

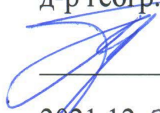
УДК 556.166
КП XXXXXX
№ держреєстрації 0118U001221
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ОДЕКУ)

65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15
тел. (0482) 63-62-09

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з НР ОДЕКУ
д-р геогр.наук, проф.


Тучковенко Ю.С.
2021.12.23

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Регіональні наукові дослідження в області гідрологічних розрахунків і
прогнозів водного режиму річок і водойм України

РЕГІОНАЛЬНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ
РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДІВ ГІДРОЛОГІЧНОГО ТА
ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМІВ РІЧОК І ВОДОЙМ ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ
УКРАЇНИ
(проміжний)

Керівник НДР

д-р геогр.наук, проф.









2021.12.16  Шакірзанова Ж.Р.

Рукопис закінчено 1 грудня 2021 р.

Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ

протокол від 2021.12.23 №7

СПИСОК АВТОРІВ

Доктор географічних наук, професор, науковий керівник	 2021.12.01	Ж. Шакірзанова (вступ, висновки, розд. 1 розд. 6.1, розд. 6.2)
Кандидат географічних наук, старший викладач, відповідальний виконавець	 2021.12.01	М. Гопцій (розд. 3.1)
Доктор географічних наук, доцент	 2021.12.01	В. Овчарук (розд. 2, розд. 3.3)
Кандидат географічних наук, доцент	 2021.12.01	Н. Кічук (розд. 6.4)
Кандидат географічних наук, доцент	 2021.12.01	М. Бурлуцька (розд. 4)
Кандидат географічних наук, старший викладач	 2021.12.01	А. Докус (розд. 5.2)
Кандидат географічних наук, старший викладач	 2021.12.01	М. Погорелова (розд. 5.1)
Завідувач відділу наукової роботи студентів	 2021.12.01	К. Мирза (розд. 3.2)

Диспетчер науково-навчального Гідрометеорологічного інституту


2021.12.01


Л. Кущенко
(розд. 2.1, розд. 2.2,
розд. 2.3)

Завідуюча навчально-наукової лабораторії гідрологічної інформації і розрахунків


2021.12.01

Л. Терзі
(додаток А)

Технік навчально-наукової лабораторії гідрологічної інформації і розрахунків


2021.12.01

О. Тимко
(розд. 6.3)

Технік навчально-наукової лабораторії гідрологічної інформації і розрахунків


2021.12.01

О. Трушкова
(додаток Б)

Нормоконтролер

Відповідальний від кафедри гідрології суші



Н.Кічук

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 247 с., 77 рис., 32 табл., 141 джерел.

РЕГІОНАЛЬНІ УЗАГАЛЬНЕННЯ, МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ І
ПРОГНОЗУ СТОКУ, ГІДРОХІМІЧНИЙ РЕЖИМ

Об'єкт дослідження – регіональні узагальнення розрахункових параметрів методик для розрахунку і прогнозу водного стоку річок в різні фази водного режиму по регіонах України, гідрохімічний режим водойм.

Мета роботи – здійснити обґрунтування та регіональні узагальнення розрахункових параметрів методик для розрахунку і прогнозу водного стоку річок, визначення та аналіз складових сольового балансу озер Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух), оцінку якості вод за комплексом гідрохімічних показників.

Методи дослідження – географічний аналіз та регіональні просторові й часові узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку і прогнозу стоку річок, метод водно-сольового балансу озер, аналіз якості вод за комплексом гідрохімічних показників.

Одержані результати та їх новизна – здійснено обґрунтування та регіональні узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку (річного, максимального, мінімального), розробка та оцінка методики прогнозу характеристик стоку в басейні р. Південний Буг (максимального і мінімального стоку); регіональні обґрунтування та узагальнення складових сольового балансу та моделювання сольового балансу Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух); оцінка якості води за комплексом гідрохімічних показників.

Умови одержання звіту: за договором. ОДЕКУ, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15.

ЗМІСТ

	<u>Вступ</u>	10
1	<u>Обґрунтування методів гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів України</u>	13
2	<u>Регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку мінімального та екологічного стоку річок зони недостатньої водності України</u>	17
	<u>2.1 Умови формування та розрахунок мінімальних витрат води в зоні недостатньої водності України.</u>	20
	<u>2.2 Визначення екологічних витрат річок за методикою, яка рекомендована УкрГМЦ</u>	28
	<u>2.3 Уточнення методики визначення екологічного стоку з використанням даних про мінімальний стік річок зони недостатньої водності України...</u>	31
3	<u>Регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку максимального стока в окремих регіонах України</u>	35
	<u>3.1 Регіональні обґрунтування розрахункових параметрів методики розрахунку максимального стоку паводків річок Прикарпаття</u>	35
	<u>3.1.1 Запропонована методика для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Прикарпаття</u>	35
	<u>3.1.2 Узагальнення шарів паводкового стоку річок Прикарпаття по території</u>	39
	<u>3.1.3 Визначення характеристик схилового припливу для річок Прикарпаття під час проходження паводків у теплий період року</u>	42
	<u>3.1.4 Трансформаційні функції максимального стоку (руслова трансформація, русло-заплавне регулювання, вплив озер та водосховищ русловго типу)</u>	50

	<u>3.2 Регіональна методика для розрахунку максимальних модулів схилового припливувало-дощових паводків для річок Гірського Криму.</u>	53
	<u>3.2.1 Узагальнення шарів стоку по території Криму</u>	58
	<u>3.2.2 Обґрунтування коефіцієнтів нерівномірності притоку води зі схилів до руслової мережі</u>	62
	<u>3.2.3 Визначення тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі</u>	67
	<u>3.3 Регіональні узагальнення складових розрахунку максимального стока річок басейну р. Вісла</u>	72
	<u>3.3.1 Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України</u>	75
	<u>3.3.2 Визначення та просторове узагальнення параметрів операторної розрахункової структури максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України</u>	79
	<u>3.3.3 Визначення та перевірочні розрахунки максимальних модулів стоку дощових паводків та весняних водопіль річок басейну р. Вісла</u>	84
4	<u>Регіональні узагальнення розрахункових параметрів річного стоку (басейн р. Десна)</u>	89
	<u>4.1 Просторове узагальнення норми річного стоку по басейну р. Десна</u>	90
	<u>4.2 Перевірочні розрахунки</u>	92
	<u>4.3 Мінливість річного стоку</u>	93
	<u>4.4 Узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна</u>	94
	<u>4.5 Перевірочні розрахунки</u>	95

5	<u>Регіональні розробки методик прогнозу характеристик стоку в басейні р. Південний Буг</u>	98
	<u>5.1 Регіональна методика прогнозу меженного стоку літньо-осіннього періоду річок в басейні р. Південний Буг</u>	98
	<u>5.1.1 Побудова та узагальнення прогнозних залежностей для прогнозів літньо-осіннього меженного стоку річок</u>	98
	<u>5.1.2 Оцінка регіональної методики короткострокових прогнозів меженного стоку в басейні р.Південний Буг</u>	103
	<u>5.1.3 Схема випуску прогнозу меженного стоку річок</u>	105
	<u>5.2 Методика територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг</u>	106
	<u>5.2.1 Вихідні дані для розробки методики довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг в межах районування басейну за умовами формування весняного водопілля річок</u>	106
	<u>5.2.2 Встановлення типу водності весняного водопілля в басейні р. Південний Буг</u>	111
	<u>5.2.3 Побудова регіональних залежностей для довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг</u>	114
	<u>5.2.4 Визначення прогнозних величин очікуваних шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг</u>	120
	<u>5.3 Визначення прогнозних забезпеченостей характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг</u>	123
	<u>5.4 Картографічна форма представлення прогностичної інформації</u>	124
	<u>5.5 Перевірка ефективності методики довгострокових прогнозів</u>	

	<u>характеристик весняного водопілля річок в басейні р. Південний Буг</u>	129
6	<u>Регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів методів гідрохімічного режиму річок і водойм придунайського регіону України</u>	138
	<u>6.1 Сольовий баланс Придунайських озер</u>	138
	<u>6.1.1 Структура рівняння сольового балансу</u>	138
	<u>6.1.2 Водні та сольові баланси, які представляються в зарубіжній літературі</u>	140
	<u>6.1.3 Структура рівняння сольового балансу Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух)</u>	141
		142
	<u>6.2.1 Мінералізація води окремих складових рівняння сольового балансу</u>	142
	<u>6.2.2 Результати розрахунків сольових балансів озера Катлабух..</u>	146
	<u>6.3 Дослідження водного режиму Каховського водосховища і складових його балансів</u>	153
	<u>6.3.1 Характеристика Каховського водосховища</u>	153
	<u>6.3.2 Рівняння водного балансу Каховського водосховища</u>	156
	<u>6.3.3 Акумуляційні складові водного балансу Каховського водосховища</u>	171
	<u>6.3.4 Нев'язка водного балансу</u>	172
	<u>6.3.5 Методика розрахунку об'єму бічного припливу води в Каховське водосховище</u>	174
	<u>6.4 Оцінка якості вод за комплексом гідрохімічних показників</u>	177
	<u>6.4.1 Характеристика методів оцінки якості води</u>	177
	<u>6.4.2 Оцінка якості води за ІЗВ в озері Ялпуг-Кугурлуй</u>	184
	<u>6.4.3 Оцінка якості води за КЗ в озері Ялпуг-Кугурлуй</u>	186
	<u>6.4.4 Оцінка якості води озера Катлабух за ІЗВ та КЗ</u>	191

	<u>6.4.5 Оцінка якості води за КЗ</u>	194
	<u>Висновки</u>	202
	<u>Перелік посилань</u>	215
	<u>Додаток А</u>	232
	<u>Додаток Б</u>	243

ВСТУП

Четвертий етап досліджень присвячений регіональним обґрунтуванням та узагальненням розрахункових параметрів методів гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів України при розробці нових або удосконалення існуючих методів розрахунків та прогнозів стану водних об'єктів в різні фази водного режиму. Він базується аналітичному огляді сучасних методів та теоретичному обґрунтуванні розрахункових і прогностичних методик гідрологічного та гідрохімічного режиму річок і водойм, просторо-часовому аналізі гідрометеорологічної і гідрохімічної вихідної інформації для різних за умовами формування гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів країни.

Метою даного етапу роботи є здійснити регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів методик для розрахунку і прогнозу водного стоку річок (річного, максимального, мінімального), визначення та аналіз складових сольового балансу озер Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух), оцінку якості вод за комплексом гідрохімічних показників.

Завданнями четвертого етапу роботи кафедри гідрології суші у 2021 р. є регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку:

- максимального стоку річок окремих регіонах України;
- мінімального стоку річок зони недостатньої водності України;
- річного стоку річок окремих регіонах України;

регіональні обґрунтування та узагальнення розрахункових параметрів для розробки методики прогнозу характеристик стоку в басейні р. Південний Буг та річок Причорномор'я (максимального і мінімального стоку); регіональні обґрунтування та узагальнення складових сольового балансу та моделювання сольового балансу Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух); оцінка

якості води за комплексом гідрохімічних показників.

Методи дослідження, що використані в роботі – географічний аналіз та регіональні просторові та часові узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку і прогнозу стоку річок, метод водно-сольового балансу озер, аналіз якості води за комплексом гідрохімічних показників.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати проміжного звіту використовуються в Гідрометцентрі Чорного та Азовського морів в області надання науково-методичних та практичних рекомендацій при регіональних узагальненнях розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку і прогнозу стоку річок, розрахунку і аналізу складових сольового балансу озер та оцінці якості води за комплексом гідрохімічних показників (Акт використання від 17 грудня 2021 р.).

Крім науково-педагогічних працівників, до виконання науково-дослідної теми залучені аспіранти та студенти кафедри гідрології суші. Результати за виконаною тематикою кафедральної науково-дослідної роботи використані при проведенні наукових заходів – написанні курсових проектів, кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів.

Деякі аспекти НДР використані при підготовці методичних вказівок у 2020-2021 н.р. – Методичні вказівки до лабораторних занять з дисц. «Гідрологічні та морські прогнози» (частина I. Гідрологічні прогнози); Методичні вказівки до написання курсових проектів та магістерської кваліфікаційної роботи та у 2021-2022 н.р. – «Методичні вказівки по виконанню практичних занять з дисципліни «Антропогенна гідрологія» за темою «Розрахунки водно-сольового режиму Придунайських озер в умовах господарського використання» (Акт використання від 13 грудня 2021 р.).

Результати НДР використано в кваліфікаційних роботах магістрів (Акт використання від 13 грудня 2021 р.):

- Станко М.І. «Водний і сольовий баланси озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р. Дунай» (наук.кер. Шакірманова Ж.Р. д-р. геогр. наук, проф.);

- Удуденко Г.С. «Оцінка якості води транскордонних річок Когильник та Сарата для потреб різних споживачів» (наук.кер. Кічук Н.С., канд. геогр. наук, доцент),

а також в кваліфікаційних роботах бакалаврів ГО-41 – Блага А.О., Стратейчук О.В., наукових роботах студентів магістратури гр.МЗГ-21 – Блага А.О., Низицький М.А.

Основні результати розділу НДР використані при підготовці дисертаційних робіт аспірантів кафедри гідрології суші – Мартинюка М.О.(співавтор розд. 3.3), Тимко О.С. (автор розд. 6.3), здобувача Кущенко Л.В. (співавтор розд.2.1, 2.2, 2.3).

Результатом роботи стали дві монографії авторів, що впроваджені в навчальний процес Одеського державного екологічного університету при підготовці навчально-методичної літератури для магістрів і аспірантів денної та заочної форм навчання спеціальності „Науки про Землю” (Акт використання від 09 грудня 2021 р.).

Подальше дослідження буде спрямоване на практичну реалізацію і адаптацію регіональних методик гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів України.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ГІДРОЛОГІЧНОГО ТА ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМІВ РІЧОК І ВОДОЙМ ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Даний етап наукового дослідження направлений на розробку та удосконалення науково-методичних регіональних підходів щодо визначення розрахункових і прогнозних характеристик гідрологічного (річного, меженого та паводкового) та гідрохімічного режимів річок і водойм на території України на основі сучасних тенденцій розвитку науково-теоретичних положень гідрологічної науки. При цьому важливими є аналіз природних умов формування річкового стоку у різних фізико-географічних регіонах України, просторо-часовий аналіз та узагальнення гідрометеорологічної і гідрохімічної інформації. Останнє було здійснено на попередньому етапі дослідження при статистичному аналізі та обробці часових рядів на матеріалах сучасних спостережень по стоку річок в різні фази водного (максимального, мінімального, річного стоку) та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів України.

Сучасний розвиток методів гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм здійснюється при використанні математичного моделювання, що дає змогу врахувати фізичні процеси характеристик водозборів і водойм та відтворити велике різноманіття можливих природних явищ формування річкового стоку, що призводять до екстремальних випадків – повеней чи посух, а також оцінити ймовірнісні характеристики стоку у багаторічному періоді. Основними рисами сучасних методів гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм є моделюючі комплекси, які дозволяють математично описувати випадкові зміни метеорологічних чинників на водозборі, визначати і прогнозувати стокові процеси у динаміці їх розвитку у часі, а також створювати просторові моделі з можливістю представлення інформації у картографічному вигляді для великих регіонів.

Моделювання річкового стоку є важливим елементом в розв'язанні соціально-економічної проблеми покращення водогосподарської обстановки в басейнах річок і водойм України –при плануванні та управлінні водними ресурсами, системами водопостачання та контролю за басейновим принципом (згідно вимог Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС [1]), при запобіганні небезпечних ситуацій спричинених розливами річок, оцінки ризиків та захисту територій від підтоплення при проходженні повеней рідкісної ймовірності перевищення (до вимог Водної паводкової директиви 2007/60/ЄС [2]), а також при наданні річкових прогнозів і прогнозів служби попередження Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [3], [4].

Екстремальні гідрологічні явища, такі як весняне водопілля та дощові паводки є найбільш небезпечними фазами водного режиму річок, катастрофічні наслідки яких виражаються у затопленні територій, руйнуванні мостів, доріг, збитках господарству, зсувах ґрунту та інших негативних наслідках. Це одна з найбільш актуальних проблем, з якими стикаються владні структури як в Україні, так й в інших державах.

