text{зона надмірного зволоження;} \\ 0,8 \leq \beta_X < 1,0 & - \text{зона достатнього зволоження;} \\ 0,5 \leq \beta_X < 0,8 & - \text{недостатнього зволоження;} \\ 0,2 \leq \beta_X < 0,50 & - \text{напіваридна зона;} \\ 0,03 \leq \beta_X < 0,20 & - \text{аридная зона;} \\ \beta_X < 0,03 & - \text{гіпераридна зона} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Практична частина

Вихідні дані: середньомісячні дані про температуру повітря та опади за період спостережень та за період 2021-2050 рр. для заданого сценарію змін клімату (варіант відповідає роботі 2).

Приклад розрахунків

Етапи виконання завдання.

1. Визначаємо середнє багаторічне значення річних сум опадів та максимально можливого випаровування.

Формуємо таблицю з вихідними даними середніх багаторічних значень річних сум опадів та максимально можливого випаровування за періоди: до 1989 року; з 1989 по 2021 роки; з 2021 по 2050 роки.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

№ п/п	Рік	$\Sigma T, ^\circ C$ (V-IX роки)	E_m	$X, \text{ мм}$
1	1975	83,0	797	702
2	1976	70,6	632	716
3	1977	71,9	649	653
4	1978	68,2	600	707

Продовження табл. 3.1

5	1979	78,3	735	548
6	1980	68,9	609	839
7	1981	77,5	724	735
8	1982	80,6	765	450
9	1983	79,9	756	661
10	1984	73,3	668	570
11	1985	76,5	711	613
12	1986	78,4	736	506
13	1987	74,9	689	649
14	1988	79,0	744	675
15	1989	77,5	724	493
Середнє		75,9	703	635
1	1990	74,0	677	434
2	1991	76,8	714	515
3	1992	80,7	766	571
4	1993	74,7	686	665
5	1994	82,6	791	476
6	1995	80,4	762	534
7	1996	78,5	738	495
8	1997	78,2	732	589
9	1998	78,5	737	730
10	1999	83,5	804	578
11	2000	78,2	732	544
12	2001	80,3	761	798
13	2002	85,5	830	456
14	2003	85,8	834	538
15	2004	78,0	731	595
16	2005	80,9	769	583
17	2006	81,6	779	603
18	2007	87,1	852	636
19	2008	80,8	768	718
20	2009	83,9	809	509
21	2010	86,9	849	764
22	2011	85,3	828	400
23	2012	89,0	877	736
24	2013	83,1	798	727
25	2014	83,7	806	582
26	2015	89,0	876	452
Середнє		81,8	781	586
1	2021	82,7	793	357
2	2022	73,6	672	610
3	2023	71,9	649	601

Кінець табл. 3.1

4	2024	74	677	713
5	2025	73,9	676	634
6	2026	80,4	762	550
7	2027	75,7	700	676
8	2028	73,7	673	656
9	2029	77,2	720	580
10	2030	68,9	609	635
11	2031	71,5	644	707
12	2032	80,2	760	470
13	2033	71,6	645	786
14	2034	75,3	694	731
15	2035	76,5	710	554
16	2036	70,1	625	598
17	2037	75,6	698	574
18	2038	77,8	728	512
19	2039	76	704	805
20	2040	79,5	750	550
21	2041	75,9	702	709
22	2042	80,4	762	463
23	2043	75,7	700	743
24	2044	78	730	647
25	2045	77,4	722	584
26	2046	84,8	821	347
27	2047	75,7	700	535
28	2048	75,7	700	666
29	2049	73,7	673	596
30	2050	75,6	698	627
Середнє		76,0	703	607

2. Знаходимо показник посушливості β_x для минулих років (до 1989р. та після 1989р.) та за сценарієм (2021-2050рр.).

Розрахунок проводимо за формулою

$$\beta_x = \frac{\bar{X}}{E_m}$$

- Для періоду до 1989 року

$$\beta_x = \frac{635}{703} = 0,90$$

- Для періоду 1990-2011

$$\beta_x = \frac{586}{781} = 0,75$$

– Для періоду 2021-2050

$$\beta_x = \frac{607}{703} = 0,86$$

Результати заносимо до табл. 3.2

3. Оцінюємо зміни показника посушливості β_x у сучасності (після 1989р.) та у майбутньому за даними моделі RCP4.5 у період 2021-2050 рр., при порівнянні їх із ретроспективними даними (до 1989 р.). Відносні відхилення δ (у %) розраховувати за формулою

$$\delta = \frac{\bar{A}' - \bar{A}}{\bar{A}}, \quad (3.5)$$

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. (до початку значущого впливу глобального потепління на температурний режим).

Таблиця 3. – Зміна показників посушливості за даними сценарію у порівнянні із фактичними даними до 1989 р.

Період	Показник посушливості/ зволоженості β_x	Ступінь зволоженості (посушливості) території	δ , %
До 1989 рр.	0,90	зона достатнього зволоження	
1989-2015рр.	0,75	зона недостатнього зволоження;	-16,7
2021-2050 рр.	0,86	зона достатнього зволоження	-4,44

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

1. Дати визначення поняття «максимально можливе випаровування».
2. Як розрахувати максимально можливе випаровування?
3. Що таке показник β_x ?
4. Як визначити показник β_x ?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧНОГО КЛІМАТИЧНОГО СТОКУ ТА ПРИРОДНОГО СТОКУ РІЧОК УКРАЇНИ ЗА МОДЕЛЮ “КЛІМАТ-СТІК”.

Мета роботи: навчитися визначати статистичні параметри річного стоку у непорушених водогосподарською діяльністю

Теоретична частина

Основним рівнянням, яке використовується для визначення річного кліматичного стоку за будь який розрахунковий інтервал, є рівняння водно-теплогового балансу водозбору у модифікації В.С. Мезенцева, яке для багаторічного періоду має вигляд

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (4.1)$$

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.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (4.1), 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 (4.1), отримали назву “кліматичного”. Норма кліматичного стоку у подальшому позначена як \bar{Y}_K .

Кarti ізоліній середніх багаторічних величин (норм) розрахованого за (4.1) кліматичного стоку побудовані на топографічній основі 1:500000 для рівнинної території України. 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. 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.

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1), \text{ при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (4.2)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1, \text{ при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (4.3)$$

де F – площа водозбору, км².

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 та висотою поверхні:

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (4.4)$$

$$K_{ПЕР,2} = 1, \text{ при } H_{СЕР} \geq 280 \text{ м}, \quad (4.5)$$

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, який визначається за картою, на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K. \quad (4.6)$$

На базі аналізу статистичних параметрів рядів кліматичного річного стоку 30-річної тривалості (1951-1980 рр.) були устанавлені зв'язки між

багаторічною мінливістю річного стоку (коефіцієнтом варіації C_V) та нормою річного кліматичного стоку \bar{Y}_K :

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_{PP}}{10}\right)^{0,62}}, \quad (4.7)$$

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 встановлене таке співвідношення

$$C_S = 1,7C_V, \quad (4.8)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Практична частина

Вихідні дані: Карта ізолій середніх багаторічних величин річного кліматичного стоку, розрахованого за даними до 1989р. (до початку змін глобального клімату).

