

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут

Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Регіональна методика короткострокових прогнозів меженого стоку
річок в суббасейні Нижнього Дніпра

Виконав магістр 2-го року навчання
групи МЗГ-19
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-професійної програми
«Гідрологія»
Єгорова Ірина Василівна

Керівник д-р геогр. наук, професор
Шакірзанова Жаннетта Рашидівна

Консультант _____

Рецензент д-р геогр. наук, професор
Лобода Наталія Степанівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри гідрології суші
Д-р геогр. наук, проф. Шакірманова Ж.Р. *Шакірманова*
“ 26 ” жовтня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Єгоровій Ірині Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Регіональна методика короткострокових прогнозів меженного стоку річок в суббасейні Нижнього Дніпра
керівник роботи Шакірманова Жаннетта Рашидівна, д-р геогр. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” жовтня 2020 року №194 «С»

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2020 року
3. Вихідні дані до роботи мінімальні середні та 30-ти добові витрати води за період відкритого русла та за зимовий період, щоденні та середньо-декадні витрати води по річках басейну нижнього Дніпра від початку спостережень по 2015 рік, включно; основні гідрографічні характеристики досліджуваних водозборів
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз та умови формування меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра. 2. Основні науково-методичні підходи до прогнозування меженного стоку рівнинних річок. 3. Розробка методики короткострокових прогнозів літньо-осіннього і зимового меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Карто-схеми: географічного положення річок суббасейну Нижнього дніпра, ґрунтово-рослинний покрив, карст, розташування гідрологічних постів; Графіки: комплексні гідрометеорологічних характеристик хронологічні для мінімальних витрат води; різницевих інтегральних кривих. Регіональні залежності для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 26.10.2020 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вступ. Аналіз та умови формування меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра	26.10-02.11	90	відм.
2	Характеристика водного режиму періоду літньо-осінньої та зимової межені. Дослідження часових рядів меженного стоку.	03.11-07.11	92	відм.
3	Основні науково-методичні підходи до прогнозування меженного стоку рівнинних річок	08.11-12.11	95	відм.
4	Розробка методики короткострокових прогнозів	13.11-16.11	90	відм.
5	Побудова та аналіз прогнозних залежностей меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра	17.11-25.11	90	відм.
	Рубіжна атестація	16-21.11		
6	Схема випуску прогнозу меженного стоку річок	22.11-30.11	92	відм.
7	Висновки	01.12	92	відм.
	Оформлення роботи	02.12		
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	03.12		
	Підготовка доповіді, презентації	04-14.12		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	відм.

Студент _____


(підпис)

Сгорова І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____


(підпис)

Шакірзанова Ж.Р.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки гр. МЗГ-19 Єгорової Ірини Василівни за темою: «Регіональна методика короткострокових прогнозів меженного стоку річок в суббасейні Нижнього Дніпра»

Актуальність теми: прогноз річкового меженного стоку застосовують при розробці місячних та декадних планів експлуатації великих водосховищ, вироблення енергії ГЕС на річках, для забезпечення безперебійної роботи господарських об'єктів.

Мета дослідження: аналіз умов формування, розробка методики прогнозування характеристик річкового стоку меженного періоду суббасейну Нижнього Дніпра та оцінка її якості та ефективності.

Основні задачі: розробка регіональної методики короткострокових прогнозів середньо-декадних витрат води меженного періоду в басейні Нижнього Дніпра.

Об'єкт і предмет дослідження: об'єктом є стік літньо-осіннього та зимового періоду, а предметом прогнозування характеристики меженного стоку.

Методи досліджень: методи статистичного аналізу, географічного узагальнення і статистичних оцінок прогностичних методик.

Результати роботи: Регіональна методика прогнозування стокових характеристик періоду літньо-осінньої та зимової межени для сучасних умов формування річкового стоку, оцінка методики для Нижнього Дніпра.

Новизна досліджень: розробка регіональної методики прогнозів меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра, з використанням даних за сучасні роки, перевірка методики прогнозу на незалежних даних

Практичне значення: використання регіональної методики прогнозу, включаючи ті, на яких спостереження за стоком відсутні.

Результати дослідження рекомендовано використовувати в галузі гідрологічного забезпечення в гідро-прогностичних підрозділах.

Кількість сторінок – 96

Кількість рисунків – 31

Кількість таблиць – 22

Кількість використаної літератури – 33

Ключові слова: короткостроковий прогноз, літньо-осіння межень, зимова межень, часові тренди, оцінка методики

SUMMARY

Master's qualification work of a student gr. MZG-19 Yehorova Irina on the topic: "Regional methodology for short-term forecasts of the low flow in the Lower Dnieper sub-basin"

Actuality of theme: the forecast of river of low flow promotes the developers of monthly and decade-long plans for the operation of large reservoirs, energy production of hydroelectric power plants on rivers, to ensure the smooth operation of economic facilities.

The aim of the study: analysis of the conditions of formation, development of methods of forecast annual runoff characteristics of low flow period sub-basin Lower Dnieper and evaluation of its quality and efficiency.

The main tasks: development of a regional methodology for short-term forecasts of average-decade water consumption of the low flow period in the Lower Dnieper basin.

Object and subject of research: the object is the runoff of the summer-autumn and winter periods, and the subject is the forecasting of the characteristics of the low flow.

Research methods: methods of statistical analysis, geographical generalization and statistical estimates of forecast methods.

Work results: Regional method of forecast stock characteristics of the period of summer-autumn and winter low flow for modern conditions of river runoff formation, evaluation of the method for the Lower Dnieper.

The novelty of the research: development of a regional methodology for forecast the low flow of rivers in the Lower Dnieper sub-basin, using data for modern years, checking the forecast methodology for independent data.

Practical meaning: use of regional forecast methods, including those for which there is no data of runoff.

The research results are recommended for use in the field of hydrological support in hydro- forecast divisions.

Number of pages – 96

Number of figures – 31

The number of tables – 22

Number of references – 33

KEYWORDS: short-term forecast, summer and autumn low flow, winter low flow, time trends, method estimate.

ЗМІСТ

	Вступ.....	8
1	Аналіз та умови формування меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра.....	10
	1.1 Гідрографічне районування басейну Дніпра згідно вимог Водної Рамкової Директив ЄС.....	10
	1.2 Географічне положення і рельєф.....	11
	1.3 Карст.....	13
	1.4 Ґрунтовий покрив.....	14
	1.5 Рослинний покрив.....	16
	1.6 Кліматичні умови.....	17
	1.7 Характеристика гідрологічної мережі та гідрологічна вивченість регіону досліджень.....	22
	1.8 Характеристика водного режиму періоду літньо-осінньої та зимової межені.....	24
	1.8.1 Характеристика та умови формування меженного стоку	24
	1.8.2 Дослідження часових рядів меженного стоку.....	32
2	Основні науково-методичні підходи до прогнозування меженного стоку рівнинних річок.....	36
	2.1 Метод відповідних об'ємів.....	36
	2.2 Способи визначення об'єму води в русловій мережі.....	37
	2.2.1 Гідрометричний метод.....	37
	2.2.2 Морфометричний метод.....	38
	2.2.3 Водно-балансовий метод.....	39
	2.2.4 Визначення повних руслових запасів.....	40
	2.3 Прогнози елементів водного режиму річок у меженний період.....	45
	2.3.1 Поняття про межень.....	45
	2.3.2 Особливості режиму річок в меженний період.....	46
	2.3.3 Підземне живлення річок та його зміна в меженний період.....	47
	2.3.4 Методи прогнозу по даним про об'єм води в русловій системі басейну.....	49
	2.3.5 Прогноз середньо місячних та мінімальних витрат води по даним попередньої водоносності річки.....	50
	2.3.6 Прогноз середньо місячних витрат та мінімальних рівнів води по даним о попередній водоносності річки та	

	опадам.....	52
	2.4 Прогнозування низького стоку у програмах ВМО.....	54
	2.5 Загальні принципи оцінки прогнозу меженного стоку річок.....	56
3	Розробка методики короткострокових прогнозів літньо-осіннього і зимового меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра.....	59
	3.1 Збір та аналіз вихідної інформації.....	59
	3.2.1 Теоретичні положення методики прогнозу.....	59
	3.2.2 Побудова та аналіз прогнозних залежностей меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра.....	59
	3.3 Оцінка методики короткострокових прогнозів меженного стоку річок.....	61
	3.4 Схема випуску прогнозу меженного стоку річок.....	66
	3.5 Картографічне представлення прогнозних модулів літньо-осіннього та зимового меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра.....	74
4	Основні науково-методичні підходи до прогнозування меженного стоку рівнинних річок.....	79
	4.1 Поняття та види засух.....	79
	4.2 Індекси засух.....	81
	4.3 Можливості використання індексу посухи SPEI при прогнозуванні середньо-декадних витрат води.....	89
	Висновок.....	91

ВСТУП

Актуальність теми: прогнози річкового меженного стоку літньо-осіннього та зимового періоду широко застосовують при розробці місячних та декадних планів експлуатації великих водосховищ, при плануванні навігацій, вироблення енергії ГЕС на річках, що повинно забезпечити надійну, безперебійну роботу господарських об'єктів.

Меженний стік річок – це такий літньо-осіннього та зимового періодів, коли річки отримують живлення в основному лише від підземних вод і тільки іноді мають приток від дощів чи від танення снігу у періоди зимових відлиг.

Прогнози меженного стоку випускаються після закінчення весняного водопілля, у той період, коли опадів практично не спостерігається, а підземна складова стоку майже не змінюється за часом. В такому випадку стік води у замикаючому створі можна представити як функцію тільки запасів води у руслі. У випадку дощових паводків на річковому басейні в цей період потрібно враховувати опади в період завчасності прогнозу.

Об'єктом дослідження є стік літньо-осіннього та зимового меженного періоду гідрологічних постів суббасейну Нижнього Дніпра: Оріль – Царичанка, Самара – Кочережки, Вовча – Васильківка, Мокрі Яли – Грушівський, Гайчур – Андріївка, Інгулець - Олександрівка-Степанівка, Інгулець – Кривий Ріг.

Предмет дослідження - прогнозування стокових характеристик меженного стоку річок в літньо-осінній та зимовий період.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка регіональної методики прогнозування характеристик меженного річкового стоку літньо-осіннього періоду в суббасейні Нижнього Дніпра та оцінка її ефективності.

Задачами досліджень є:

- аналіз теоретичних основ до прогнозування меженного стоку рівнинних річок;

- розробка методики короткострокових прогнозів середніх витрат води літньо-осіннього та зимового періоду суббасейну Нижнього Дніпра;
- оцінка ефективності і якості методики прогнозу та її перевірка на незалежних даних.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовуються методи статистичного аналізу, географічного узагальнення і статистичних оцінок прогностичних методик.

Вихідні дані. В роботі використано багаторічні щоденні та середньо декадні витрати гідрологічних постів суббасейну Нижнього Дніпра.

Новизна дослідження полягає у виявленні закономірностей меженного стоку на річках, розробка регіональної методики прогнозів меженного стоку в осінній та зимовий періоди для гідрологічних постів, які знаходяться на території суббасейну Нижнього Дніпра, з використанням даних за сучасні роки (включно по 2015 р.), перевірка методики прогнозу на незалежних даних (включно по 2019 р.).

Очікувані результати. Адаптована методика прогнозування стокових характеристик періоду осінньої та зимової межени для сучасних умов формування річкового стоку, оцінка методики і складання практичних рекомендації її ефективного використання для суббасейну Нижнього Дніпра.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання регіональної методики прогнозування середньодекадних витрат води періоду осінньої та зимової межени для річок суббасейну Нижнього Дніпра, включаючи ті, на яких спостереження за стоком відсутні.

Робота виконувалася на замовлення тематики Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ) – Лист №1791 від 11.11.2020р.

1 АНАЛІЗ ТА УМОВИ ФОРМУВАННЯ МЕЖЕННОГО СТОКУ СУББАСЕЙНУ НИЖНЬОГО ДНІПРА

1.1. Гідрографічне районування басейну Дніпра згідно вимог Водної Рамкової Директиви ЄС

Згідно вимоги Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС [1] і виконаного авторами [2] гідрографічного районування район річкового басейну Дніпра включає 5 суббасейнів: Прип'яті, Десни, Верхнього Дніпра, Середнього Дніпра та Нижнього Дніпра (рис.1.1).



Рис. 1.1 – Схема гідрографічного районування району річкового басейну Дніпра [2]

У даній роботі об'єктом дослідження є суббасейн Нижнього Дніпра, для якого надається аналіз фізико-географічних характеристик та умов формування меженного стоку річок літньо-осіннього періоду, представлено розробку регіональної методики короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води періоду літньо-осінньої межени.

1.2. Географічне положення і рельєф

Суббасейн Нижнього Дніпра – є долина Дніпра від о. Хортиця до Дніпровського лиману. Охоплює частину території Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської областей. Межує з Причорномор'ям – на заході, а з Приазов'ям і Кримом – на сході.

Територія річок Нижнього Дніпра розташована в степовій зоні недостатнього зволоження. Протяжність території 326 кілометрів [3,4].

Площу водозбору, похил, характер ґрунтів, гідрогеологічні умови визначають геологічна будова та рельєф. Також рельєф має вплив на кліматичні особливості, рослинний покрив, які у свою чергу впливають на формування меженного стоку річок.

У межах басейну Дніпра за геологічною будовою виділяються наступні регіони: Український кристалічний щит і його схили, Волино-Подільська плита, південно-західний схил Воронежського кристалічного масиву, Дніпровсько-Донецька і Причорноморська западини, Західна околиця Донецького басейну.

Територія річок Нижнього Дніпра розташована на Дніпровсько-Донецькій та Причорноморській западині.

Між Українським щитом і Воронежським кристалічним масивом розташована Дніпровсько-Донецька западина. Дніпровсько-Донецьку западину утворюють кристалічні породи, які лежать на глибині 3-4 км. Весь цей шар до земної поверхні заповнений осадовими породами. Причорноморська низовина має переважний похил до Чорного моря. Товща її осадових порід сягає кількох кілометрів. Південна частина затоплена. У межах Причорноморської низовини зустрічаються замкнені безстічні ділянки – поди. У прибережній смузі поширені піщані коси. Деякі з них є межею між морем, а також лиманами та озерами [4-6].

Дніпровсько-Донецька западина є область значного занурення поверхні кристалічного фундаменту до 11 - 12 км.

Причорноморська западина також є областю занурення докембрійського фундаменту, який в осьовій її частини залягає на глибинах понад 3000 м.

Формування рельєфу цих областей обумовлено геологічною будовою території, тектонічною активністю її окремих частин, а також впливом зовнішніх процесів, з яких найголовнішими є акумулятивна й ерозійна діяльність льодовика максимального (дніпровського) заледеніння і водних потоків в річкових долинах і на їх схилах [3].

Річка Конка і праві притоки річок Вовчо, Гайчур та Мокрі Яли – беруть свій початок на північних схилах Приазовської височини, витягнутої в широтному напрямку та відповідає ділянкам найбільшого піднесеного залягання порід докембрійського віку. Максимальні відмітки поверхні досягають до 324 м (гора Могила Більмак).

Поздовжній профіль Дніпра в межах Українського кристалічного щита має круто деформовану форму, це пов'язано з диференційованими підняттями окремих блоків щита. Тут виділяються Кременчуцька, Нікопольська, Верхньодніпровська, й Дніпропетровська деформації. Нижче міста Запоріжжя поздовжній профіль має плавно увігнуту форму.

На поздовжньому профілі Базавлука виділяється Лошкарівська деформація, пов'язана з підняття поверхні кристалічних порід. Розломи, які розташовані нижче села Лошкарівки, у формі поздовжнього профілю виражені різким перегином профілю. А розлом який є вище Лошкарівської деформації у с. Миколаївки в поздовжньому профілі не є вираженим.

Поздовжній профіль Інгульця проходить по Українському кристалічному щиті і Причорноморської западини. За формою він поділяється на декілька ділянок – увігнутий та опуклий. Профіль р. Вовчої має вигляд плавно увігнутої кривої. На тлі відносно опуклої ділянки профілю в межах щита виділяються Григорівська та Каменська деформації. На ділянці від с. Дачі до с. Василівки ложе річки складено кристалічними породами, поверхня яких піднята в районах Каменської та Григорівський деформацій. У

районі м Павлограда долина Вовчої переходить зі щита на його північно-східний схил [4-5].



Рисунок 1.2 – Фізико-географічне положення суббасейну Нижнього Дніпра[6]

1.3. Карст

В межах Середнього і Нижнього Дніпра немає значних ділянок з типовими ландшафтами поверхневого закарстовування. У районі Нижнього Дніпра зливові та дощові паводки забезпечують досить великий обсяг стоку в гідрографічної та ерозійної мережі, не тільки навесні, але і періодично влітку. Місцевий паводковий стік, де долини врізані в карсту породи, так само втрачається на підживлення тріщин карстових вод.

Розчленування рельєфу поверхні в цілому незначна і досить різноманітна. Для виникнення карсту особливо важлива глибина ерозії, що визначила

собою частковий розтин карсту порід. Показники глибини розчленування відповідно цим становлять 0-25.

Інтенсивність поверхневого закарстовування в долині річки незначна, і не перевищує 10 шт на 1 км². Показники інтенсивності та орієнтування тріщинуватості порід необхідні при проведенні гідрологічних досліджень зв'язків підземних і поверхневих вод. До виробництва спеціальних карстологічних досліджень можливе розміщення зон тріщинуватості слід пов'язувати з напрямками розломів тектоніки, встановленими геологічними зйомками та дослідженнями.

Частковий перехід поверхневого стоку в підземний обмежується запиленням тріщин піщано-глинистим матеріалом і доломітом. Поступова фільтрація стоків здійснюється як на оголених відрізках русел так і на покритих водонепроникним алювієм [3-4].

1.4. Ґрунтовий покрив

Від гирла Ворскли та до впадіння в Чорне море р. Дніпро протікає в степовій зоні. Поверхнево-четвертинні відкладення і ґрунтовий покрив басейну в цьому районі визначається як зональними кліматичними умовами, так і особливостями геоморфології.

Південь України здебільшого покривають південні чорноземи, а також каштанові ґрунти. За механічним складом вони є суглинистими. Основною породою є лес. Ця порода відзначається слабкою стійкістю до розмиву, наслідком чого є значне надходження наносів у річки.

Для півдня степової зони характерним є засоленість ґрунтів. Інколи зустрічаються солонці, що відрізняються значною щільністю.

На південь, у міру зниження місцевості, в межах Причорноморської низовини чорноземи звичайні малопотужні змінюються *чорноземами південними*.

Темно-каштанові та каштанові солонцюваті ґрунти в загальному є однотипними.

Певні чинники, насамперед господарські, сприяли тому, що в останні десятиріччя в Україні відбувається виснажування ґрунтів, зокрема в них зменшується вміст гумусу. Це, у свою чергу, позначається на рослинному покриві, умовах стікання води тощо [3-5].

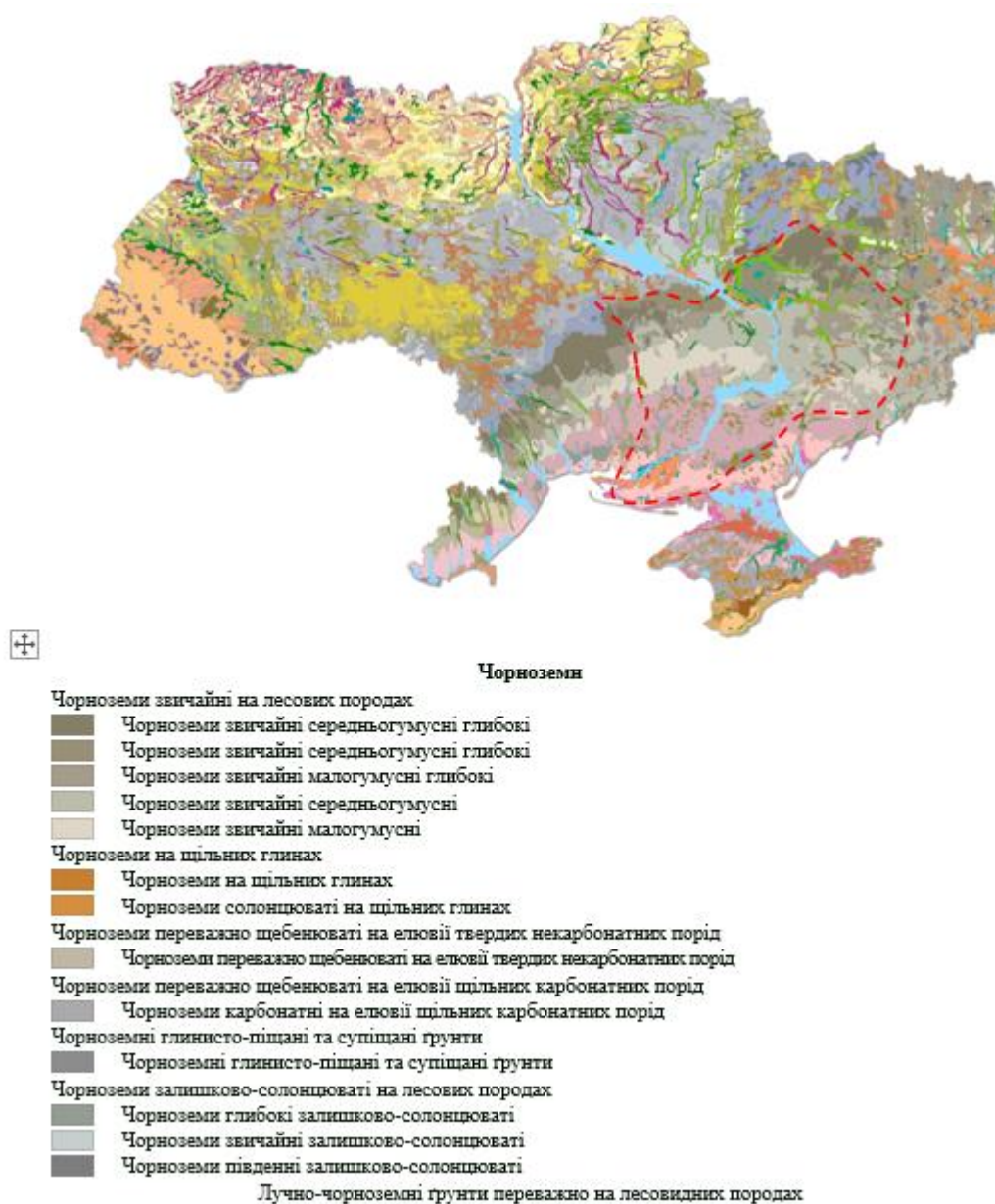


Рисунок 1.3 – Ґрунтовий покрив в суббасейні Нижнього Дніпра [6]

1.5. Рослинний покрив

Рослинний покрив басейну Нижнього Дніпра визначається характерними рисами, які залежать від фізико-географічних особливостей басейну.

Територія Нижнього Дніпра розташована в степовій зоні та займає частини південно-східної Придніпровської височини та Придніпровської низовини, а також центральну частину Причорноморської низовини.

У частині південного степу природних лісів майже немає (винятком є заплавні та плавневі). Тополя та верба зустрічаються на гирлових ділянках. У долинах річок поширюється вид деревної рослинності – лох сріблястий. Майже половина лісів в Україні мають штучне походження; у степовій зоні їх частка сягає 58%. Лісові смуги в південній частині степу складаються майже з акації й дуба. Очерет є головним видом у плавневих масивах Дніпра.

Степова рослинність залишилась лише на схилах балок і річкових терас. Відноситься вона до типу справжніх степів, в травостої яких переважають ксерофітні вузьколисті дерновинні злаки. Справжні степи поділяються на різнотравно-типчакowo-ковилові і типчакowo-ковилові.

Лука в басейні степового Дніпра представлені заплавними і низинними.

Заплавні луки зустрічаються в заплавах Дніпра і Інгульця. У заплаві Дніпра вони займають близько 30% її площі. У заплавах інших річок велика частина їх розорана.

Остеповані луки зустрічаються досить рідко і приурочені до найбільш піднесеним ділянкам заплави.

Справжні луки найширше представлені в заплаві Дніпра, де займають 10% її площі. У заплаві Інгульця їх набагато менше [3-5].