Особлива увага науково-дослідної роботи кафедри приділяється саме дослідженням формування та розрахунку максимальних витрат води та шарів стоку, тривалості поверхневого стоку весняних водопіль і дощових паводків. При відсутності спостережень розрахунки їх базуються на вивчені загальних процесів формування весняного водопілля та факторів, що визначають його характеристики, які враховуються відповідними параметрами розрахункових формул. Протягом звітнього періоду з цього питання було опубліковано низку наукових праць авторів [5] – [11].

Для здійснення прогностичної оцінки можливих небезпек повеней у кожному конкретному році при поточних гідрометеорологічних умовах формування стоку, важливим питанням є розробка нових або удосконалення вже існуючих моделей прогнозування характеристик стоку річок, зокрема

повноводної їх фази від танення снігу і випадіння дощових опадів – весняного водопілля. Крім того, такі моделі повинні надавати просторову кількісну і якісну оцінку очікуваних розмірів весняного стоку для подальшого визначення територій, які можуть бути затопленими, і здійснювати попередню оцінку ризиків затоплення відповідно до Водної паводкової директиви 2007/60/ЄС [2].

Для вирішення поставлених актуальних питань авторами дослідження розроблено комплексний метод довгострокового територіального прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля річок – висоти максимального підйому рівнів та витрат води, об'єму стоку весняного водопілля, встановлення ймовірності їх настання у багаторічному розрізі на річках з картографічним представленням прогностичних величин [11] – [13].

Щодо оцінки гідрологічних ризиків не тільки багатководдя, а й маловоддя в роботах авторів дослідження [14] – [16] здійснено просторово-часовий аналіз меженного стоку річок (в періоди літньо-осінньої та зимової межени), оцінено мінімальний та екологічний стік річок в зоні недостатньої водності України та району басейну річок Приазов'я [17].

Визначенню розрахункових характеристик норми річного стоку річок в басейнах Десни, Приазов'я, Прикарпаття, р. Південний Буг, у тому числі для невивчених у гідрологічному відношенні, присвячені роботи в рамках НДР [18] – [20].

Згідно з вимогами законодавчої бази Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС [1] (про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики) відносно Плану управління річковим басейном (у межах України) необхідним є забезпечення досягнення доброго статусу водних об'єктів, як поверхневих, так і підземних та визначення чітких механізмів (програм заходів).

На досягнення основних цілей Директиви дослідження авторів направлено на вивчення гідрохімічного режиму водойм і річок

Придунайського регіону, р. Дунай, як основного джерела надходження прісних вод до водойм, а також водного і сольового балансу озері методів його математичного моделювання, що відображено в монографічних виданнях авторів проекту [21], [22]. Невід'ємною складовою є вирішення соціально-економічних задач держави є оцінка якості природних водрічок і водойм України щодо досягнення всіх водних об'єктів доброго статусу, що відображено в працях авторів [23] – [25].

Методичні основи та практична реалізація і адаптація регіональних методик гідрологічного та гідрохімічного режимів річок і водойм окремих регіонів України до умов сучасного і майбутнього клімату, порівняльна оцінка якості води Придунайських озер за різними методиками та за урахуванням вимог різних споживачів буде здійснена авторами дослідження на наступному етапі НДР.

2 РЕГІОНАЛЬНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МІНІМАЛЬНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТОКУ РІЧОК ЗОНИ НЕДОСТАТНЬОЇ ВОДНОСТІ УКРАЇНИ

Забезпеченість водними ресурсами населення та різних галузей економік є однією з найважливіших та стратегічних задач кожної країни. Незважаючи на те, що по території України протікає значна кількість річок та розташовані гирла багатьох великих річок, наприклад Дунаю, забезпеченість водними ресурсами населення є одним з найменших в Європі. За даними [1] ресурси річкового стоку України становлять в середньому 87 млрд. м³ на рік (в маловодний рік цей показник зменшується до 56 млрд.м³). Питома забезпеченість річковим стоком в Україні – близько 1 тис. м³ на особу в рік, що нижче в 2,5 рази ніж в Німеччині та Швеції, в 3,5 рази ніж у Франції та у 5 разів ніж в Англії. У зв'язку з вичерпанням водних ресурсів у багатьох річках, наприклад, у басейні Південного Бугу, Сіверського Дінця, річок Приазов'я та Криму, склалася надзвичайно напружена ситуація щодо забезпеченістю водними ресурсами. В останні роки ця ситуація ускладнюється в зв'язку з різними проявами змін клімату, зокрема підвищення середньорічної температури повітря та збільшення ймовірності настання екстремальних гідрологічних явищ – маловоддя та посух. За даними наведеними в роботі [2], найбільш загрозлива ситуація з формування дефіциту водних ресурсів на даний час спостерігається для Херсонської, Одеської, Миколаївської, Кіровоградської областей. Отже, особливо гостро ці проблеми відчуються зоні недостатньої водності України, мінімальний та екологічний стік якої є предметом даного дослідження.

Міжнародне поняття екологічного стоку (environmental flow), яке широко застосовується, приведено в Брісбенській декларації: *екологічний стік* визначає кількісні, якісні і часові характеристики річкового стоку, необхідні для підтримки функціонування прісноводних екосистем,

забезпечення умов для благополучного проживання населення, яке залежить від стану цих екосистем.

З початку 80-х років минулого століття дослідження екологічного стоку відіграють важливу роль в управлінні річковими ресурсами. Особливої актуальності визначення екологічного стоку набуває в регіонах світу з вираженим дефіцитом прісної води. Водні законодавства Австралії, США, ПАР, Кенії вказують на важливість екологічного стоку. У Китаї, Індії, Мексиці, Бразилії, Туреччині та ряді інших країн реалізуються проекти з метою визначення його параметрів для основних річок. Країни-члени Європейського Союзу зобов'язані дотримуватися Водної рамкової директиви [3], яка вимагає забезпечення необхідної величини стоку для підтримки доброго стану річок. Екологічний стік також є мірою кліматичної адаптації до таких явищ, як річкові повені і посухи. Отже, екологічний стік – це частина природного стоку, яка повинна залишатися в річці в результаті безповоротного вилучення водних ресурсів або регулювання водного режиму нижче за течією від місця впливу на річку для забезпечення стійких умов розвитку і функціонування прісноводної екосистеми [4]. Якщо зміни гідрологічного режиму перевищують гранично допустимі величини, то можуть статися безповоротні процеси в екологічних системах та їх перехід в інший стан. Визначення цих меж (в частині водного режиму) лежить в основі встановлення параметрів допустимого антропогенного зниження природного стоку, критичних для відтворення організми функціонування екосистеми [5]. Для того щоб досягти «доброго стану води» у всіх річках Європейського союзу, Водна рамкова директива ЄС (ВРД) включає в себе докладні інструкції щодо проведення характеристики річкових басейнів. Незважаючи на те, що ВРД не містить безпосереднього поняття «екологічний стік», очевидно, що екологічні режими важливі для досягнення такого статусу.

Дослідженням в напрямі визначення екологічних витрат річок займалися багато вчених. Зокрема Б.В. Фащевський визначає екологічний стік як частину природного стоку, що залишається нижче створів

регулювання і вилучення вод за умовами охорони річкових екосистем щоб уникнути змін водних ресурсів та самих руслових утворень при безповоротному вилученні і регулюванні [4]. І.Б. Коренева і А.В. Христофоров визначають екологічний стік як мінімальну кількість води, що протікає в заданому річковому створі та забезпечує абіотичні і біотичні умови існування гідробіонтів і збереження характерного видового складу іхтіофауни [7]. З іншого боку, З.К. Іофін в своїх роботах [8;9] відмічає, що всі публікації стосовно визначення екологічних витрат можна поділити на два основних напрями. В першому випадку екологічно припустима остаточна витрата визначається, як деяка доля річкового стоку (річного, мінімального) та мінлива витрата води, яка залишається у річці після вилучення стоку. Останній розраховується в залежності від «врожайності» іхтіофауни, як кінцевої трофічної ланки водних екосистем. При цьому автори використовують критерії, які застосовуються до різних точок відліку: від от залишкової в річці мінімальної середньомісячної витрати води до 15-20% річного стоку [5]. Автори другого напрямку не прив'язуються до конкретної точки гідрографу і визначають залишкову витрату води, як деяку екологічну величину, за якої іхтіофауна не відчуває гноблення. Сам З.К. Іофін [9] в результаті пропонує визначати базисний екологічний стік використовуючи коефіцієнт природної зарегульованості [10]. В Україні питанням визначення екологічно допустимих заборів води займалась група авторів під керівництвом А.В. Яцика [11] на прикладі малих річок Прип'ятського Полісся. Авторами цього дослідження встановлені екологічно допустимі об'єми відбору води з річок за багаторічний період у роки різної водної забезпеченості (50 %, 75 %, 95 %) та виконано оцінку екологічно допустимого об'єму відбору стоку за умови збереження річкових екосистем. Розрахунки свідчать, що в дуже маловодний рік ($P = 95 \%$) водні ресурси не забезпечують об'єми екологічного стоку, а в маловодний рік ($P = 75 \%$) його водні ресурси незначно перебільшують екологічний стік.

2.1 Умови формування та розрахунок мінімальних витрат води в зоні недостатньої водності України

Зона недостатньої водності – територія, в межах якої величина випаровування за рік у сукупності з інфільтрацією в середньому за багаторічний період перевищує кількість атмосферних опадів.

Відповідно до схеми гідрологічного районування території України [12] зона недостатньої водності в основному відповідає степовій зоні, яка займає найбільшу площу. В межах цієї зони виділяється 5 областей (рис. 2.1, IIIа-IIIд), але в даній роботі Кримська рівнинна область дуже низької водності (рис.2.1, IIIд) не розглядається по причині відсутності даних про стік водотоків на цій території. В межах решти чотирьох областей протікають річки, що, згідно сучасному гідрографічному районуванню, належать до районів басейну Дунаю (IIIв), річок Причорномор'я (IIIв), басейну Південного Бугу(IIIа, IIIв), річок Приазов'я (IIIг), басейну Дніпра(IIIа-IIIв) та басейну Дону (IIIб)[13].

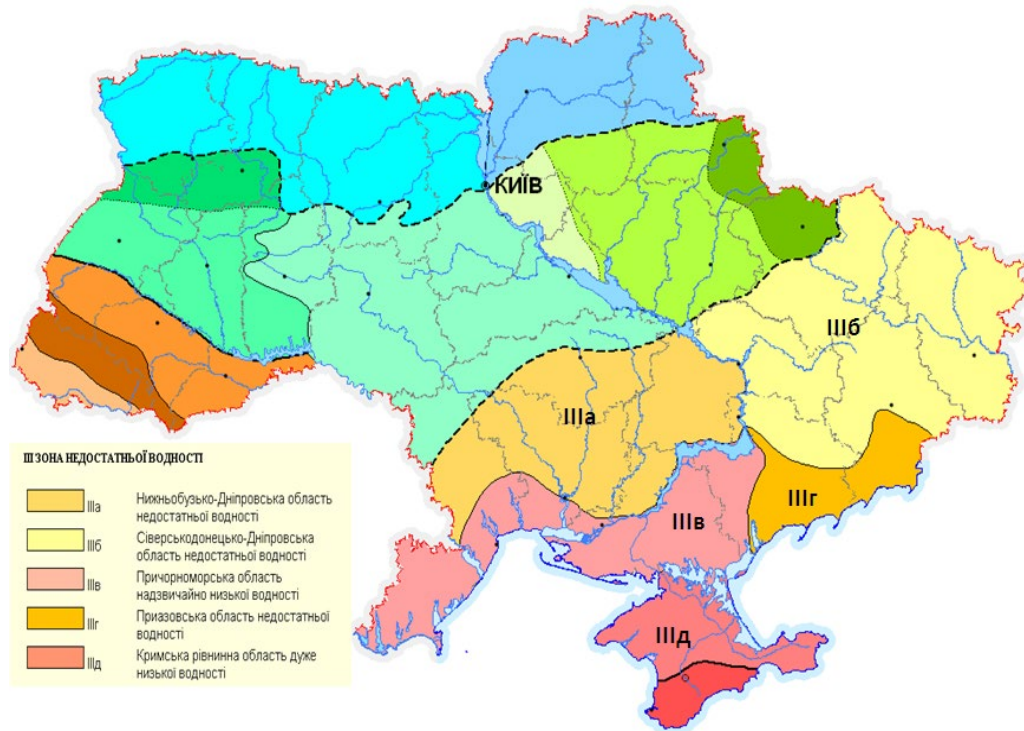


Рисунок 2.1 – Карта-схема гідрологічного районування України [12]

Мінімальний стік річок в зоні недостатньої водності формується за рахунок підземного живлення, яке визначається місцевими гідрогеологічними і кліматичними умовами, характером підстильної поверхні (рельєф, ґрунти, рослинність, заболоченість, озерність, залісеність) та господарською діяльністю. В цілому на території України у водному режимі річок виділяють літньо-осінню та зимову межень. Літньо-осіння межень спостерігається від кінця повені до початку осінніх паводків (червень-листопад) або до льодових явищ. Літньо-осіння межень пов'язана з малою кількістю опадів і значними витратами води на випаровування. В цей період річки живляться в основному ґрунтовими водами, інколи літня межень може перериватися короткочасними паводками. Зимову межень спостерігається від початку льодових явищ до початку повені. Цей період зазвичай співпадає з періодом льодоставу [10].

Умови формування мінімального стоку розглядаються окремо для річок з зі стійким і нестійким льодоставом. Для розглядуваної території більш низька межень характерна для літньо-осіннього періоду, коли відбувається виснаження підземних вод, що формують стік (рис. 2.2-2.3). Але в окремі роки межень може бути не вираженою і перериватися дощовими паводками (рис. 2.4).

Основними розрахунковими характеристиками мінімального стоку, які використовуються на практиці, є середні місячні, або 30-добові, і середньодобові витрати води зимової й літньої межені.

Для статистичної обробки характеристик часових рядів мінімальних 30-добових витрат використані багаторічні дані по 69 гідрологічних постах за зимовий та літньо-осінній період в зоні недостатньої водності України. За розрахунковий взято період з початку спостережень по 2015 р. включно. Для визначення статистичних параметрів використано метод моментів та найбільшої правдоподібності [14].

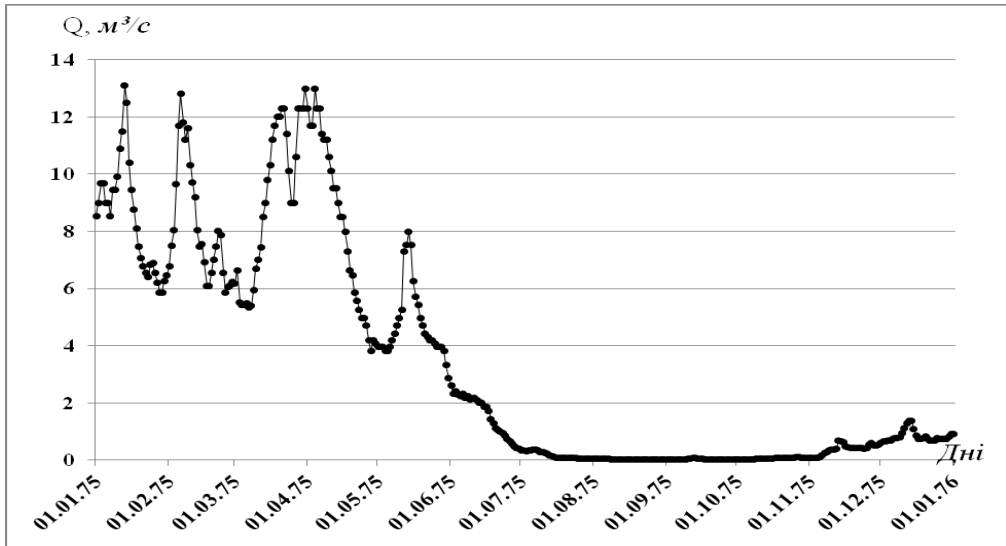


Рисунок 2.2– Гідрограф р. Самара – с. Кочережки (1975 р.)