Водозбори річок за варіантами

Варіант за списком	Річка	Площа водозбору F , км ²	Середня висота водозбору $H_{СЕР}$
1	Кагул	605	120
2	Ялпуг	3180	150
3	Когільник	3910	140
4	Хаджидер	894	80
5	Алкалія	653	70
6	Малий Куяльник	1540	110

Завдання:

1. Виділити водозбір досліджуваної річки.
2. Знайти середнє зважене річного кліматичного стоку з карти.
3. Визначити коефіцієнт впливу підстильної поверхні за формулами (4.4) або (4.5).
4. Визначити середню багаторічну величину природного річного стоку за (4.6).
5. Розрахувати коефіцієнти варіації та асиметрії за (4.7) та (4.8).

6. Скласти таблицю виду

Таблиця 4.1 – Статистичні параметри природного стоку з водозбору за даними до 1989р.

Водозбір річки (назва)	\bar{Y}_k , мм	$K_{ПЕР,2}$	$\bar{Y}_{пр}$, мм	C_V	C_S

Приклад розрахунків

Для прикладу розглянемо р. Кучурган.

1) З Додатку А виділимо водозбір даної річки

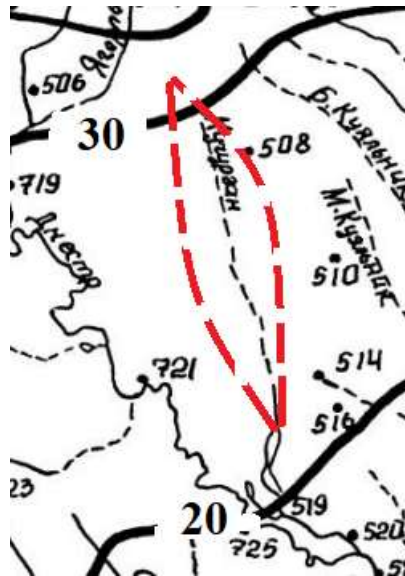


Рис. 4.1 – фрагмент рис. 4.1

2) З рис. 4.1 знаходимо середнє зважене річного кліматичного стоку. Так, $U_{кл} = 27$ мм.

3) Розраховуємо коефіцієнти переходу від норм річного кліматичного стоку до природного. Для розрахунку використовуємо формули 4.2–4.5 з урахуванням середньої висоти водозбору та площі водозбірного басейну.

Відомо, що:

- площа водозбору річки – 2090 км²;
- середня висота водозбору – 122 м.

Тому

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

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

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - 122) = 0,526$$

4. Визначаємо середню багаторічну величину природного річного стоку за (4.6).

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K = 0,526 \times 27 = 14,2 \text{ мм}$$

5. Розраховуємо коефіцієнти варіації та асиметрії

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_{ПР}}{10}\right)^{0,62}} = \frac{1,5}{\left(\frac{14,2}{10}\right)^{0,62}} = 1,21$$

$$C_S = 1,7 C_V = 1,7 \times 1,21 = 2,06$$

6. Результати розрахунків заносимо до таблиці 4.1

Водозбір річки (назва)	\bar{Y}_k , мм	$K_{ПЕР,2}$	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	C_V	C_S
Кучугур	27	0,526	14,2	1,21	2,06

7. За таблицею чисел Фостера (Φ_p) (Додаток Б, табл. Б.1) визначаємо природний стік забезпеченістю 5, 25, 50, 75 та 95%.

$$Y_p = \bar{Y}_{ПР} (\Phi_p C_V + 1)$$

Результати заносимо до таблиці 5.2

Таблиця 4.2 – Характеристики природного річного стоку у роки різної забезпеченості водності (за даними до 1989р.)

Характеристики	$P = 5\%$	$P = 25\%$	$P = 50\%$	$P = 75\%$	$P = 95\%$
(Φ_p)	2,01	0,38	-0,32	-0,70	-0,930
$(\Phi_p C_V + 1)$	3,43	1,46	0,61	0,15	-0,12
Y_p , мм	47,4	20,7	8,66	2,13	0

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

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 5

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОБУТОВОГО РІЧНОГО СТОКУ РІЧОК В УМОВАХ НАЯВНОСТІ НА ВОДОЗБОРАХ ШТУЧНИХ ВОДОЙМ ЗА МОДЕЛЛЮ «КЛІМАТ-СТІК»

Мета роботи: визначити статистичні параметри річного стоку в умовах водогосподарського навантаження на басейн річки.

Теоретична частина

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

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B} ; \quad (5.1)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B} ; \quad (5.2)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B} , \quad (5.3)$$

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 у відсотках (%) від загальної площі водозбору F .

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається на основі таких рівнянь

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_{PP}^{(-0.49)} ; \quad (5.4)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 e^{(-0.0274 \bar{Y}_{PP})} ; \quad (5.5)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179 e^{(-0.0246 \bar{Y}_{PP})} . \quad (5.6)$$

Статистичні параметри побутового річного стоку при наявності на водозборі штучних водойм визначаються наступним чином

$$\bar{Y}_{Поб} = k'_{\bar{Y}} \hat{Y}_{PP} ; \quad (5.7)$$

$$C_{Vпоб} = k'_{C_V} C_V ; \quad (5.8)$$

$$C_{Sпоб} = k'_{C_S} C_S , \quad (5.9)$$

Практична частина

Вихідні дані: статистичні параметри природного стоку річки із практичної роботи №4; *площа водного дзеркала штучних водойм f_B для всіх варіантів приймається рівною 1%.*

Завдання:

Розрахувати побутовий стік річки, його статистичні параметри та характеристики стоку у роки різної водності за умови врахування втрат стоку на додаткове випаровування з водної поверхні.

Приклад розрахунків

1. Розраховуємо $\alpha_{\bar{Y}}$; α_{C_v} , α_{C_s} , використовуючи дані практичної роботи 4 про середню багаторічну величину природного стоку та значення $f_B = 1\%$.

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_{PP}^{(-0,49)} = 0,767 \times 14,2^{(-0,49)} = 0,21$$

$$\alpha_{C_v} = 0,247 e^{(-0,0274 \bar{Y}_{PP})} = 0,247 e^{(-0,0274 \times 14,2)} = 0,17$$

$$\alpha_{C_s} = 0,179 e^{(-0,0246 \bar{Y}_{PP})} = 0,179 e^{(-0,0246 \times 14,2)} = 0,13$$

2. Розраховуємо коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на середню багаторічну величину природного стоку, його коефіцієнт варіації та коефіцієнт асиметрії.

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B} = e^{-0,21 \times 1} = 0,81$$

$$k'_{C_v} = e^{\alpha_{C_v} f_B} = e^{0,17 \times 1} = 1,19$$

$$k'_{C_s} = e^{\alpha_{C_s} f_B} = e^{0,13 \times 1} = 1,14$$

3. Розраховуємо статистичні параметри побутового річного стоку при наявності на водозборі штучних водойм

$$\bar{Y}_{Поб} = k'_{\bar{Y}} \hat{Y}_{PP} = 0,81 \times 14,2 = 11,5 \text{ мм}$$

$$C_{vПоб} = k'_{C_v} C_v = 1,19 \times 1,21 = 1,41$$

$$Cs_{ноб} = k'_{cs} Cs = 1,14 \times 2,06 = 2,35$$

4. Результати розрахунків заносимо до таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків коефіцієнтів впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм та статистичні параметри річного побутового стоку при $f_B=1,00\%$

Коефіцієнти α_A			Коефіцієнти антропогенного впливу			Статистичні параметри побутового стоку		
$\alpha_{\bar{Y}}$	α_{Cv}	α_{Cs}	K'/\bar{Y}	K'/Cv	K'/Cs	$\bar{Y}_{ноб} = k'_{\bar{Y}} \hat{Y}_{ПР}$	$Cv_{ноб} = k'_{Cv} Cv$	$Cs_{ноб} = k'_{Cs} Cs$
0,21	0,17	0,13	0,81	1,19	1,14	11,5	1,41	2,35

5. За таблицею чисел Фостера (Φ_p) (Додаток Б, табл. Б.1) визначаємо природний стік забезпеченістю 5, 25, 50, 75 та 95%.