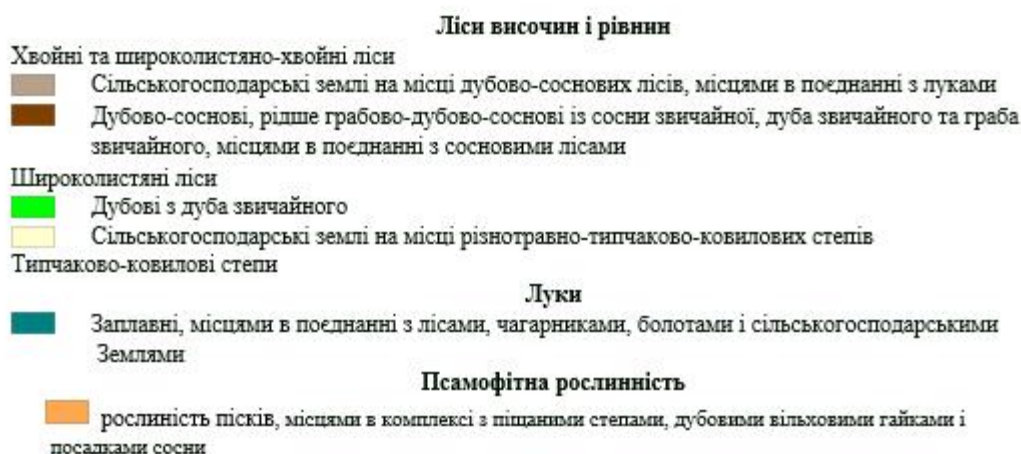
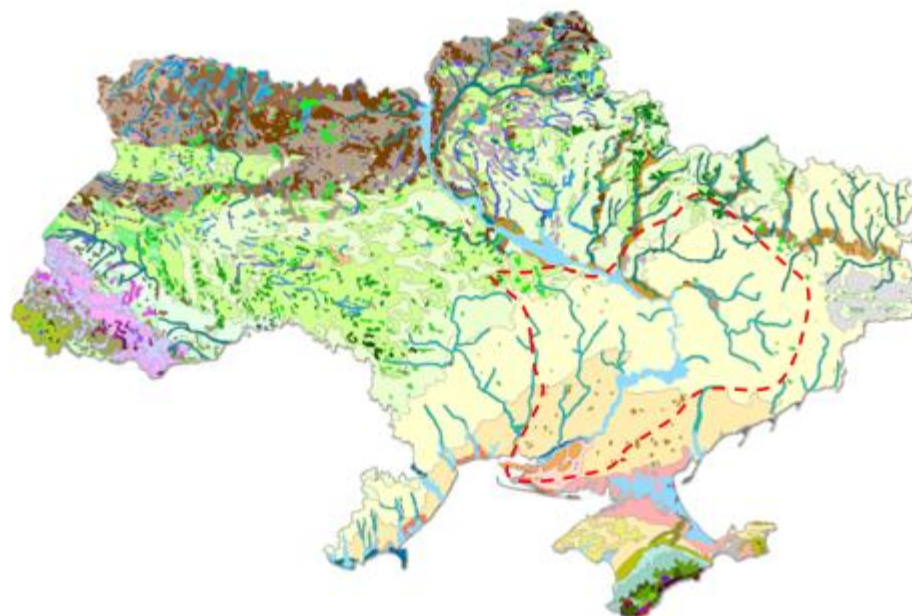


Рисунок 1.4 – Рослинний покрив в суббасейні Нижнього Дніпра[6]

1.6. Кліматичні умови

Найважливіші клімат-утворюючими фактори описуваної території, формуються під впливом загальних і місцевих клімат утворюючих факторів. Головним з них є приплив тепла від сонця і циркуляція.

Опис кліматичних умов району досліджуваної території наданий за літературними джерелами [3, 7-9].

Характеристикою зимового сезону є роль циркуляційного чинника. Значення радіаційного чинника зменшується за рахунок відносно малої висоти сонця над горизонтом. Перехід до холодного періоду пов'язується з

початком вторгнення арктичного повітря, що обумовлює різкі й значні похолодання. У холодний період року спостерігається посилення східного і південно-східного вітру.

Найбільш інтенсивні відлиги, значні опади, ожеледь та хуртовини спостерігаються при виході на територію басейну південних і південно-західних циклонів. У більшості випадків в цей час майже повністю сходить сніговий покрив. Температура повітря підвищується.

Перехід до весняного сезону характеризується підвищенням ролі радіаційного фактора і посиленням впливу підстильної поверхні. Процеси адвекції слабшають у міру зменшення температурних контрастів між водою і сушею. За умовами циркуляції початок весни пов'язано з ослабленням Північно-східних і східних впливів і посиленням західних. У квітні і травні ще спостерігаються повернення холодів.

Влітку вторгнення арктичного повітря майже повністю припиняється. Атмосферні процеси характеризуються посиленням Азорського антициклону. Тому влітку над територією переважає антициклональна погода з великою кількістю ясних і сонячних днів. В цілому погодні умови літнього сезону відрізняються значним підвищенням температури за рахунок прогріву земної поверхні, великий повторюваності ясних днів.

Протягом осіннього сезону Азорський циклон руйнується, а в жовтні-листопаді починає розвиватися сибірський антициклон.

Восени вже частково створюються сприятливі умови для антициклонів. У зв'язку з цим збільшується повторюваність туманів, похмурої погоди з опадами. Одночасно посилюється циклонічна діяльність. Циклони приносять вологе повітря з Атлантики і Середземного моря. За циркуляційним особливостям друга половина осені наближається до зимового сезону.

Радіаційний режим. Мінімальні значення радіаційного балансу спостерігаються взимку. У лютому радіаційний баланс зростає. А в весняний період величини радіаційного балансу помітно збільшуються, що пояснюється збільшенням висоти сонця, тривалістю дня і сходом снігового

покриву. Максимальні значення радіаційного балансу спостерігаються в червні і липні. Починаючи з серпня радіаційний баланс починає різко зменшуватися і в листопаді виявляється близьким до нуля. А в грудні стає негативним.

Температурний режим. Температурний режим визначається особливостями атмосферної циркуляції, радіаційними чинниками і характером підстильної поверхні. У зимовий час істотний вплив на формування температурного режиму надає атмосфера циркуляція.

Найбільш низькі температури спостерігаються в січні. Починаючи з березня температура повітря на тлі неодноразових знижень починає рости, спочатку повільно, а потім інтенсивніше. У теплу пору року температурний режим визначається радіаційними чинниками, а також впливає підстильна поверхня. Ослаблення циклонічної діяльності обумовлює зменшення мінливості температури. Найтепліший місяць року – липень.

Опади. Атмосферні опади відіграють істотну роль у формуванні стоку. Так як річки в суббасейні Нижнього Дніпра розташовується в основному в рівнинній місцевості, то значних відхилень від нормального розподілу опадів не спостерігається. У межах протікання р. Самара середня кількість опадів коливається від 550 до 600 мм.

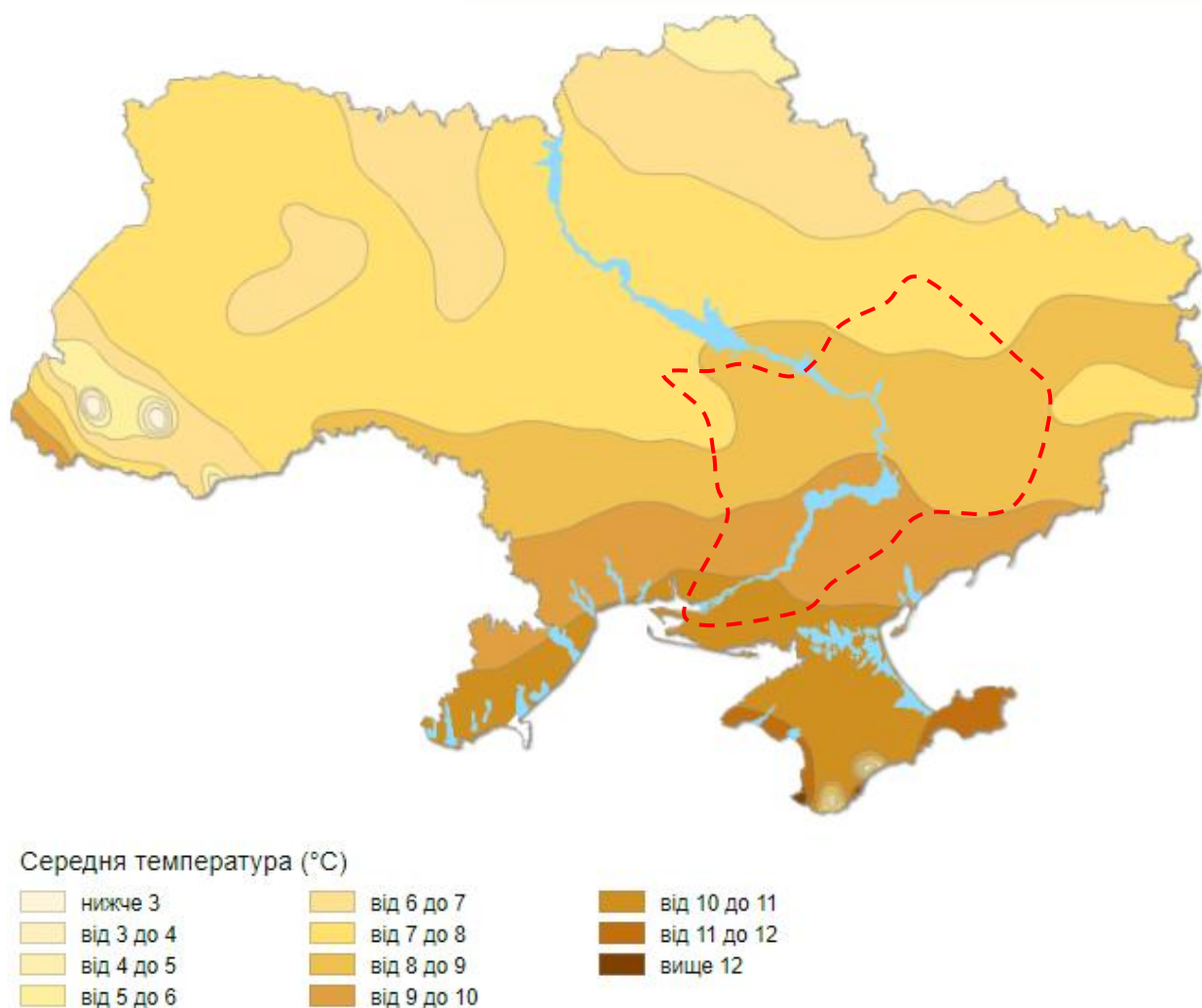


Рисунок 1.5 – Середньорічна температура повітря, °C[6].

Сніговий покрив. Середні дати утворення снігового покриву настають на 2-5 днів пізніше від середньої дати переходу температурного режиму. Перший сніг зазвичай сходить повністю, а потім утворюється новий. В середньому сніговий покрив з'являється до кінця грудня.

Вже з середини лютого починається швидкий схід снігового покриву. Тривалість снігового покриву становить 2-2,5 місяці. Відсутність стійкого снігового покриву в окремі зими викликається тривалими відлигами, які часто спостерігаються в басейні річки Самара. Тривалість сніготанення в середньому становить 10-15 днів.

Як видно з рис. 1.6 а, в районі витоку річки Самара середня кількість днів з сніговим покривом становить 90-100. На більшій частині басейну

кількість днів з сніговим покривом зменшується до 80-90. І в гирловій ділянці річки кількість днів з сніговим покривом є найменшою і становить 70-80 днів. Рис. 1.6 б ілюструє, що висота снігового покриву зменшується від витоків річки до гирла. В районі витоків і в районі протікання вона становить 20-30 см, а в районі гирла -10-20 см. Насамперед це пояснюється тим, що ріка протікає з району з більшою кількістю опадів в район з меншою кількістю опадів.

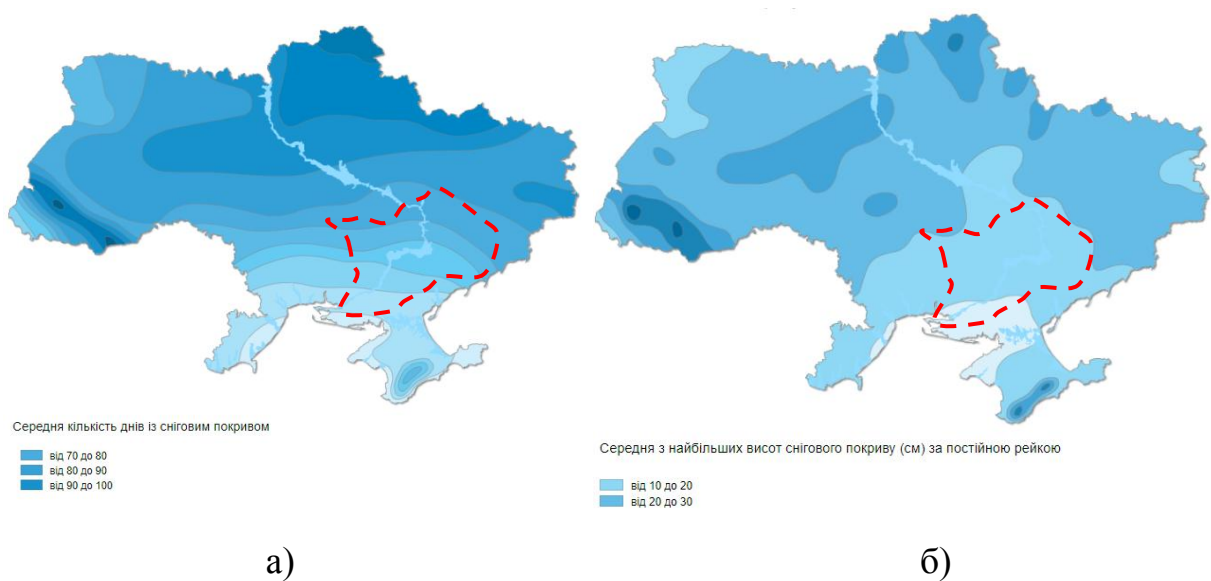


Рисунок 1.6 – Сніговий покрив

а) середня кількість днів із сніговим покривом; б) середня з найбільших висот снігового покриву за постійною рейкою

Вітер. Вітровий режим обумовлюється атмосферою циркуляцією і характером підстильної поверхні. Переважний вітер має східне і північно-східний напрямок. Влітку спостерігається жаркий сухий вітер - суховій, який виникає в результаті трансформації повітряних мас, що приходять з Арктики і Атлантики. У жовтні - листопаді відбувається ослаблення західного і посилення східного антициклону. Середні річні швидкості вітру на досліджуваній території складають 2,7-5,3 м/с.

Вологість ґрунту. Запаси вологи в ґрунті формуються в результаті взаємодії погоди, ґрунту і рослинного покриву. Значний вплив робить рельєф і глибина залягання ґрунтових вод. Район протікання річок Нижнього Дніпра знаходиться на території недостатнього зволоження ґрунту, де значний дефіцит вологи призводить до нестійкої врожайності.

Промерзання і відтавання ґрунту. У холодну частину року, з пониженням температури від 0 °С, починається перетворення ґрунтової вологи в лід. Середня глибина промерзання ґрунту в районі річки Самара 68-75 см. Час відтавання ґрунту є вихідним моментом для початку сільськогосподарських робіт. Повне відтавання ґрунту в середньому по території відбувається в третій декаді березня – першій декаді квітня. Середня швидкість відтаювання становить 1,5-2 см на добу.

1.7 Характеристика гідрологічної мережі та гідрологічна вивченість регіону досліджень

Дослідження річок даної території розпочато в далекій давнині. Першими з річок нашої країни згадуються річки басейну Дніпра. Відомості про них містяться в історичних і географічних творах античних авторів стародавньої Греції і Риму. В Перше вітчизняні відомості про річки басейну Дніпра з'явилися в російських літописах в X-XII століттях. А перші записи про річку Самара датуються одна тисяча сто п'ятдесят другим роком. З петровських часів розпочинається новий період вивчення річок Дніпровського басейну. Зроблені спроби скласти військово-транспортні описи річок цієї території. У 1930 році був створений гідрометеорологічний інститут, який проводив дослідження які пов'язані з проблемами обводнення Донбасу і Криворіжжя. У цих дослідженнях багато уваги приділено річці Самара та іншим річками регіону. У 1954-1955 роках були завершені роботи з узагальнення накопичених матеріалів по гідрографії та гідрології річок України [3].

Річка Дніпро – являє собою типову рівнинну річку. Від витoku річки до м. Дорогобужа русло звивисте, за шириною до 30 м. Далі ширина долини збільшується до 3 - 10 км, русла - до 40 - 125 м. Нижче м. Києва долина є асиметричною: праві схили є крутими та високими, ліві - низькими й пологими. Вздовж Придніпровської височини річка відхиляється на південний схід. Між Дніпропетровськом та Запоріжжям Дніпро перетинає Український кристалічний щит. Нижче від Запоріжжя вона тече по Причорноморській низовині. У гирлі Дніпро утворює численні рукави та притоки. Різниця висот витoku та гирла Дніпра складає 220 м, середній похил водної поверхні річки становить 0,10 м/км. Переважна кількість річок басейну Дніпра - це типові рівнинні водотоки які характеризуються весняним водопіллям та меженним періодом, коли річки міліють й багато з них пересихають, також й відносно великі - Оріль, Самара, Вовча та інші.

Правобережні та лівобережні притоки нижнього Дніпра (Орель, Самара, Вовча, Кінська, Інгулець, Базавлук, Мокра Сула) беруть свій початок на південно-східних схилах Придніпровської й північно-західних схилах Приазовської височини та течуть по Причорноморській низовині. Ширина русел річок коливається в межах 10 - 20 м, а глибина від 0,5 до 1,5 м і лише на р. Інгулець досягає 8 м, швидкість течії влітку не перевищує 0,1 м/с. У теплий період року заростають рослинністю, в деякі роки пересихають, утворюючи ланцюги плес.

Основні гідрографічні характеристики річок суббасейну Нижнього Дніпра наведені у табл.1.1.

На досліджуваній території розташовані 25 постів. По території пости розташовані досить рівномірно (рис. 1.6). Гідрологічні пости та їх періоди спостережень наведені у табл. 1.2.

На досліджуваній території діапазон водозбірних площ охоплює басейни за розміром від 120 км² (р. Вовча – х. Артемівський) до 19800 км² (р. Самара – смт Кочеріжки) з періодом спостережень з 1926 по 2015 рр.

Більшість кількість гідрологічних постів - 40% від загального їх числа, мають величини площ водозборів до 5000км². Кількість постів, площами водозборів 5001–10000 км² становить 16 %, Та 8% з площею водозборів у межах 10001 – 20000 км². Важливим показником гідрологічної вивченості території є тривалість стокових спостережень на річках, яка змінюється в діапазоні від 18 років (р. Вовча – смт Покровське) до 83 (р. Вовча – смт Васильківка). На досліджуваній території 17 постів мають ряди спостережень більше 50 років; на 1 посту гідрологічні ряди також достатньо тривалі і становлять 30–50 років. Та ряди тривалістю 21–30 років є на 4 гідрологічних постах, а менше 20 років – на 2 постах.

1.8 Характеристика водного режиму періоду літньо-осінньої та зимової межені

1.8.1 Характеристика та умови формування меженого стоку

Водний режим річки Дніпра характеризується добре вираженим весняним водопіллям та низькою літньою меженю з періодичними літніми паводками, регулярними осінніми підвищеннями води й зимовою меженню. Водний режим межені досліджуваної території наданий за літературними джерелами [3,5-6].

Верхня частина басейну Дніпра знаходиться у зоні надмірного та достатнього зволоження (лісова зона). Нижня частина басейну Дніпра – суббасейн Нижнього Дніпра, знаходиться в районі недостатнього зволоження (зона степу).

Таблиця 1.1 – Основні гідрографічні характеристики суббасейну Нижнього Дніпра

Річка – пост	Відстань L , км		Похил річки I , ‰		F , км ²	$H_{\text{ср}}$, м	$f_{\text{б}}$, %	$f_{\text{л}}$, %	Розпаханість, %	Географічні координати			
	від витоку	від найбільш віддаленої точки річкової мережі	середній	середньо-зважений						довгота поста, сх.д.	широта поста, пн.ш	довгота центрів тяжіння водозборів, сх.д.	широта центрів тяжіння водозборів, пн.ш.
Оріль-с.Степанівка	83	88	1	0,6	1600	150	<1	<1		35°98'	49°02'	36°00'	49°27'
Оріль-с-мт Царичанка	306	311	0,4	0,2	9100	130	2	<1	-	35°15'	49°15'	35°36'	49°28'
Берестова-м.Красноград	60	66	1,7	1	1050	160	1	4	70	35°50'	49°38'	35°82'	49°48'
Орчик-с.Чернещина	92	97	1,1	0,7	1310	150	1	2	80	35°10'	49°28'	35°40'	49°54'
Самара-с.Коханівка	104	110	1,1	0,8	1430	150	<1	1	80	36°45'	48°52'	36°82'	48°67'
Самара-с.Кочережки	233	239	0,6	0,2	19800	130	<1	3	-	35°67'	48°65'	36°63'	48°12'
Бик-с.Самарське (Іванівка)	105	113	1,3	0,9	1130	150	<1	1	80	36°48'	48°47'	36°87'	48°38'
Велика Тернівка-с.Богданівка	82	88	1,5	1,1	924	130	<1	1	80	36°10'	48°50'	36°35'	48°67'
Вовча-х.Артемівський	12	16	5	4,8	120	200	0	6	80	37°17'	48°17'		48°25'
Вовча-с-мт Покровське	210	214	0,6	0,4	7150	160	<1	3	-	36°25'	47°98'	37°02'	47°82'
Річка – пост	Відстань L , км		Похил річки		F ,	$H_{\text{ср}}$,			Розпаха	Географічні координати			

			$I, ‰$		км ²	м	$f_b, ‰$	$f_l, ‰$	ність, ‰				
	від витоку	від найбільш віддаленої точки річкової мережі	середній	середньо-зважений						довгота поста, сх.д.	широта поста, пн.ш	довгота центрів тяжіння водозборів, сх.д.	широта центрів тяжіння водозборів, пн.ш.
Вовча-снт Васильківка	263	267	0,6	0,3	11600	150	<1	3	-	36°02'	48°22'	36°63'	47°80'
Мокрі Ялих. Грушівський	148	152	1,2	1	2660	160	<1	2	70	36°73'	48°05'	37°07'	47°70'
Солона-с.Новопавлівка	60	64	1,9	1,4	680	170	0	3	80	36°82'	48°15'	37°11'	48°19'
Гайчур-с.Андріївка	135	138	1,8	0,9	2100	150	0	1	80	36°18'	47°92'	36°49'	47°61'
Мала Терса-с.Троїцьке	21	69	1,8	1,3	750	130	<1	3	80	35°87'	48°42'	35°68'	48°25'
Середня Терса-ж.Роздолля	34	37	3	1,9	269	150	0	2	80	35°75'	48°28'	35°68'	48°17'
Мокра Сура-снт Кринички	34	34	2,2	1,8	389	140	0	3	80	34°48'	48°37'	34°36'	48°42'
Кінська-м.Пологи	39	39	4,4	3,5	353	190	0	1	80	36°27'	47°48'	36°43'	47°38'
Базавлук-с.Катерино-Наталівка	70	74	1,5	1,1	1050	120	0	2	70	34°17'	48°02'	34°18'	48°23'
Інгулець-с.Олександростепанівка	99	99	1,2	0,9	1400	160	<1	13	80	33°15'	48°62'	32°75'	48°76'
Інгулець-с.Іскрівка	171	171	0,8	0,6	4410	150	<1	7	-	33°37'	48°22'	32°95'	48°55'
Інгулець-м.Кривий Ріг	224	224	0,7	0,5	8600	140	<1	5	-	33°35'	47°90'	33°25'	48°40'

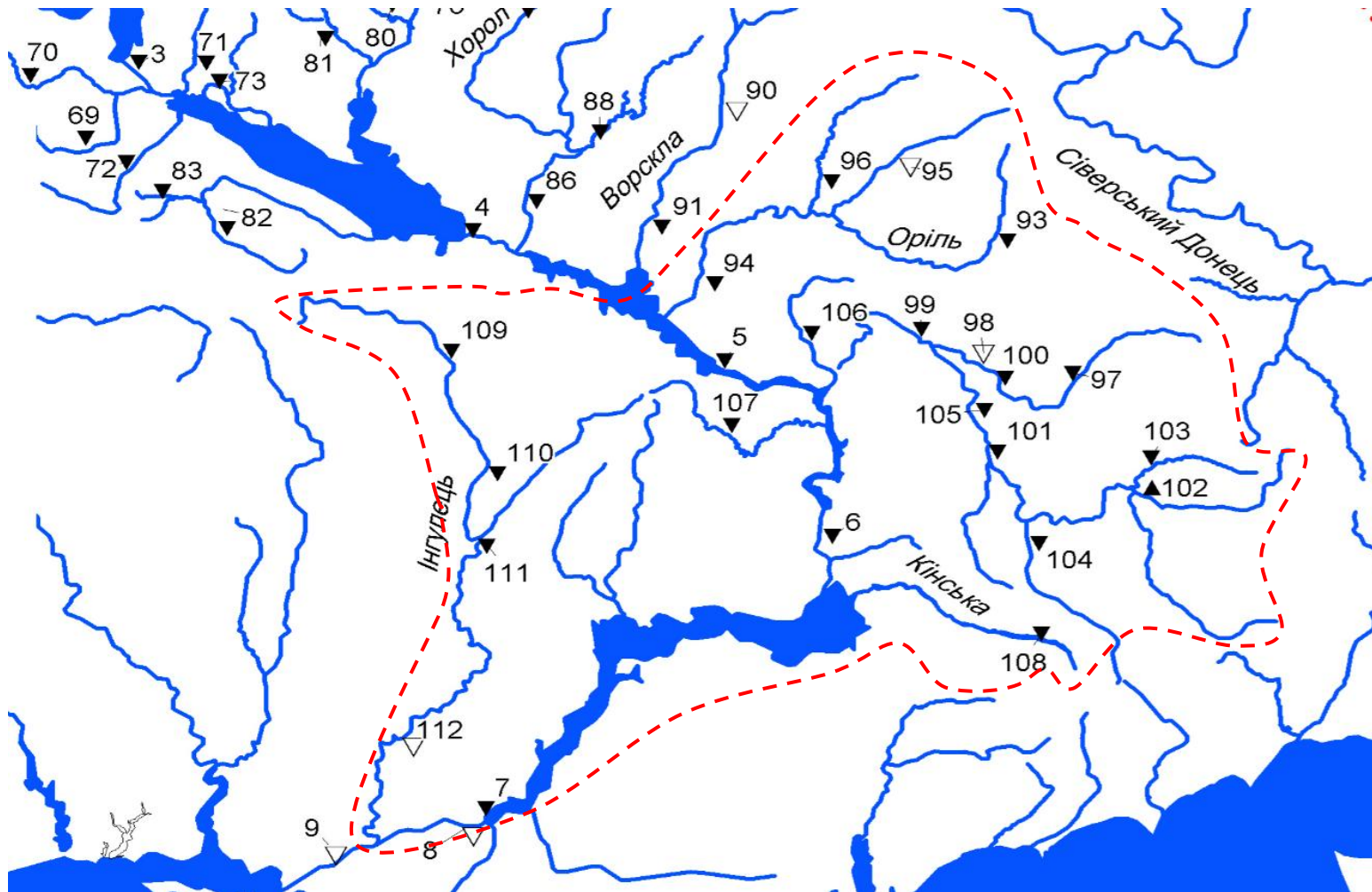


Рис. 1.7 - Карта-схема розташування гідрологічних постів в басейні Дніпра (виділений суббасейн Нижнього Дніпра)