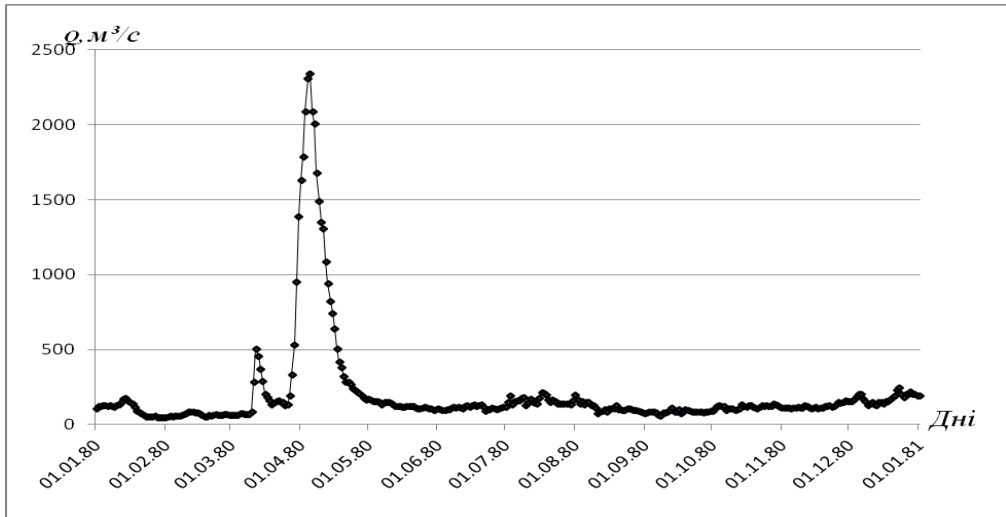


Рисунок 2.3 – Гідрограф стоку р. Південний Буг – смт Олександрівка (1980 р.)

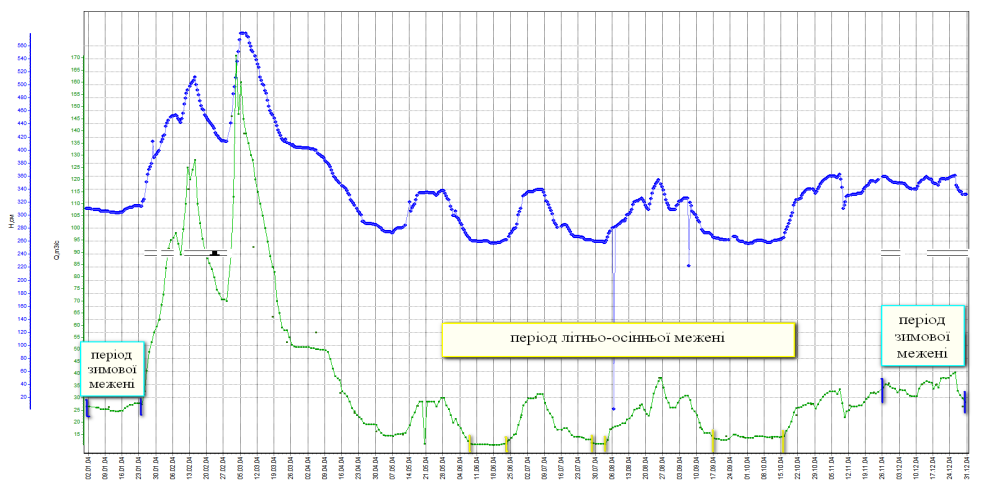


Рисунок 2.4 –Гідрограф стоку р. Самара – с. Кочережки (2004 р.)

Основним нормативним документом, який регламентує визначення основних гідрологічних характеристик річок при проектуванні та інженерних розрахунках, залишається й на даний час СНіП 2.01.14-83. Аналізуючи нормативні рекомендації СНіП 2.01.14-83, слід відзначити, що матеріали на яких виконані дослідження в цьому документі обмежуються 1976 р. Таким чином, період тривалістю більше 40 років на даний час в цих рекомендаціях не врахований, і отже не враховані сучасні тенденції в часових рядах мінімального стоку, які суттєво відрізняються від кінця 1980-х років минулого сторіччя [15].

Для розрахунку мінімальних витрат води заданої забезпеченості використовуються стандартні параметри теоретичних кривих розподілу: середнє арифметичне, коефіцієнт варіації та коефіцієнт асиметрії. Нормативним документом СНіП 2.01.14-83 рекомендується теоретичний трьох параметричний гама розподіл С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля та біноміальний розподіл Пірсона III типу. У зарубіжній практиці частіше використовуються розподіл Гумбеля або логарифмічно нормальний.

Норма мінімального 30-добового стоку (зимового або літнього) \bar{Q}_{30} визначається як середньобагаторічне значення із середньомісячних величин мінімального стоку [16]

$$\bar{Q}_{30} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{30i}}{N}, \quad (2.1)$$

де Q_{30i} – середньомісячні (30-добові) величини мінімального стоку в i -му році;

N – кількість років спостережень.

Розрахункова щорічна ймовірність перевищення мінімальної 30-добової (або середньомісячної) витрати води приймається при проектуванні:

зрошування – 85 %, гідроелектростанцій – 90 %, для господарсько-питних потреб у зоні надмірного зволоження – 95 %, а в зоні недостатнього зволоження – 97 %. Опорною, у відповідності з нормативним документом СНіП 2.01.14-83 [17], прийнята забезпеченість $P = 80$ %. Щодо інших забезпеченостей, то

$$Q_{30p} = \lambda_p Q_{3080\%}, \quad (2.2)$$

де λ_p – перехідний коефіцієнт від опорної $P=80\%$ до інших ймовірностей перевищення.

Значення коефіцієнтів для окремих районів наведені у [17].

При коротких рядах спостережень за стоком або за їх відсутності витрати води $Q_{3080\%}$ для великих і середніх річок рекомендується визначати по річках-аналогах або інтерполяцією їх модулів по річках районуякі, наприклад, наведені у СНіП 2.01.14-83 (окремо за літньо-осінній і зимовий періоди) [17].

Для малих річок з площею водозборів менше за 2000 км² нормативним документом рекомендується $Q_{80\%}$ визначати за формулою, запропонованою А.М. Владимировим [17],[18]

$$Q_{80\%} = 10^{-3} a \cdot (F \pm f)^n, \quad (2.3)$$

де f – середня по району площа з відсутністю стоку (-) або середня площа підземного басейну, який забезпечує додаткове живлення річок даного району (+) внаслідок карсту;

a і n – параметри, які характеризують зволоженість даного району й інтенсивність зміни стоку із зростанням площі водозборів.

Їх значення наведені в таблицях СНіП [17], зокрема, на території України при розрахунках стоку зимової межені виділяється 22 таких райони, а літньо-осінньої – 19.

Для визначення мінімальних 30-добових витрат води забезпеченістю 80 % в зоні недостатньої водності України використано ординати трьохпараметричного гамма розподілу Крицького-Менкеля та Пірсона III типу (біноміальна крива розподілу). Порівняльний аналіз отриманих значень показав, що вони практично співпадають в діапазоні забезпеченостей 75-90 %, але при ймовірності перевищення 97 % використання біноміальної кривої призводить до від'ємних значень мінімального стоку. Отже, використання біноміальної кривої є обмеженим забезпеченістю 97 %, а саме вона є розрахунковою для забезпечення водогосподарських потреб у зоні недостатньої водності. Таким чином, для досліджуваної території можна рекомендувати лише теоретичний розподіл Крицького-Менкеля.

З метою оцінки відповідності теоретичного розподілу емпіричним даним побудовані емпіричні криві мінімальних витрат води за зимовий та літньо-осінній період та окремо для постів з нестійким льодовим покривом. Для визначення мінімальних витрат води різної забезпеченості, а саме $P=75\%$, 80% , 90% та 97% в зоні недостатньої водності України було обрано річки з найбільшим періодом спостережень за зимовий період та період відкритого русла (р. Кодима – с. Катеринка, р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка, р. Південний Буг – смт Олександрівка, р. Інгул – с. Новогорожене, р. Гайчур – с. Андріївка, р. Берда – с. Осипенко) та з нестійким льодовим покривом (р. Сіверський Донець – м. Лисичанськ). Аналіз отриманих кривих показав, що величини, розраховані за теоретичним розподілом практично співпадають з емпіричними значеннями. Виключенням є значення мінімальних витрат води на р. Кодима – с. Катеринка та р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка за зимовий період, де теоретична крива дає завищені значення у порівнянні з емпіричним розподілом. Причини такого результату потребують додаткових досліджень, тем не менш у переважній більшості теоретичний розподіл добре

збігається з емпіричним. Подальшим етапом дослідження стало порівняння мінімальних витрат води опорної 80 %-вої забезпеченості, які отримані на сучасних вихідних даних, з аналогічними даними зі СНіП 2.01.14.83. Згідно з нормативним документом, мінімальні витрати води були отримані для великих та середніх річок за допомогою карт ізоліній та допоміжних таблиць, а для малих річок – за формулою А.М. Владимиrowa. Порівняння отриманих величин представлені на рис. 2.5-2.8.

Як добре проілюстровано на рис. 2.5-2.8, сучасні розрахункові значення мінімального стоку у зимовий період практично в 2 рази, а у літньо-осінній період на 25 % вище у порівнянні зі значеннями, розрахованими за методикою СНіП. Отже, необхідним є обґрунтування нової розрахункової методики на сучасних вихідних даних[19].

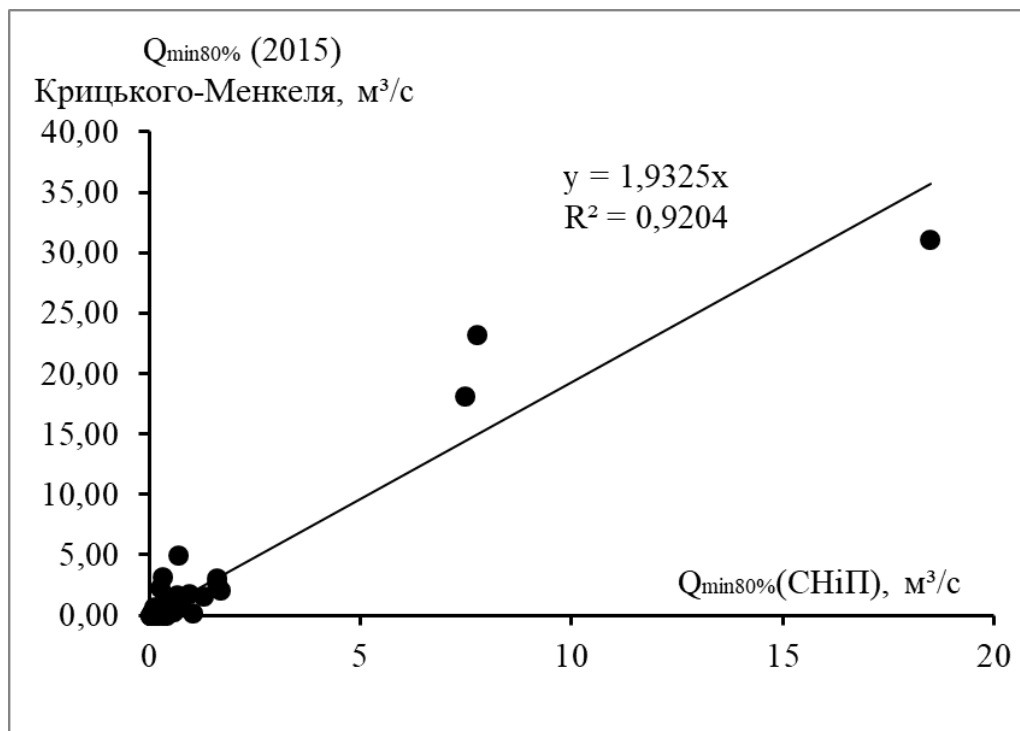


Рисунок 2.5 – Порівняння мінімальних 30-добових витрат води опорної 80%-відсоткової забезпеченості, розрахованих за теоретичним розподілом Крицького-Менкеля та за методикою СНіП 2.01.14.83 (зимовий період)

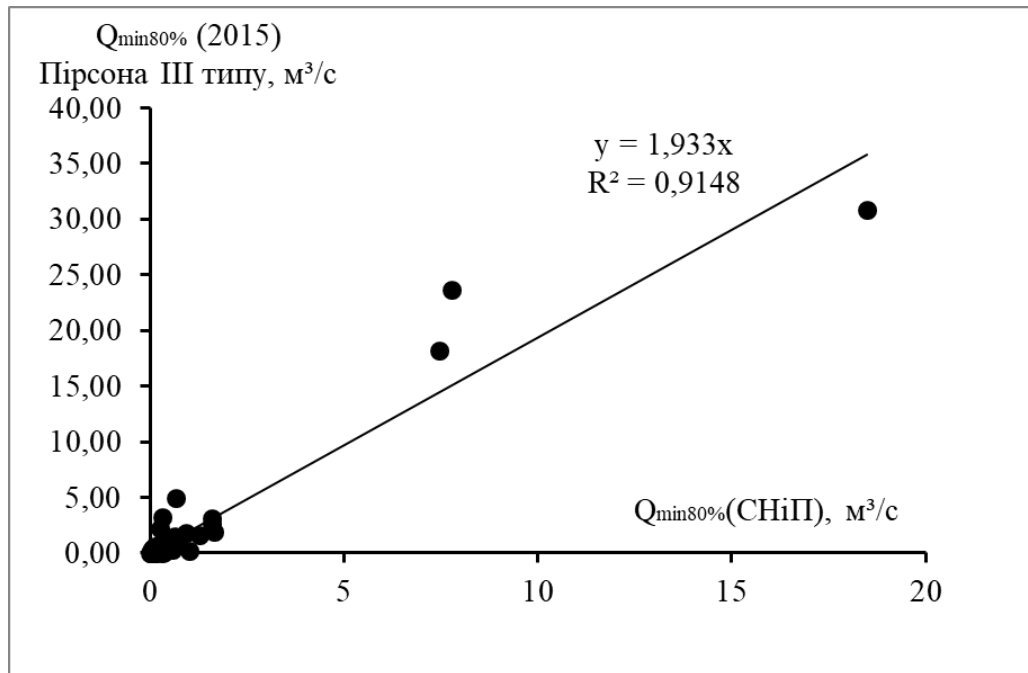


Рисунок 2.6 – Порівняння мінімальних 30-добових витрат води опорної 80% - відсоткової забезпеченості, розрахованих за теоретичною кривою розподілу Пірсона ІІІ типу та за методикою СНіП 2.01.14.83 (зимовий період)

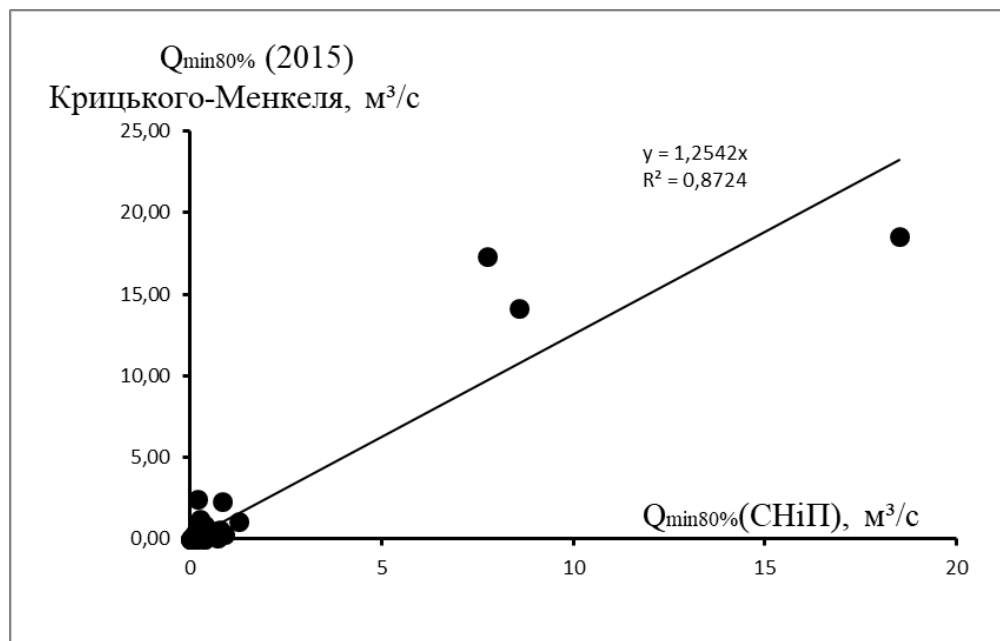


Рисунок 2.7 – Порівняння мінімальних 30-добових витрат води опорної 80% - відсоткової забезпеченості, розрахованих за теоретичним розподілом Крицького-Менкеля та за методикою СНіП 2.01.14.83 (період відкритого русла)