Таблиця 5.2 – Характеристики побутового річного стоку у роки різної забезпеченості (за даними до 1989р.) при наявності на водозборі штучних водойм

Характеристики	$Y_{5\%}$, мм	$Y_{25\%}$, мм	$Y_{50\%}$, мм	$Y_{75\%}$, мм	$Y_{95\%}$, мм
(Φ_p)	2,01	0,31	-0,35	-0,68	-0,836
$(\Phi_p Cv + 1)$	3,83	1,44	0,51	0,04	-0,18
Y_p	44,0	16,6	5,87	0,46	0

6. Оцінюємо зміни річного стоку за рахунок втрат на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм.

$$\delta_{5\%} = \frac{\bar{Y}_{ноб} - \bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_{ПР}} 100\%$$

Таблиця 5.3 – Зміни характеристик річного стоку різної забезпеченості (за даними до 1989р.) при наявності на водозборі штучних водойм

Характеристики стоку	$P=5\%$	$P=25\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$	Середнє багаторічне значення
$Y_{ПР,P}$	47,4	20,7	8,66	2,13	0	14,2
$Y_{ПОВ,P}$	44,0	16,6	5,87	0,46	0	11,5
Відхилення, $\delta_{P\%}$	-7,17	-19,8	-32,2	-78,4	-	-19,0

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

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?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОБУТОВОГО РІЧНОГО СТОКУ РІЧОК В УМОВАХ НАЯВНОСТІ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ (ЗА РАХУНОК МІСЦЕВОГО СТОКУ) ЗА МОДЕЛЛЮ «КЛІМАТ-СТІК». ОЦІНКА СУМАРНОГО ВПЛИВУ ШТУЧНИХ ВОДОЙМ ТА ЗРОШУВАННЯ.

Мета роботи полягає у визначенні статистичних параметрів побутового стоку для водозборів, на яких знаходяться сільськогосподарські угіддя, що зрошуються за рахунок місцевого стоку, а також у визначенні сумарної дії штучних водойм та зрошування на статистичні параметри річного стоку досліджуваної річки.

Теоретична частина

Загальний вигляд рівнянь множинної лінійної регресії для визначення коефіцієнтів антропогенного впливу при вилученні води на зрошення за рахунок місцевого стоку для досліджуваної території такий:

$$K_{\bar{Y}} = 1,00 - a_{\bar{Y}} \lg(f_{3P} + 1) - b_{\bar{Y}} v_0 + m_{\bar{Y}} \eta, \quad (6.1)$$

$$K_{C_V} = 1,00 + a_{C_V} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_V} v_0 - m_{C_V} \eta; \quad (6.2)$$

$$K_{C_S} = 1,00 + a_{C_S} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_S} v_0 - m_{C_S} \eta, \quad (6.3)$$

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 на коефіцієнти варіації C_V й асиметрії C_S відповідно;

f_{3P} - відносна площа зрошування у частках;

a_A, b_A, m_A - коефіцієнти рівнянь множинної регресії для різних статистичних параметрів стоку A ;

η - коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи.

v_0 – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідної сільськогосподарської культури є оптимальним.

Вплив зрошування за рахунок місцевого стоку оцінюється за формулами (6.1-6.3), які при нормі кліматичного стоку, що дорівнює 20 мм, набувають вигляду:

$$K_{\bar{Y}} = 1,00 - 16,01 \lg(f_{3P} + 1) - 0,820 v_0 + 0,645 \eta_{3P}; \quad (6.4)$$

$$K_{C_v} = 1,00 + 23,51 \lg(f_{3p} + 1) + 3,0v_0 - 2,93\eta_{3p}; \quad (6.5)$$

$$K_{C_s} = 1,00 + 23,11 \lg(f_{3p} + 1) + 1,42v_0 - 1,45\eta_{3p}. \quad (6.6)$$

Статистичні параметри побутового річного стоку при наявності зрошування за рахунок місцевого стоку визначаються наступним чином

$$\bar{Y}_{\text{ПОБ}} = k'_{\bar{Y}} \hat{Y}_{\text{ПР}}; \quad (6.7)$$

$$C_{v\text{ПОБ}} = k'_{C_v} C_v; \quad (6.8)$$

$$C_{s\text{ПОБ}} = k'_{C_s} C_s, \quad (6.9)$$

Сумарний вплив штучних водойм та зрошування установлюється за формулами

$$Y_{\text{ПОБ}} = Y_{\text{ПР}} (K'_{\bar{Y}} + K_{\bar{Y}} - 1); \quad (6.8)$$

$$C_{v\text{ПОБ}} = C_{v\text{ПР}} (K'_{C_v} + K_{C_v} - 1); \quad (6.9)$$

$$C_{s\text{ПОБ}} = C_{s\text{ПР}} (K'_{C_s} + K_{C_s} - 1), \quad (6.10)$$

де сумарні коефіцієнти антропогенного впливу розраховуються дорівнюють

$$K_{Y_{\text{ССУ}}} = (K'_{\bar{Y}} + K_{\bar{Y}} - 1); \quad (6.11)$$

$$K_{C_{v\text{ССУ}} \text{ ПОБ}} = (K'_{C_v} + K_{C_v} - 1); \quad (6.12)$$

$$K_{C_{s\text{ССУ}}} = (K'_{C_s} + K_{C_s} - 1), \quad (6.13)$$

Практична частина

Вихідні дані. У роботі використовуються відомості про кліматичний та природний стік річки у відповідності із Вашим варіантом (див. завдання 4). Для всіх варіантів розрахунків використовується відносна площа зрошування, яка дорівнює $f_{3p} = 0,02$, коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи, який дорівнює $\eta = 0,75$ та оптимальне зволоження ґрунту для кормових та овочевих культур рівне $v_0 = 0,9$.

Приклад розрахунків

1. Розраховуємо параметри побутового стоку, використовуючи дані *практичної роботи 4* про середню багаторічну величину

природного стоку та значення $f_{3P}=0,02$.

Для цього необхідно визначити коефіцієнти впливу зрошування на середню багаторічну величину природного стоку (за формулами 6.4–6.6).

$$K_{\bar{Y}} = 1,00 - 16,01\lg(f_{3P} + 1) - 0,820v_0 + 0,645\eta_{3P} = \\ = 1,00 - 16,01\lg(0,02+1) - 0,820 \times 0,9 + 0,645 \times 0,75 = 0,61$$

$$K_{C_V} = 1,00 + 23,51\lg(f_{3P} + 1) + 3,0v_0 - 2,93\eta_{3P} = \\ = 1,00 + 23,51\lg(0,02+1) + 3 \times 0,9 - 2,93 \times 0,75 = 1,70$$

$$K_{C_S} = 1,00 + 23,11\lg(f_{3P} + 1) + 1,42v_0 - 1,45\eta_{3P} = \\ = 1,00 + 23,11\lg(0,02+1) + 1,42 \times 0,9 - 1,45 \times 0,75 = 1,39$$

При відомих коефіцієнтах впливу зрошування визначаються параметри побутового стоку за формулами 6.7–6.9.

$$\bar{Y}_{\text{поб}} = k'_{\bar{Y}} \hat{Y}_{\text{пр}} = 0,61 \times 14,2 = 8,66 \text{ мм}$$

$$C_{\text{поб}} = k'_{C_V} C_V = 1,7 \times 1,21 = 2,06$$

$$C_{S\text{поб}} = k'_{C_S} C_S = 1,39 \times 2,06 = 2,86$$

Установлюється значення стоку різної забезпеченості для побутового стоку, використовуючи закон розподілу випадкової величини Пірсона III.