Таблиця 1.2 – Гідрологічні пости та їх періоди спостережень на території Нижнього Дніпра

№ п/п	Код поста	Річка – пост	F, км ²	Період спостережень	Кількість років
1	80598	Оріль-с.Степанівка	627	1988-2015	28
2	80473	Оріль-сmt Царичанка	9100	1952-2015	64
3	80477	Берестова-м.Красноград	1050	1951-56,1959,1960,1961, 1963-2008	55
4	80478	Орчик-с.Чернещина	1310	1957-2015	59
6	80483	Самара-с.Коханівка	1430	1958-2015	58
7	80486	Самара-с.Кочережки	19800	1938,1952,1954-59, 1961,1962,1965-2015	61
8	80493	Бик-с.Самарське (Іванівка)	1130	1955-74	20
9	80494	Велика Тернівка-с.Богданівка	924	1937-41, 1957-62, 1964-2015	63
10		Вовча-х.Артемівський	120	1962-88	27
11		Вовча-сmt Покровське	7150	1968-85	18
12	80505	Вовча-сmt Васильківка	11600	1930-41, 1945-2015	83
13	80513	Мокрі Яли-х. Грушівський	2660	1936-41, 1952-55, 1957-62, 1965-2015	67
14	80516	Солона-с.Новопавлівка	680	1957, 1959, 1961-2015	57
15	80518	Гайчур-с.Андріївка	2100	1936-41, 1950-52, 1954-2015	71
16	80522	Мала Терса-с.Троїцьке	750	1958-2015	58
17		Середня Терса-ж.Роздолля	269	1946-64, 1966-74	28
18	80524	Кільчень-с.Олександрівка Перша	376	1958-2015	58
19	80527	Мокра Сура-сmt Кринички	389	1951, 1952, 1955, 1957-2015	62
20	80530	Кінська-м.Пологи	353	1953, 1955-2015	62
21	80551	Базавлук-с.Катерино-Наталівка	1050	1951-56,1958-86	35
22	80561	Інгулець-с.Олександро-Степанівка	1400	1931,1932,1934-41,1945-2015	76
23	80564	Інгулець-с.Іскрівка	4410	1958-2010	53
24	80568	Інгулець-м.Кривий Ріг	8600	1936-2015	75

В межах суббасейну Нижнього Дніпра (степова зона), частина снігового живлення зростає до 85-90%, підземного до 10-15%, й дощового майже немає.

Зона Нижнього Дніпра визначається посушливим кліматом, несталим зимовим режимом з нестійким сніговим покривом через часті відлиги, що призводять до часткового чи повного танення снігу і формування зимових паводків різної інтенсивності та водності. Через такі умови весною часто формуються невисокі водопілля з короткою тривалістю, тому межень настає раніше.

Строки початку межені коливаються від кінця квітня до початку травня, а триває до весняної повені, лише іноді літньо-осіню межень порушують дощові паводки, а зимову - короткочасні відлиги.

Річки району Нижнього Дніпра характеризуються вираженою низькою річною меженню. Літні дощові паводки зазвичай мало інтенсивні і тривають до 10 днів. Коливання низьких рівнів залежать не тільки від водності року, але і в значній мірі від регулюючого впливу гребель ГЕС і водосховищ. Малі річки влітку пересихають від кількох днів до декількох місяців (в залежності від водності року), а взимку промерзають до 2 – 3 місяців.

У період літньо-осінньої та зимової межені на річках спостерігається підвищення рівня води внаслідок підпору водної рослинності в період відкритого русла і льодових утворень в зимовий час.

В період останніх років на значній частині території півдня України накопичення снігозапасів і весняного водопілля майже не відбувалося, що привело до добре вираженої межені на річках.

Комплексні графіки гідрометеорологічних характеристик (1.15, 1.16) на річках р. Самара – с.Кочеріжки (за 2003 рік) та Орель – с.Царичанка (за 2005 рік) показують багатоводні ряди з не дуже вираженою літньою меженню та літніми паводками. В зимовий період р. Самара – с.Кочеріжки межень добре виражена, а на р. Орель – с.Царичанка зимова межень не є вираженою.

А на Комплексних графіках гідрометеорологічних характеристик (1.17, 1.18) на річках р. Самара – с.Кочеріжки (за 2015 рік) та Орель – с.Царичанка (за 2013 рік) видно, що ці роки маловодні з невираженим весняною повінню та добре вираженою літньою меженню з відсутністю літніх паводків, а зимова межень порушується відлигами.

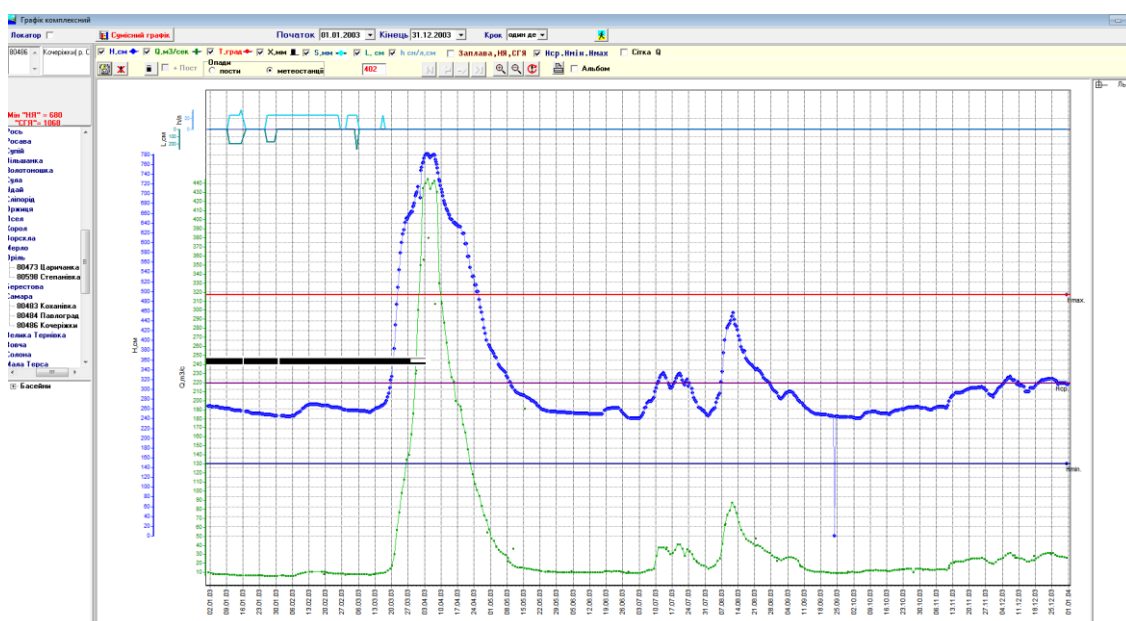


Рис. 1.9 – Комплексний графік гідрометеорологічних характеристик р. Самара – с.Кочеріжки за 2003 рік

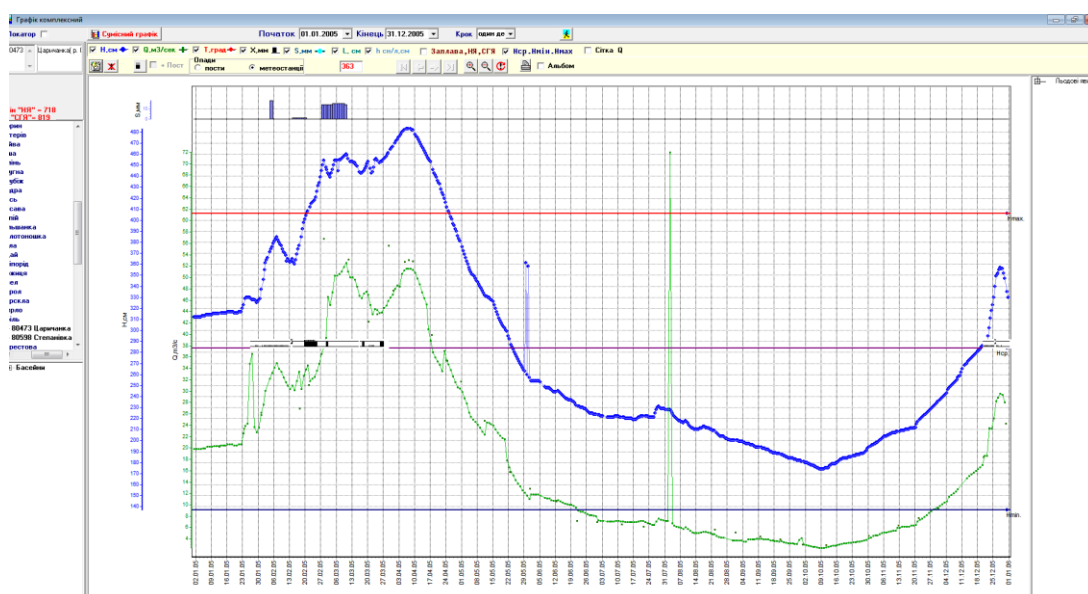


Рис. 1.10 – Комплексний графік гідрометеорологічних характеристик р. Орель – с.Царичанка за 2005 рік

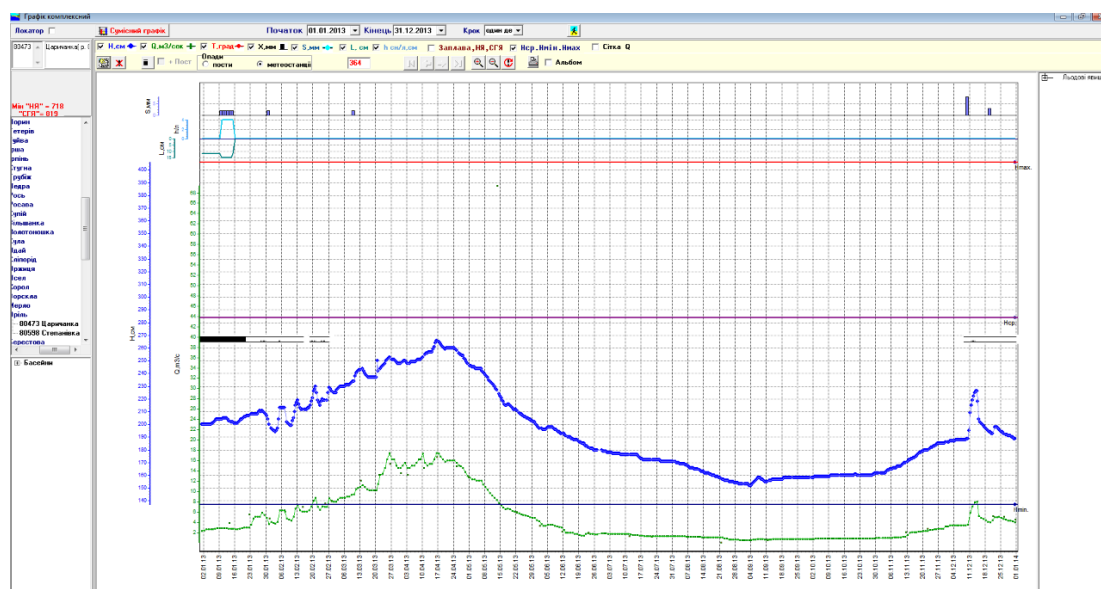


Рис. 1.11 – Комплексний графік гідрометеорологічних характеристик р.Орель – с.Царичанка за 2013 рік

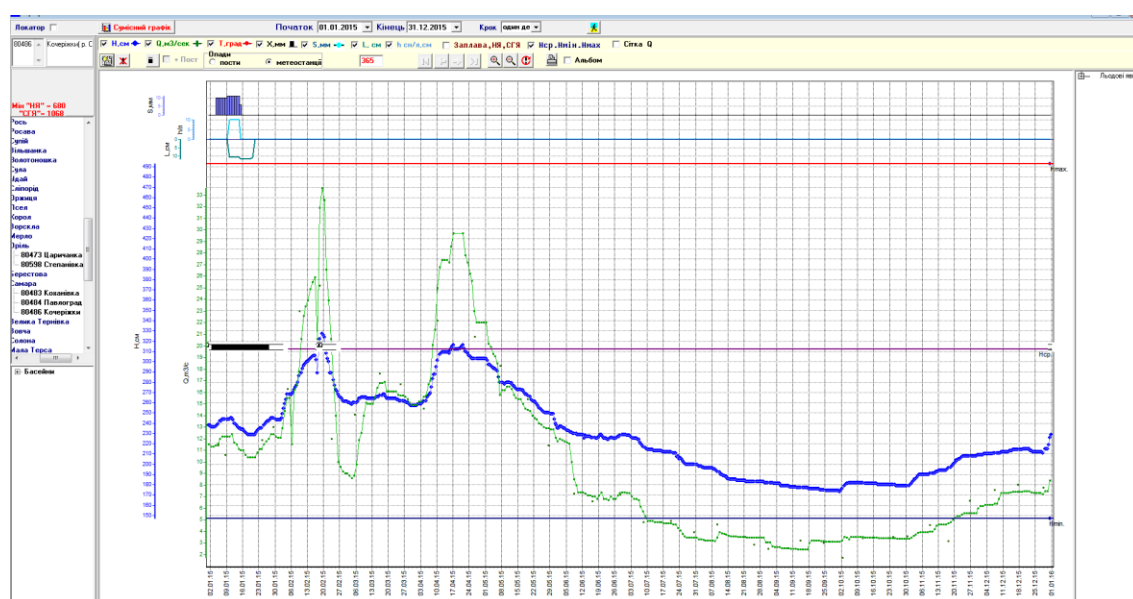


Рис. 1.12 – Комплексний графік гідрометеорологічних характеристик р.Самара – с.Кочеріжки за 2015 рік

1.8.2 Дослідження часових рядів меженного стоку

В роботі досліджено хронологічні графіки мінімальних витрат за зимовий період (середні витрати води за 30 діб і за добу) та літній період (середні витрати води за 30 діб та за добу) (рис. 1.13-1.16). В усіх випадках спостерігається додатній тред. Тобто середня багаторічна величина мінімальних витрат має тенденцію до зростання.

Також були побудовані різницево-інтегральні криві мінімальних витрат за 30 діб за літній та зимовий періоди, які представлені на рисунках 1.17 та 1.18, відповідно. Аналіз кривих показав наявність повного циклу водності для обох розглядуваних періодів. Цикли водності є синхронними для зими та літа. В період від 1980 до 1989 спостерігається маловодний період, після 1989 р. – багатоводний, а з 2005 р. – мінімальні витрати за 30 діб за літній та зимовий періоди починають зменшуватись.

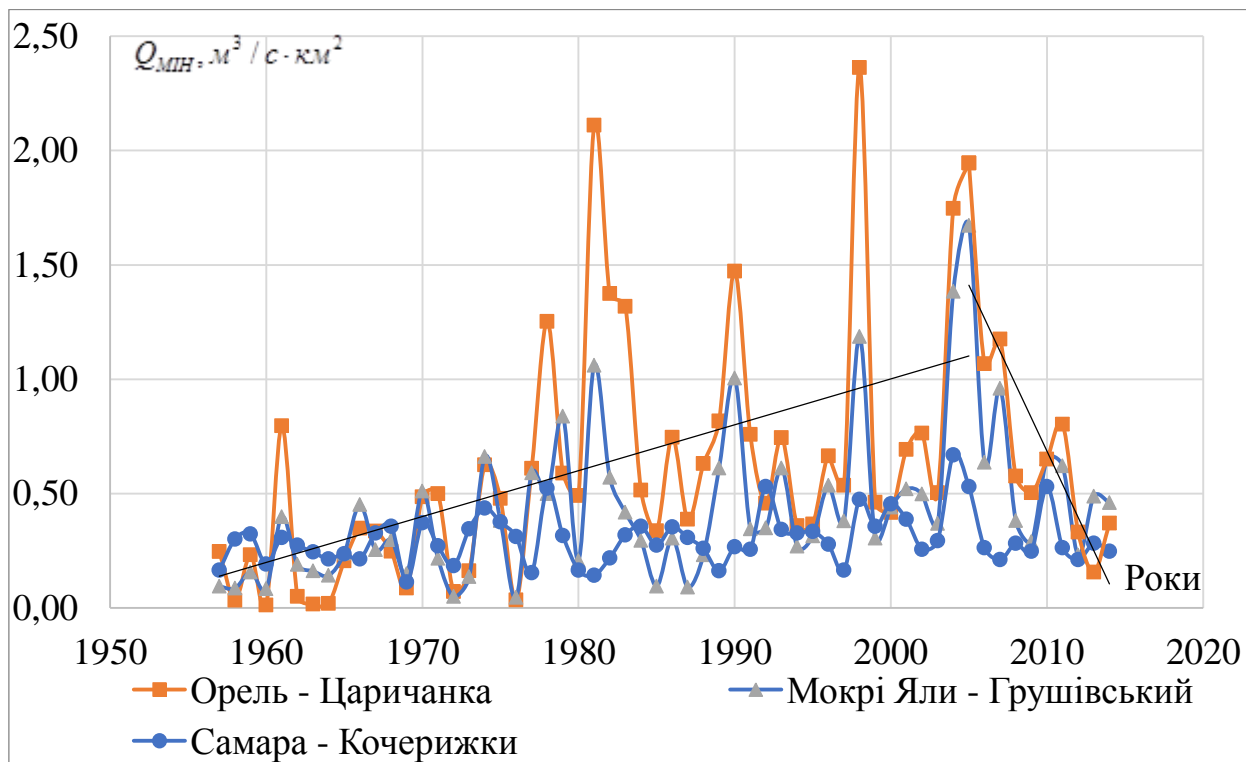


Рис 1.13 – Хронологічні графіки ходу мінімальних витрат води за 30 діб, зимовий період

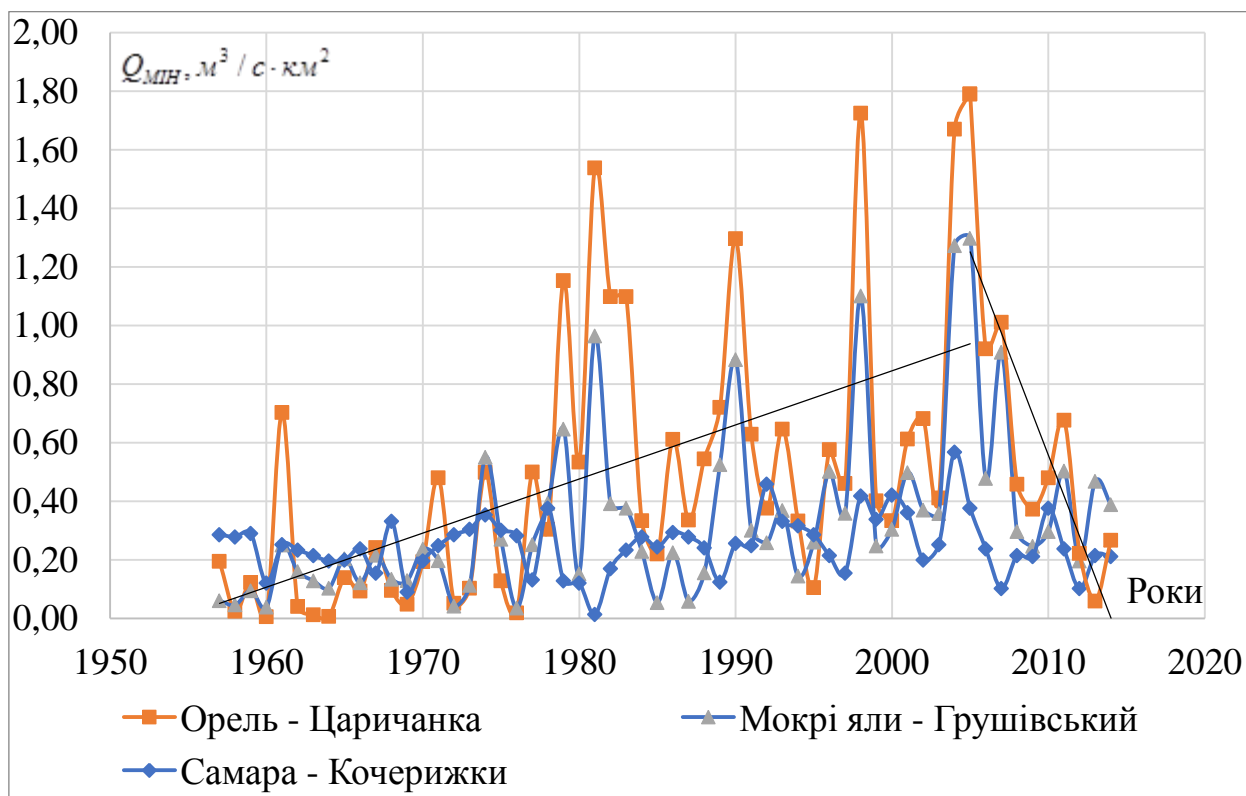


Рис 1.14 – Хронологічні графіки ходу мінімальних витрат води за добу, зимовий період

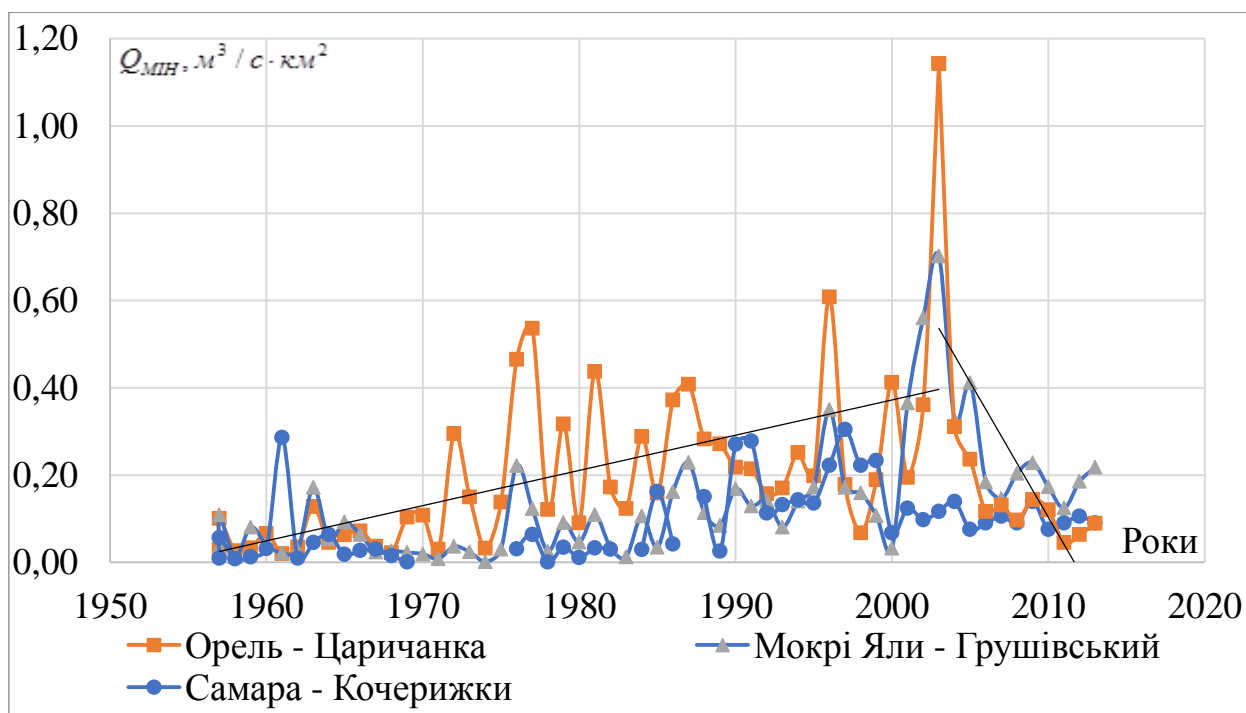


Рис. 1.15 – Хронологічні графіки ходу мінімальних витрат води за 30 днів, літній період