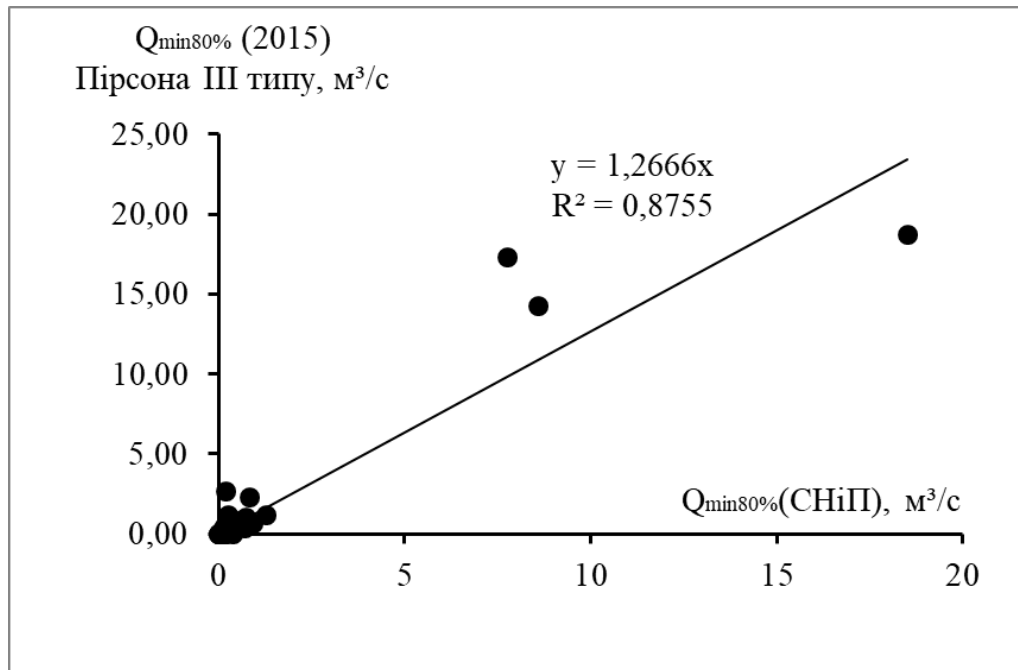


Рисунок 2.8 – Порівняння мінімальних 30-добових витрат води опорної 80% - відсоткової забезпеченості, розрахованих за теоретичною кривою розподілу Пірсона III типу та за методикою СНіП 2.01.14.83 (період відкритого русла)

2.2 Визначення екологічних витрат річок за методикою, яка рекомендована УкрГМЦ

У зв'язку з глобальними змінами клімату, урбанізацією та господарською діяльністю, насамперед зарегулювання стоку (греблі, дамби, укріплення берегів, ГЕС та ГАЕС тощо) з року в рік в Україні збільшується кількість річок з докорінно зміненим режимом. Все це призводить до значних екологічних збитків та негативно відбивається на умовах життя населення. З іншого боку, в останні роки найбільш гострою проблемою, зокрема на території Півдня України, постає гідрологічна ситуація природного характеру – маловоддя або гідрологічна посуха [20].

Відповідно до Водного кодексу України, маловоддя це період (фаза) гідрологічного режиму водного об'єкта, при якому спостерігається зменшення його водності, внаслідок чого погіршуються умови забезпечення

потреб у водних ресурсах. У маловодні роки ситуація катастрофічно погіршується. Багато річок перетворюються на колектори стічних вод, використання яких для побутових цілей непридатне, а очистка такої води потребує значно більших коштів порівняно із заходами щодо запобігання її забрудненню [21].

В Україні для визначення екологічних витрат використовується Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України, яке затверджене для використання у 2020 році [6].

Відповідно до цього Положення, встановлено такий порядок визначення (розрахунку) екологічної витрати води:

1. Побудова кривої забезпеченості – будується за середніми річними витратами води за весь період спостережень.

2. Після побудови кривої, визначається значення середньої річної витрати води, що відповідає 95 % забезпеченості.

3. Визначивши значення середньорічної витрати 95 % забезпеченості, вибирається рік, середня витрата якого відповідає або близька до даного значення.

4. Визначивши рік – вибирається найменша середня місячна витрата води у період літньо-осінньої межени (червень-листопад).

5. Визначається 75 % від отриманої середньої місячної витрати води.

Для визначення екологічних витрат річок зони недостатньої водності України використано багаторічні дані по 12 гідрологічних постах за літньо-осінній період.

Як приклад розрахунку екологічної витрати представлений розрахунок для гідрологічного поста у с. Катеринка, що розташований на річці Кодима:

1. Побудовано криву забезпеченості за період з початку спостережень по 2015 рік включно (рис. 2.9).

2. Після побудови кривої, визначено значення середнього річного модулю стоку, що відповідає 95 % забезпеченості. Для р. Кодима –

с. Катеринка значення середнього річного модулю стоку складає $0,19 \text{ л/с км}^2$ або середня місячна витрата води – $0,45 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. Визначивши значення середньорічної витрати води 95 % забезпеченості, вибирається рік, середня витрата якого відповідає або близька до даного значення. Для даного гідрологічного поста це 1959 рік.

4. Визначивши рік – вибрано найменшу середню місячну витрату води у період літньо-осінньої межені (червень-листопад). Для р. Кодима – с. Катеринка значення середньої місячної витрати води у період літньо-осінньої межені складає $0 \text{ м}^3/\text{с}$.

5. Визначаємо 75 % від отриманої середньої місячної витрати води. Для р. Кодима – с. Катеринка, що є прикладом, отримуємо значення витрати $0 \text{ м}^3/\text{с}$, яка і є показником екологічної витрати води для даного поста.

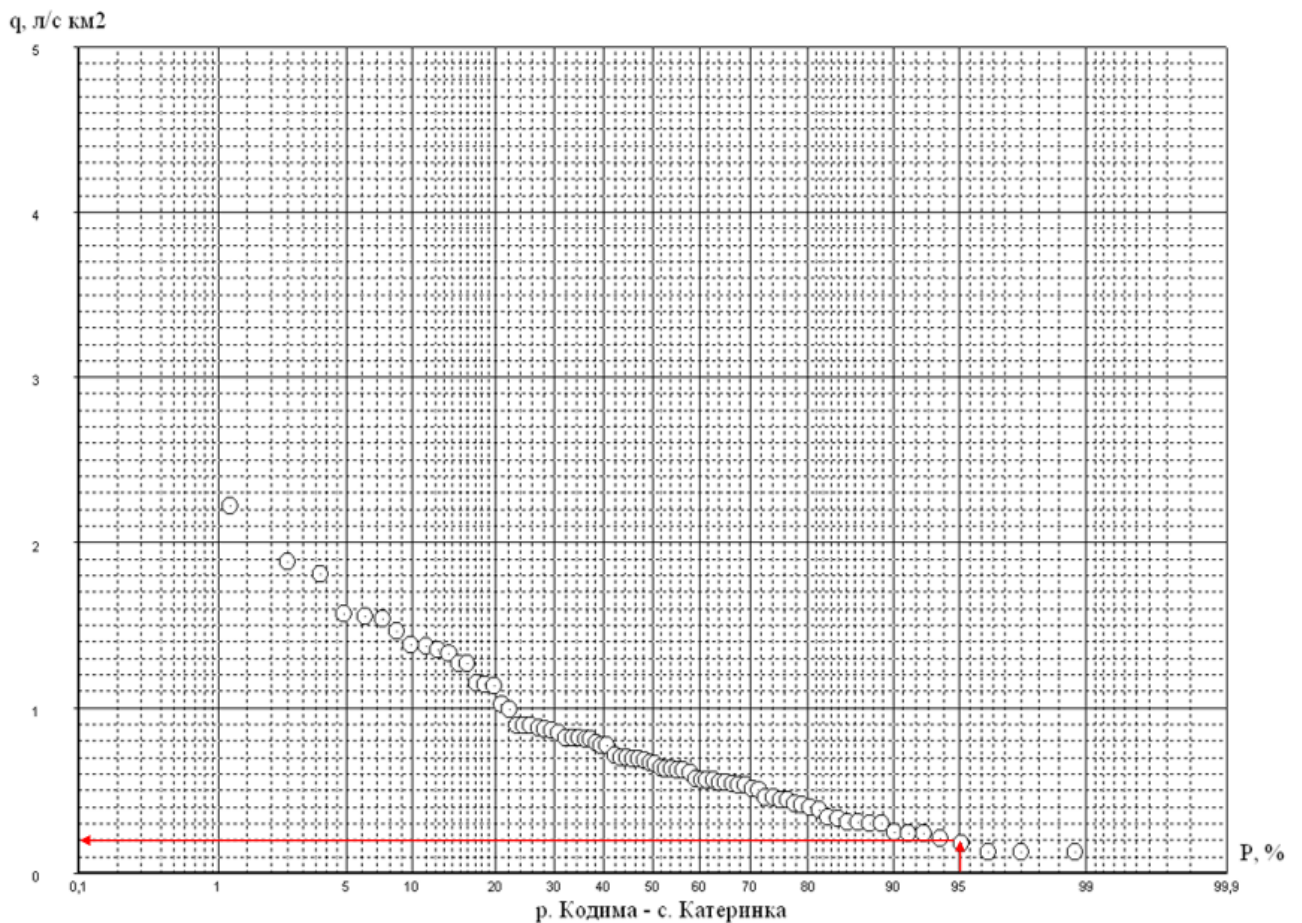


Рисунок 2.9 – Крива забезпеченості середньорічних модулів стоку
р. Кодима – с. Катеринка

Результати визначення екологічних витрат води згідно з Положенням про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) в зоні недостатньої водності України представлено в табл. 2.1.

2.3 Уточнення методики визначення екологічного стоку з використанням даних про мінімальний стік річок зони недостатньої водності України

Для запобігання виснаження водних ресурсів регіону необхідним є їх раціональне використання протягом року, а також сучасна інформація щодо об'ємів витрат, які повинні залишитися в річці для підтримки її нормального стану, який характеризується екологічною витратою. Ця важлива характеристика може бути визначена різними способами, в тому числі й на базі мінімальних витрат води різної забезпеченості [22].

Для визначення екологічних витрат на річках зони недостатньої водності України запропоновано два варіанти розрахунку, а саме: «Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України» – методика УкрГМЦ та визначення з використанням розрахункових мінімальних витрати води періоду відкритого русла 95 %-ої та 75 %-ої забезпеченості, які визначені за методикою СНіП 2.01.14-83 або за теоретичним розподілом С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля [23].

Як вже було сказано вище, використання нормативного документу СНіП 2.01.14-83 [14] на даний час обмежується вихідними даними до 1976 року, які були використані для обґрунтування розрахункових рівнянь та побудови карт ізолій і районів. На сьогодні виникає необхідність у суттєвому уточненні розрахункових параметрів на сучасних вихідних даних, що й було зроблено в ході представленого дослідження.

Таблиця 2.1–Визначення екологічних витрат води згідно з Положенням про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) в зоні недостатньої водності України

№ п/п	Річка - пост	Період спостережень, п років	Площа водозбору в, F, км ²	Суббасейн	Q _{95%} , м ³ /с	Рік близький до P=95%/Q _{сер}	Мінімальна середня місячна витрата води з червня по листопад	Екологічна витрата (Q _{min} _{сер/місяць} *0,75), м ³ /с
1	р. Тилігул – м. Березівка	47	3170	Річки Причорномор'я	0	1972/0; 1974-1977/0; 1990/0; 1995/0;	0	0
2	р. Кодима – с. Катеринка	80	2390	Південний Буг	0,45	1959/0,43	0	0
3	р. Інгул - с. Новогорожене	81	6670		1,73	1995/1,73	1,01	0,76
4	р. Південний Буг–сmtОлександрівка	98	46200		42,5	1954/42,5	18,0	13,5
5	р. Кінська – м. Пологи	62	353	Басейн Дніпра	0,18	1995/0,19	0,032	0,024
6	р. Орчик – с. Чернещина	59	1310		0,66	1961/0,66	0,012	0,009
7	р. Самара – с. Кочеріжки	61	19800		3,17	1969/3,37	0,35	0,26
8	р. Казенний Торець –сmt Райське	57	936	Басейн Дону	0,67	1962/0,66	0,020	0,015
9	р. Айдар – с. Новоселівка	66	6370		3,12	2015/3,12	1,11	0,83
10	р. Сіверський Донець – м. Ізюм	73	22600		21,4	1954/21,9	7,13	5,35
11	р. Кальчик – с. Кременівка	58	469	Річки Приазов'я	0,54	1986/0,54; 2013/0,54	0,17 0,067	0,13 0,05
12	р. Обитічна – м. Приморськ	69	1300		0,33	2015/,33	0,056	0,042

Методологічне значення запропонованої роботи полягає в удосконаленні методики визначення екологічних витрат у порівнянні з прийнятим Положенням щодо його визначення [6]. Представлені методичні підходи набувають особливого значення саме в зоні недостатньої водності України, де малі, а часто й середні річки пересихають.

Для визначення екологічних витрат авторами пропонується рівняння виду [14]:

$$Q_{ек} = Q_{3095\%л-0} * 0,75, \quad (2.4)$$

де $Q_{3095\%л-0}$ – мінімальна витрата води за період відкритого русла 95 % ймовірності перевищення.

Для малих річок з площею водозборів менше за 2000 км²

$$Q_{ек} = Q_{3075\%л-0} * 0,75, \quad (2.5)$$

де $Q_{3075\%л-0}$ – мінімальна витрата води за період відкритого русла 75 % ймовірності перевищення.

Результати розрахунку та визначення екологічних витрат води різними методами в зоні недостатньої водності України представлені в табл. 2.2.

Аналізуючи отримані результати, які розраховані за допомогою методики УкрГМЦ та за методикою СНіП 2.01.14-83 або за теоретичним розподілом С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля, можна зробити висновок, що, в цілому вони мають добру збіжність, у більшості випадків величини екологічних витрат (р. Кодима – с. Катеринка, р. Кінська – м. Пологи, р. Орчик – с. Чернещина, р. Самара – с. Кочеріжки, р. Казенний Торець – смт Райське, р. Сіверський Донець – м. Ізюм, р. Кальчик – с. Кременівка та р. Обитічна – м. Приморськ), які розраховані через мінімальні витрати води заданої забезпеченості перевищують ті, що отримані за методикою УкрГМЦ. Такі результати дозволяють рекомендувати такий варіант визначення екологічних витрат нарівні з методикою, яка рекомендована УкрГМЦ.

Таблиця 2.2 – Визначення екологічних витрат води різними методами в зоні недостатньої водності України

№ п/п	Річка - пост	Період спостережень, п років	Площа водозборів, F, км ²	Район річкового басейну	Q _{95%} , м ³ /с	Рік близький до P=95%/Q _{сер}	Мінімальна середня місячна витрата води з червня по листопад	Екологічна витрата (Q _{minсер/місяць} *0,75)	Екологічна витрата Q _{min95%*} 0,75 СНІП 2.01.14-83	Екологічна витрата Q _{min95%*} 0,75 розподіл Крицького-Менкеля
1	р. Тилігул – м. Березівка	47	3170	Річки Причорно мор'я	0	1972;1977/0; 1990/0 1995/0;	0	0	0	0
2	р. Кодима – с. Катеринка	80	2390	Південний Буг	0,45	1959/0,43	0	0	0,01	0,07
3	р. Інгул – с. Новогорожене	81	6670		1,73	1995/1,73	1,01	0,76	0,12	0,40
4	р. Південний Буг – смт Олександрівка	98	46200		42,5	1954/42,5	18,0	13,50	10,82	10,86
5	р. Кінська – м. Пологи	62	353	Басейн Дніпра	0,18	1995/0,19	0,032	0,024	0,02	0,05
6	р. Орчик – с. Чернещина	59	1310		0,66	1961/0,66	0,012	0,009	0,13	0,03
7	р. Самара – с. Кочеріжки	61	19800		3,17	1969/3,37	0,350	0,260	0,37	0,26
8	р. Казенний Торець – смт Райське	57	936	Басейн Дону	0,67	1962/0,66	0,020	0,015	0,09	0,09
9	р. Айдар – с. Новоселівка	66	6370		3,12	2015/3,12	1,11	0,830	0,74	0,64
10	р. Сіверський Донець – м. Ізюм	73	22600		21,4	1954/21,9	7,13	5,35	5,03	8,27
11	р. Кальчик – с. Кременівка	58	469	Річки Приазов'я	0,54	1986/0,54; 2013/0,54	0,17 0,067	0,13 0,05	0,05	0,08
12	р. Обитічна – м. Приморськ	69	1300		0,33	2015/0,33	0,056	0,042	0,10	0,04

3 РЕГІОНАЛЬНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ В ОКРЕМИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

3.1 Регіональні обґрунтування розрахункових параметрів методики розрахунку максимального стоку паводків річок Прикарпаття

Географічно басейни річок Прикарпаття розташовані на північних схилах Українських Карпат на заході України [1]. Це праві притоки гірської частини Дністра вище р. Бистриця, ліві притоки до р. Стрвяж, а також верхів'я річок Прут до м. Чернівці та Сірет до м. Сторожинець басейну р. Дунай.