Результати розрахунків занесені до таблиці 6.1 та 6.2

Таблиця 6.1 – Параметри побутового стоку р. при наявності зрошування ($f_{3P}=0,02$, $v_0=0,9$, $\eta=0,75$)

Коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового стоку			Величина побутового стоку у роки різної забезпеченості, мм				
$K_{\bar{Y}}$	K_{C_V}	K_{C_S}	$\bar{Y}_{\text{поб}}$, мм	C_V	C_S	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$
0,61	1,7	1,39	8,66	2,06	2,86	44,2	12,3	1,73	0	0

Таблиця 6.2 – Характеристики побутового річного стоку у роки різної забезпеченості (за даними до 1989р.) при наявності на водозборі зрошування за рахунок місцевого стоку

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
(Φ_p)	1,99	0,21	-0,39	-0,63	-0,693
$(\Phi_p C_v + 1)$	5,10	1,42	0,20	-0,30	-0,43
Y_p	44,2	12,3	1,73	0	0

2. Виконується оцінка зміни річного стоку за рахунок втрат на зрошування з сільськогосподарських земель.

$$\delta_{5\%} = \frac{\bar{Y}_{\text{ПОБ}} - \bar{Y}_{\text{ПР}}}{\bar{Y}_{\text{ПР}}} 100\%$$

Результати розрахунків представлені таблицею 6.3.

Таблиця 6.3 – Зміни характеристик річного стоку різної забезпеченості (за даними до 1989р.) при зрошуванні за рахунок місцевого стоку

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
$Y_{\text{ПР},p}$	47,4	20,7	8,66	2,13	0
$Y_{\text{ПОБ},p}$	44,2	12,3	1,73	0	0
Відхилення, $\delta_{p\%}$	-6,75	-40,6	-80	100	100

Для врахування сумарного впливу двох факторів водогосподарської діяльності (зрошування за рахунок місцевого стоку та наявності штучних водойм) розрахунок проводиться за формулами 6.8–6.10.

Результати заносяться в таблицю 6.4

Таблиця 6.4 – Сумарні коефіцієнти антропогенного впливу зрошування та штучних водойм та статистичні параметри побутового стоку

Сумарні коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового стоку		
$K_{\bar{Y}}$	K_{C_V}	K_{C_S}	$\bar{Y}_{\text{поб}},$ мм	C_V	C_S
0,81+0,61- 1=0,42	1,19+1,70 -1=1,89	1,14+1,39- 1=1,53	14,2*0,42=5,96	1,21*1,89=2,29	2,06*1,53=3,15

Таблиця 6.5 – Характеристики побутового річного стоку у роки різної забезпеченості (за даними до 1989р.) при наявності на водозборі зрошування за рахунок місцевого стоку та штучних водойм

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
(Φ_p)	1,96	0,16	-0,41	-0,60	-0,635
$(\Phi_p C_V + 1)$	5,49	1,37	0,06	-0,37	-0,45
Y_p	32,7	8,17	0,36	0	0

Оформити результати та зробити аналіз результатів розрахунків за своїм варіантом

Контрольні питання

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?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО СТОКУ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Мета роботи полягає у визначення статистичних параметрів природного та побутового річного стоку з водозбору в умовах кліматичних змін.

Теоретична частина

У основі теоретичного частини використовується матеріал практичної роботи №4. Відмінністю є лише зменшення кліматичного стоку (знятого з карти) за рахунок зміни клімату.

Вихідні дані. В розрахунках використовуються дані про середню багаторічну величину річного кліматичного стоку, визначеного для водозбору за заданим варіантом (дивись завдання 4). Для всіх варіантів приймається, що зменшення середньої багаторічної величини річного кліматичного стоку на період 2021-2050рр. становитиме 20%.

Для всіх варіантів розрахунків використовується відносна площа зрошування, яка дорівнює $f_{зр}=0,02$, коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи, який дорівнює $\eta=0,75$ та оптимальне зволоження ґрунту для кормових та овочевих культур рівне $v_0=0,9$. Відносна площа водної поверхні штучних водойм задається рівною 1,00%.

Приклад розрахунків

1. Визначення середньої багаторічної величини кліматичного річного стоку за даними кліматичного сценарію.

Так, у кліматичних умовах минулого сторіччя (до 1989р.) $\bar{Y}_k=27$ мм (базова величина).

Відомо, що прогнозується зменшення стоку на 20%. Отже, зміни кліматичного стоку становитимуть $27*0,2=5,4$ мм. Тоді середній багаторічний стік у сценарних умовах буде дорівнювати $27-5,4=21,6$ мм. $\bar{Y}_k=21,6$ мм (за сценарієм).

2. Визначення статистичних параметрів природного (непорушеного водогосподарською діяльністю стоку) відбувається згідно із завданням 4.

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K . \quad (7.1)$$

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_{ПР}}{10}\right)^{0,62}}, \quad (7.2)$$

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 установлене таке співвідношення

$$C_S = 1,7C_V, \quad (7.3)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

В результаті розрахунків складена таблиця виду

Таблиця 7.1 – Статистичні параметри природного стоку з водозбору за сценарними даними 2021-2050рр.

Водозбір річки (назва)	\bar{Y}_k , мм	$K_{ПЕР,2}$	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	C_V	C_S
Кучугур	21,6	0,526	11,4	1,39	2,36

Зміни середньої багаторічної величини природного стоку у період 2021-2050рр. становлять

$$\delta_{\%} = \frac{\bar{Y}_{ПР,СЦ} - \bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_{ПР}} 100\% = \frac{11,4 - 14,2}{14,2} 100 = -20\%.$$

За допомогою таблиць Пірсона III установлюємо значення природного стоку різної забезпеченості.

Таблиця 7.2 – Характеристики природного річного стоку у роки різної забезпеченості для сценарного періоду 2021-2050рр.

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
(Φ_p)	2,00	0,30	-0,35	-0,67	-0,834
$k_p = (\Phi_p C_V + 1)$	3,78	1,42	0,51	0,07	-0,16
$Y_p = k_p \bar{Y}_{ПР}$	43,1	16,2	5,81	0,80	0

3. Визначення коефіцієнтів впливу додаткового випаровування з водної поверхні на статистичні параметри річного стоку виконується за формулами

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B} ; \quad (7.4)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B} ; \quad (7.5)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B} , \quad (7.6)$$

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 у відсотках (%) від загальної площі водозбору F .