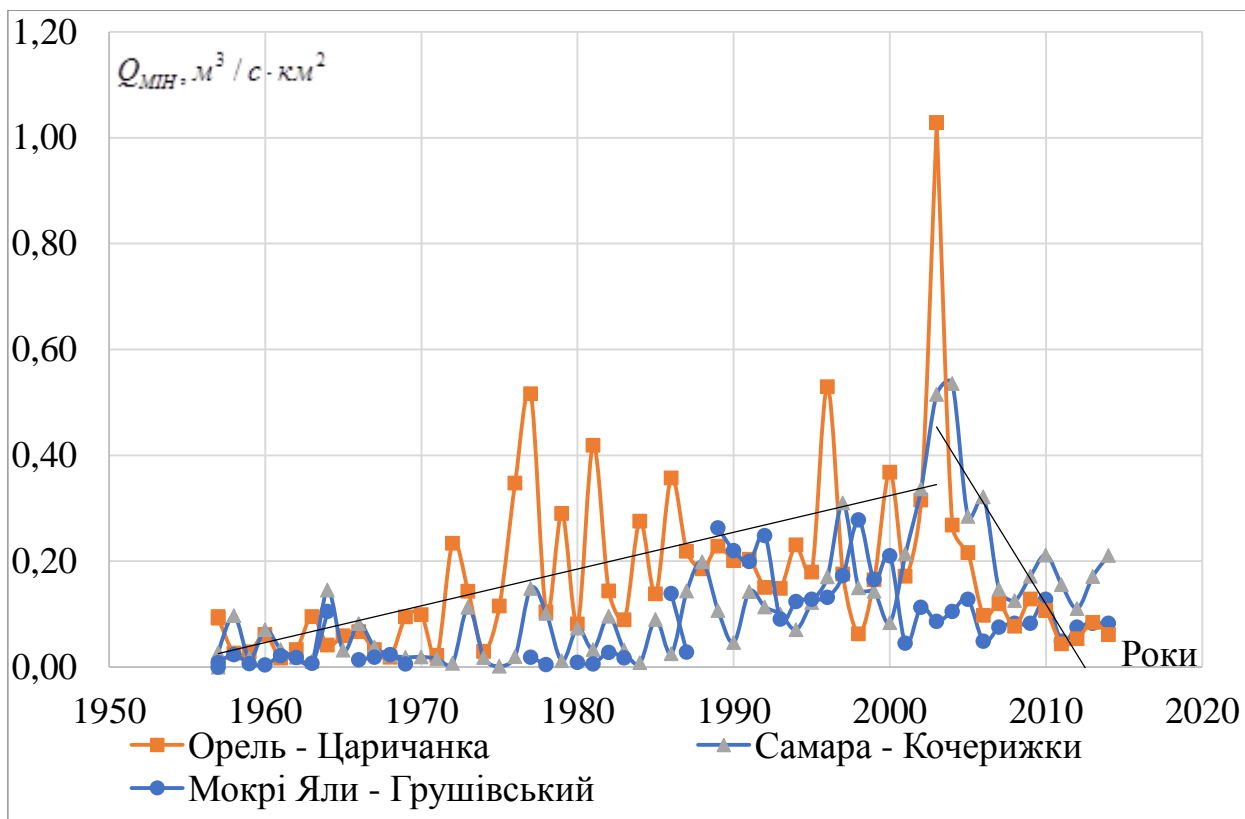


Рис. 1.16 – Хронологічні графіки ходу мінімальних витрат води за добу, літній період

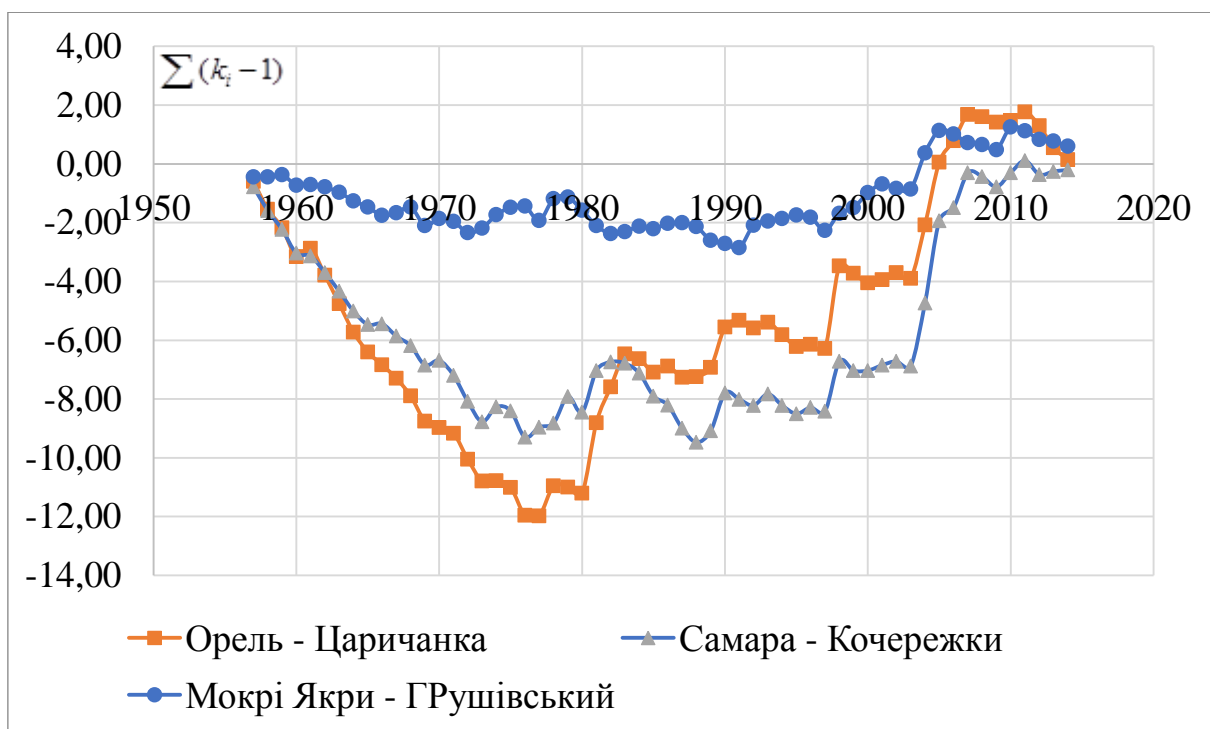


Рис. 1.17 Різницево інтегральні криві мінімальних витра за 30 днів, зимовий період

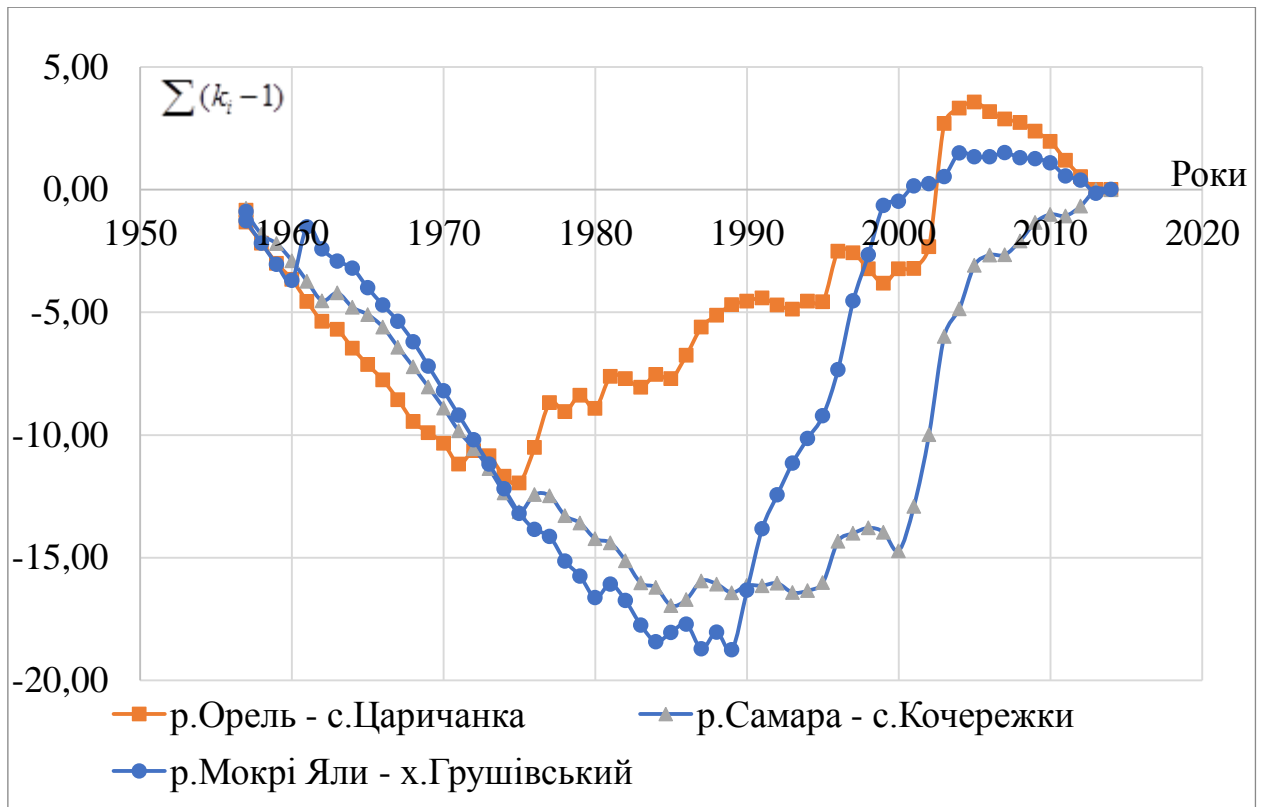


Рис. 1.18 Різницево інтегральні криві мінімальних витра за 30 днів, літній період

2. ОСНОВНІ НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ МЕЖЕННОГО СТОКУ РІВНИННИХ РІЧОК

2.1 Метод відповідних об'ємів

Метод відповідних об'ємів запропонував Г. П. Калінін у 1947 р. [10-12] для прогнозу середніх витрат води за визначений період на порівняно великих річках з використанням здебільшого гідрометричних даних.

Розглянемо ділянку річки без припливу, яка обмежена двома створами (Q_B, Q_H), час добігання між яким позначимо τ .

Об'єм води на ділянці в момент часу t при допущенні лінійної зміни витрат води по довжині ділянки [10-12]

$$W_t = \frac{Q_{Bt} + Q_{Ht}}{2} \tau, \quad (2.1)$$

де W_t - запас води в русловій мережі у момент часу t , м³;

τ - час добігання;

Q_B, Q_H - верхній та нижній створ відповідно.

Цей об'єм води пройде крізь нижній створ за час від t до $t+\tau$, тобто $\sum_t^{t+\tau} Q_H = W_t$, звідки середня витрата через нижній створ за період від t до $t+\tau$ буде визначатися об'ємом води в русловій мережі в момент часу t або

$$\bar{Q}_{H_{t+\tau}} = f(W_t). \quad (2.2)$$

Використання виразу (1.2) можливо лише, якщо надходження додаткового притоку за час τ відсутнє або незначне в порівнянні з об'ємом води в русловій мережі басейну. Крім того, передумова лінійного виміру витрати справедлива для не великих ділянок з часом руслового добігання від верхніх створів до нижнього в межах від 2 до 5 діб.

Об'єм води по всій русловій мережі дорівнює сумі об'ємів води на окремих ділянках

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \sum_1^n W_i, \quad (2.3)$$

де W – об'єм води по всій русловій мережі басейну;

W_i – об'єм води на i -ї ділянці;

n – кількість ділянок.

2.2 Способи визначення об'єму води в русловій мережі

Визначення об'єму води в русловій мережі може здійснюватися різними способами, до основних відносяться наступні [10-12].

2.2.1 Гідрометричний метод

Визначення об'єму води здійснюється по даним о середній витраті та часу руслового добігання на ділянці без припливу об'єм води визначається по формулі (1.1), на приточній ділянці – по виразу

$$W_t = \frac{Q_{Ht} + \sum Q_{Bt}}{2} \tau_{cp}, \quad (2.4)$$

де $\sum Q_{Bt}$ – сума витрат води у верхніх створах ділянки;

τ – середній час руслового добігання на ділянці, визначається як середнє арифметичне із величин часу добігання від верхніх створів до нижнього

$$\tau_{cp} = \frac{\sum_1^m \tau_i}{m}, \quad (2.5)$$

де m – кількість верхніх створів,
або середньозважене число по формулі

$$\tau_{cp} = \frac{\sum_1^m \tau_h \bar{Q}_h}{\sum_1^m \bar{Q}_h} \approx \frac{\sum_1^m \tau_h F_h}{\sum_1^m F_h}, \quad (2.6)$$

де τ_h - час руслового добігання від k -го верхнього створу ділянки до нижнього створу;

\bar{Q}_h - середня багаторічна витрата у верхньому створі ділянки;

F_h - площа басейну у верхньому створі ділянки.

Якщо ділянка обмежена одним створом, то об'єм води знаходиться по виразу

$$W_t = \frac{Q_{H_t}}{2} \tau. \quad (2.7)$$

При виразі витрати води в м³/с, час добігання в добі, а об'єм води в м³ формула має вигляд

$$W_t = 86400 \bar{Q}_t \cdot \tau. \quad (2.8)$$

2.2.2 Морфометричний метод

Об'єм води на ділянці річки може бути встановлений по формулі

$$W = \varpi \cdot L, \quad (2.9)$$

де $\bar{\omega}$ – середня площа живого перерізу потоку на ділянці, яка визначається по площі живого перерізу у верхньому та нижньому створах $\bar{\omega} = \frac{\omega_H + \omega_B}{2} L$,

де L - довжина ділянки.

Площі водного перерізу визначаються для конкретних рівнів води по залежностям $\omega = f(H)$.

Наявність великомасштабних карт річок при різних рівнях води дозволяє визначити об'єм води по площі водної поверхні. Позначимо площі водної поверхні на ділянці, обмеженої двома створами, через Ω та встановим залежність цієї площі від рівнів води у верхньому та нижньому створах (H_B, H_H) у вигляді

$$\Omega = f\left(\frac{H_B + H_H}{2}\right). \quad (2.10)$$

Об'єм води на ділянці над початковим рівнем H_0 дорівнює

$$W_n = \int_{H_0}^H \Omega dH. \quad (2.11)$$

На кожній ділянці будується крива об'єму $W = f(H)$, що дає можливість розрахувати сумарний об'єм води по всій русловій мережі басейну для будь-якого моменту часу. Використання цього способу викликає складнощі відсутністю подібних морфометричних даних.

2.2.3 Водно-балансовий метод

Для визначення об'єму води в русловій мережі використовують рівняння водного балансу без приточної або приточної ділянки річки:

$$\Delta W = (Q_B \cdot \Delta t + Q_{np} \cdot \Delta t) - Q_H \cdot \Delta t, \quad (2.12)$$

де ΔW – приріст об'єму води на ділянці за час Δt ;

Q_B, Q_H, Q_{np} – відповідно витрати води у верхньому, нижньому створах і на притоках.

Підсумовуючи зміну об'ємів води за деякий проміжок часу, отримаємо об'єм руслових запасів (W) над деяким початковим об'ємом. По величинам об'єму і середньої витрати води на ділянці будують криві об'єму $W = f(Q_{cp})$ за ряд характерних років, поєднуючи їх на одному графіку та проводячи огинаючи по найбільш похилим ділянках кривої до осі витрат.

Ця крива відповідає вимогам відсутності притоку води від опадів. Розглянуті способи дають можливість визначити об'єм води лише в тій русловій мережі басейну, яка освітлена пунктами гідрометричних спостережень. Об'єм води в дрібній русловій мережі не враховується.

2.2.4 Визначення повних руслових запасів води

Для визначення повних руслових запасів води Р. А. Нежиховський [9] виділяє велику, окремо середню та дрібну руслову мережу басейну. Об'єм води в великій русловій мережі підраховується на ділянках річки, обмежених створами, рівновіддаленими від витоків на певне значення. В якості верхніх граничних створів в басейнах з площею $15000 < F < 100000$ км² приймаються створи, віддалені від витоків на 100 км. У великих басейнах створи віддалені від витоків на 150 км, а в малих на 50 км. Нижче цих створів руслова мережа басейну розбивається на безприточні та приточні ділянки.

Об'єм води на ділянці визначається по залежності

$$W = \tau \cdot Q_{cp} = \frac{L}{v \cdot 10^3} \cdot Q_{cp}, \quad (2.13)$$

де L – довжина ділянки в км,

v – середня в поперечному перерізі та по довжині ділянки швидкість течії в м/с;

τ – час добігання на ділянці ;

Q_{cp} – середня витрата води на ділянці .

Середня швидкість течії розраховується по формулі:

$$v = aQ_{cp}^{0,25} \cdot i^{0,38}, \quad (2.14)$$

де i – середній уклон водної поверхні на ділянці в межах, ‰ ;

Q_{cp} – середня витрата на ділянці, м³/с;

a - параметр, який залежить від відношення середньої ширини річки до середньої максимальної глибини на ділянці при даній витраті, величина її змінюється від 0,07 до 0,55.

На без приточній ділянці середня витрата води при наявності створів на кінцях ділянки визначається по виразу

$$Q_{cp} = \frac{Q_{cp} + Q_H}{2} \quad (2.15)$$

А при наявності одного створу в межах ділянки по формулі:

$$Q_{cp} = k \cdot Q \quad (2.16)$$

де k – відношення площі водозбору в середині ділянки до площі водозбору в створі спостережень.

Середня витрата води для приточної ділянки визначається як середньо зважена в залежності від типу бокової притоки – зосередженої або не зосередженої.

$$Q_{cp} = rQ_B + (1-r)Q_H \quad (2.17)$$

де коефіцієнти (r та 1) – r виражають вважений вплив витрат води у верхньому та нижньому створах

При відсутності пунктів гідрометричних спостережень на ділянках великої руслової мережі середня витрата води визначається наступними способами: лінійною інтерполяцією витрат (модулів) по довжині річки; по витраті на річці-аналога з урахуванням відношення площі водозборів; по середньому модулю витрат річок-аналогів.

Визначення об'єму води ($\text{м}^3 \cdot 10^6$) в середній та дрібній русловій мережі розраховується по виразу:

$$W = A \frac{M_{cp}}{V_{cp}}, \quad (2.18)$$

де A – коефіцієнт який визначається по формулі

$$A = \frac{1}{100} \left(\frac{n_0 f_0}{2} \right) + n_{10} f_{10} + \dots + \frac{n_{100} f_{100}}{2}, \quad (2.19)$$

n_0 – число вершин або загальна кількість русел в системі;

n_i – кількість створів рівно віддалених від витoku річок на 10, 20, 30, ..., 100 км;

f_i – середня з площ водозборів в кожному створі, рівно віддалених від витоків;

M_{cp} – середній арифметичний модуль витрат води ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) невеликих річок аналогів

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_N}{N} = \frac{1}{N} \left(\frac{Q_1}{F_1} + \frac{Q_2}{F_2} + \dots + \frac{Q_N}{F_N} \right). \quad (2.20)$$

Площі водозборів річок – аналогів залежать від відстані граничних створів ($l_{\text{гр}}$) до витоку.

Середня швидкість течії знаходиться за наступною формулою враховуючи, що на рівнинних річках гідрометричні створи розташовуються в місцях, де заплава відсутня, через це швидкості там трохи вище, ніж в цілому для басейну

$$V_{\text{ср}} = 0,75 a_{\text{ср}} Q_{\text{max}}^{0,25} \cdot i_{\text{ср.взв}}^{0,37}, \quad (2.21)$$

де a – гідравлічний параметр, визначається по таблиці в залежності від морфометричних характеристик річки;

$i_{\text{ср.взв}}$ – середньозважений уклін річки від витока до пункту спостережень $o'oo$;

Q_{max} – середня багаторічна максимальна витрата води в пункті спостережень $\text{м}^3/\text{с}$.

Швидкість течії приймається середній по даним декількох річок – аналогів, рівномірно розподілених по території басейну.

Метод Ю.В Горбунова виходить із передумови, що потік кожного порядку в залежності від його розміру (довжини) володіє єдиними морфометричним та гідрологічним характеристиками. Це дає можливість використовувати виміри на гідрометричних створах потоків одного порядку. На кожному такому створі встановлюється залежність між площею поперечного перерізу та рівнем води, тобто $\omega = f(H)$. Середнє значення площі поперечного перерізу потоків даного порядку обчислюється за вираженням:

$$\bar{\omega}_N = K \frac{1}{n} \sum_1^n \omega_N, \quad (2.22)$$

де n' - кількість гідрометричних створів потоків даного порядку;

K – коефіцієнт рівний 1.2, який відображає той факт, що площа живого перерізу в гідростворі трохи менше середньої площі перерізу потоку на ділянці;

$$W = \bar{\omega}_1 n_1 l_1 + \bar{\omega}_2 n_2 l_2 + \dots + \bar{\omega}_n n_n l_n, \quad (2.23)$$

де l_i – середня довжина потоку;

n_i – кількість потоків;

$\bar{\omega}_i$ – середня площа поперечного перерізу (даного порядку).

В основу угруповання потоків річкової мережі були положенні рекомендації Н. А. Ржаніцина. Між середньої довжини, кількістю та середньої площею поперечного перерізу потоків N та $N + a$ порядків встановлені наступні співвідношення:

$$l_N = \frac{l_{N+a}}{K_1} \quad (1.24)$$

Встановлені закономірності використовуються для розрахунку запасів води в річковій мережі.

Л. М. Марголіним та В.М. Смирновим запропонований наступний метод об'єму води в русловій мережі басейну. Цей метод передбачає вибір в басейні груп створів, розташованих приблизно на одній відстані від витоків. Річковий потік розбивається на не рівні відрізки, довжина яких визначається розташуванням стокових постів. Об'єднуються в одну групу створи, віддалені від витоків приблизно на 20 км, в другу групу на 50 км, тощо. Для кожного поста по залежності $v_{cp} = f(Q)$ визначається середня швидкість

потоків в створі та значення площі поперечного перерізу для групи постів, віддалених від витока на 20, 50 км, тощо. Об'єм води на ділянках обмеженій створами 20 та 50 км становить

$$W = \left(\frac{\bar{\omega}_{20} + \bar{\omega}_{50}}{2} \right) \cdot n \cdot l \cdot 10^3, \quad (2.25)$$

де l – відстань між створами;

n – кількість ділянок, обмежених постами, розташованими на відстані 20, 50 км;

$\bar{\omega}_{20}, \bar{\omega}_{50}$ – середнє значення площ поперечних перерізів для груп поста на кордоні ділянки.

Підсумовуючи значення об'ємів води на ділянках, отримаєм дані об'ємів води по всій русловій мережі.

Підраховані по трьом викладеним методам повні руслові запаси води для одного й того ж самого басейну відрізняються не значно, що дозволяє застосовувати будь-який метод розрахунку.

2.3 Прогноз елементів водного режиму річок у меженний період

2.3.1 Поняття про межень

На ріках переважно снігового живлення під меженним періодом прийнято розуміти літньо-осінній та зимовий періоди [10-12].

На рівнинних річках цей період починається закінченням спаду весняного паводку, а на гірських – с закінченням літнього паводку. Такий термін являється умовним і використовується виключно для того, щоб відрізнити цей період від періоду паводку.

Під терміном межень звичайно розуміють найбільш низькі літні або зимові витрати та рівні води в річках, коли живлення річок відбувається

майже виключно за рахунок підземних вод. Однак в літньо-осінній період багато річок в той чи іншій мірі отримують додаткове живлення за рахунок дощів, а в зимовий час за рахунок поверхневого стоку під час відлиг.

Прогнози елементів водного режиму річок в меженний період велике народно-господарське значення. Наприклад, прогнози рівня води, в том числі мінімальних його відміток, дуже важливі для водного транспорту, прогнози середньомісячних витрат води необхідні для гідроенергетики, щоб планувати виробку електроенергії.

2.3.2 Особливості режиму річок в меженний період

Одним з основних джерел живлення річок в меженний період являються підземні води. Роль дощового поверхневого стоку в режимі річок в літній та осінній періоди. Різна, як в різних кліматичних умовах, так і в різні роки. В північних сухих районах дощовий стік влітку та восени повністю відсутній і живлення річок здійснюється лише за рахунок підземних вод. Малі річки в цих районах. В областях з більш вологим кліматом навпаки, дощові паводки на річках – явище часте і частка поверхневого стоку в живленні річок в літній період тут значна. Ще більше збільшується доля поверхневого стоку восени.

В осінній період на великій кількості річок характеризується значним збільшенням витрат води, що пов'язано з проходженням ряду дощових паводків. Дуже часто дощові паводки припадають на самий кінець осінні.