Для визначення та узагальнення розрахункових характеристик паводкового стоку у теплий період було використано багаторічні часові ряди спостережень по максимальних витратах води, шарах стоку та тривалості дощових паводків по 43 діючих та 9 закритих гідрологічних постах, що представлені на карто-схемі (рис. 3.1).

3.1.1 Запропонована методика для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Прикарпаття

В якості регіональної методики для визначення максимального стоку паводків теплого періоду для річок Прикарпаття прийнята операторна структура з використанням даних по максимальних шарах паводкового стоку, запропонована авторами [2].

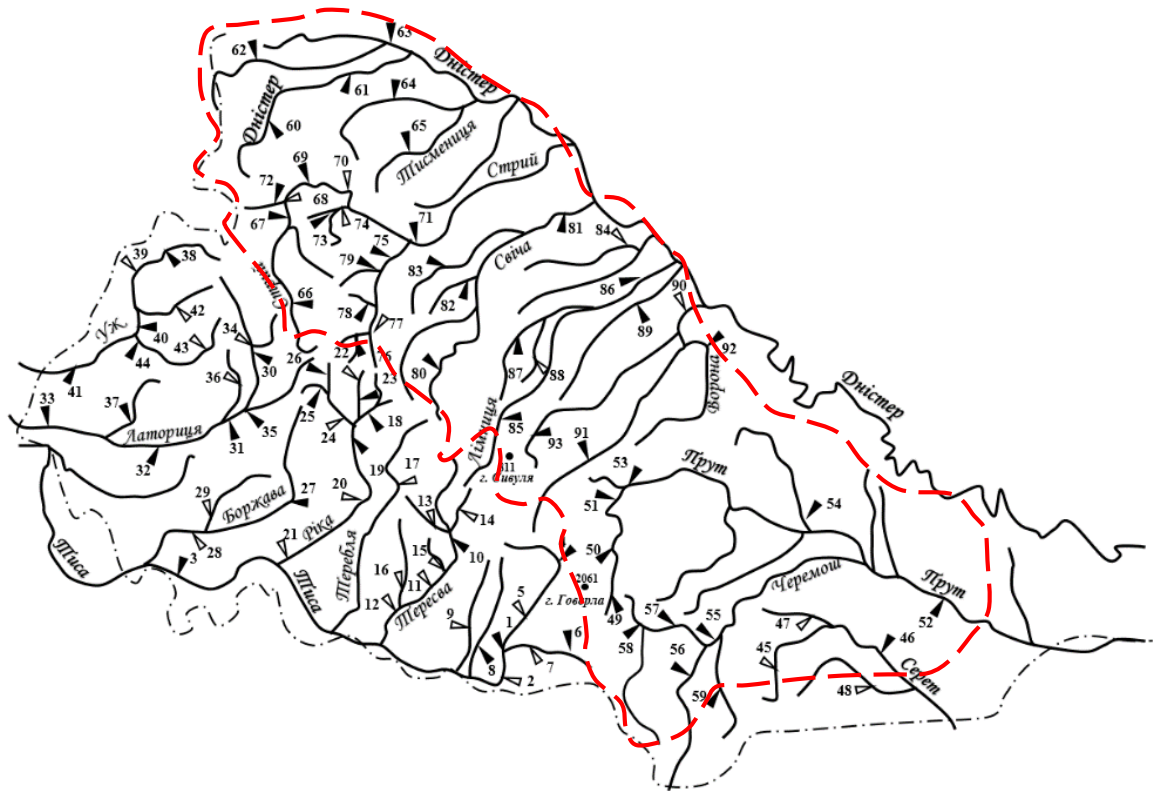


Рисунок 3.1 – Карта-схема гідрологічної мережі на території
Прикарпаття

Базове рівняння з визначеними регіональними параметрами має вигляд:

$$q_p = q'_{1\%} \psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F r \lambda_p, \quad (3.1)$$

де q_p – максимальний модуль руслового стоку, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$;

$q'_{1\%}$ – максимальний модуль схилового припливу, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, рівний

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}; \quad (3.2)$$

$\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу (для річок

Прикарпаття дорівнює 8,86, а показник степеня у рівняннях кривих ізохрон $n = 0,13$);

T_0 – тривалість схилового припливу, год. Для річок Прикарпаття осереднено по території на рівні 66 год.;

$Y_{1\%}$ – шар стоку дощових паводків забезпеченістю $P = 1\%$, мм. Для річок Прикарпаття величина шару стоку визначається за регіональним рівнянням вигляду [2]

$$Y_{1\%} = 195 + 0,15(H_{сер} - 800), \quad (3.3)$$

де $H_{сер}$ – середня висота водозборів, м;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ – трансформаційна функція, яка зумовлена часом руслового

добігання t_p , визначається:

а) при $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1,0; \quad (3.4)$$

б) при $t_p < T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,83\left(\frac{t_p}{66}\right)^{0,13}; \quad (3.5)$$

в) при $t_p \geq T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{7,59}{t_p} \left(2 - \frac{35}{t_p}\right); \quad (3.6)$$

г) при $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0, \quad (3.7)$$

t_p – тривалість руслового добігання визначається як співвідношення гідрографічної довжини річки L до швидкості добігання $V_\partial = 1,44F^{0,16}I^{0,33}$;

ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання. У межах Передкарпаття коефіцієнт русло-заплавного регулювання описується регіональним рівнянням

$$\varepsilon_F = \exp[-0,18 \cdot \lg(F + 1)]; \quad (3.8)$$

r – коефіцієнт регулювання максимального стоку озерами і водосховищами проточного типу, визначається згідно з рекомендаціями СНіП 2.01.14-83. При визначенні максимального стоку забезпеченістю менше 5 % – $r = 1,0$;

λ_p – коефіцієнт забезпеченості:

$P, \%$	1,0	3,0	5,0	10,0
λ_p	1,0	0,73	0,61	0,46

В рамках даного дослідження було виконано визначення та узагальнення розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків для річок Прикарпаття (басейни верхнього Дністра, Прута та Сірету – рис. 3.1), що включають данні по 2015 рік, на відміну від 2008 рік у [2].

Більш пізніші дослідження у [3] базуються також на операторній моделі рівняння (3.1) яка фактично не має обмежень з точки зору генетичних типів паводків і водопіль, а також розмірів річок, але визначення розрахункових максимальних витрат води дощового стоку визначати з урахуванням районування території [4].

3.1.2 Узагальнення шарів паводкового стоку річок Прикарпаття по території

Приступаючи до просторового узагальнення шарів стоку в гірських районах, необхідно насамперед мати на увазі, що стокові характеристики в горах, на відміну від рівнинних територій, підпорядковуються не географічній зональності, а висотній поясності. У силу цього, картування стокових величин, по суті, у гірських умовах неможливе або має певні труднощі. Тому в усіх випадках бажано приведення даних до якогось одного висотного рівня і до нього приводити їхнє просторове узагальнення.

Для шарів стоку \bar{y}_m така залежність показана на рис. 3.2. Її можна описати лінійним рівнянням вигляду:

$$\bar{y}_m = a_n + \alpha_n H_{cp}, \quad r = 0,66, \quad (3.9)$$

де a_n і α_n – параметри, обумовлені зв'язком \bar{y}_m і H_{cp} .

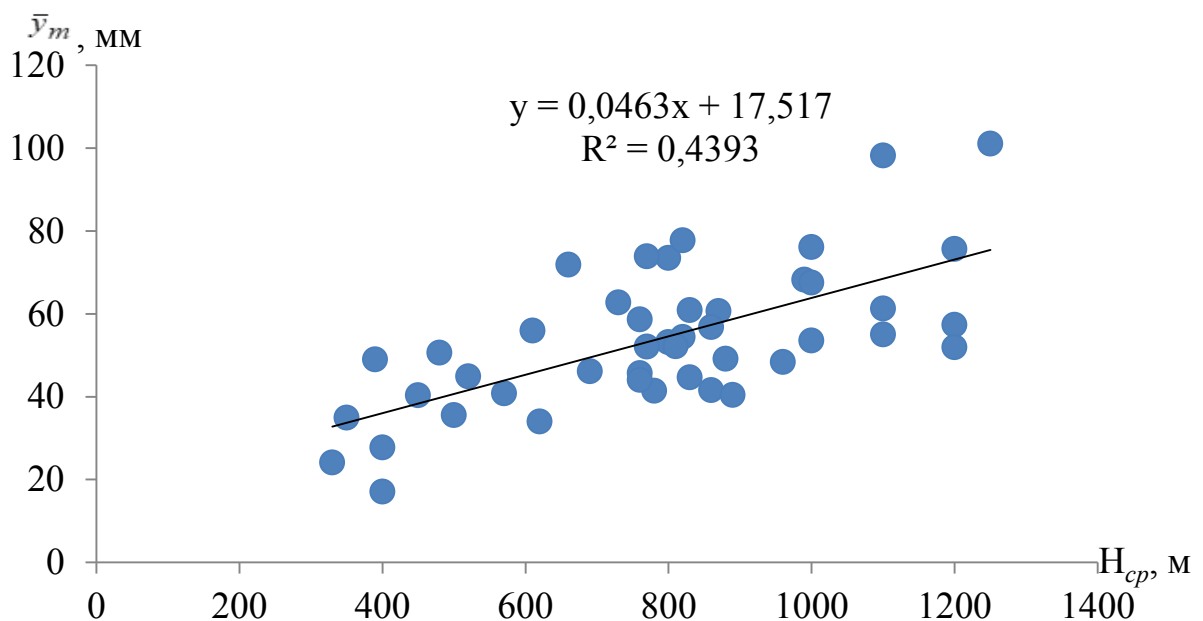


Рисунок 3.2 – Залежність середнього шару паводкового стоку від середньої висоти водозборів на території Прикарпаття

Щоб одержати величину параметра α_n , яка відповідає реальним масштабам \bar{y} , здійснимо приводку всіх даних до середньої висоти $H_{cp}=500$ м. Тоді

$$\bar{y}_n = \bar{y}_{500} + \alpha_n(H_{cp} - 500), \quad (3.10)$$

де \bar{y}_{500} – середнє багаторічне значення шару паводкового стоку \bar{y}_m , приведене до умовної висоти $H_{cp}=500$ м.

Параметр α_n для Прикарпаття дорівнює 0,045 і фізично відповідає градієнту зміни \bar{y}_m на кожний метр висоти. Легко бачити, що на кожні 100 м висоти шар стоку \bar{y}_m збільшується в середньому на 4,5 мм.

Вираз (3.10) можна записати й в іншій редакції:

$$\bar{y}_n = \bar{y}_{500}k_n, \quad (3.11)$$

де k_n – коефіцієнт впливу висоти місцевості на шар паводкового стоку, рівний

$$k_n = 1 + \frac{\alpha_n}{\bar{y}_{500}}(H_{cp} - 500). \quad (3.12)$$

Природа такої залежності обумовлена тим, що в гірських районах, особливо на навітряних схилах, має місце збільшення з висотою кількості опадів. З іншого боку, із ростом висоти зменшується температура повітря, що у свою чергу призводить до зниження втрат стоку на випаровування.

Другим важливим чинником, який спроможний порушити загальну закономірність зміни шару стоку з висотою, може бути залісеність f_l . У Карпатах залісеність водозборів досить значна – від 21 % (р. Яблунька-м. Турка) до 95 % (р. Свіча – х. Мислівка) при середній по регіону – біля 60 %.

Для оцінки впливу лісу на шар паводкового стоку річок Прикарпаття була побудована залежність приведених значень \bar{y}_{500} , встановлених для всіх 45 водозборів, від відносної залісеності f_l (у %). Як очевидно з рис. 3.3, має місце добре виражена тенденція збільшення шару стоку з ростом f_l . Її рівняння має вигляд:

$$\bar{y}_{500} = \bar{y}_{500;50} + \alpha_l(f_l - 50), \quad (3.13)$$

де $\bar{y}_{500;50}$ – середній шар паводкового стоку, приведений до висоти $H_{cp}=500$ м і залісеності $f_l=50$ %.

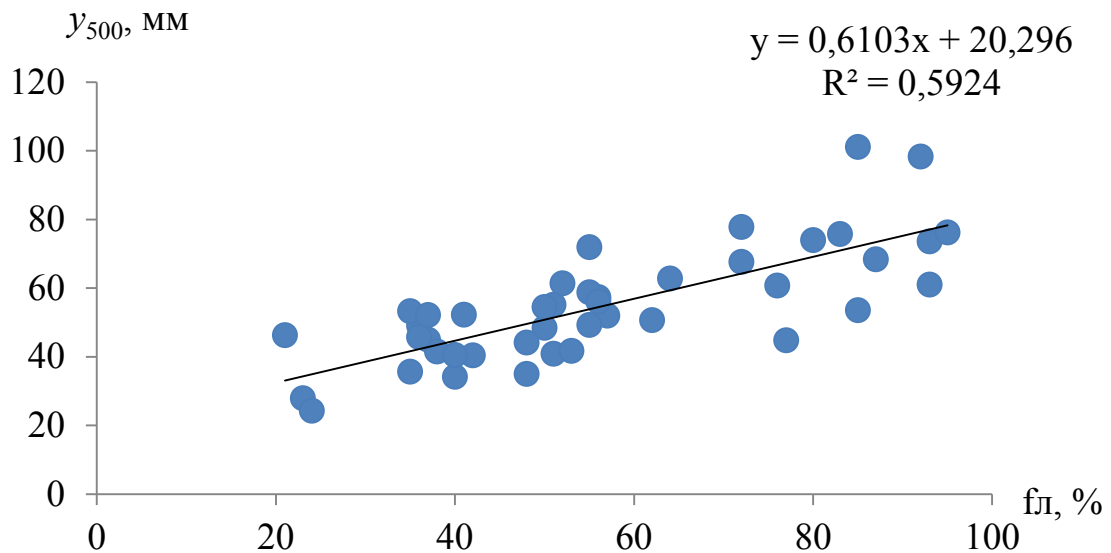


Рисунок 3.3 – Залежність приведених значень \bar{y}_{500} від відносної залісеності f_l (у %) для гірських річок Прикарпаття

На підставі залежностей (3.12) і (3.13)

$$\bar{y}_H = \bar{y}_{500}k_H = k_H[\bar{y}_{500;50} + \alpha_l(f_l - 50)]. \quad (3.14)$$

Вираз у квадратних дужках, запишемо за допомогою коефіцієнта впливу лісу k_l , тобто

$$\bar{y}_{500;50} + \alpha_l(f_l - 50) = \bar{y}_{500;50}k_l \quad (3.15)$$

Тоді

$$k_l = 1 + \frac{\alpha_l}{\bar{y}_{500;50}}(f_l - 50) \quad (3.16)$$

Рівняння для визначення розрахункових шарів стоку матиме вигляд

$$\bar{y} = \bar{y}_{500;50}k_n k_l \quad (3.17)$$

Відхилення розрахункових величин шарів стоку \bar{y}_m від вихідних значень (при $\alpha_n = 0,045$, $\bar{y}_{500} = 39,0$ мм, $\alpha_l = 0,204$ і $\bar{y}_{500;50} = 38$ мм) становить $\pm 4,6$ %, що в загальному відповідає точності даних по визначенню характеристик максимального паводкового стоку гірських річок Карпат.