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається на основі таких рівнянь

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_{PP}^{(-0,49)} = 0,767 \times 11,4^{(-0,49)} = 0,233$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 e^{(-0,0274 \bar{Y}_{PP})} = 0,247 e^{(-0,0274 \times 11,4)} = 0,181$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179 e^{(-0,0246 \bar{Y}_{PP})} = 0,179 e^{(-0,0246 \times 11,4)} = 0,135$$

Коефіцієнти впливу додаткового випаровування з водної поверхні на статистичні параметри річного стоку становитимуть:

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-0,233} = 0,79$$

$$k'_{C_V} = e^{0,181} = 1,20$$

$$k'_{C_S} = e^{0,135} = 1,14$$

Результати розрахунків заносяться до таблиці 7.3

4. Визначення коефіцієнтів впливу зрошування за рахунок місцевого стоку виконується за такими формулами

$$\begin{aligned} K_{\bar{Y}} &= 1,00 - 17,0 \lg(f_{3P} + 1) - 0,900 v_0 + 0,70 \eta_{3P} = \\ &= 1,00 - 17,0 \lg(0,02 + 1) - 0,9 \times 0,9 + 0,7 \times 0,75 = 0,57 \end{aligned}$$

$$K_{C_V} = 1,00 + 23,7 \lg(f_{3P} + 1) + 3,5 v_0 - 2,93 \eta_{3P} =$$

$$=1,00+23,7 \lg(0,02+1) + 3,5 \times 0,9 - 2,93 \times 0,75 = 2,16$$

$$K_{C_s} = 1,00 + 23,5 \lg(f_{3p} + 1) + 1,5v_0 - 1,48\eta_{3p} =$$

$$=1,00+23,5 \lg(0,02+1)+1,5 \times 0,9 - 1,48 \times 0,75 = 1,44$$

Зміни кліматичних умов ураховуються через регресійні коефіцієнти наведених рівнянь.

Таблиця 7.3 – Результати розрахунків коефіцієнтів антропогенного впливу

Коефіцієнти α_A			Коефіцієнти впливу додаткового випаровування з водної поверхні			Коефіцієнти впливу зрошування		
$\alpha_{\bar{Y}}$	α_{Cv}	α_{Cs}	$K'_{\bar{Y}}$	K'_{Cv}	K'_{Cs}	$K_{\bar{Y}}$	K_{Cv}	K_{Cs}
0,233	0,181	0,135	0,79	1,20	1,14	0,57	2,16	1,44

5. Визначення сумісного впливу водогосподарських перетворень

$$K_{\bar{Y},\text{СУМ}} = (K'_{\bar{Y}} + K_{\bar{Y}} - 1) = 0,79 + 0,57 - 1 = 0,36$$

$$K_{Cv,\text{СУМ}} = (K'_{Cv} + K_{Cv} - 1) = 1,20 + 2,16 - 1 = 2,36$$

$$K_{Cs,\text{СУМ}} = (K'_{Cs} + K_{Cs} - 1) = 1,14 + 1,44 - 1 = 1,58$$

Статистичні параметри побутового річного стоку в сценарних кліматичних умовах при наявності на водозборі штучних водойм та зрошування визначаються наступним чином

$$\bar{Y}_{\text{поб}} = k_{v,\text{СУМ}} \hat{Y}_{\text{поб}} = 0,36 \times 11,4 = 4,10$$

$$Cv_{\text{поб}} = k_{Cv,\text{СУМ}} Cv = 2,36 \times 1,39 = 3,28$$

$$Cs_{\text{поб}} = k_{Cs,\text{СУМ}} Cs = 1,58 \times 2,36 = 3,73$$

Результати розрахунків занесені до таблиці 7.4

Таблиця 7.4 – Сумарні коефіцієнти антропогенного впливу зрошування та штучних водойм та статистичні параметри побутового стоку у сценарних кліматичних умовах

Сумарні коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового стоку		
$K_{\bar{Y}}$	K_{C_V}	K_{C_S}	$\bar{Y}_{\text{поб}},$ мм	C_V	C_S
0,36	2,36	1,58	4,10	3,28	3,73

Таблиця 7.5 – Характеристики побутового річного стоку у роки різної забезпеченості при наявності на водозборі зрошування та штучних водойм для 2021-2050рр.

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
(Φ_p)	1,91	0,043	-0,42	-0,53	-0,537
$k_p = (\Phi_p C_V + 1)$	7,26	1,14	-0,38	-0,74	-0,76
$Y_p = k\bar{Y}$	29,8	4,67	0	0	0

Таблиця 7.6 – Зміни характеристик побутового річного стоку різної забезпеченості

Характеристики стоку	Забезпеченість, %				
	5	25	50	75	95
$Y_{ПР,Р}$, мм у минулому сторіччі (до 1989р.)	47,4	20,7	8,66	2,13	0
$Y_{ПР,Р}$, мм за сценарними даними	43,1	16,2	5,81	0,80	0
Зменшення природного стоку у XXI сторіччі при порівнянні із базовими даними (до 1989р.), $\delta_{5\%} = \frac{\bar{Y}_{ПР,СЦ} - \bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_{ПР}} 100\%$	-9,07	-21,7	-32,9	-62,4	–
$Y_{ПОб,Р}$ у минулому сторіччі (до 1989р.) за даними 6-го завдання	32,7	8,17	0,36	0	0
$Y_{ПОб,Р}$ за сценарними даними (2021-2050рр.)	29,8	4,67	0	0	0
Зменшення стоку річки у XXI сторіччі при порівнянні із базовими даними (до 1989р.) із урахуванням впливу змін клімату та водогосподарських перетворень $\delta_{\%} = \frac{\bar{Y}_{ПОб,СЦ} - \bar{Y}_{ПР}}{\bar{Y}_{ПР}} 100\%$	-8,87	-42,8	100	–	–

Висновки. В сценарних кліматичних умовах ХХІ сторіччя середня багаторічна величина природного стоку дорівнюватиме 11,4 мм , а за рахунок впливу водогосподарської діяльності – 4,10 мм. Зменшення за рахунок антропогенного впливу становитиме – мінус 64,0%. Якщо у природних умовах минулого сторіччя річка пересихала лише у дуже маловодні роки, то у сценарних умовах вона пересихатиме і у середні за водністю роки.

Контрольні питання

1. Який стік називають «кліматичним», «природним», «побутовим» ?
2. Які види водогосподарської діяльності може враховувати модель “клімат-стік” при розрахунках побутового стоку?
3. Як визначається сумарний вплив антропогенних чинників на річний стік при застосуванні моделі “клімат-стік”?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8

ОЦІНКА ВПЛИВУ АГРОМЕЛІОРАЦІЙ ТА УРБАНІЗАЦІЇ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Метою роботи є визначення коефіцієнтів антропогенного впливу внаслідок агролісомеліорації та урбанізації.

Теоретична частина

Коефіцієнт агролісомеліорацій встановлювався таким чином

$$\Psi_{at} = \frac{\bar{Y}_{\text{ПОБ}}}{\bar{Y}_{\text{ПР}}} = 1 - 10^{-2} \Delta_{at}, \quad (8.1)$$

Ψ_{at} – коефіцієнт впливу агролісомеліорацій;

$\bar{Y}_{\text{ПОБ}}$ – норма побутового стоку, яка утворилася під впливом агролісомеліорацій;

$\bar{Y}_{\text{ПР}}$ – норма природного річного стоку, являє собою водні ресурси незмінними антропогенними факторами, і встановлюється як добуток норми кліматичного стоку на значення антропогенного коефіцієнту

Δ_{at} – зменшення норми природного стоку, у % (встановлюється за таблицею 8.1)

Таблиця 8.1 – Зменшення норми природного стоку під впливом розораності водозбору

Розораність водозбору, %	60-70	25-50	5-15
Зниження норми природного стоку, Δ_{at} , %	6,1	5,4	3,9

Урбанізованість території залежить від утворення значних водонепроникних площ. За умови, що відсутні додаткові атмосферні опади над урбанізованою територією, підземне живлення та відсутність перекиду стоку з інших басейнів, зміну середньої багаторічної величини річного стоку оцінювалось за такою формулою

$$\Delta Y_{uk} = \bar{Y}_{\text{ПР}} \Psi_{\eta} f_{uk}, \quad (8.2)$$

Таблиця 8.4 – Оцінка впливу агролісомеліорацій та урбанізації на середній багаторічний стік річки в сценарних кліматичних умовах (2021-2050рр.)