В зимовий період після спаду осінніх дощових паводків більшість річок живиться виключно за рахунок підземних вод. Однак в тих районах, де часто спостерігаються відлиги має місце і поверхневий стік. Іноді зимові паводки бувають настільки великими, що викликає навіть тимчасове розкриття річок.

Отже, водність більшості річкових річок в літньо-осінній період визначається двома факторами: режимом підземного живлення і

поверхневим стоком дощових вод. Зимовий режим цих річок також визначається підземним живленням, але також в багатьох випадках, залежить від осіннього поверхневого стоку, та від стоку талих вод під час відлиг. Аналогічна ситуація спостерігається і на гірських річках, тільки меженний період настає пізніше. Звідси випливає, що для прогнозу основних елементів водного режиму річок в меженний період необхідно перед усім знати закономірності зміни підземного живлення та їх поверхневого стоку і на цій основі знайти численність виразу взаємозв'язку між цими факторами та режимом ріки, з урахуванням конкретних умов та особливостей її басейну.

Режим підземного живлення характеризується значно меншою мінливістю в часі ніж поверхневий стік. Закономірне його змінення дозволяє при відсутності поверхневого стоку з відносно великою завчасністю оцінити водність річки, а також найменшу витрату та рівень води в ній на основі лише гідрометричних даних.

Поряд з основними факторами, які визначають водність річок в меженний період значну роль відіграють також особливості самого річного басейну - його розміри, заболоченість та озерність.

Чим більше розміри басейну, тим плавніше проходять всі зміни в режимі річки. Велика заболоченість басейну також впливає на зменшення різких змін в режимі рівнів та витрат. Але особливо великий вплив на регулювання стоку річок в меженний період впливають озера.

2.3.3 Підземне живлення річок та його зміна в меженний період

Джерелом підземного живлення річок являються запаси підземних вод. Ці запаси діляться на дві категорії: глибокі – напірні підземні води та ґрунтові – на першому водоупорі. Відповідно розрізняють глибоководне підземне живлення та ґрунтове. Запаси глибоких підземних вод визначаються за геологічною будовою басейну та його гідрологічними особливостями.

Запаси цих вод не підтвердженні великим коливанням в часі. Тому глибоководне живлення річок є найбільш стійким.

Грунтові води знаходяться в зоні активного водообміну. Тому запаси їх в басейні змінюються в часі. Поповнення запасів ґрунтових вод відбувається головним чином весною за рахунок інфільтрації талих та дощових вод. В районах з великою кількістю опадів та не глибоким заляганням ґрунтових вод їх поповнення відбувається також восени.

Найбільшої величини ґрунтового живлення досягає по закінченню спаду водопілля. В цей період значну роль відіграють також алювіальні води річної долини.

По мірі витрачання сезонних запасів ґрунтових вод надалі відбувається поступове пониження їх притоку. Витрати води в річці зменшуються плином часу, досягають своєї відносно стійкої мінімальної величини, обумовленої притоком глибоких підземних вод і основним глибоким живленням.

Величина ґрунтового живлення в кожному конкретному басейні річки залежить від запасів ґрунтових вод, які схильні не лише до закономірного сезонного зменшення, але й до коливань із року в рік. Відповідно до цього в роки з високим рівнем ґрунтових вод річки отримують підвищене ґрундове живлення, меженні витрати в них бувають більше, ніж в роки з низьким рівнем ґрунтових вод.

Сумісний розгляд тривалий ряд років режиму ґрунтових вод та меженних витрат води (у тих районах, де поверхневий стік в літньо-зимовий період не грає суттєвої ролі) показує, що вплив дуже низького або високого рівня ґрунтових вод на меженний стік проявляється не лише в даному році, але й не рідко позначається й на межах наступного року. Закономірне зменшення підземного живлення на протязі меженного періоду обумовлює наявність досить тісної залежності між витратою. Води в річці у даний момент часу та наступною його зміною. Цю закономірність використовують для прогнозу меженного стоку або середньо місячних витрат і рівнів води у річках.

2.3.4 Методи прогнозу по даним про об'єм води в русловій системі басейну

По даним по об'ємам воді в русловій мережі басейна частіш за все прогнозується середня витрата за певний інтервал часу по залежності виду [10-13]

$$\bar{Q}_{t+\tau} = f(W_t). \quad (2.26)$$

Завчасність прогнозу середньої витрати відповідає часу руслового добігання з частини річного басейну, обмеженої ізохронною τ . Метод відповідних об'ємів дозволяє прогнозувати середні декадні і навіть середньомісячні витрати на середніх та не великих річках, час руслового добігання на яких не менше 10 діб. Метод застосовується в основному в літньо-осінній та зимовий сезони в умовах незначного притоку воді в період дії прогнозу. В період весняного водопілля і великих дощових паводків значна приточність протягом періоду, на який дається прогноз, не дозволяє встановити залежність виду (2.26). Опосередковано врахувати приточність можливо шляхом побудови залежності (2.26) окремо для періоду підйому та спаду повені.

Для прогнозу максимуму повені рекомендується використовувати залежність виду

$$Q_{\max_{t+\tau}} = f(W_t). \quad (2.27)$$

Дата випуску прогнозу (дата визначення об'єму води в русловій мережі) приурочена до моменту наступ максимуму повені на одній із мілких річок, де пік повені із року в рік наступає в більш рані строки, а хвиля повені одномодальна. Можливо також за дату випуску прогнозу прийняти середню дату піку повені декілька невеликих річок, на яких максимум настає завжди

раніше, чим на великій річці. Завчасність прогнозу дорівнює середній тривалості здвигу між максимумом малої та великої річки. З метою передбачення часу наступу піку повені можлива побудова зв'язку виду

$$\Delta\tau = f(W_t), \quad (2.28)$$

де $\Delta\tau$ – різниця між датами піку повені в створі великій річці і на дрібній річці.

2.3.5 Прогноз середньо місячних та мінімальних витрат води по даним попередньої водоносності річки

В основу цього найпростішого прийому прогнозу лежить відмічена вище залежність наступної зміни витрат води в річці від її водоносності в попередній період [10-11, 13].

Практично розробка методики таких прогнозів полягає в будові кореляційних залежностей типу

$$\bar{Q}_{наст} = f(\bar{Q}_{попер}), \quad (2.29)$$

або

$$\bar{H}_{наст} = f(\bar{H}_{попер}), \quad (2.30)$$

де $\bar{Q}_{попер}$ – середня витрата води у даному створі річки за деякий попередній моменту випуску прогнозу період часу; $\bar{Q}_{наст}$ – середня витрата води у тому ж створі за визначений наступний період. $\bar{H}_{наст}$ та $\bar{H}_{попер}$ – відповідні середні рівні води.

Для прогнозу середньо місячних витрат води або рівнів води в якості попереднього періоду може бути прийнятий місяць, декада, чи п'ятиденка.

Відповідно до цього за вихідну величину підземного живлення приймається середньо місячний, середньо декадний чи середня за п'ятиденку витрата або рівень води.

Закономірне зменшення підземного живлення та його стійкість дозволяють застосовувати аналогічний прийом до прогнозів більшої завчасності, наприклад на календарний квартал або на весь зимовий період. В цих випадках будуються емпіричні залежності середньої витрати або стоку за квартал чи зиму від середньої витрати води за попередній цьому кварталу період.

На цій же основі будується методика прогнозу мінімальних рівнів у меженний період.

Мінімальні рівні в різні роки наступають в різний час. В маловодні роки рано в багатоводні пізніше.

Для побудови емпіричного графіку дані о мінімальних рівнях за попередні роки обираються незалежно від часу їх наступу. Щоб мати на графіці по можливості менше випадкових відхилень, береться мінімум не за добу, а мінімальний середній декадний або середньо місячний рівень.

Після отримання розрахункового графіку, важлива встановити в якій залежності знаходиться час наступу мінімальних рівнів від вихідної величини, яка характеризує підземне живлення в початковий період межені.

Розглянутий вище прийом прогнозу середніх та мінімальних витрат та рівнів води тільки за даними о попередній водності може бути застосовано та дає задовільні результати для річок, основним живленням яких в меженний період є підземне живлення. Для річок в режимі яких більшу роль грає поверхневий стік, такий найпростіший прийом прогнозу часто не дає задовільних результатів. Для цього потрібен облік поверхневого стоку або кількості опадів за період завчасності прогнозу.

2.3.6 Прогнозу середньо місячних витрат та мінімальних рівнів води по даним о попередній водоносності річки та опадам

Прогноз середньо місячних рівнів та витрат води з урахуванням поверхневого стоку являється значно більш важким завданням. Головне затруднення її полягає не лише у важкості розрахунку дощового стоку, але й в необхідності прогнозу опадів великій завчасності. Навіть при наявності задовільного способу розрахунку дощового стоку точність гідрологічного прогнозу буде визначатися точністю прогнозу опадів [10-13].

Відсутність надійного способу розрахунку дощового стоку обумовлено недоліком вихідних даних та неможливістю обліку великої кількості факторів, від яких він залежить. У зв'язку з цим задача прогнозу меженного стоку річок, які мають значне дощове живлення, може поки що вирішуватися лише наближеною

Практичне вирішення цієї задачі найчастіше приводиться до виявлення для кожного конкретного басейну кореляційної залежності середньо місячних витрат води від попередньої водоносності річки та кількості опадів за деякий період часу, який визначається розмірами басейну

$$\bar{Q}_{\text{наст}} = f(\bar{Q}_{\text{попер}} \bar{X}). \quad (2.31)$$

Побудова таких залежностей для кожного окремого басейну дозволяє автоматично враховувати постійно фізико-географічні його особливості – розміри, рельєф, залісеність тощо. Що ж стосується змінних гідрометеорологічних факторів (водопроникність ґрунту, інтенсивність опадів, розподілу їх по площі басейну), то врахувати їх всі майже немає можливості ні побудовою емпіричних залежностей, через відсутність необхідних вихідних даних, ні, тим паче при випуску прогнозу відомій по причині обмеженості прогнозу погоди.

За характеристику попередньої водоносності річки приймаються середні витрати води за попередній місяць, або попередню декаду. Для річок що мають значне дощове живлення, ці величини характеризують не лише підземне живлення, а ще й в деякій мірі запас поверхневих вод в русловій мережі. Обидва фактори визначають деяку мінімальну витрату води, яка би була у річці при відсутності додаткового поверхневого стоку.

Різна кількість атмосферних опадів за період завчасності прогнозу дає, можливість, при інших рівних умовах, різний поверхневий стік. Відповідно з цим і витрати будуть різними. Отже для більш точного визначення цих витрат на найближчий місяць необхідно враховувати не лише попередню водоносність річки, але й кількість опадів, яка випадає надалі у басейні. Тривалість стікання поверхневих вод в різних басейнах розрізняється. В невеликих басейнах ця тривалість невелика и обчислюється декількома добами. В більш крупних басейнах стік поверхневих вод може продовжуватися декаду та більше, а на таких великих ріках як Волга, Дніпро тощо, більше місяця.

Для малих рік цей період має дорівнювати практично періоду завчасності прогнозу. На великих ріках де час пробігу води складає більше 30 діб, вода від опадів, які випали в кінці місяця, на який дається прогноз, із значної площі ще не встигне пройти через замикаючий створ, то відповідно ці опади не повинні враховуватися при прогнозі. Навпаки вода від опадів, які випали у другій половини попереднього місяця, буде проходити через замикаючий створ напротязі наступного місяця. Тому для великих річок необхідно враховувати опади з попереднього періоду.

Виділити точно стокоутворюючий період при розборці методики прогнозу стоку на календарний місяць дуже кропітка робота. Тому дуже важливо встановити його хоча б у першому приближенні. У практиці користуються наступним правилом. Для порівняно не великих річок з найбільшим часом добігання води в басейні до 15 діб. Опади беруться за весь наступний місяць. Для великих рік з добіганням води порядком 30 діб

басейн грубо розбивається на три частини для найдальшої його частини беруться опади за попередній місяць, для середньої частини беруть опади за останні дві декади попереднього місяця та першу декаду наступного, а для нижньої частини басейну – опади за останню декаду попереднього та дві декади наступного місяця.

Обчислення шару опадів за стокоутворюючий період виконується при цьому по формулі

$$\bar{X} = \varphi_1 \bar{x}_1 + \varphi_2 \bar{x}_2 + \varphi_3 \bar{x}_3, \quad (2.32)$$

де φ_1, φ_2 та φ_3 - частки площ басейну у порядку збільшення часу добігання води; $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ – середній шар опадів для відповідної площі, підсумований по даним спостережень за вказані вище періоди часу.

Розрахована в такий спосіб величина i є другою змінною при побудові емпіричної залежності.

2.4 Прогнозування низького стоку у програмах ВМО

Середньострокові та короткострокові прогнози меженного стоку базуються на характеристиках виснаження стоку в басейні. У деяких ситуаціях треба враховувати потрібно облік особливих випадків, які можуть спотворити криву виснаження стоку в порівнянні з середньою кривою. Наприклад: такий антропогенний вплив, як забір води на зрошення; локальні відмінності зволоженості водозбору, можуть привести до формування базисного стоку з окремих частин водозборів; сезонні коливання, обумовлені розвитком водної рослинності; вплив приток.

Довгострокові прогнози меженного стоку майже завжди базуються на методах кореляційного або регресійного аналізу з урахуванням ґрунтової вологи і кліматичних характеристик, а саме дощових опадів і температури

повітря, як визначальних змінних. Зазвичай в опадах за попередній період виділяються окремі сезонні складові, які входять в рівняння зв'язку з відносними ваговими коефіцієнтами. Також виділення сезонних опадів допомагає визначити час запізнювання в системі опади – стоку [14,15].

В басейнах тих річок де головним компонентом загального стоку є підземні води, витрата води в джерелах слугує визначальною зміною, яка характеризує запаси підземних вод. Приклади прогнозування низького стоку річок такого типу представлені в Бюро досліджень в галузі геології і мінеральних ресурсів в *Situation hydrologique et prevision de bases eaux* [16] (Гідрологічна ситуація і прогноз низького стоку). Меженний стік річок, витрати води яких формуються за рахунок сніготанення за попередній період, прогнозуються з використанням характеристик снігового покриву, а саме запасом води в снігу.

В загалому для довгострокового прогнозування меженного стоку використовують прийоми математичної статистики. Для підготовки прогнозу можна використовуютьпрогностичні рівняння типу

$$Q_{t+1} = Q_{t+1} | Q_t + \kappa P, \quad (2.33)$$

де Q_{t+1} — витрата води, що прогнозується;

$Q_{t+j} | Q_t$ — витрата води при умові, що немає дощу на спаду гідрографа в період між t і $t + 1$;

P - дощові опади, що дають добавку до стоку в момент часу $t + 1$;

κ - перехідний коефіцієнт.

Ще одним підходом є використання довгострокових рядів стоку або водно-балансових моделей, заснованих на історичних кліматологічних даних для забезпечення імовірнісних прогнозів низького стоку. Також для прогнозування меженного стоку потрібні оцінки фільтрації води в берега і випаровування з водної поверхні. Це має істотний вплив при прогнозуванні

впливу попусків води з водосховища, а також впливу інших водогосподарських заходів.

Опис методів прогнозів меженного стоку річок виконано за літературним джерелом «Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. – Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168)» [17].

2.5 Загальні принципи оцінки прогнозу меженного стоку річок

Згідно «Наставленію по службе прогнозів» [18], «Настанові з оперативної гідрології» [19] та Керівного документу «Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші» [20], справджуваність гідрологічних прогнозів встановлюється співставленням похибок прогнозів з допустимою похибкою. Прогноз вважається надійним, якщо його похибка менша або дорівнює допустимій.

За похибку прогнозу δ приймається різниця між фактичним значенням величини Q_{t+10} і значенням, вказаним в прогнозі Q'_{t+10}

$$\delta = \bar{Q}_{t+10} - \bar{Q}'_{t+10} \quad (2.34)$$

За допустиму похибку прогнозу середніх, мінімальних і максимальних рівнів (витрат) води на календарні періоди приймається найменша з імовірних відхилень $+0,674\sigma$ і $-0,674\sigma\Delta$,

де σ - середнє квадратичне відхилення від норми; $\sigma\Delta$ - середня квадратична зміна рівнів (витрат) води за період завчасності прогнозів, що обчислюються за формулами:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (2.35)$$

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.36)$$

де y_i — дане значення явища в багаторічному ряді спостережень; y - число членів багаторічного ряду; Δ_i - різниця між початковим і кінцевим значеннями явища за період завчасності прогнозу; Δ - норма цієї різниці, n — число членів ряду.

Якщо з величин σ або σ_{Δ} менше, може бути вирішено без розрахунку, виходячи з характеру зв'язку початкової і прогнозованої витрати (рівня):

- а) якщо кутовий коефіцієнт лінії зв'язку між вказаними величинами менше 0,5, то $\sigma < \sigma_{\Delta}$;
- б) якщо коефіцієнт більше 0,5, то $\sigma > \sigma_{\Delta}$;
- в) за відсутності зв'язку між початковою і прогнозованою витратою (рівнем) $\sigma \approx \sigma_{\Delta}$

У нашому випадку кутовий коефіцієнт лінії зв'язку між початковою і прогнозованою витратою менше 0,5, отже $\sigma < \sigma_{\Delta}$. Отже, допустима похибка прогнозу визначається по формулі:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674\sigma, \quad (2.37)$$

Методика може використовуватись на практиці, якщо вона буде достатньо точною. Мірою її точності є середньоквадратична похибка S . При великій кількості членів ряду:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n}}, \quad (2.38)$$

За критерій застосовності і якості методики береться відношення S/σ ,

тобто відношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів до квадратичного відхилення величини, що передбачається.

Також оцінюється забезпеченість помилок прогнозу $P, \%$. Вона обчислюється за формулою

$$P = \frac{m - n}{n} 100\%, \quad (2.39)$$

де n - число членів ряду.

3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОРОТКОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ЛІТНЬО-ОСІННЬОГО І ЗИМОВОГО МЕЖЕННОГО СТОКУ РІЧОК СУББАСЕЙНУ НИЖНЬОГО ДНІПРА

3.1 Збір та аналіз вихідної інформації

Для розробки методики прогнозу середньодекадних витрат води меженного періоду літньо-осіннього та зимового стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра були прийняті дані про щоденні та середньодекадні витрати води за період жовтень – січень з 1980 р. по 2015 р. для 7 постів: р.Орель – с.Царичанка (з площею водозбору -9100 км²); р. Самара – с.Кочережки (з площею 19800 км²); р.Вовча – с. Васильківка, Мокрі Яли – х.Грушівський (площа басейну становить 11600); р.Гайчур – с.Андріївка (площа дорівнює 2100 км²); р. Інгулець – с.Олександро-Степанівка (площа водозбору 4200 км²); Інгулець – м.Кривий Ріг (площа водозбору складає 8600 км²).

3.2 Розробка методики прогнозування меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра

3.2.1 Теоретичні положення методики прогнозу

В основу прогнозу витрат води покладено рішення рівняння водного балансу. Прогнозна величина стоку за якийсь відрізок часу може бути представлена у вигляді [10,11]

$$\sum_n^{n+t} Q \Delta t = W_C + W_B - P_T + W + \sum_n^{n+t} Q_n \Delta t + \sum_n^{n+t} Q_D \Delta t, \quad (3.1)$$

де $\sum_n^{n+t} Q \Delta t$ - стік за час t ;

n - дата випуску прогнозу;

W_C, W_B, W — відповідно запаси води в сніговому покриві, на поверхні басейну і в русловій мережі в момент часу n

$\sum_n^{n+t} Q_n \Delta t$ - стік підземних вод за час Δt від дати n до дати $n+t$;

$\sum_n^{n+t} Q_D \Delta t$ - стік, який викликаний опадами за час Δt від n до дати $n+t$;

P_T - втрати талого стоку, якщо сніг в басейні повністю тане.

Практично розробка методики прогнозу полягає в будові кореляційних залежностей типу [10-13]

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t), \quad (3.2)$$

де $\bar{Q}_{t+\Delta t}$ – середня витрата води за період часу Δt , м³/с;

Q_t – витрата води у замикаючому створі річки на дату випуску прогнозу t , м³/с;

Період часу Δt прийнятий за одну декаду.

Наявність даної залежності для конкретної річки встановлюється шляхом побудови такої залежності за даними багаторічних спостережень та оцінки точності отриманої прогнозної залежності. Такі залежності, встановлюються для окремих місяців літньо-осіннього і зимового періодів. Точність прогнозів при цьому буде тим вища, чим менший вплив дощів на стік меженного періоду в даному районі дослідження.

За дату t , на яку визначаються величина Q_t , тобто дату складання прогнозу декадного стоку, приймається 10, 20-те, чи 30(31)-те число кожного місяця.

3.2.2 Побудова та аналіз прогнозних залежностей меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра

По вихідним даним про щоденні та середньодекадні витрати води за період червень - січень по 7 опорним постам суббасейну Нижнього Дніпра були побудовані локальні, а потім узагальнені прогностичні залежності (для модулів стоку) – $\bar{q}_{t+10} = f(q_t)$ окремо для кожного місяця за літньо-осінній та зимовий періоди (рис. 3.1 – 3.8). Як видно з рисунків (3.1 – 3.6), що для місяців з червня по листопад розкид точок відносно осередненої лінії досить невеликий, про що свідчать межі допустимих похибок для кожного місяця. Для грудня (рис.3.7) і січня (рис.3.8) тіснота зв'язків зменшується, що пов'язане з наявністю зимових відлиг в цей період і порушенням режиму межені.