3.1.3 Визначення характеристик схилового припливу для річок Прикарпаття під час проходження паводків у теплий період року

Часова нерівномірність схилового припливу. За своєю сутністю, часова нерівномірність схилового припливу визначається відношенням максимальної витрати води Q'_m до її середньої величини за період водопілля або паводку \bar{Q}'_m , тобто

$$\frac{n+1}{n} = \frac{Q'_m}{\bar{Q}'_m}, \quad (3.18)$$

де $(n+1)/n$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового стоку [2].

В сучасній практиці найбільш ефективним методом визначення коефіцієнтів нерівномірності $(n+1)/n$, за відсутності воднобалансових станцій, запропоновано в [2] – [3]. Він полягає в визначенні n через елементи руслових гідрографів, зокрема, через коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку $(m+1)/m$, що дорівнюють

$$\frac{m+1}{m} = \frac{Q_m}{\bar{Q}_{T_n}} = \frac{q_m T_n}{Y_m}, \quad (3.19)$$

де q_m – максимальний модуль руслового стоку;

T_n – тривалість руслового стоку;

\bar{Q}_{T_n} – середня за паводок витрата води.

Узагальнення $(m+1)/m$ по території може бути відображено за допомогою площі водозборів F . Причому, верхнє граничне значення $(m+1)/m$ при $F \rightarrow 0$ являє собою шуканий параметр нерівномірності схилових гідрографів $(n+1)/n$.

Але існують деякі труднощі у визначенні параметра $(n+1)/n$. Вони пов'язані з недосконалістю засобів розчленування гідрографів, унаслідок чого тривалість паводків T_n може бути як завищеною, так і заниженою. Це відбивається на числових значеннях $(m+1)/m$ і тісноті регіональних залежностей $(m+1)/m = f(F)$.

Тому у [3] рекомендується обчислювати шуканий параметр з використанням середніх величин $\bar{Y}_m, \bar{T}_n, \bar{Q}_m$, тобто

$$\frac{m+1}{m} = \frac{\bar{T}_n \bar{Q}_m}{\bar{Y}_m F} 86,4. \quad (3.20)$$

Для річок Прикарпаття коефіцієнти часової нерівномірності $(m+1)/m$ встановлювались за даними 45 водозборів, а потім узагальнювались в залежності від їх площ водозборів (рис. 3.4). Залежність виражена достатньо добре і може бути проекstrapольована на вісь ординат з метою визначення $(n+1)/n$.

Отже, для річок Прикарпаття рекомендується використовувати $(n+1)/n$ на рівні 9,19, звідки $n=0,12$.

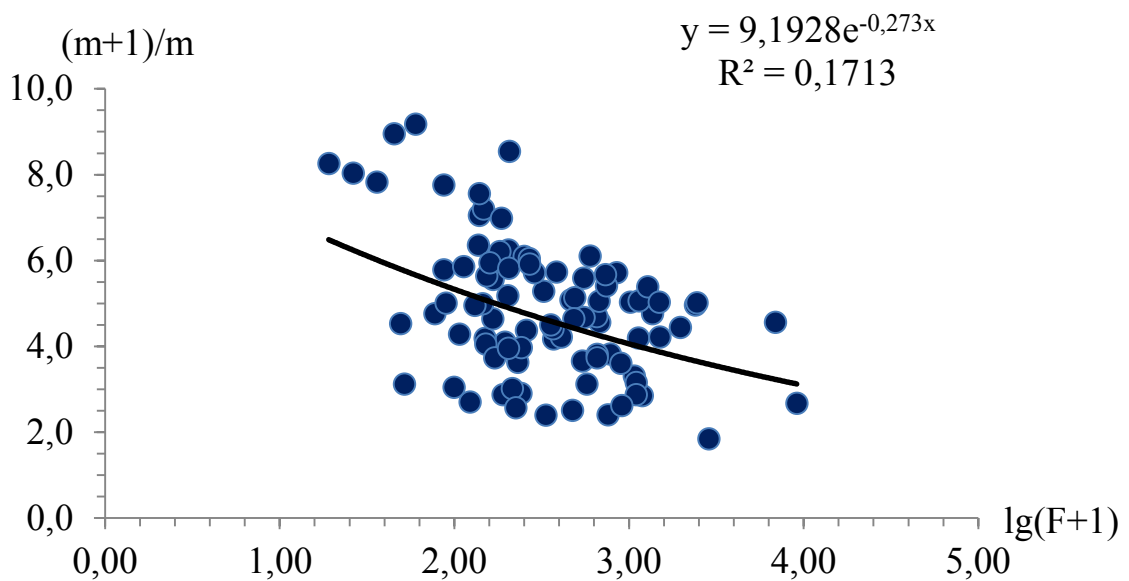


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку від площі водозборів для гірських річок Прикарпаття

Визначення тривалості схилового припливу. Найбільші труднощі при побудові формул максимального стоку зазвичай пов'язані з визначенням тривалості схилового припливу. Його фізичний зміст визначений досить чітко, оскільки тривалість схилового припливу є основою схилових гідрографів. Проте, через рідку мережу воднобалансових станцій і високу мінливість T_0 по території скористатися досить простим прийомом не вдається. Отримати цю величину можна зворотнім шляхом з базової формули максимального стоку. Базуючись на генетичній формулі

А.М. Бефані, та враховуючи операторну модель Є.Д. Гопченка розрахункові рівняння для визначення T_0 можна записати у такому вигляді [3]:

- при $t_p < T_0$

$$\frac{nq_m}{Y_m \varepsilon_F} T_0^{n+1} - (n+1)T_0^n + \frac{m_1+1}{n+m_1} t_p^n = 0; \quad (3.21)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\frac{1}{m_1+1} T_0^{m_1} + \frac{m_1(n+m_1+1)}{(n+1)(m_1+1)} \left[\frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} t_p - \frac{n+m_1+1}{n+1} \right] t_p^{m_1} = 0, \quad (3.22)$$

де m_1 – показник степені в рівнянні кривих ізохрон.

Визначення T_0 в структурах (3.21) і (3.22) ускладнюється тим, що в кожній з них, крім T_0 , невідомим залишається ще й коефіцієнт руслозаплавного регулювання ε_F . У свою чергу наявні рівняння не утворюють системи. Тому кожне з рівнянь необхідно розглядати в два етапи (з накладанням обмежень на параметр ε_F), приймаючи на першому етапі $\varepsilon_F = 1,0$. Слід також зауважити, що за таких умов на першому етапі алгебраїчним шляхом буде вирішуватись лише рівняння (3.22). Щодо рівняння (3.21), а саме з нього розпочинається процедура визначення T_0 , то воно трансцендентного типу і для свого вирішення потребує залучення обчислювальних методів. Досить ефективним, на наш погляд, може бути застосування методу простої однокрокової ітерації. Рівняння (3.22) має два дійсних корні, причому фізично задовільнюючим вирішенню поставлених задач, служить верхній з них. Ось чому пропонується нульове наближення T_0 завжди розпочинати з деякого числа, більшого за тривалість руслового добігання t_p . Точність, з якою відбувається ітерація задається дослідником.

Послідовність обчислювальних процедур відбувається автоматично. Задане завідомо більше, ніж t_p , початкове наближення використовується для здійснення пошуку кореня T_0 у рівнянні (3.21). На кожному кроці відбувається порівняння обчислень T_0 з тривалістю руслового добігання t_p . Якщо на якомусь кроці $t_p > T_0$, а задана точність не досягається, то пошук тривалості T_0 буде відбуватися у структурі рівняння (3.22), але вже алгебраїчним шляхом [3].

Після вирішення задачі встановлення T_0 на першому етапі подальшим є побудування залежності T_0 від розміру водозборів. За її допомогою визначається середня для регіону величина $T_0 = T'_0$, як відрізок на осі ординат залежності $T_0 = f \lg(F + 1)$ при $F=0$.

Просторове узагальнення T_0 дощових паводків на річках Прикарпаття. Враховуючи локальний характер паводкоформуєчих опадів, вихідні побудування залежностей $T_0 = f(\varphi^{\circ} \text{пн.ш.})$ у гірській місцевості не є ефективним науково-методичним прийомом. Тому, починаючи аналіз факторної обумовленості T_0 , доцільно починати з висотного положення водозборів, а потім поступово дослідити вплив на схилу зарегульованість паводкового стоку залісеності і заболоченості. Приведені величини $T_0 = (T_0)_{np}$ визначаються за рівнянням

$$T_0 = \frac{T_0}{k_H \cdot k_L \cdot k_{\sigma}}. \quad (3.23)$$

Осереднюються вони у межах розглядуваної території або районуються.

Таким чином, автором при обґрунтуванні T_0 пропонуються методичні підходи, які спираються на структури об'ємного типу і операторні моделі.

Приступаючи до узагальнення T_0 по території, необхідно, як показано вище, проаналізувати вплив місцевих чинників на тривалість схилового припливу (залісеності і заболоченості) і географічного положення водозборів. Дослідження місцевих факторів здійснювалось в основному за басейновим принципом.

Щоб з'ясувати ступінь впливу на тривалість схилового припливу дощових паводків кожного з місцевих чинників, необхідно спочатку виключити вплив висотного положення водозборів. З цією метою були побудовані залежності вигляду $T_0 = f(H_{cp})$, які показані на рис. 3.5.

З рис. 3.5 видно, що тривалість схилового припливу дощових паводків на річках Передкарпаття загалом підкоряється висотній поясності, причому із збільшенням висоти водозборів T_0 збільшується. Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї висоти, наприклад, $H_{cp} = 500$ м, тобто

$$(T_0)_{H=500} = T_0 - a_H(H - 500), \quad (3.24)$$

де $(T_0)_{H=500}$ – приведені до умовної висоти 500 м значення тривалості схилового припливу дощових паводків;

a_H – кутовий коефіцієнт.

Тоді для Прикарпаття коефіцієнт впливу висотного положення водозборів на T_0 буде становить:

$$k_H = 1 + 0,41 \cdot 10^{-3}(H_{cp} - 500). \quad (3.25)$$

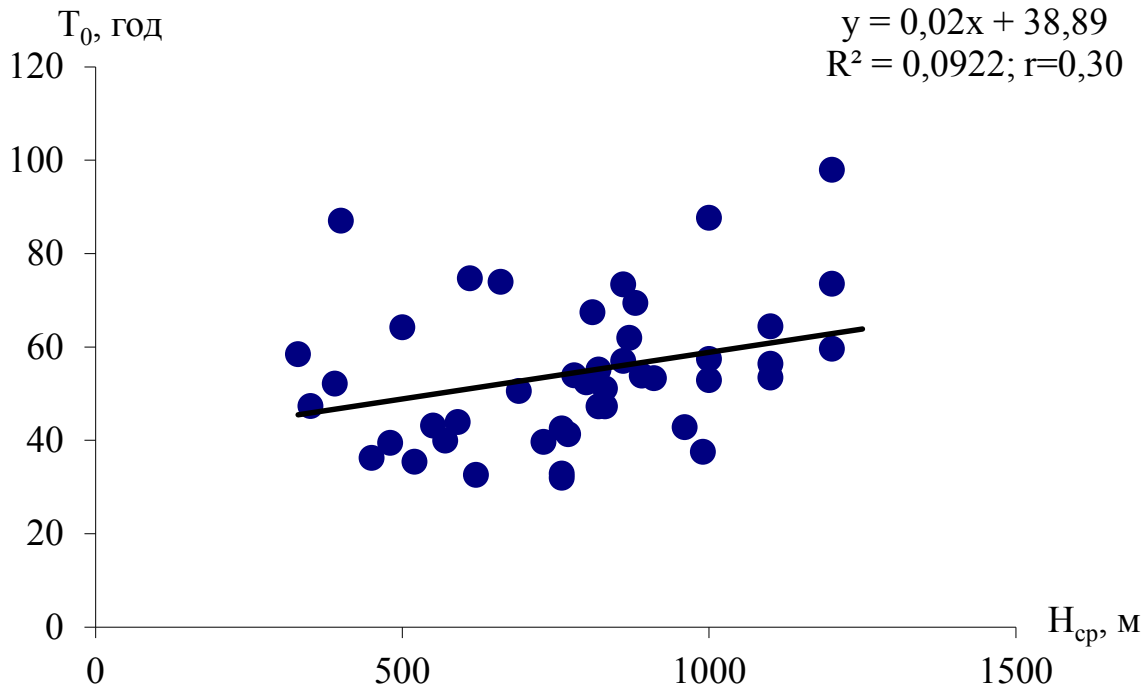


Рисунок 3.5 – Залежність тривалості схилового припливу (год.) дощових паводків теплого періоду від висотного положення водозборів річок Прикарпаття

Приведені значення тривалості схилового припливу $(T_0)_{H=500}$ можна досліджувати на можливий вплив на їх величину залісеності водозборів f_l (рис. 3.6). Для Передкарпаття вплив лісу незначущий.

Заболоченість на гірських водозборах майже відсутня, тому не має сенсу виявляти її вплив.

Таким чином, досліджена тривалість схилового припливу на річках Прикарпаття порівняна з величинами T_0 знятих з карти (рис. 3.7) наведеної у [3], отримано, що похибка не перевищує $\pm 4,3 \%$. А тому для подальших розрахунків рекомендовано використовувати величини зняті з карти рис. 3.7.

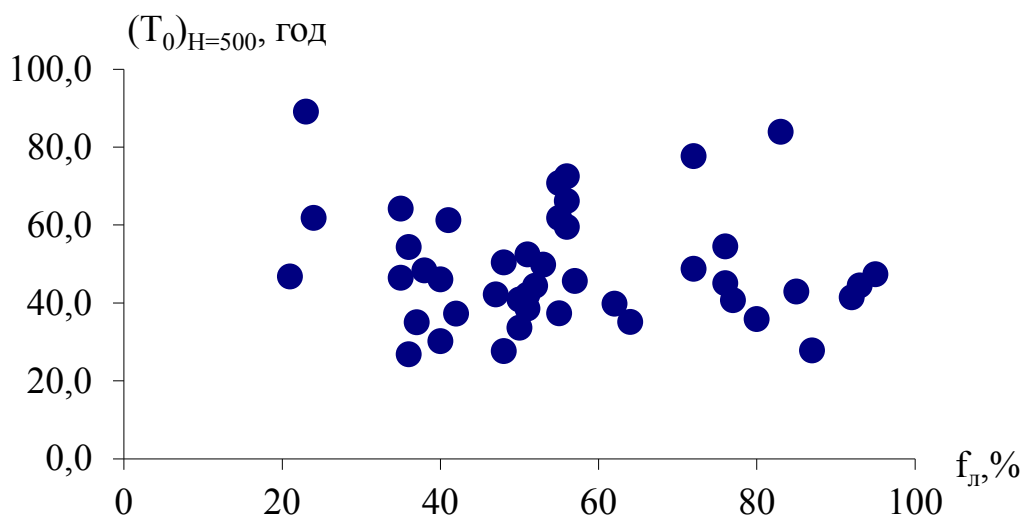


Рисунок 3.6 – Залежність приведених значень тривалості схилового припливу дощових паводків $(T_0)_{H=500}$ (год.) від залісеності водозборів на річках

Прикарпаття

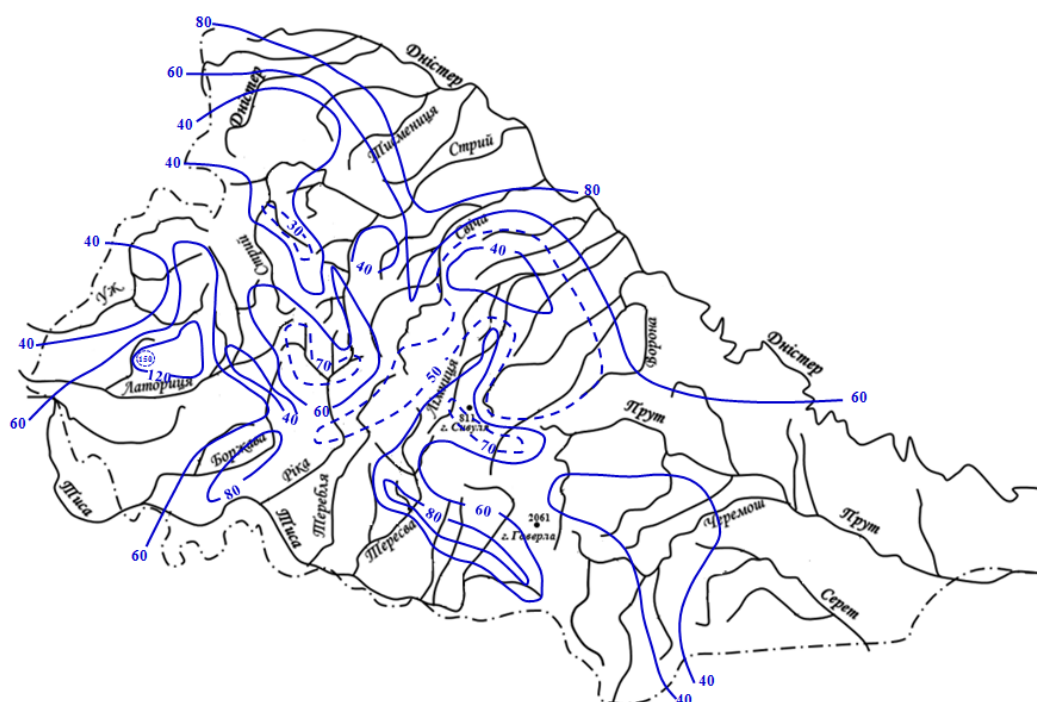


Рисунок 3.7 – Розподіл тривалості припливу води зі схилів у руслову мережу дощових паводків теплого періоду (год.), приведеної до $H_{cp} = 500 \text{ м}$ і

$f_{л} = 50 \%$ на річках Українських Карпат [3]

3.1.4 Трансформаційні функції максимального стоку (русова трансформація, русло-заплавне регулювання, вплив озер та водосховищ русловго типу)

Трансформація максимальних модулів схилового стоку під впливом часу руслового добігання. Як відзначалося вище, максимальний модуль стоку води зі схилів до руслової мережі q'_m під впливом трансформаційних ефектів, пов'язаних з переміщенням хвиль, їх регулюванням русло-заплатною ємністю і водоймами проточного типу (озерами, водосховищами, ставками) піддається редукції і тим у більшому ступені, чим більше розміри річок. Зупинимося на тій частині редукції q'_m , що обумовлена часом руслового добігання t_p , а також характером припливу води зі схилів до руслової мережі і будовою гідрографічної мережі.