Y_{IP} , мм (за даними роботи 7)	$f_{роз}$	Δ_{at}	Ψ_{at}	f_{ur}	ψ_n	k_{ur}	$k_{СУМ}$	$Y_{ПОБ}$	Зміни стоку

Практична частина

Вихідні дані. Для всіх варіантів використовується розораність рівна 60-70% та для площ урбанізованих територій -0,1, а також дані про природний стік в умовах минулого сторіччя (дивись роботу 4) та кліматичних сценаріїв (дивись роботу 7). За розробками вчених Молдови, які увійшли у нормативний документ, підготований у сумісництві із вченими ОДЕКУ, визначалися коефіцієнти впливу на стік агролісомеліорацій та урбанізованості.

Приклад розрахунків

Для прикладу використовується розораність рівна 25-50 % та для площ урбанізованих територій - 0,05, а також дані про природний стік в умовах минулого сторіччя (дивись роботу 4) та кліматичних сценаріїв (дивись роботу 7).

1. Розраховуємо коефіцієнт агролісомеліорації для всього періоду спостережень (формула 8.1):

$$\Psi_{at} = 1 - 5.4 * 0.01 = 0.946$$

2. Визначаємо коефіцієнт антропогенного впливу, який відображає наслідки урбанізації при формуванні стоку (формула 8.4):

$$k_{ur} = 1 + 1.15 * 0.05 = 1.06$$

3. Знаходимо сумарний коефіцієнт антропогенного впливу і побутовий стік річки (формула 8.5):

Минулий період до 1989 року:

$$Y_{поб} = 14.2 * (0,946 + 1,06 - 1) = 14,3 \text{ мм}$$

Прогнозований період за сценарними даними (2021-2050 рр.):

$$Y_{поб} = 4,1 * (0,946 + 1,06 - 1) = 4,12 \text{ мм}$$

4. Результати розрахунків занесені в таблицю 8.5 та 8.6.

Таблиця 8.5 – Оцінка впливу агролісомеліорацій та урбанізації на середній багаторічний стік річки в умовах минулого сторіччя (до 1989р.)

$Y_{ПР}$, мм (за даними роботи 4)	$f_{роз}$, %	Δat	Ψat	f_{ur}	ψ_n	k_{ur}	$Y_{ПОВ}$	Зміни стоку
14,2	25-50	5.4	0,946	0,05	1,15	1,06	14,3	0,70%

Таблиця 8.6 – Оцінка впливу агролісомеліорацій та урбанізації на середній багаторічний стік річки в сценарних кліматичних умовах (2021-2050рр.)

$Y_{ПР}$, мм (за даними роботи 7)	$f_{роз}$, %	Δat	Ψat	f_{ur}	ψ_n	k_{ur}	$Y_{ПОВ}$	Зміни стоку
4,10	25-50	5.4	0,946	0,05	1,15	1,06	4,12	0,49%

Висновок. Результатом практичної роботи стало розуміння незначного впливу агролісомеліорації та урбанізації на багаторічний стік річки порівняно із впливом зрошення на водозборі чи наявності штучних водойм

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттю «урбанізованість території»?
2. Від чого залежить коефіцієнт впливу агролісомеліорацій?
3. Як площа розораності та урбанізованості території впливає на стік річок?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
2. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.
3. Лобода Н.С. Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство): конспект лекцій (електронний варіант). Одеса, 2015. 62 с.
4. Лобода Н.С. Божок Ю.В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України» / Електронне видання. Одеса, ОДЕКУ, 2016. 29 с.
5. Комплекс лекцій, завантажений в системі Moodle, доступний за посиланням <http://dpt06s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=46>

Додаткова

6. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Київ: КНТ. 2005. 188 с.
7. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Колективна монографія / Під ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.
8. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману / За ред. Лободи Н.С., Гопченка Є.Д. Одеса, ТЕС, 2016. 332 с.
9. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
10. Лобода Н.С. Оцінка стану водних ресурсів України в умовах змін регіонального клімату та їх вплив на економіку України (розділ колективної монографії під ред. Степаненко С.М., Польового А.М.) // Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. Одеса.: Екологія, 2011. С.566-605.
11. Лобода Н.С., Сіренко А.М. Використання методів багатовимірного статистичного аналізу в гідрологічних прогнозах льодових явищ (на прикладі річок Дністер та Тилігул) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Гол. Ред.. Хільчевський В.К. – К. Видавництво Київського національного університету. 2011. Т.3(24). С. 58-64.
12. Лобода Н.С., Пилипюк В.В. Зміни клімату та їх можливі наслідки у формуванні якості вод (на прикладі річок Псел та Ворскла) // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2017. №22. С. 69-79.
13. Овчарук Є.В., Гопченко Є.Д. Модифікований варіант операторної моделі формування максимального стоку рівнинних річок України в умовах змін

клімату // Колективна монографія Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Київ. Ніка-Центр, 2019. С.58-89.

14.Лобода Н.С. Моделювання впливу змін клімату на характеристики стоку річок України (розділ 8) // Колективна монографія: Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: "ТЕС", 2015. С.451-482.

15.Шекк В.В., Лобода Н.С. Вплив змін клімату на структуру та функції водних екосистем, стан природних іхтіоценозів і перспективи розвитку аквакультури // Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції за участю ФАО "Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти". Науково-методичний центр "Агроосвіта". м.Київ, 13-14 березня 2018р., С. 318-323.

16.Божок Ю.В., Лобода Н.С. Оцінка впливу посух на характеристики меженного стоку річки Савранка // Вісник ОДЕКУ. 2014. Вип. 18. С. 119-126.

17.Лобода Н.С., Божок Ю.В. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я // Геополітика та екогеодинаміка регіонів: Науковий журнал – м. Сімферополь, 2014р. Т.10. Вип.1. С. 281-289.

18.Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, ТЕС, №17, 2016. С. 114-122.

19.Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненка С.М., Польового А.М. Одеса: Екологія, 2011. 605 с.

20.Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату / За ред. Степаненка С.М., Польового А.М.; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.