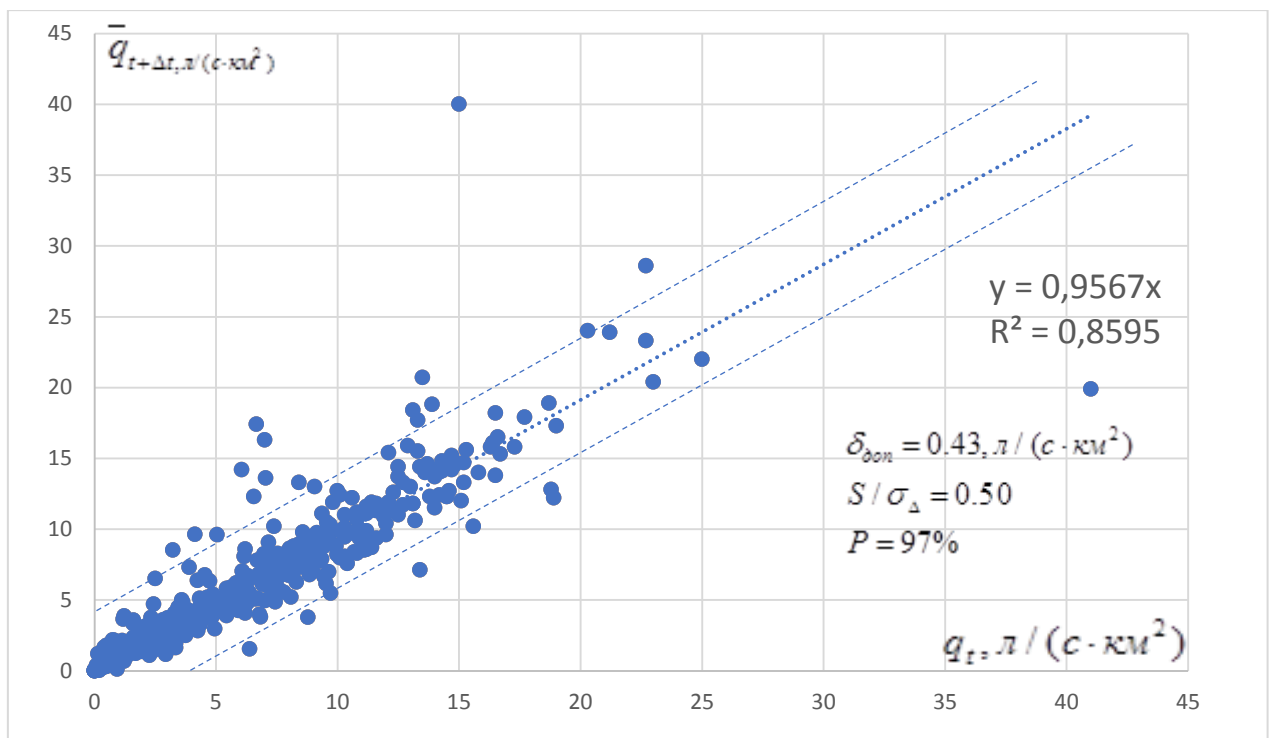


Рис. 3.1 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (червень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

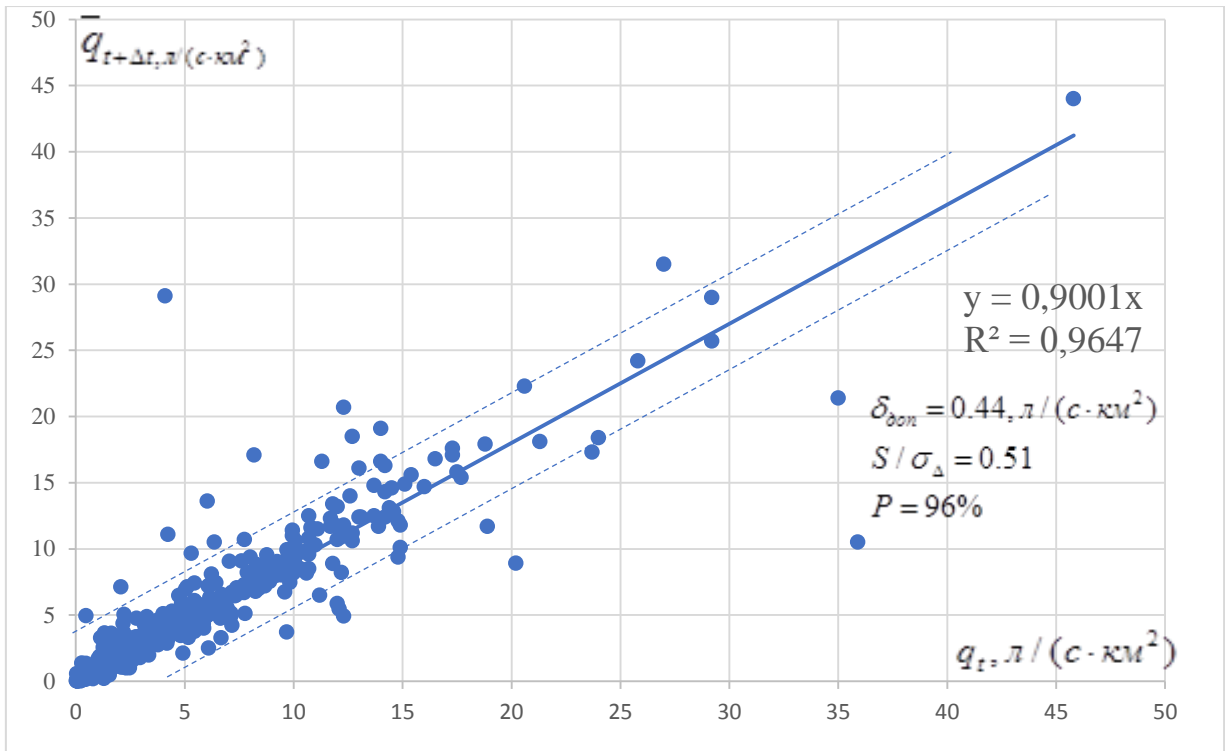


Рис. 3.2 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (липень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

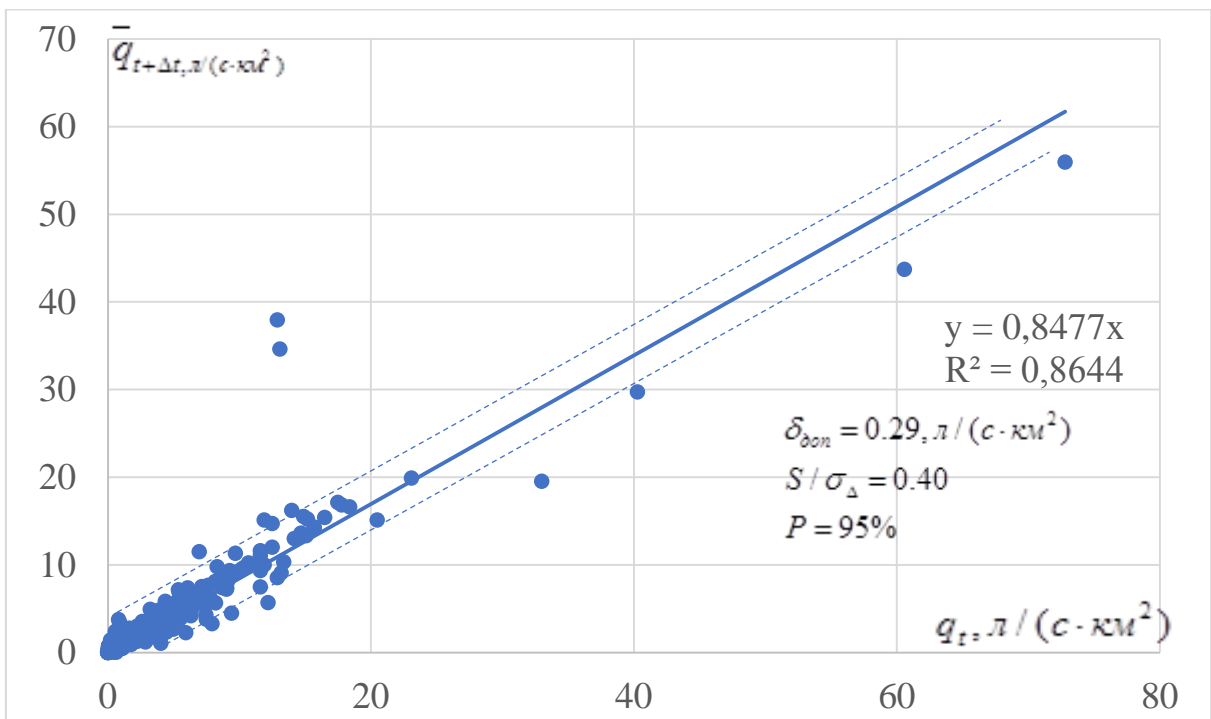


Рис. 3.3 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (серпень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

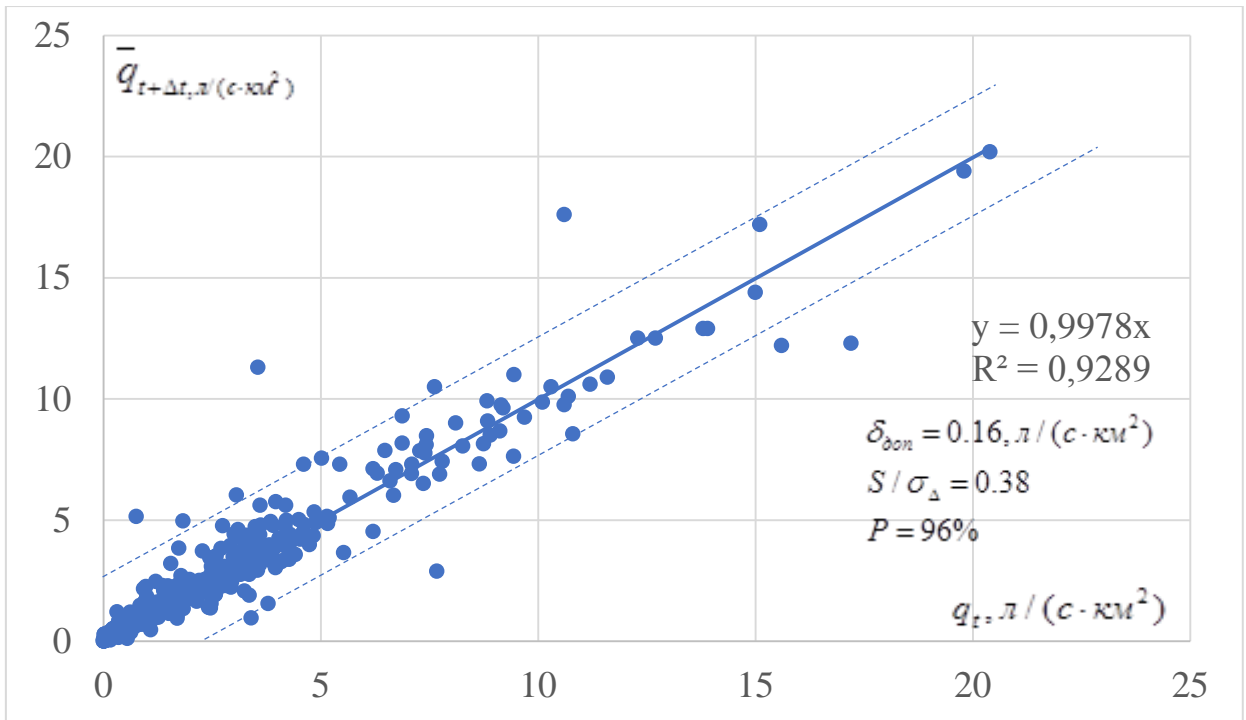


Рис.3.4 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (вересень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

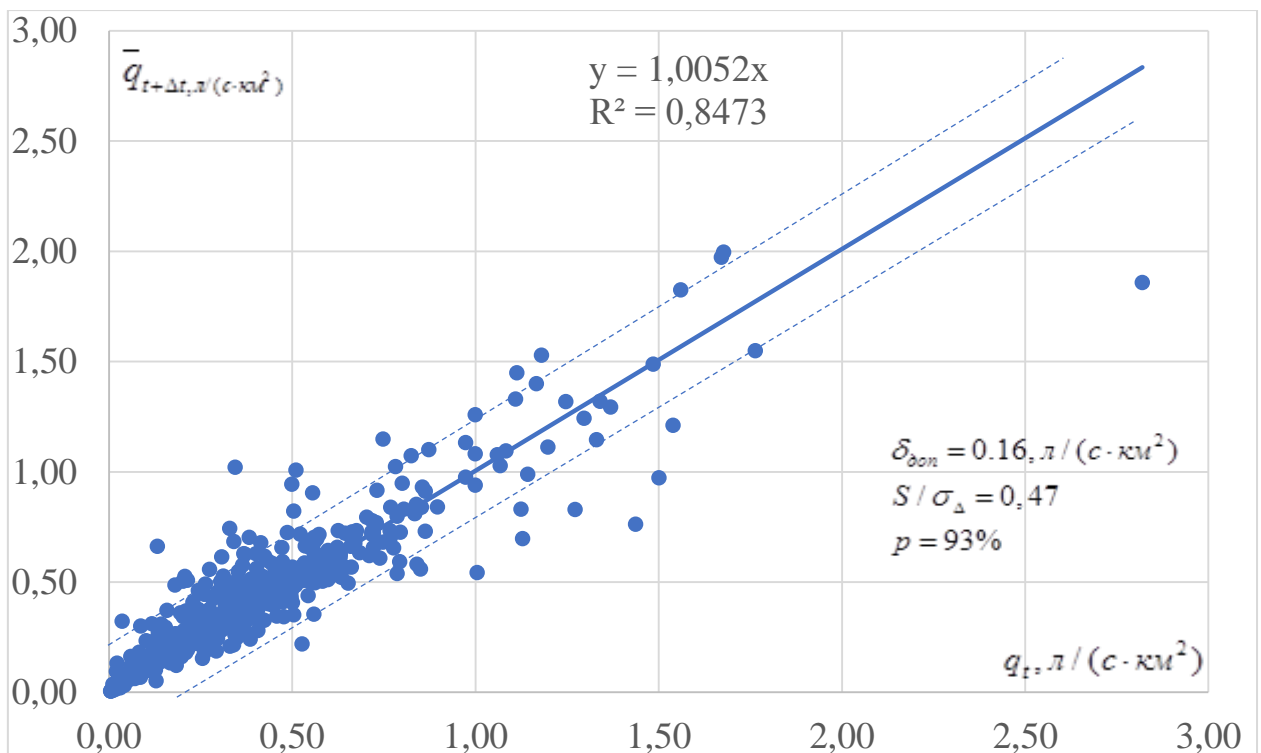


Рис. 3.5 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за жовтень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

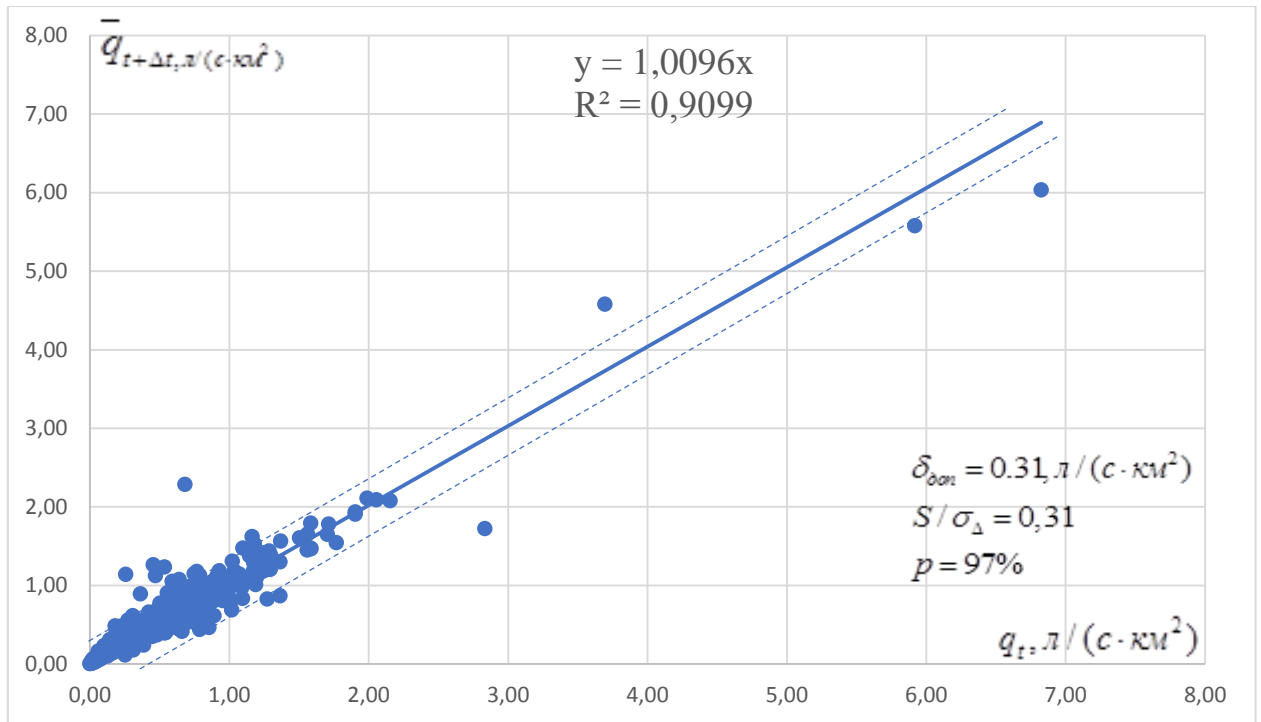


Рис. 3.6 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньо-декадних модулів стоку (за листопад) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

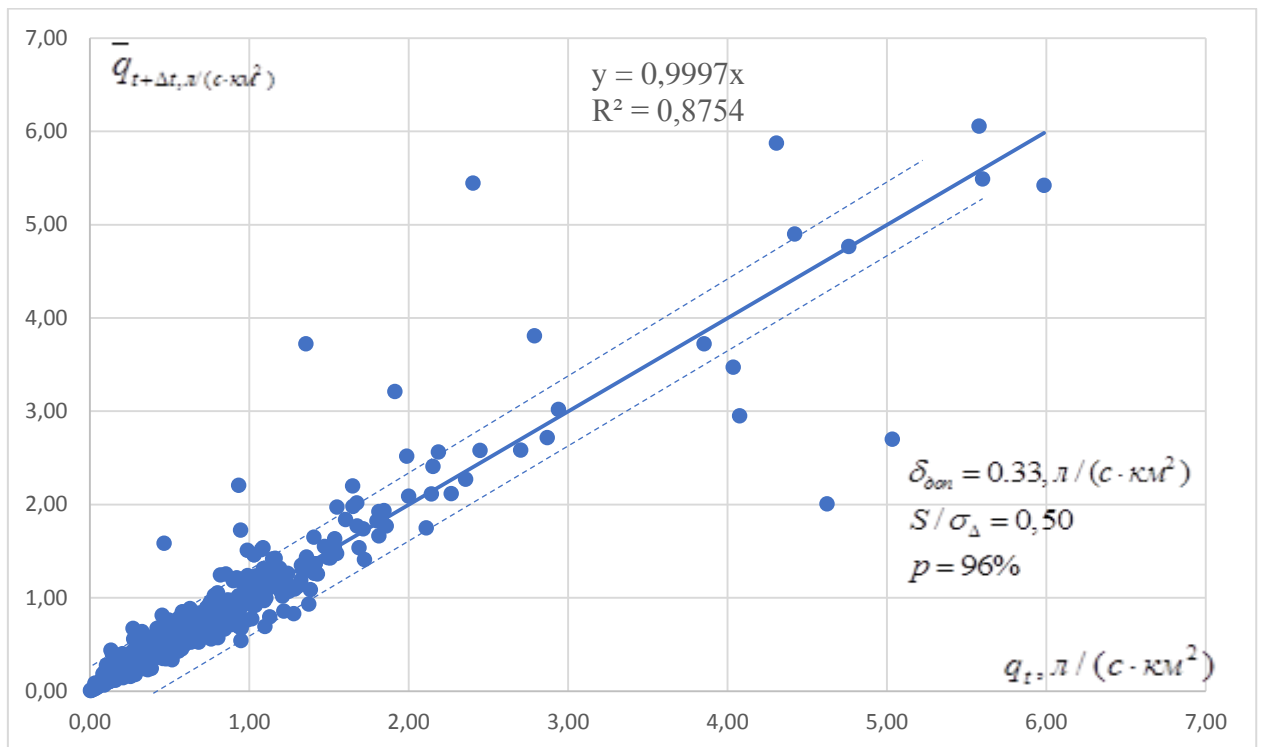


Рис. 3.7 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньо-декадних модулів стоку (за грудень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

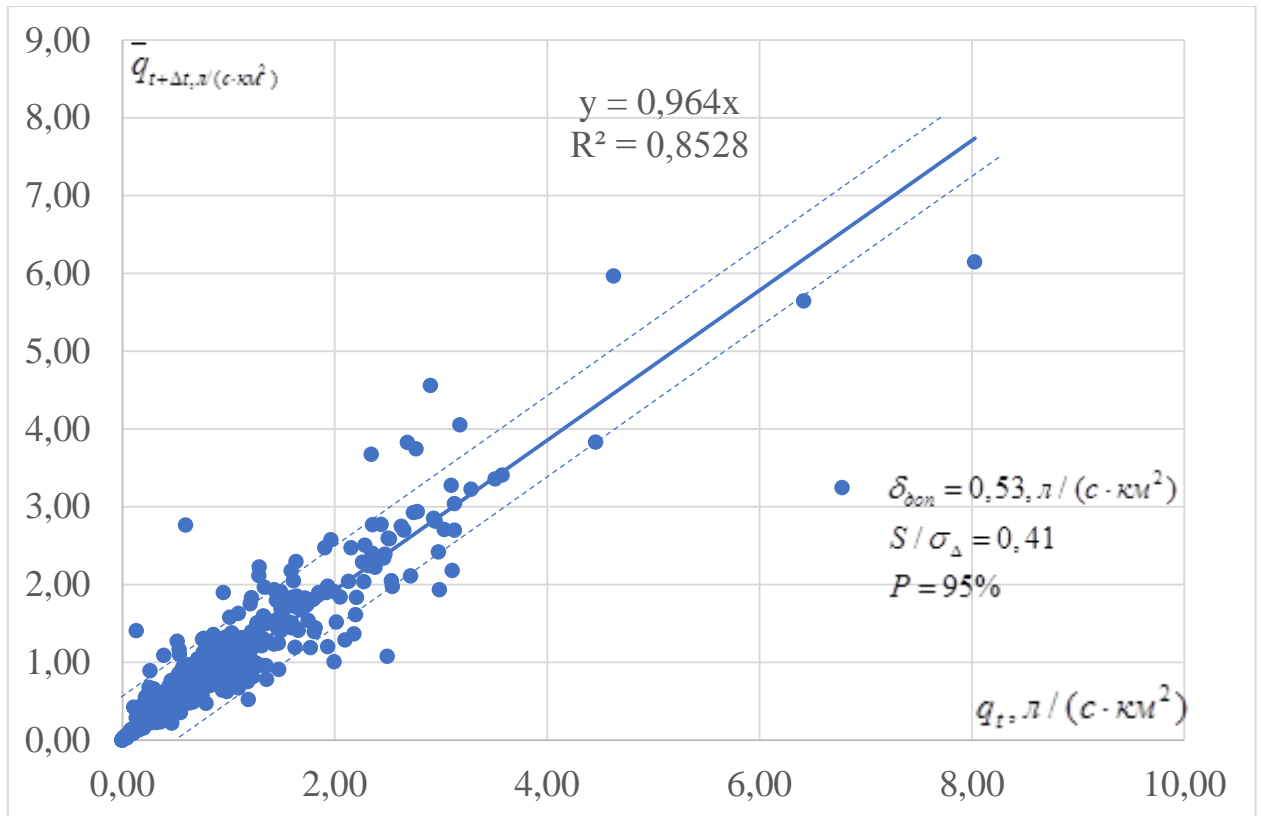


Рис. 3.8 – Регіональна залежність для короткострокових прогнозів середньо декадних модулів стоку (за січень) для річок Нижнього Дніпра по 7 опорним гідрологічним постам (1980-2015 рр.)

Параметри залежностей для короткострокових прогнозів меженого стоку річок розглядуваної території наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри залежностей для короткострокових прогнозів меженого стоку річок Нижнього Дніпра $\bar{q}_{t+10} = f(q_t)$

Період спостережень	Рівняння	r
Червень	$y = 0,9566x$	0,86
Липень	$y = 0,9001x$	0,96
Серпень	$y = 0,8477x$	0,86
Вересень	$y = 0,9978x$	0,92
Жовтень	$y = 1,0052x$	0,85
Листопад	$y = 1,0096x$	0,91
Грудень	$y = 0,9997x$	0,88
Січень	$y = 0,964x$	0,85

3.3 Оцінка методики короткострокових прогнозів меженного стоку річок.

Середнє квадратичне відхилення змін прогнозованої величини за період завчасності прогнозу від норми цієї змінної σ_{Δ} від норми в роботі обчислюється по формулі [16-17]

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (3.3)$$

де Δ_i – зміна прогнозованої величини за період завчасності прогнозу (різниця між кінцевим та початковим значенням);

$\bar{\Delta}$ - середнє значення цих змін;

n – число членів ряду.

Методика прогнозу може вважатися практично ефективною, якщо похибки прогнозу не перевищують допустиму похибку ($\delta_{дон.}$).

Виходячи з припущення про те, що похибка будь-якого прогнозу випадкова, а розподіли похибок підпорядковуються нормальному закону, за допустиму похибку приймається ймовірне відхилення значень прогнозованого елементу (наприклад, шару стоку) від середнього у вигляді

$$\delta_{дон.} = \pm 0,674 \sigma_{\Delta}. \quad (3.4)$$

Мірою точності методики прогнозу є середня квадратична похибка перевірених прогнозів (S), яка при числі членів ряду не менше 25 обчислюється як

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{n}}. \quad (3.5)$$

Тут Q_i і Q_i' - спостережене і передбачене значення гідрологічного елементу, відповідно.

За критерій якості методики прогнозів приймається [6] відношення середньої квадратичної похибки S до середнього квадратичного відхилення σ_{Δ} . Методика прогнозу є прийнятною для практики, якщо забезпеченість припустимої похибки перевірочних прогнозів не менше, ніж на 10% перевищує забезпеченість ймовірного відхилення прогнозованої величини від його норми. Результати перевірених прогнозів представлені у зведеній табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Оцінка регіональної методики прогнозу середньо-декадних витрат води за осінній та зимовий періоди річок суббасейну Нижньому Дніпра (1980-2015 рр.)

Місяць	σ_{Δ} , л/(с·км ²)	$\delta_{доп}$, л/(с·км ²)	$\delta_{доп}$, м ³ /с	S , л/(с·км ²)	S/σ_{Δ}	$P\%$
Червень	0,63	0,43	4,42	0,32	0,50	97
Липень	0,65	0,44	4,03	0,33	0,51	96
Серпень	0,43	0,29	3,41	0,17	0,40	95
Вересень	0,21	0,16	2,55	0,08	0,38	96
Жовтень	0,23	0,16	0,48	0,11	0,47	93
Листопад	0,46	0,31	2,19	0,14	0,31	97
Грудень	0,49	0,33	2,6	0,25	0,50	96
Січень	0,69	0,53	3,54	0,29	0,41	95

Отже методика прогнозу середньодекадних витрат води за літньо-осінній та зимовий періоди у суббасейні Нижнього Дніпра оцінюється як добра, так як забезпеченість допустимої похибки P складає більше 82% (від 93% до 97%), а критерій якості та ефективності методики відношення S/σ не перевищує 0,5 (0,31 – 0,51) [16,17].

Основні результати розробленої регіональної методики середньодекадних витрат води за літньо-осінній та зимовий періоди у суббасейні Нижнього Дніпра представлені в роботах автора [18,19].

3.4 Схема випуску прогнозу меженного стоку річок

Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат води по місяцях літньо-осінньої та зимньої межені, (на прикладі р. Самара –с. Кочережки та Орель Царичанка) відбувається за такою схемою:

1. з автоматизованої системи Арм-гідро виписуються витрати води Q_t , $\text{м}^3/\text{с}$ на дату випуску прогнозу;
2. витрати води Q_t , $\text{м}^3/\text{с}$ на дату випуску прогнозу перераховуються у модулі стоку q_t , $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ за формулою $q_t = Q_t / F * 1000$, $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$,
3. по регіональних прогностичних рівняннях для кожного місяця розглядуваного періоду (табл. 3.1) за даними про модулі стоку q_t , $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ (на день прогнозу) прогнозуються середньо-декадні модулі стоку \hat{q}_{t+10} , $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, які перераховуються в \hat{Q}_{t+10} , $\text{м}^3/\text{с}$;
4. після проходження періоду прогнозу за даним щоденних витрат води (взяті з автоматизованої системи АРМ-гідро) розраховуються середньо-декадні витрати води \bar{Q}_{t+10} , $\text{м}^3/\text{с}$;
5. розраховується похибка прогнозу δ за формулою $\delta = \bar{Q}_{t+10} - \hat{Q}_{t+10}$, $\text{м}^3/\text{с}$;
6. оцінюється прогноз співвідношенням за $\delta / \delta_{\text{доп}}$.