Трансформаційна функція $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ визначається співвідношенням t_p / T_0

а) при $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1,0; \quad (3.26)$$

б) при $0 < \frac{t_p}{T_0} < 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,8423 \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^{0,12}; \quad (3.27)$$

в) при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0,1071 \frac{T_0}{t_p} \left[2 - 0,5283 \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^{1,0} \right]; \quad (3.28)$$

г) при $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)=0. \quad (3.29)$$

Трансформація максимальних модулів схилового стоку під впливом русло-заплавного регулювання. У пропонованій схемі русло-заплавне регулювання враховується за допомогою коефіцієнта ε_F . Слід відмітити, що русло-заплавна трансформація – одне з найменш досліджених питань у розрахункових схемах максимального стоку. Пов'язано таке положення насамперед відсутністю фактичних матеріалів спостережень і крайньою складністю процесів русло-заплавного водообміну і регулювання по довжині річок.

Дослідження [3] показали, що ε_F знаходиться у складному взаємозв'язку зі стокоформуєчими факторами. Істотно впливає на ε_F (особливо в діапазоні $t_p/T_0 < 1,0$) форма гідрографів схилового припливу. У цій же роботі приводяться рівняння, що дозволяють прямим шляхом знаходити коефіцієнт русло-заплавного регулювання:

а) при $t_p/T_0 < 1,0$

$$\varepsilon_F = \frac{q_m}{q'_m} \left[1 - \frac{m_1 + 1}{(n + 1)(m_1 + n + 1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right]^{-1}; \quad (3.30)$$

б) при $t_p/T_0 \geq 1,0$

$$\varepsilon_F = \frac{q_m}{q'_m} \frac{n + 1}{n} \frac{t_p}{T_0} \left[\frac{m_1 + 1}{m_1} - \frac{n + 1}{m_1(m_1 + n + 1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^{m_1} \right]^{-1} \quad (3.31)$$

Слід зазначити, що виявляється чітко виражена закономірність убуття ε_F

(рис. 3.8) з ростом площі водозборів, також як і трансформаційної функції $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$. В загальному вигляді залежність коефіцієнта ε_F від площі водозборів може бути представлення рівнянням вигляду:

$$\varepsilon_F = e^{-a_3 \lg(F+1)}, \quad (3.32)$$

де a_3 —коефіцієнт.

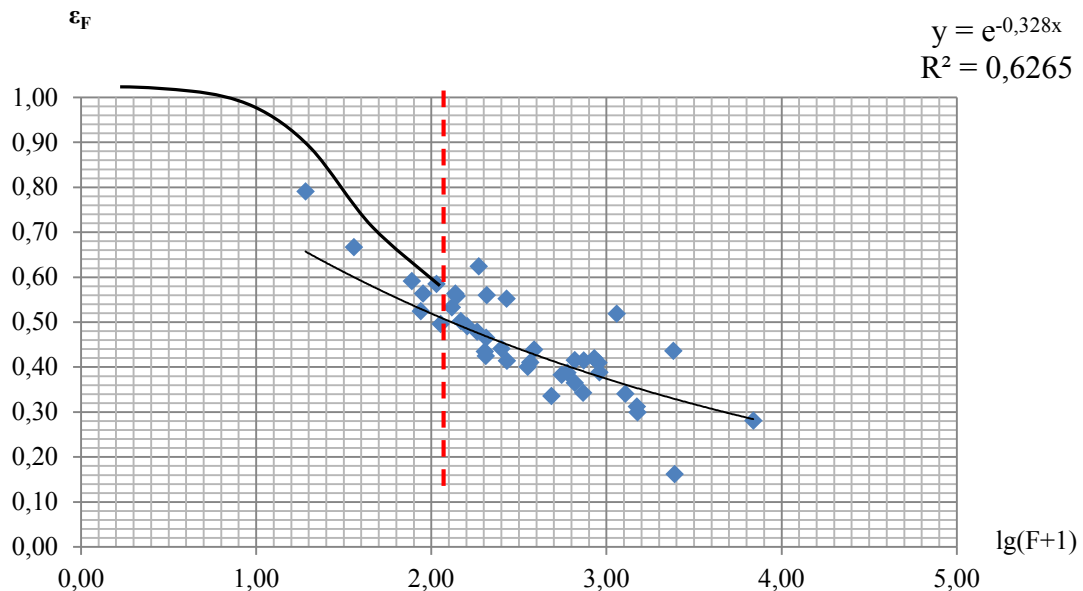


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнтів русло-заплавного регулювання від площі водозборів для річок Прикарпаття

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F узагальнено по території Прикарпаття у вигляді:

- при $F > 100 \text{ км}^2$

$$\varepsilon_F = \exp[-0,350 \cdot \lg(28 \cdot F + 1)]. \quad (3.33)$$

- при $F < 100 \text{ км}^2$ за табл. 3.1

Таблиця 3.1– Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F дощових паводків теплого періоду на річках Прикарпаття

$F, \text{ км}^2$	0	10	20	50	100
ε_F	1,00	0,91	0,79	0,60	0,52

Оцінка можливого впливу озер та водосховищ В басейнах річок Прикарпаття озерність не перевищує 1 %, тому при розробці методики розрахунку максимального стоку дощових паводків на досліджуваній території враховувати їх не слід, згідно рекомендацій СНиП 2.01.14-83 [5].

3.2 Регіональна методика для розрахунку максимальних модулів схилового припливувало-дощових паводків для річок Гірського Криму

Такі небезпечні природні явища як паводки (або flashfloods) на території Гірського Криму описуються ще з давніх часів, проте і дотепер, в період змін клімату, вони приносять як величезні матеріальні збитки, так і людські жертви. Останні зафіксовані катастрофічні паводки, які відбулись влітку 2021 року на досліджуваній території, спричинили не тільки величезні матеріальні збитки, але й людські жертви. В зазначений період деякі річки півострову оновили історичні рекорди максимальних витрат води [6].

Дослідження паводків холодного періоду в порівнянні з паводками теплого періоду передбачає дещо іншого підходу з причин їх різного походження. Паводки тало-дощового періоду на річках Гірського Криму спостерігаються в період з грудня-листопада по квітень. На відміну від паводків теплого періоду, які можуть мати місце в будь-який час року і виникають лише внаслідок випадання дощів і злив, зимово-весняні паводки є змішаними, і

утворюються в результаті сніготанення з одночасним випаданням дощів. В окремі роки можуть виникати паводки лише снігового походження [7].

В останні десятиліття на всіх значних кримських річках проведені протипаводкові заходи, суттєво знижують ризик їхньої появи, проте вони не забезпечують стовідсотковий захист населення. Майже щороку місцеве населення Кримського півострова попереджають про небезпеку виникнення паводків. Уряди, місцевим державним адміністраціям доручається здійснення заходів щодо забезпечення фінансування робіт із запобігання та ліквідації наслідків весняних паводків.

Надійний розрахунок максимального стоку являється одним з найактуальніших завдань сьогодення, поставленим перед гідрологами. Що стосується всебічного його вивчення в гідрологічному плані, існують безліч історичних довідок, описань катастрофічності таких явищ, досліджень та наукових праць, проте до цих пір не знайдено єдиного уніфікованого вирішення цієї проблеми [7].

Дослідження такої характеристики, як тривалість схилового припливу, обумовлено тим, що вона є однією із складових розрахунку максимального стоку річок Гірського Криму. Як відомо, територія Криму належить до паводконебезпечних регіонів.

Такі характеристики схилового притоку, як тривалість схилового припливу T_0 та коефіцієнт тимчасової нерівномірності припливу талих вод зі схилів в руслову мережу визначають не тільки тип паводків, але і ступінь їх трансформації на поверхні водозборів.

Безпосередні виміри схилового припливу у періоди формування максимального стоку на рівні практично неможливий. Але визначити його можна з допомогою чисельного розрахунку невідомих параметрів.

У роботі досліджується тривалість схилового припливу річок Гірського Криму, які можна умовно поділити на три групи:

До річок північно-східного схилу Кримських гір відноситься найбільша за площею басейну та довжиною річка Салгир та її притоки, а також Су-Індол,

Східний Булганак та інші водотоки. Приблизно до середини своєї течії річки мають характер типовий для гірських потоків із ухилами до 180 м/км. Їхня головна особливість – постійна обводненість у верхів'ях і майже повна відсутність у межінь в межах рівнини.

Річки північно-західного схилу Кримських гір протікають майже паралельно одна одній. Серед них найбільш багатоводні на півострові – Бельбек і Чорна. Річки цієї території є найбільш значущими для Криму. Частина водних ресурсів перерозподіляється на Південний берег Криму. Площі басейнів основних річок – 500-600 км², довжина – 40-60 км.

Річки Південного берега Криму відзначаються невеликою протяжністю (довжини переважно не перевищують 10 км), дуже крутими ухилами русел (172-234 м/км), бурхливим характером під час паводків – і все це при порівняно невеликих витратах води. Середні висоти їх водозборів – до 900 м. На Південному березі Криму річки є чи не єдиним джерелом питного водопостачання.

Для розрахунку та узагальнення тривалості схилового припливу паводків тало-дошового походження використовувалися дані щодо 56 гідрологічних постів з періодом спостережень від їх початку та по 2010 р. включно. Найбільша кількість спостережень: 82 роки (р. Су-Індол – с. Тополівка). Довжини річок змінюються в межах від 0,1 (притока р. Кучук-Узенбаш – с. Многоріччя) до 183 км (р. Салгир – с. Дворіччя). Ухили річок коливаються від 237 (р. Гува – с. Василівка) до 0,13 % (притока р. Кучук-Узенбаш – с. Многоріччя), площі водозборів – від 3540 км² (р. Салгир – с. Дворіччя) до 0,32 км² (б. Скеляста – с. Міжріччя). Середня висота водозборів рік північно-західних схилів Кримських гір коливається від 1000 м до 510 м, річок південного берега Криму – 900 м до 340 м, північно-східних схилів Кримських гір – 880 м до 330 м. Залісненість водозборів становить від 2 % до 96 %.

Аналіз методик для визначення максимального стоку паводків холодного періоду показав, що на сьогоднішній день актуальним є розробка регіональної

методики для визначення максимального стоку тало-дощових паводків на річках Гірського Криму.

В основі методів та розрахункових схем максимального стоку лежать моделі, які описують як формування стоку на водозборі, так і його трансформацію русловою мережею в процесі добігання. Тому визначення елементів графіків силового припливу являється важливою задачею. Проте у вирішенні цього питання існують деякі труднощі, пов'язані з тим, що безпосередній вимір схилової водовіддачі в періоди формування максимального стоку на сучасному рівні практично неможливий.

Для визначення максимального стоку паводків холодного періоду розглядуваної території застосовуються різні варіанти редуційних формул, що знайшли поширення в багатьох країнах світу. Вони також можуть бути отримані безпосередньо з моделі руслових ізохрон [8].

В узагальненій редакції рівняння має вигляд:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}} \quad (3.34)$$

або

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (3.35)$$

З іншого боку, формулу (3.34) слід вважати, по суті, узагальненим варіантом одноmodalної геометрії гідрографів паводків і повеней, але лише для випадку, якщо мінливість тривалості припливу вод зі схилів T_o по території в цілому невелика і її припустимо усереднити.

При цих умовах q'_m – максимальний модуль схилового припливу дорівнює:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y_m = k_o Y_m, \quad (3.36)$$

де k_o – коефіцієнт трансформації схилового стоку,

Y_m – шар стоку за повін'ябо паводок,

$\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

За моделлю руслових ізохрон [6]

$$q_m = q'_m \psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F. \quad (3.37)$$

Співставлення (3.35) і (3.37) показує, що

$$\psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}, \quad (3.38)$$

тобто при осередненні по території T_o рівняння (3.37) зводиться до відомої структури редуційної емпіричної формули.

Формула виду (3.35) є наслідком осереднення по території T_o . Але як видно з (3.36), ця умова не є обов'язковою, але тоді T_o не підлягає осередненню, а узагальнюється по території іншими прийомами. Зокрема, одним з варіантів узагальнення є картування величин, і, якщо спостерігається зміна по території в одному напрямку T_o і Y_m , то тоді редуційна формула спроститься до рівня

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (3.39)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу, рівний

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{(T_o)_{карт}} (Y_m)_{карт}, \quad (3.40)$$

де $(T_o)_{карт}$ – узагальнені по території у виглядікартизначеннятривалості схилового припливу;

$(Y_m)_{карт}$ – узагальнена по території у виглядікарти величина шару стоку.

Зацихумов параметр q'_m і степеневий показник n_1 можуть бути отримані за допомогою простої графічної кореляції.

3.2.1 Узагальнення шарів стоку по території Криму

Статистична обробка шарів стоку за паводок здійснювалася за допомогою програми StokStat. Основні статистичні характеристики – середні значення ряду, коефіцієнти варіації C_v та асиметрії C_s розраховувались за допомогою методів коефіцієнтів та найбільшої правдоподібності. Обидва методи дають майже однакові результати.

Відповідно для три параметричного гама-розподілу шари стоку 1, 3, 5, 10 %-ї забезпеченостей розраховувались за формулою:

$$Y_p = k_p Y_m, \quad (3.41)$$

де k_p – модульні коефіцієнти, які вибирають з таблиці залежно від співвідношення C_s/C_v , заданої забезпеченості $P_{1\%}$ і коефіцієнта варіації C_v .

Y_m – середнє значення шару стоку за паводок

Найбільше значення шару стоку 1%-ї забезпеченості було розраховане для водозбору р. Аян (з площею водозбору 1,2 км²) – 5919,6 мм, найменше – 22,8 мм для водозбору р. Малий Салгир (з площею водозбору 96 км²).

Основні фактори, що досліджувалися: середня висота водозборів, залісеність, широта центрів тяжіння водозборів. На рис. 3.9 можна побачити, що спостерігається збільшення шарів стоку зі збільшенням висоти місцевості. Коефіцієнт кореляції значущий, але розкид точок доволі великий.