Додаток А

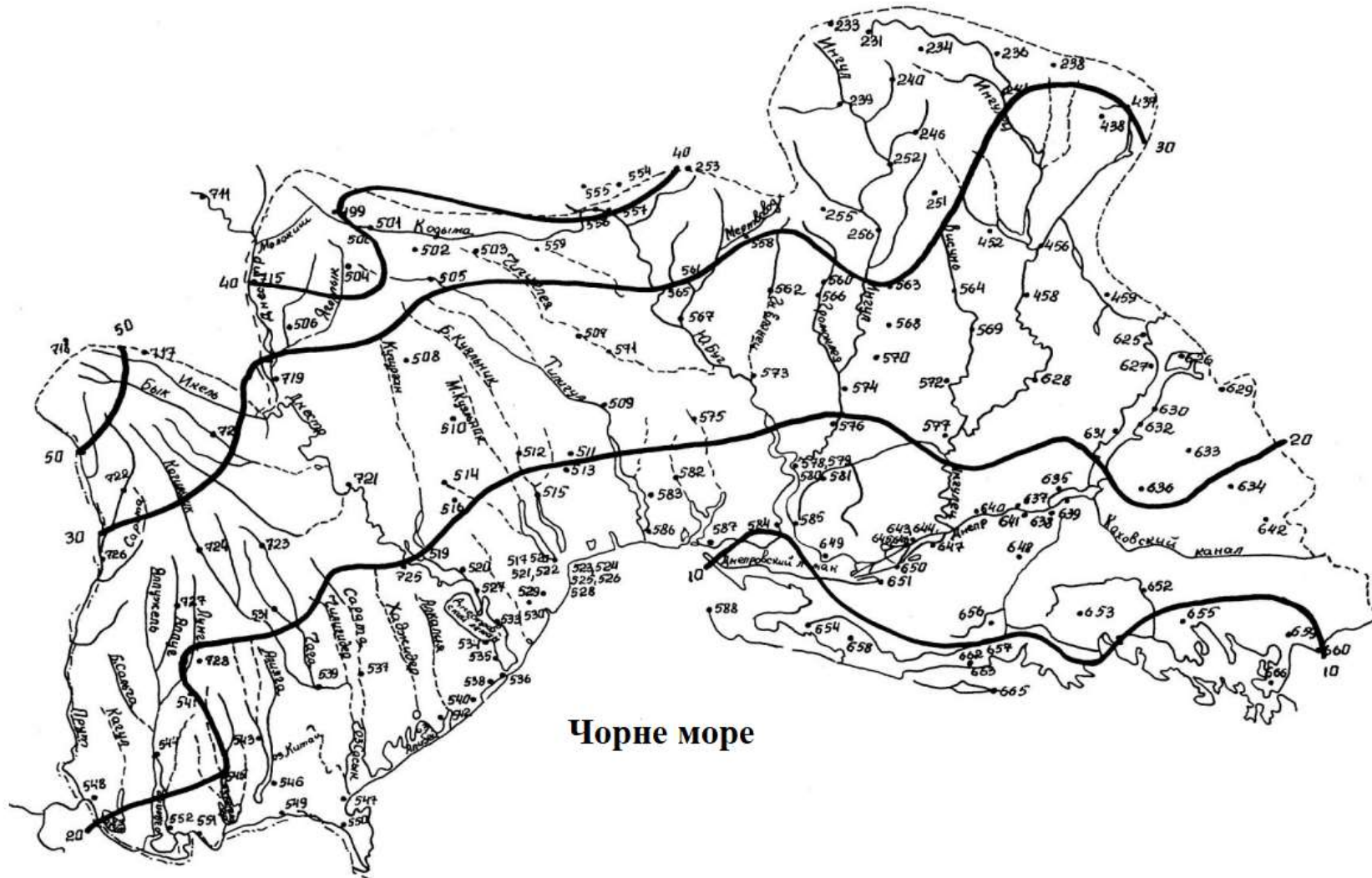


Рисунок А.1 – Середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, базова характеристика (до 1989 р)

Додаток А.2 - Нормовані відхилення від середнього значення ординат розподілу Пірсона III типу

$$\frac{x_{p\%} - \bar{x}}{\sigma} = \frac{k_{p\%} - 1}{C_V} = \Phi(P, C_S) \text{ (біноміальна крива розподілу)}$$

C_S	$P\%$											
	0,01	0,1	1,0	3,0	5,0	10	20	25	30	40	50	60
-4,0	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,49	0,49	0,46	0,41	0,31
-3,8	0,527	0,527	0,526	0,526	0,526	0,526	0,520	0,52	0,51	0,48	0,42	0,30
-3,6	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,555	0,550	0,54	0,54	0,49	0,42	0,28
-3,4	0,588	0,588	0,588	0,588	0,587	0,586	0,580	0,57	0,55	0,50	0,41	0,27
-3,2	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,621	0,610	0,59	0,57	0,51	0,41	0,25
-3,0	0,667	0,667	0,666	0,666	0,665	0,661	0,640	0,62	0,59	0,51	0,40	0,22
-2,8	0,715	0,715	0,715	0,714	0,711	0,703	0,670	0,64	0,60	0,51	0,39	0,20
-2,6	0,770	0,770	0,770	0,766	0,764	0,746	0,700	0,66	0,61	0,51	0,37	0,17
-2,4	0,835	0,833	0,830	0,826	0,820	0,792	0,720	0,67	0,62	0,51	0,35	0,17
-2,2	0,914	0,910	0,905	0,895	0,882	0,842	0,750	0,69	0,64	0,50	0,33	0,12
-2,0	1,01	1,00	0,990	0,970	0,950	0,900	0,780	0,71	0,64	0,49	0,31	0,09
-1,8	1,11	1,11	1,09	1,06	1,02	0,940	0,800	0,72	0,64	0,48	0,28	0,05
-1,6	1,26	1,24	1,20	1,14	1,10	0,990	0,810	0,73	0,64	0,46	0,25	0,02
-1,4	1,41	1,39	1,32	1,23	1,17	1,04	0,830	0,73	0,64	0,44	0,22	-0,02
-1,2	1,68	1,58	1,45	1,33	1,24	1,08	0,840	0,74	0,63	0,42	0,19	-0,05
-1,0	1,92	1,79	1,59	1,42	1,32	1,13	0,850	0,73	0,62	0,39	0,16	-0,09
-0,8	2,23	2,02	1,74	1,52	1,38	1,17	0,860	0,73	0,60	0,37	0,13	-0,12
-0,6	2,57	2,27	1,88	1,01	1,45	1,20	0,850	0,72	0,59	0,34	0,10	-0,16
-0,4	2,98	2,54	2,03	1,70	1,52	1,23	0,850	0,71	0,57	0,31	0,07	-0,19
-0,2	3,37	2,81	2,18	1,79	1,58	1,26	0,850	0,69	0,55	0,28	0,03	-0,22
0,0	3,72	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,840	0,67	0,52	0,25	0,00	-0,25
0,2	4,16	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	-0,03	-0,28
0,4	4,61	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	-0,07	-0,31
0,6	5,05	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,83	0,61	0,44	0,16	-0,10	-0,34
0,8	5,50	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	-0,13	-0,37
1,0	5,96	4,53	3,03	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	-0,16	-0,39