Результати перевірних прогнозів середньо-декадних витрат води р.Самара –с. Кочережки та Орель Царичанка в червень – січень 2019-2020 року (незалежна вибірка) представлені в табл. 3.3 – 3.18.

Таблиця 3.3 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за червень 2019 р

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.05	8,5	0,42	1-10.06	8,85	0,45	8,24	4,42	0,61	0,15
10.06	7,4	0,37	11-20.06	7,3	0,37	4,24	4,42	0,19	0,06
20.06	7,2	0,36	21-30.06	6,98	0,35	6,67	4,42	0,31	0,08

Таблиця 3.4 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за липень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.06	6,0	0,3	1-10.07	5,18	0,26	5,4	4,03	-0,22	0,06
10.07	4,4	0,22	11-20.07	3,3	0,17	3,96	4,03	-0,66	0,16
20.07	2,6	0,13	21-30.07	1,98	0,13	2,34	4,03	-0,36	0,08

Таблиця 3.5 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за серпень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.07	1,6	0,08	1-10.08	1,76	0,08	1,34	3,41	0,42	0,12
10.08	1,95	0,10	11-20.08	1,86	0,09	1,60	3,41	0,28	0,08
20.08	1,68	0,08	21-30.08	1,80	0,09	1,41	3,41	0,39	0,11

Таблиця 3.6 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за вересень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.08	1,70	0,09	1-10.9	1,62	0,08	1,69	2,54	-0,07	0,03
10.09	1,37	0,07	11-20.9	1,40	0,07	1,32	2,54	0,08	0,03
20.09	1,39	0,07	21-30.9	1,58	0,08	1,37	2,54	0,21	0,08

Таблиця 3.7 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за жовтень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.09	1,70	0,09	1-10.10	2,23	0,12	2,37	0,48	0,14	0,29
10.10	2,95	0,15	11-20.10	2,9	0,16	3,16	0,48	0,18	0,37
20.10	2,50	0,13	21-30.10	3,12	0,15	2,97	0,48	0,15	0,33

Таблиця 3.8 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за листопад 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.10	3,4	0,17	1-10.11	3,16	0,20	3,76	2,19	0,80	0,36
10.11	3,25	0,16	11-20.11	3,13	0,18	3,56	2,19	0,43	0,19
20.11	3,05	0,15	21-30.11	3,18	0,17	2,77	2,19	0,40	0,18

Таблиця 3.9 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за грудень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.11	3,35	0,17	1-10.11	3,65	0,22	4,36	2,6	0,71	0,27
10.12	4,75	0,24	11-20.11	4,86	0,29	5,74	2,6	0,88	0,33
20.12	5,15	0,26	21-30.11	5,33	0,31	6,14	2,6	0,81	0,31

Таблиця 3.10 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Самара – с. Кочережки за січень 2020 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.09	4,8	0,24	1-10.11	4,82	0,31	6,13	3,54	1,31	0,37
10.10	4,8	0,24	11-20.11	5,12	0,31	6,13	3,54	1,01	0,29
20.10	5,2	0,26	21-30.11	4,72	0,32	6,33	3,54	1,61	0,45

Таблиця 3.11 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель – с. Царичанка за червень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ^{34,8} /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.05	6,9	0,76	1-10.06	4,8	0,53	6,55	4,42	1,75	0,4
10.06	4,1	0,45	11- 20.06	3,37	0,37	3,89	4,42	0,59	0,13
20.06	3,25	0,36	21- 31.06	2,5	0,27	3,06	4,42	0,56	0,12

Таблиця 3.12 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за липень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.06	1,7	0,19	1-10.07	1,38	0,15	1,46	4,03	-0,11	0,03
10.07	1,3	0,14	11-20.07	0,75	0,08	1,12	4,03	-0,37	0,09
20.07	0,53	0,06	21-31.07	0,51	0,07	0,45	4,03	0,06	0,02

Таблиця 3.13 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за серпень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.07	0,38	0,04	1-10.08	0,31	0,03	0,37	3,41	-0,06	0,02
10.08	0,24	0,03	11-20.08	0,39	0,04	0,2	3,41	0,19	0,05
20.08	0,59	0,06	21-31.08	0,45	0,05	0,53	3,41	-0,08	0,3

Таблиця 3.14 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за вересень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.08	0,48	0,05	1-10.09	0,38	0,04	0,47	2,54	-0,09	0,04
10.09	0,34	0,04	11-20.09	0,37	0,04	0,33	2,54	0,04	0,02
20.09	0,27	0,03	21-31.09	0,31	0,03	0,26	2,54	0,05	0,03

Таблиця 3.15 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за жовтень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.09	0,34	0,037	1-10.10	0,36	0,05	0,46	0,48	0,1	0.21
10.10	0,42	0,046	11-20.10	0,37	0.06	0,54	0,48	0,17	0,35
20.10	0,30	0,035	21-30.10	0,3	0,04	0,36	0,48	0.06	0.13

Таблиця 3.16- Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за листопад 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.10	0,3	0,032	1-10.11	0,3	0,05	0,54	2,19	0,16	0,07
10.11	0,3	0,032	11-20.11	0,3	0,05	0,54	2,19	0,16	0,07
20.11	0,3	0,032	21-30.11	0,3	0,05	0,54	2,19	0,16	0,07

Таблиця 3.17 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні Орель– с. Царичанка за грудень 2019 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{\text{доп}}$
30.11	0,3	0,032	1-10.12	0,46	0,035	0,32	2,6	0.15	0.,06
10.12	0,49	0,051	11-20.12	0,64	0,084	0,76	2,6	0,13	0,05
20.12	0,84	0,0920	21-30.12	1,2	0,10	0,91	2,6	0,29	0,88

Таблиця 3.18 - Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Орель– с. Царичанка за січень 2020 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період t+10	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	\bar{q}'_{t+10} , л/(с·км ²)	\bar{Q}_{t+10} м ³ /с	$\delta_{\text{доп}}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta/\delta_{\text{доп}}$
30.12	1,21	0,13	1-10.12	1,24	0,18	1,63	3,54	0,39	0,11
10.01	1,8	0,2	11-20.12	2,07	0,27	2,45	3,54	0,38	0,11
20.01	2,19	0,24	21-30.12	2,38	0,30	2,73	3,54	0,35	0,10

Оцінка справджуваності представлених результатів прогнозів середньо-декадних витрат води показала, що всі складені прогнози є виправданими і за критерієм якості $\delta/\delta_{\text{доп}}$ оцінюються як відмінні та добрі.

3.5 Картографічне представлення прогнозних модулів літньо-осіннього та зимового меженого стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра

В гідрологічній практиці для наявного представлення будь-якої величини у просторовому розподілі будують карти зміни цих величин по території. Це відноситься і до прогнозних величин витрат води у межений період.[20]

Оцінити розміри очікуваної межени у кожному році, особливо для невивчених річок, є можливим, якщо прогнозні значення витрат води представляти на підставі карт модулів меженого \bar{q}'_{t+10} л/(с·км²).

Одночасно з картами прогнозних значень модульних коефіцієнтів надається й карта ймовірності перевищення прогнозних величин у багаторічному розрізі (P_Y %) у будь-якій частині території, незалежно від стану її гідрометеорологічної вивченості.

Кarti надають можливості здійснювати просторовий моніторинг меженого стоку річок та випускати прогнози витрат води стоку у межений

період в конкретному пункті території, навіть для тих річок, по яких спостереження за стоком відсутні.

Розподіл по території прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої межені (для третьої декади липня) на річках суббасейну Нижнього Дніпра представлена на (рис 3.9). Так прогнозні величини середньо-декадних витрат змінюються з заходу(правобережжя басейну) від 0,40-0,50 л/(с·км²) на схід 0,20-0,15 л/(с·км²) (лівобережжя басейну)

Для періоду зимової межені (для третьої декади) прогнозні велечини середньодекадних витрат води (рис 3.10) змінюється для правобережної частини в межах 0,15-0,25 л/(с·км²), а для лівобережної частини 0,15-0,40л/(с·км²).

Для визначення забезпеченості прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої та зимової межені була побудована крива забезпеченості середньо декадних витрат води за 2015 р. в суббасейні Нижнього Дніпра (рис.3.11). З графіка емпіричної кривої забезпеченості, для кожної прогнозної величини середньодекадних витрат води, були зняті їх забезпеченості. За цими значеннями побудовані карти розподілу по території забезпеченості прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої та зимової межені (рис 3.12 – 3.13).

Розподіл по території забезпеченості прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої межені (для третьої декади липня) на річках суббасейну Нижнього Дніпра представлена на (рис 3.12). Так забезпеченості прогнозних величини на заході (правобережжя басейну) становлять 40 – 60%, а на сході 60-90 % (лівобережжя басейну). А для періоду зимової межені (для третьої декади) забезпеченості прогнозних величин (рис 3.13) коливаються для правобережної частини від 70% до 85%, а для лівобережної частини 85 – 45%.

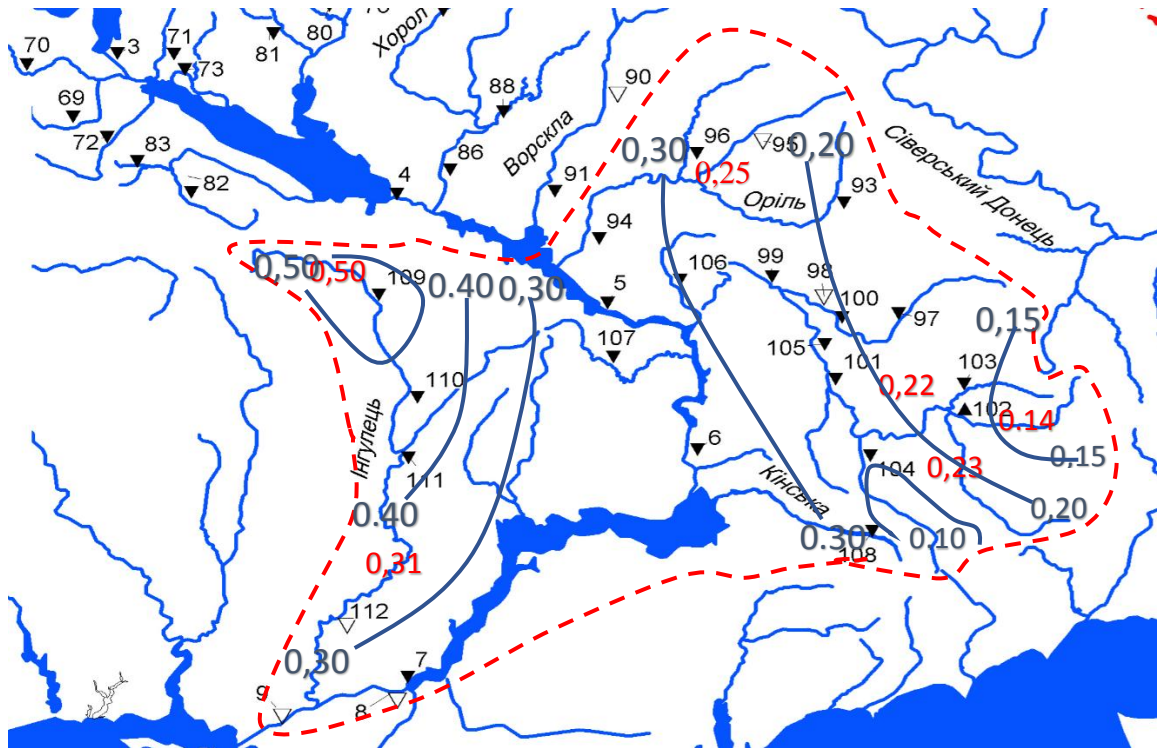


Рис. 3.9 Розподіл по території прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої межени (для третьої декади липня) на річках суббасейну Нижнього Дніпра, л/(с·км²)

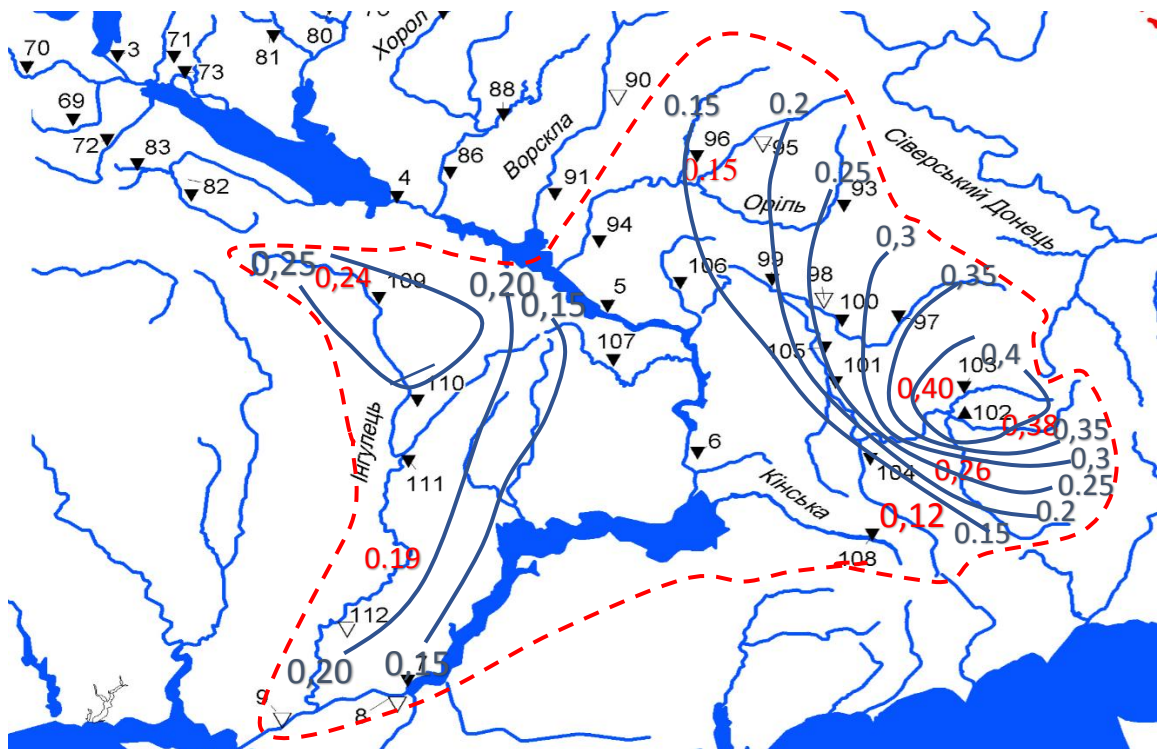


Рис. 3.10 Розподіл по території прогнозних величин середньо-декадних витрат води зимової межени (для третьої декади грудня) на річках суббасейну Нижнього Дніпра, л/(с·км²)

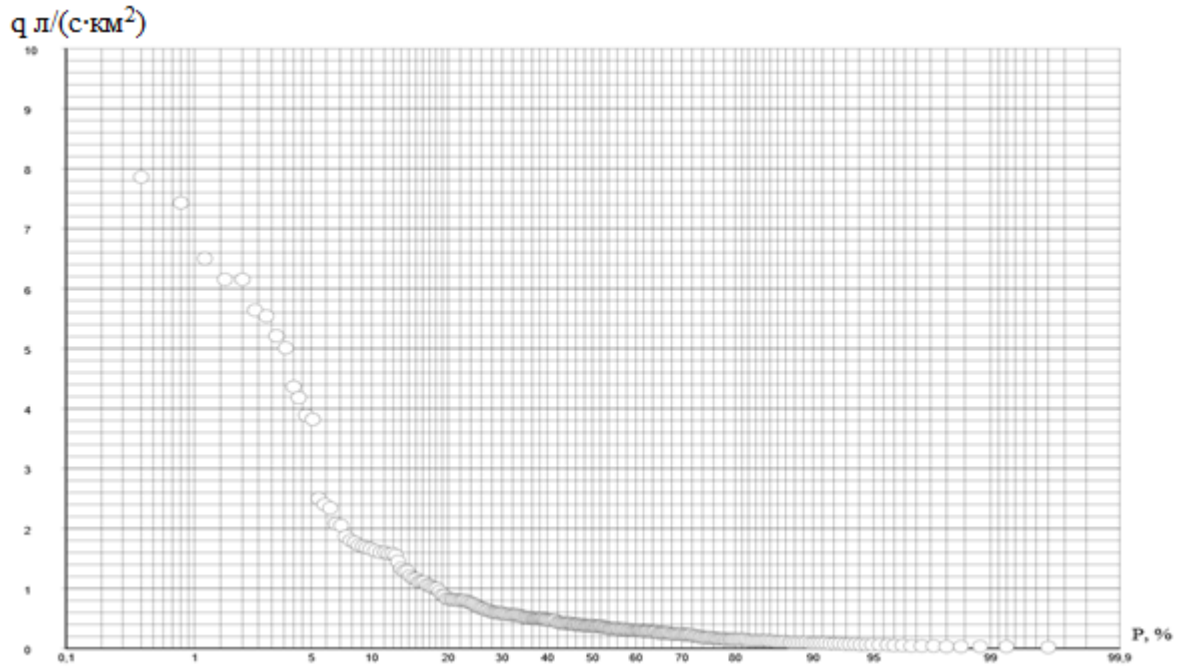


Рис. 3.11 Крива забезпеченості середньо декадних витрат води за 2015 р. в суббасейні Нижнього Дніпра

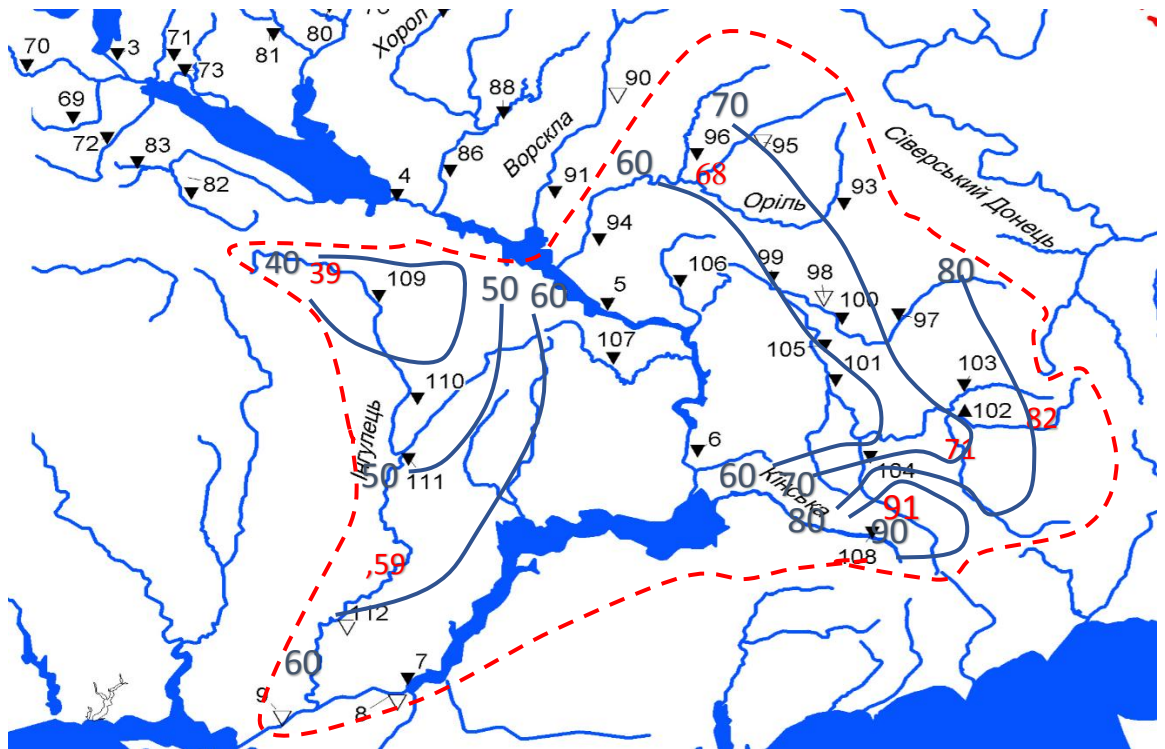


Рис. 3.12 Розподіл по території суббасейну Нижнього Дніпра забезпеченості прогнозних величин середньо-декадних витрат води літньо-осінньої межні (для третьої декади липня), $P\%$

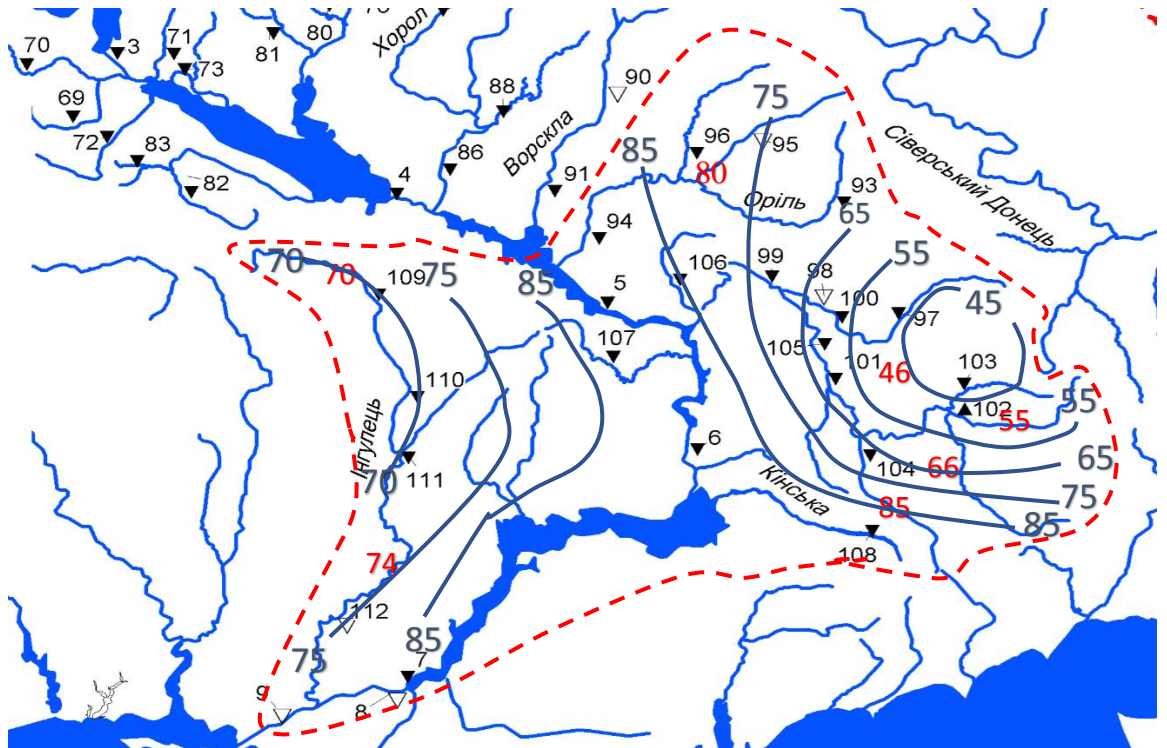


Рис. 3.13 Розподіл по території суббасейну Нижнього Дніпра забезпеченості прогнозних величин середньо-декадних витрат води зимової межні (для третьої декади грудня), $P\%$

4. ОСНОВНІ НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ МЕЖЕНОГО СТОКУ РІВНИННИХ РІЧОК З УРОХУВАННЯМ ІНДЕКСУ ЗАСУХ

4.1 Поняття та види засух

Засуха являє собою природне тривале явище, яке пов'язано з дефіцитом вологи, яке спостерігається в різних кліматичних зонах та призводить до величезної шкоди.

Засуха представляє собою комплексне явище, яке розглядається з декількох точок зору. Головне місце у визначеннях засухи займає поняття дефіциту вологи. У визначенні засухи виникають проблеми пов'язанні з необхідністю розглядання різних компонентів гідрологічного циклу, а також періодів часу та середовищ, відповідно де і коли дефіцит вологи проявляється. Ситуація коли одночасно виникає тривала нестача вологи у ґрунті на великій глибині та короткостроковий її надлишок у верхньому шарі, відображає складність, пов'язану з визначенням та ідентифікації засух [21].

Існують різні підходи до класифікації засух. Засухи які розглядаються як прояв кліматичної мінливості, поділяються на наступні категорії [22].

Метеорологічні засухи. Основною ознакою цієї засухи є дефіцит кількості опадів, який супроводжується зменшенням поверхневого стоку, інфільтрації та поповнення ґрунтових вод, а також іншими явищами: високою температурою, низькою відносною вологістю, зменшенню хмарності, підвищеним приходом сонячної радіації, сукупність яких приводить до збільшеного випаровування та транспірації вологи рослинами.

Метеорологічна засуха може дуже швидко розвинути і різко завершитись [21,22].

Сільськогосподарські засухи. Даний вид засух характеризується дефіцитом вологості ґрунту, що приводить до зменшення біопродуктивності і врожаю.

Початок сільськогосподарської засухи по часу може значно відрізнятися від початку метеорологічної в залежності від існуючих волого запасів. Появі засух сприяє вплив додаткових факторів, які перешкоджають запасу вологи у ґрунті: зимою – нестача снігу, ранньої весни – несприятливі умови вбирання талих вод [21-23].

Гідрологічні засухи. Для засух цієї різновидності є характерним зменшення ступеню води у річках та водоймах та пониження води їх рівня, зменшення запасів ґрунтових вод, що призводить до затруднення в задоволенні потреб у воді, а також в зменшенні площі боліт [21].

Ступінь суворості гідрологічної в основному визначається для водозборів та річних басейнів. Гідрологічна засуха зазвичай настає з запізненням порівняно з метеорологічною та сільськогосподарською. Так як регіони пов'язані між собою гідрологічними мережами, область розповсюдження гідрологічної засухи може мати більшу протяжність, ніж область метеорологічної засухи.

Виявлення зв'язку гідрологічних засух з дефіцитом опадів, обумовленими кліматичними причинами, часто ускладнюється через одночасний вплив на гідрологічні характеристики басейна факторів іншої природи, таких як зміни в землекористуванні (вирубка лісу), деградація землі, а також будівництво дамб. Зміни у землекористуванні у верхів'ях ріки може змінити такі гідрологічні характеристики як швидкість інфільтрації та поверхневий стік, в результаті чого нижче по течії мінливість річного стоку приведе до збільшення вірогідності появи гідрологічної засухи. Зміни у землекористуванні є одними з антропогенних впливів, які викликають збільшення числа ситуації з дефіцитом води навіть при відсутності метеорологічної засухи.

Засухи, які мають соціально-економічні наслідки. До цього типу відносять засухи, інтенсивність та масштаби яких згубно впливають на стан економіки країни та приводять до значних соціальних наслідків, іноді приймають характер гуманітарної катастрофи [21,24-25].

4.2 Індекси засух

Вологість ґрунту являється ключовою змінною при класифікації засух. Пряме використання даних о вологості ґрунту для оцінки кліматичних змін засушливості глобального чи континентального масштабів неможливе, через крайню обмеженість наявного об'єму інформації. Через це для характеристики засух використовуються спеціальні індекси. Які основані на даних стандартних метеорологічних спостережень, значення яких дозволяють ідентифікувати явище засухи и дають можливість судити про степінь її суровості [21].

Через те, що вихідною точкою для усіх видів засух є дефіцит опадів який приводє до нестачі води для різних видів діяльності, значення даної метеорологічної змінної входять в тому чи іншому вигляді у всі індекси засушливості [21,26].

Більшість існуючих індексів посушливості спирається на співвідношення наявних запасів води (причому основною складовою є опади) з втратами води на випаровування, яке визначається у значній мірі припливом сонячної радіації. Тепловий та турбулентний баланси підстильної поверхні обумовлюють температурний режим. Один з перших і, ймовірно, найпростіших індексів був запропонований Мартоном [27]. Індекс Мартона визначається за великий період спостережень і виражається наступним чином[26]:

$$\alpha = \frac{x}{10+T} , \quad (4.1)$$

де X – середні річні опади, мм;

T – середня річна температура повітря, °С.

Більш обґрунтоване визначення характеристики посушливості запропоновано Торнтвейтом [28], який запропонував установлювати індекс посушливості, використовуючи концепцію потенційного випаровування, або

потенційної евапотранспірації (PET), під якою слід розуміти максимальну кількість води, яка могла б випаритися в заданих кліматичних умовах з поверхні суші, покритою рослинністю, при наявності достатнього запасу води. PET за формулою Торнтвейта виражається як функція сум температур повітря за 12 місяців:

$$PET = 16k \left(\frac{10T}{I} \right)^m, \quad (4.2)$$

де T – середня місячна температура повітря, °C;

I – індекс тепла, який розраховується як сума 12-місячних значень індексу i , який залежить від температури повітря;

m – коефіцієнт, пов'язаний з I ;

k – коригуючий коефіцієнт, який визначається за широтою місця розташування та календарного місяця.

За відношенням кількості річних опадів до величини PET визначається ступінь аридності території [29]

$X / PET < 0,03$ - гіперагідна зона;

$0,03 < X / PET < 0,20$ - аридна зона;

$0,20 < X / PET < 0,50$ - напів аридна зона,

де X – шар середніх річних опадів.

У наукових розробках Одеського державного екологічного університету [21] для визначення потенційного випаровування території використовують поняття еквіваленту теплоенергетичних ресурсів клімату E_m , яке трактується як максимально можливе випаровування з поверхні суші, яке мало б місце, якщо б на процес випаровування були витрачені всі теплоенергетичні ресурси клімату. Для кількісної оцінки посушливості (зволоженості) використовується наступний індекс [26]:

$$\beta_x = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \quad (4.3)$$

де \bar{X} – середнє багаторічне значення річних опадів, мм;

\bar{E}_m – середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

За значенням індексу β_x визначається ступінь зволоженості території:

$\beta_x \geq 1,0$ - зона надмірного зволоження;

$0,8 < \beta_x < 1,0$ - зона достатнього зволоження;

$0,5 \leq \beta_x < 0,8$ - зона недостатнього зволоження.

Індекс тяжкості засухи Палмера PDSI (the Palmer Drought Severity Index). PDSI став важливим орієнтиром у розробці показників посухи. Він дозволяє вимірювати вологість (позитивне значення) і сухість (негативні значення), засновані на концепції попиту та пропозиції рівняння водного балансу, і, таким чином, включає попередні опади, подачу вологи, стік та випаровування на рівні поверхні. Багато проблем з PDSI були вирішені розробкою самокаліброваного PDSI (sc-PDSI) (Wells et al., 2004), який є просторово порівнянним і повідомляє про екстремальні вологі та сухі події на частотах, очікуваних для рідкісних умов. Тим не менш, основний недолік PDSI не був вирішений. Це стосується його фіксованої часової шкали (між 9 та 12 місяцями) та авторегресивної характеристики, за якою на значення індексу впливають умови, що минули до чотирьох років [21].

На початку XXI ст. найбільш поширеним індексом посушливості, заснованим тільки на даних про опади, став стандартизований індекс опадів SPI (Standardized Precipitation Index,). Розрахунок індексу передбачає попередній аналіз функції розподілу кількості опадів на обраному базовому інтервалі і її апроксимацію, що забезпечує можливість визначення ймовірності неперевищення будь-якого спостережуваного значення кількості опадів. Значенням індексу SPI є аномалія стандартизованого нормального

розподілу, відповідна по ймовірності неперевищення спостерігається значенням кількості опадів. Значення показника, рівне -2 і менш, свідчить про екстремальну посушливості.

Індекс SPI може застосовуватися для моніторингу умов посушливості на будь-яких тимчасових інтервалах (від місяця до року і більше). Варіація масштабів осереднення дає можливість відстежувати за допомогою цього індексу як сільськогосподарські, так і гідрологічні наслідки посух, пов'язані з об'єктами, що мають різну чутливість до дефіциту опадів [21].

Індекси посухи на основі опадів, включаючи SPI, покладаються на два припущення:

- мінливість опадів значно вища, ніж у інших змінних, таких як температура та потенційна випаропередача (PET),
- інші змінні є нерухомими (тобто вони мають немає часової тенденції).

У цьому сценарії важливість цих інших змінних є незначною, і посухи контролюються тимчасовою мінливістю опадів. Однак деякі автори застерігають від систематичного нехтування важливістю впливу температури на посуху. Емпіричні дослідження показали, що підвищення температури помітно впливає на різкість засух.

Протягом останніх 150 років спостерігалось загальне підвищення температури (на 0,5–2 ° C), а моделі зміни клімату прогнозують помітне зростання протягом 21 століття. Очікується, що це матиме драматичні наслідки для посухових умов із збільшенням потреби в воді через евапотранспірацію [21].

Отже, використання показників посухи, які включають дані про температуру в їх формулюванні (наприклад, PDSI), є кращим, особливо для застосувань, що передбачають майбутні кліматичні сценарії. Однак PDSI не має мульти-скалярного характеру, необхідного як для оцінки посухи по відношенню до різних гідрологічних систем, так і для розрізнення між різними типами посухи. Тому було сформульовано новий індекс посухи SPEI

(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) на основі опадів та PЕТ. SPEI поєднує чутливість PDSI до змін попиту на випаровування (викликаних коливаннями температури та тенденцій) з простотою розрахунку та багаточасовою сутністю SPI [21].

SPI не може визначити роль підвищення температури в майбутніх умовах посухи, і незалежно від сценаріїв глобального потепління не можна врахувати вплив змін температури та роль теплових хвиль. SPEI може враховувати можливі наслідки змін температури та крайніх температур поза контекстом глобального потепління. Тому, враховуючи незначні додаткові вимоги SPEI до даних щодо SPI, використання першого є кращим для ідентифікації, аналізу та моніторингу посухи у будь-якому кліматичному регіоні світу.

SPEI відповідає вимогам показника посухи, оскільки його багат шаровий характер дозволяє використовувати його в різних наукових дисциплінах для виявлення, моніторингу та аналізу посухи. Як і sc-PDSI та SPI, SPEI може вимірювати ступінь посухостійкості відповідно до його інтенсивності та тривалості, а також може визначати початок та кінець епізодів посухи. SPEI дозволяє порівнювати суворість посухи за часом та простором, оскільки вона може бути обчислена в широкому діапазоні кліматів, як і SPI. Більше того, Keyantash та Dracup (2002) вказали, що показники посухи повинні бути статистично надійними та легко обчислюватися та мати чітку та зрозумілу процедуру розрахунку. Усім цим вимогам відповідає SPEI. Однак вирішальною перевагою SPEI перед іншими широко використовуваними індексами посухи, які враховують вплив ПЕТ на суворість, є те, що його багат шарові характеристики дозволяють ідентифікувати різні типи посухи та впливи в контексті глобального потепління.

Новий індекс засух SPEI (the standardized precipitation-evapotranspiration index), запропонований в роботах Vicente-Serrano et al. побудований за аналогією з відомим індексом SPI (the standardized precipitation index),

рекомендованим WMO для моніторингу посух. Розрахунок індексу SPEI базується на щомісячних даних про опади та потенційної евапотранспірації, яка залежить від температури. Облік температури особливо необхідний в теплий сезон, а також в умовах глобального підвищення температури, коли зростає роль випаровування [31].

Основною особливістю обчислення SPEI є використання замість простих даних про опади (як в індексі SPI) різниці (D) місячних сум опадів (R) і потенційної евапотранспірації (PET) [31]

$$D_i = R_i - PET_i \quad (4.4)$$

де i - порядковий номер розрахункового місяця.

Цей вираз відображає в спрощеному вигляді схему водного балансу вертикального стовпа ґрунту від її поверхні, до глибини, де припиняється водообмін. Хоча вираз (2.4) не враховує водообмін поверхні суші з нижче розташованими шарами, воно виявилось задовільним для врахування впливу температурного режиму на сумарну зволоженість.

Оскільки визначення PET , в цілому, представляє складне завдання, яка в повному рішенні передбачає використання даних про вологосодержання повітря і ґрунту, температурного режиму поверхні ґрунту, радіаційних потоків тепла в приземному шарі і т.д., автори індексу SPEI скористалися методом Торнтвейта, що зробило новий індекс майже таким же чутливим до змісту вологи в ґрунті, як і індекс Палмера.

Для ймовірнісного опису SPEI в різних часових масштабах використовується трьох - параметричний гамма-розподіл ймовірностей. У трьох-параметричному розподілі досліджувана величина x може приймати значення в діапазоні ($\gamma > x < \infty$), де γ є параметром вихідного розподілу, отже, x може приймати негативні значення, що характерно для ряду D [32]. Для стандартизації рядів D використовують лог-логістичний розподіл. Функція

щільності ймовірностей трьох-параметричного лог-логістичного розподілу представляється як:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (4.5)$$

де α , β і γ – показники масштабу, форми і походження, відповідно, для значень ряду D в діапазоні ($\gamma > D < \infty$).

Параметри лог-логістичного розподілу можуть бути отримані за допомогою різних підходів. У зарубіжній практиці широко використовується метод L-моментів. L-моменти аналогічні звичайним центральним моментам, але вони можуть характеризувати широкий спектр функцій розподілу і є більш надійними по відношенню до обліку викидів в даних, Коли L-моменти розраховані, параметри розподілу можуть бути отримані таким чином:

$$\beta = \frac{2\omega_1 - \omega_0}{6\omega_1 - \omega_0 - 6\omega_2}; \quad (4.6)$$

$$\alpha = \frac{(\omega_0 - 2\omega_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}; \quad (4.7)$$

$$\gamma = \omega_0 - \alpha \Gamma\left(\frac{1+1}{\beta}\right) \Gamma\left(\frac{1-1}{\beta}\right), \quad (4.8)$$

де $\Gamma(\beta)$ є гамма-функцією β .

Інтегральну функцію розподілу ряду D , згідно лог-логістичному розподілу, отримують з рівняння:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1}. \quad (4.9)$$

Індекси SPEI розраховуються з використанням методу Абрамовича й Стегунова [33]:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (4.10)$$

де

$$W = \sqrt{-2\ln(P)}, \text{ при } P \leq 0.5, \quad (4.11)$$

де P – забезпеченість значень ряду D :

$$P = 1 - F(x). \quad (4.12)$$

Якщо $P > 0,5$, то цей параметр замінюють на $(1-P)$ і знак результуючого SPEI змінюється на зворотний. Константи мають такі значення $C_0 = 2,515517$, $C_1 = 0,802853$, $C_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$, $d_3 = 0,001308$. Середнє значення SPEI дорівнює нулю, а стандартне відхилення - 1. SPEI є стандартизованою змінною, що спрощує аналіз у часі і просторі [26,31].

Установлена класифікація посух в залежності від значення, яке прийняла величина SPEI (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Класифікація значень SPEI

Значення SPEI	Категорія періоду	Категорія посухи
$SPEI \geq 2,00$	Вкрай вологий	
$1,50 \leq SPEI \leq 1,99$	Дуже вологий	
$1,00 \leq SPEI \leq 1,49$	Помірно вологий	
$0 \leq SPEI \leq 0,99$	Близький до нормального	
$0 \geq SPEI \geq -0,99$	Близький до нормального	Слабка посуха
$-1,00 \geq SPEI \geq -1,49$	Помірно сухий	Помірна посуха
$-1,50 \geq SPEI \geq -1,99$	Дуже сухий	Інтенсивна посуха
$SPEI \leq -2,00$	Вкрай сухий	Екстремальна посуха

Індекси SPEI в подальшому будуть використані для уточнення прогнозів меженного стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра.

4.3 Можливості використання індексу посухи SPEI при прогнозуванні середньодекадних витрат води

Значення індексів посухи SPEI було залучено з інтернет порталу з 1980 по 2013 роки для території східного степу. Для аналізу і подальшого прогнозування декадного стоку липня місяця, були прийняті значення SPEI для червня місяця, осередненні за 4 попередні місяці. Ці місяці характеризують ступінь зволоженості басейну у період проходження весняного водопілля у березні – червні, при цьому вважалось, що стік літньо-осінньої межені залежить від умов проходження весняного водопілля на річках.

Для прогнозування середньодекадних витрат води на річках суббасейну Нижнього Дніпра було отримано рівняння множинної регресії, де в якості предикторів обрані попередні витрати води q_t та індекс SPEI4 для червня місяця. Отримано рівняння у вигляді:

$$q_{t+\Delta np} = 0,0744 + 0,822 * q_t - 0,015 * \text{SPEI4} \quad . \quad (4.13)$$

З визначених залежностей випливає, що витрата попереднього місяця q_t характеризує водність річки, яка забезпечується у період літньо-осінньої межені підземним живленням.

Індекс SPEI у період літньо-осінньої межені зазвичай набирає від’ємних значень. Зростання SPEI зумовлює зменшення характеристик меженного стоку.

В роботі виконано оцінку якості регіональної методики прогнозу середньо-декадних витрат води за осінній період (для липня місяця) річок

суббасейну Нижньому Дніпру (1980-2015 рр.) та її уточнення (1980-2013 рр.) при використанні Індексу SPEI4. Результати перевірних прогнозів представлені у зведеній табл.4.2 і показують, що забезпеченість допустимої похибки P та критерій якості та ефективності методики S / σ близьки між собою.

Таблиця 4.2 – Оцінка регіональної методики прогнозу середньо-декадних витрат води за осінній період (для липня місяця) річок суббасейну Нижньому Дніпру (1980-2015 рр.) та її уточнення (1980-2013 рр.) при використанні Індексу SPEI4

Методика з використанням регіональних залежностей (3.2) та рис.3.2				Методика з урахуванням індексу SPEI4 за (4.13)			
R	S , л/(с·км ²)	S/σ_{Δ}	$P\%$	R	S , л/(с·км ²)	S/σ_{Δ}	$P\%$
0,96	0,29	0,32	96	0,94	0,30	0,33	97

Таким чином, використання прогнозної залежності з урахуванням індексу засух SPEI4 не призвело до покращення результатів перевірених прогнозів середньодекадних витрат води суббасейну Нижнього Дніпра.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання курсового проекту розроблено та оцінено регіональну методику короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води літньо-осіннього та зимового періоду по семи опорних постах в суббасейні Нижнього Дніпра.

До найбільш вагомих висновків можна віднести такі:

1. Суббасейн Нижнього Дніпра – це долина Дніпра від острова Хортиця до Дніпровського лиману. Займає частину території Дніпропетровської, Херсонської та Запорізької областей. На заході межує з Причорномор'ям, на сході - з Приазов'ям і Кримом.

Територія річок Нижнього Дніпра розташована в степовій зоні недостатнього зволоження. Протяжність території 326 кілометрів.

Південь України здебільшого покривають південні чорноземи, а також каштанові ґрунти. Для півдня степової зони характерним є засоленість ґрунтів. Інколи зустрічаються солонці, що відрізняються значною щільністю.

У досліджуваному районі природних лісів практично немає (за винятком заплавних і плавневих). На гирлових ділянках зустрічаються тополя, верба. У долинах річок поширеним видом деревної рослинності є лох сріблястий.

Найважливіші клімат-утворюючими фактори описуваної території, формуються під впливом загальних і місцевих клімат утворюючих факторів. Головним з них є приплив тепла від сонця і циркуляція.

Атмосферні опади грають істотну роль в процесі формування стоку. Опади на досліджуваній території не перевищують в середньому 500 мм. Це зона недостатнього зволоження, що вимагає додаткового внесення вологи особливо в південному степу, де середня річна кількість опадів близько 400 мм. Найменша кількість опадів спостерігається в прибережних районах Херсонщини – 350-400 мм.

2. Межінь на цих річках характеризується стійкістю, маловодістю і значною тривалістю; осінні підйоми спостерігаються після обложних дощів. Інколи межінь порушується невеликими дощовими паводками. Дослідження хронологічних графіків мінімальних витрат за літній період (30 діб та за добу) показав наявність тенденції зростання, а різницево-інтегральних кривих – наявність повного циклу водності.

3. Розробка та оцінка методики короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води осіннього та зимового періоду в басейні Нижнього Дніпра була здійснена так: прогноз середньодекадних витрат води на водозборах Нижнього Дніпра шляхом побудови (з 1980 по 2015 рр.) локальних, а потім узагальнених прогностичні залежності витрат води від попередніх витрат води (у модулях стоку) $\bar{q}_{t+10} = f(q_t)$ окремо для липня, серпня, вересня та жовтня місяців. Критерій якості змінюється в межах S/σ_{Δ} від 0,31 до 0,50, а відсоток забезпеченості допустимої похибки $P\%$ – від 93 до 97%.

4. Розроблена методика короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води літньо-осіннього та зимового періоду в басейні Нижнього Дніпра в оцінюється як «добра», так як забезпеченість допустимої похибки P складає більше 82%, а критерій якості та ефективності методики відношення S/σ_{Δ} не перевищує 0,5, що відповідає критеріям якості справджуваності методики прогнозів.

5. Складені прогнози середньодекадних витрат води літньо-осінньої та зимової межні по місяцях на р. Самара – с Кочережки та р.Орель - с. Царичанка за жовтень січень 2019-2020, які не увійшли до розробки регіональної методики прогнозу.

6. Оцінка справджуваності представлених результатів прогнозів середньодекадних витрат води показала, що всі прогнози є виправданими і за критерієм якості $\delta/\delta_{дон}$ оцінюються як відмінні та добрі.

7. У регіональній методиці, короткострокових прогнозів середньо-декадних витрат води осіннього та зимового періоду в басейні Нижнього Дніпра, формою представлення прогностичних величин є дві карти – середньодекадних модулів стоку та їх забезпеченості. Такі карти для третьої декади липня та грудня у 2015 р. показали розподіл прогнозних величин по всій території суббасейну Нижнього Дніпра.

8. При уточненні методики середньодекадних витрат води літньо-осінньої межні (на прикладі липня місяця) річок Нижнього Дніпра використаний в якості предиктору індекс засухи SPEI (за рівнянням множинної регресії) суттєво не покращило якість прогнозної методики.

Список використаної літератури

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
2. Гребінь В.В., Хільчевський В.К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т.2(41) С. 32-47.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР Т.6. Украина и Молдавия. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье / [под ред. М.С.Каганера]. Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. 656 с.
4. Швебс Г.І., Ігошин М.І. / Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник. Одеса: Астропринт, 2003. 392 с.
5. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр. 2003. 324 с.
6. Електронний атлас України <http://geomap.land.kiev.ua/>
7. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
8. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
9. Клімат України: у минулому...і майбутньому?/ М.І.Кульбіда, М.Б.Барабаш, Л.О.Єлістратова, Т.І.Адаменко, Н.П.Гребенюк, О.Г.Татарчук, Т.В.Корж / за ред. М.І.Кульбіди, М.Б.Барабаш: Монографія. Київ: Сталь, 2009. 234 с.
10. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов: Учебник. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 440 с.
11. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам: Учебное пособие. Ленинград.: Гидрометеиздат, 1983. 390 с.

12. Георгиевский Ю.М. Краткосрочный гидрогические прогнозы. Учебное пособие. Москва, Изд. ЛПИ, 1982, 100б
13. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. 450 с.
14. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ. 2010. 153 с.
15. Руководство по гидрологическим прогнозам. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Ленинград: Гидрометеиздат. Вып. 2. 1989. 246 с.
16. Наставление по службе прогнозов. Вып.3, ч.1, Л.: Гидрометеиздат. 1962. – 194 с.
17. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ.: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
18. Єгорова І.В. Регіональна методика короткострокових прогнозів меженого стоку річок літньо-осіннього та зимового періодів в суббасейні Нижнього Дніпра: Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня. Одеса: ОДЕКУ. 2020. с.125
19. Єгорова І.В. Регіональна методика короткострокових прогнозів меженого стоку річок суббасейну Нижнього Дніпра // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Мат. VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених (26-27 листопада 2020 р., м. Харків). Комп'ютерне верстання: Баскакова Л.В., 2020.
20. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
21. Хлебникова Е.И., Павлова Т. В., Сперанская Н.А. Глава 4. Засухи. с. 126-145.

22. American Meteorological Society, Meteorological drought - Policy statement, Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1997.vol. 78, pp. 847-849.
23. Клещенко А.Д. Современные проблемы засух. 2000. Вып. 33, с. 3-13.
24. Мещерская А.В., Блажевич В.Г., Голод М.П., Белянкина Н.Г. Мониторинг засушливости на территории районов СНГ за последнее столетие, 2000. Вып. 33, с. 41-63.
25. Курганская В.М., 1953. Характеристика засушливых периодов с точки зрения общей циркуляции атмосферы. Сер. Геогр., № 2, с. 19-28.
26. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я. Одеса:ОДЕКУ.2014 С.281-289.
27. Родда Дж. К. Грани гидрологии: Монография Ленинград :Гидрометеиздат, Т.2. 1987. 534 с.
28. Торнтвейт С. В. Об индексе влажности / Синэкология. Тегеран:Изд-во университета, 1976. С. 55–94.
29. UNESCO, Map of the world distribution of arid regions. MAB Technical Note no 7. 1979.
30. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Киев: КНТ, 2005. 188 с.
31. Semenova I., Ovcharuk V., and Shakhirzanova J. On use of drought indexes in modeling hydrological processes, in: Conference Proceedings SGEM 2014. Geoconference on Water Resources: Hydrology and Water Resources, 17-26 June 2014. Albena. 2014. Vol. 1. P. 503–510. DOI: [10.5593/SGEM2014/B31/](https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B31/)
32. Sergio M., Vicente-Serrano A., Santiago Begueri´A, Juan I., Lo´Pez-Moreno Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index / Journal of Climate. 2009. P.23.
33. Abramowitz M., Stegun I. A. Handbook of Mathematical Functions/ Dover Publications, New York. 1965.