Продовження Додатка А.2

C_S	$P\%$											
	0,01	0,1	1,0	3,0	5,0	10	20	25	30	40	50	60
1,2	6,41	4,81	3,15	2,31	1,92	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05	-0,19	-0,42
1,4	6,87	5,09	3,27	2,37	1,95	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02	-0,22	-0,44
1,6	7,31	5,37	3,39	2,42	1,97	1,33	0,68	0,46	0,28	-0,02	-0,25	-0,46
1,8	7,76	5,64	3,50	2,46	1,99	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28	-0,48
2,0	8,21	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08	-0,31	-0,49
2,2	8,63	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,35	0,16	-0,12	-0,33	-0,50
2,4	9,00	6,37	3,78	2,60	2,00	1,25	0,52	0,29	0,12	-0,14	-0,35	-0,51
2,6	9,39	6,54	3,86	2,63	2,00	1,21	0,48	0,25	0,085	-0,17	-0,37	-0,51
2,8	9,77	6,86	3,96	2,65	2,00	1,18	0,44	0,22	0,057	-0,20	-0,39	-0,51
3,0	10,16	7,10	4,05	2,66	1,97	1,13	0,39	0,19	0,027	-0,22	-0,40	-0,51
3,2	10,55	7,35	4,11	2,66	1,96	1,09	0,35	0,15	-0,006	-0,25	-0,41	-0,51
3,4	10,9	7,54	4,18	2,66	1,94	1,06	0,31	0,11	-0,036	-0,27	-0,41	-0,50
3,6	11,3	7,72	4,24	2,66	1,93	1,03	0,28	0,064	-0,072	-0,28	-0,42	-0,49
3,8	11,67	7,97	4,29	2,65	1,90	1,00	0,24	0,032	-0,095	-0,30	-0,42	-0,48
4,0	12,02	8,17	4,34	2,65	1,90	0,96	0,21	0,010	-0,120	-0,31	-0,41	-0,46
4,2	12,40	8,38	4,39	2,64	1,88	0,93	0,19	-0,10	-0,13	-0,31	-0,41	-0,45
4,4	12,76	8,60	4,42	2,63	1,86	0,91	0,15	-0,032	-0,15	-0,32	-0,40	-0,44
4,6	13,12	8,76	4,46	2,62	1,84	0,87	0,13	-0,052	-0,17	-0,32	-0,40	-0,42
4,8	13,51	8,96	4,50	2,60	1,81	0,82	0,10	-0,075	-0,19	-0,32	-0,39	-0,41
5,0	13,87	9,12	4,54	2,60	1,78	0,78	0,068	-0,099	-0,20	-0,33	-0,38	-0,40
5,2	14,25	9,27	4,59	2,60	1,74	0,73	0,035	-0,120	-0,21	-0,33	-0,37	-0,38
5,4	14,60	9,42	4,62	2,60	1,70	0,67	0,02	-0,100	-0,21	-0,33	-0,37	-0,37
5,6	14,95	9,59	4,65	2,60	1,67	0,62	0,0	-0,120	-0,21	-0,30	-0,36	-0,36
5,8	15,32	9,70	4,70	2,60	1,64	0,57	-0,02	-0,140	-0,21	-0,30	-0,35	-0,35
6,0	15,67	9,84	4,70	2,60	1,60	0,51	-0,05	-0,150	-0,21	-0,30	-0,34	-0,34
6,2	16,04	9,95	4,71	2,60	1,56	0,47	-0,05	-0,150	-0,21	-0,30	-0,34	-0,34
6,4	16,40	10,05	4,71	2,60	1,52	0,42	-0,05	-0,150	-0,21	-0,30	-0,33	-0,39

Продовження Додатка А.2

C_S	$P\%$								$\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}$	Коефіцієнт скошеності $S = \frac{x_{5\%} - x_{95\%} - 2x_{50\%}}{x_{5\%} - x_{95\%}}$
	70	75	80	90	95	97	99	99,9		
-4,0	-0,120	-0,010	-0,21	-0,96	-1,90	-2,65	-4,34	-8,17	2,40	-0,93
-3,8	-0,095	-0,032	-0,24	-1,00	-1,90	-2,65	-4,29	-7,97	2,426	-0,91
-3,6	-0,072	-0,064	-0,28	-1,03	-1,93	-2,66	-4,24	-7,72	2,486	-0,89
-3,4	-0,036	-0,11	-0,31	-1,06	-1,945	-2,66	-4,18	-7,54	2,527	-0,86
-3,2	-0,006	-0,15	-0,35	-1,09	-1,96	-2,66	-4,11	-7,35	2,58	-0,83
-3,0	-0,027	-0,19	-0,39	-1,13	-1,97	-2,66	-4,05	-7,10	2,64	-0,80
-2,8	-0,057	-0,22	-0,44	-1,18	-2,00	-2,65	-3,86	-6,86	2,71	-0,76
-2,6	-0,085	-0,25	-0,48	-1,21	-2,00	-2,63	-3,86	-6,54	2,76	-0,71
-2,4	-0,12	-0,29	-0,52	-1,25	-2,00	-2,60	-3,78	-6,37	2,82	-0,67
-2,2	-0,16	-0,35	-0,57	-1,27	-2,02	-2,54	-3,68	-6,14	2,90	-0,62
-2,0	-0,20	-0,39	-0,61	-1,30	-2,00	-2,51	-3,60	-5,91	2,92	-0,57
-1,8	-0,24	-0,42	-0,64	-1,32	-1,99	-2,46	-3,50	-5,64	3,01	-0,51
-1,6	-0,28	-0,46	-0,68	-1,33	-1,97	-2,42	-3,39	-5,37	3,07	-0,45
-1,4	-0,31	-0,49	-0,71	-1,34	-1,95	-2,37	-3,27	-5,09	3,12	-0,39
-1,2	-0,35	-0,52	-0,73	-1,34	-1,92	-2,31	-3,15	-4,81	3,16	-0,34
-1,0	-0,38	-0,55	-0,76	-1,34	-1,88	-2,25	-3,02	-4,53	3,20	-0,27
-0,8	-0,41	-0,58	-0,79	-1,34	-1,84	-2,18	-2,89	-4,24	3,22	-0,22
-0,6	-0,44	-0,61	-0,80	-1,33	-1,80	-2,12	-2,75	-3,96	3,25	-0,17
-0,4	-0,47	-0,63	-0,82	-1,32	-1,75	-2,04	-2,61	-3,66	3,27	-0,11
-0,2	-0,50	-0,65	-0,83	-1,30	-1,70	-1,96	-2,47	-3,38	3,28	-0,05
0,0	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33	-3,09	3,28	0,00
0,2	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81	3,28	0,06
0,4	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03	-2,54	3,27	0,11
0,6	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88	-2,27	3,25	0,17

Кінець додатка А.2

C_S	$P\%$								$\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}$	Коефіцієнт скошеності $S = \frac{x_{5\%} - x_{95\%} - 2x_{50\%}}{x_{5\%} - x_{95\%}}$
	70	75	80	90	95	97	99	99,9		
0,8	-0,60	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74	-2,02	3,22	0,22
1,0	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59	-1,79	3,20	0,28
1,2	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45	-1,58	3,16	0,34
1,4	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32	-1,39	3,12	0,39
1,6	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20	-1,24	3,07	0,45
1,8	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09	-1,11	3,01	0,51
2,0	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99	-1,00	2,95	0,57
2,2	-0,64	-0,69	-0,75	-0,842	-0,882	-0,895	-0,905	-0,910	2,89	0,62
2,4	-0,62	-0,67	-0,72	-0,792	-0,820	-0,826	-0,830	-0,833	2,82	0,67
2,6	-0,61	-0,66	-0,70	-0,746	-0,764	-0,766	-0,770	-0,770	2,76	0,72
2,8	-0,60	-0,64	-0,67	-0,703	-0,711	-0,714	-0,715	-0,715	2,71	0,76
3,0	-0,59	-0,62	-0,64	-0,661	-0,665	-0,666	-0,666	-0,667	2,64	0,80
3,2	-0,57	-0,59	-0,61	-0,621	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	2,59	0,83
3,4	-0,55	-0,57	-0,58	-0,586	-0,587	-0,588	-0,588	-0,588	2,53	0,86
3,6	-0,54	-0,54	-0,55	-0,555	-0,556	-0,556	-0,556	-0,556	2,48	0,89
3,8	-0,51	-0,52	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	-0,526	-0,527	2,43	0,91
4,0	-0,49	-0,49	-0,50	-0,5000	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	2,40	0,92
4,2	-0,47	-0,473	-0,475	-0,476	-0,476	-0,476	-0,477	-0,477	2,36	0,94
4,4	-0,451	-0,454	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	2,32	0,95
4,6	-0,432	-0,434	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	2,28	0,97
4,8	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,417	-0,417	2,23	0,98
5,0	-0,399	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	-0,400	2,18	0,98
5,2	-0,384	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	2,12	0,98
5,4	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	2,07	1,00