Така залежність біла побудована окремо для трьох районів досліджуваної території (рис. 3.10).

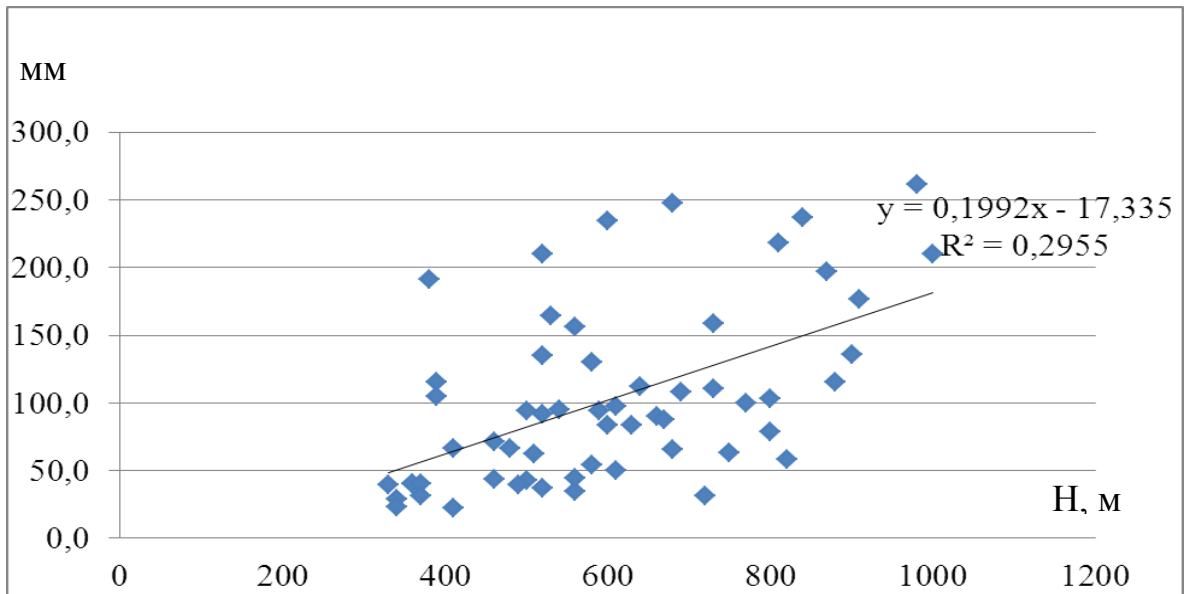


Рисунок 3.9 – Залежність шарів стоку 1%-ї забезпеченості від середньої висоти водозборів

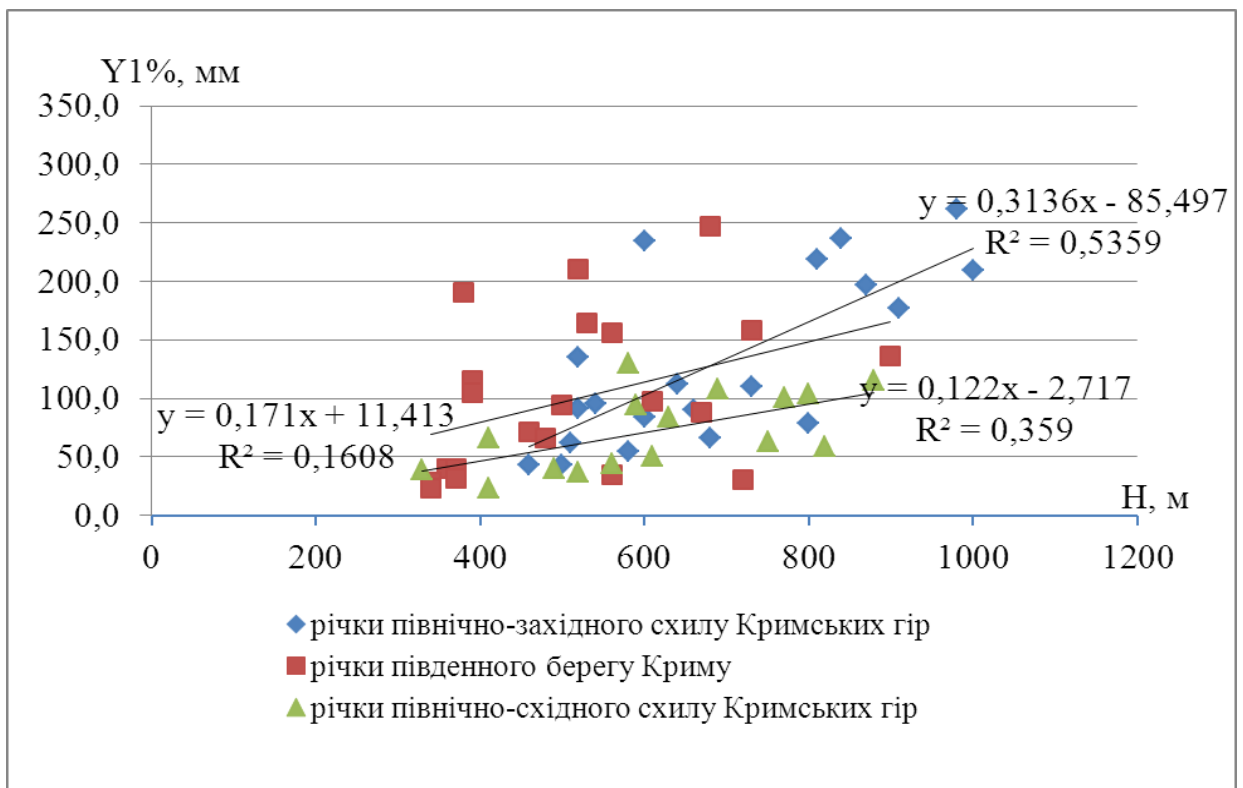


Рисунок 3.10 – Залежність шарів стоку 1%-ї забезпеченості від середньої висоти водозборів (окремо по схилам)

Що стосується залісеності, то спостерігається незначне збільшення шарів стоку, але коефіцієнт кореляції незначущий, що дає привід не враховувати цю залежність (рис. 3.11).

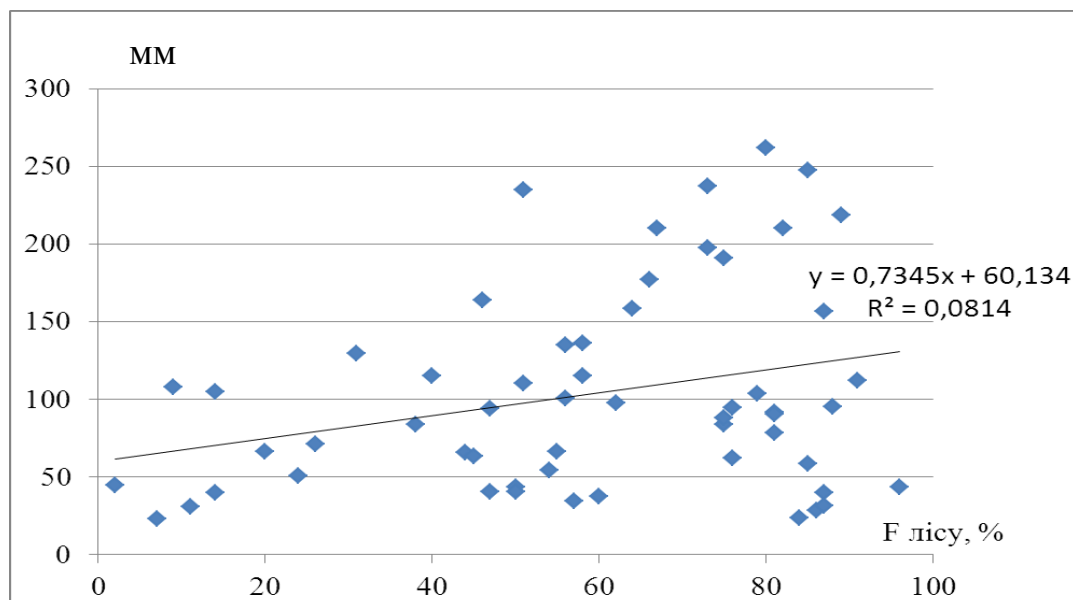


Рисунок 3.11 – Залежність шарів стоку 1%-ї забезпеченості від залісеності водозборів

Найбільший коефіцієнт кореляції отриманий для залежностей шару стоку від широти центрів тяжіння водозборів. Зі збільшенням широти зменшуються шари стоку, що пояснюється переходом від гірської місцевості до степних районів та зменшенням опадів (рис. 3.12).

Наявність такої залежності є підставою для побудови карти. З метою виключення впливу висоти шари стоку були приведені до єдиної висоти $H=800$ м і ці значення були картовані (рис. 3.13). Аналізуючи карту, можна відмітити, що найбільші значення спостерігаються у верхів'ях річок північно-західного схилу Кримських гір та на річках південного берегу Криму. Найменші значення – до 50 – для річок північно-східних схилів Кримських гір.

3.2.2 Обґрунтування коефіцієнтів нерівномірності притоку води зі схилів до руслової мережі

Коефіцієнт нерівномірності притоку води зі схилів у руслову мережу являє собою відношення максимальної витрати Q'_m до його середньої величини за період паводку \overline{Q}_{T_0} , тобто

$$\frac{n+1}{n} = \frac{Q'_m}{\overline{Q}_{T_0}} \quad (3.42)$$

Для визначення коефіцієнту нерівномірності притоку води зі схилів до руслової мережі $(n+1)/n$ можна застосувати два методи – аналітичний та графічний. Ці два методи мають свої недоліки. Тому заслуговує уваги запропонований Є.Д. Гопченком та Є.Л. Бояринцевим метод визначення n через елементи руслових гідрографів, зокрема, через коефіцієнт нерівномірності руслового стоку, $(m+1)/m$, рівний

$$\frac{m+1}{m} = \frac{Q_m}{\overline{Q}_{T_n}} = \frac{Q_m T_n}{Y_m F}, \quad (3.43)$$

де Q_m – максимальна витрата води;

T_n – підстава руслового гідрографа;

Y_m – максимальний шар стоку за повень або паводок;

F – площа водозбору.

Узагальнення $(m+1)/m$ по території показало, що він інтегрально може бути відображений за допомогою площі водозбору F . З ростом F під впливом ефектів русло-заплавного регулювання і часу руслового добігання

відбувається убування відношення Q_m/Y_m , з одного боку, і збільшення підстави гідрографа T_n , з іншого. У цілому ж $Q_m T_n / Y_m F$ характеризується поступовим зменшенням із ростом розмірів водозбірної площі. Причому, верхнє граничне значення $(m+1)/m$ при $F \Rightarrow 0$ являє собою шуканий параметр нерівномірності схилового гідрографа $(n+1)/n$.

Проте, існують деякі труднощі у встановленні параметра $(n+1)/n$. Вони пов'язані з недосконалістю засобів розчленовування гідрографів, унаслідок чого тривалість повені (паводків) T_n може бути як завищеною, так і заниженою. Це відбивається на чисельних значеннях $(m+1)/m$ і тісноті регіональних залежностей $(m+1)/m = f(F)$.

Тому у ряді робіт [9] рекомендується обчислювати $(m+1)/m$ через середні максимальні характеристики: $\bar{Q}_m, \bar{Y}_m, \bar{T}_n$, тобто

$$\frac{m+1}{m} = \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_n}{\bar{Y}_m F}, \quad (3.44)$$

Але й осереднення вихідної інформації зі стоку не завжди гарантує одержання задовільних для екстраполяції залежностей $(m+1)/m = f(F)$, щоб потім мати можливість обґрунтувати $(n+1)/n = [(m+1)/m]_{F \rightarrow 0}$, а в остаточному підсумку й n .

Для уточнення розрахунку $(m+1)/m$ пропонується роздивитися декілька інший підхід. З цією метою чисельник і знаменник (3.44) поділимо на T_n , тоді

$$\frac{m+1}{m} = \frac{q_m}{q_{cp}} = \frac{Q_m}{Q_{cp}}, \quad (3.45)$$

де q_{cp} і Q_{cp} – середні за паводок модуль стоку і витрата води, відповідно.

Відповідно до (3.45) для кожного водпоста за багаторічний період будуються залежності у вигляді $Q_m=f(Q_{cp})$, які описуються прямими, що виходять із початку координат з тангенсом кута нахилу лінії зв'язку до осі абсцис, рівним $(m+1)/m$.

Для річок Криму $(n+1)/n=6,27$ (рис. 3.14).

Таблиця 3.2 – Визначення коефіцієнтів нерівномірності руслового притоку

№	Річка-пост	F, км ²	\bar{Q} , м ³ /с	\bar{Y} , мм	T _{припл} иву год.	(m+1) /m
1	р. Альма – вище вдсх. Партизанського	184	25,4	25,1	10,48	4,99
2	р. Альма – Кримгоспзаповідник	39,7	7,7	53,9	12,38	3,84
3	р. Альма – с.Карагач	249	25,1	27,5	17,53	5,54
4	р. Альма – с.Поштове	374	11,7	14,6	11,80	2,19
5	р. Альма – с.Червоноармійське	607	23,6	11,4	15,76	4,63
6	р. Кача – с.Загорське	110	10,5	28,0	15,55	4,58
7	р. Кача – с.Баштанівка	321	26,1	18,6	13,90	5,26
8	р. Кача – с. Комсомольське (Суворово)	525	19,7	13,0	15,65	3,90
9	р. Стиля – с. Лісникове	8,8	1,0	35,9	13,50	3,70
10	р. Марта – с. Верхоріччя	76	8,6	13,4	12,58	9,16
11	р. Бельбек – с. Щасливе	44	7,1	59,2	16,35	3,85
12	р. Бельбек – смт Куйбишеве	270	37,2	32,3	15,72	5,79
13	р. Бельбек – с.Фруктове	493	34,6	18,3	14,68	4,86
14	р. Манаготра – с. Щасливе	5,06	1,3	23,8	7,74	7,37
15	р. Биюк-Узенбаш – с. Щасливе	6,55	2,4	119,7	13,23	3,51
16	р. Кучук-Узенбаш – с.Многоріччя	10	1,7	68,5	12,56	2,69
17	Без названня – приток р.Кучук-Узенбаш) – с. Многоріччя	2,46	1,2	216,6	12,81	2,53
18	р. Коккозка – с.Голубинка (Аромат)	83,6	21,5	64,2	14,76	5,11

Продовження таблиці 3.2.

№	Річка-пост	F, км ²	\bar{Q} , м ³ /с	\bar{Y} , мм	T _{припл} иву год.	(m1+1) /ml
19	р. Чорна – с.Родниківське (Склея, нижче мосту)	47,6	30,5	180,1	13,71	4,21
20	р. Чорна – біля гори Кизил- Кая (верхній пост)	197	44,5	62,2	16,21	5,09
21	р. Чорна – с.Чернореченское	342	37,7	31,2	14,24	4,35
22	р. Узунджа – с.Родниківське	46,6	14,2	58,8	11,93	5,34
23	р.Байдарка – с.Орлине	4,5	1,4	32,1	8,84	7,56
24	р. Байдарка – с.Широке	62,8	7,1	20,1	16,60	8,11
25	р.Учан-Су - смт Чехово (Ялта)	16,8	7,05	75,1	12,55	6,05
26	р.Учан-Су - г.Ялта	28,8	10,6	73,1	16,24	7,07
27	р. Дерекойка – Перші ворота ущелина Уч-Кош	11	1,49	78,7	19,25	2,86
28	р. Дерекойка – м.Ялта	49,7	5,5	36,3	13,61	3,57
29	р.Гува – с.Василівка	4,78	1,7	266,0	22,90	2,63
30	р. Путамиця – м.Ялта	24,8	3,0	21,7	9,08	4,43
31	р. Авунда – смт Гурзуф	23	1,9	31,4	17,00	3,78
32	р. Улу-Узень – м.Алушта	64,8	6,0	25,7	15,56	4,82
33	р. Демерджи – м.Алушта	53	3,1	10,4	9,04	4,34
34	р.Куру-Узень – с.Сонячногірське	12,2	1,4	8,4	8,00	9,60
35	р.Улу-Узень – с. Сонячногірське	32,5	3,6	38,0	13,82	3,46
36	р.Арпат – с.Зеленогір'я	5,1	0,3	9,2	7,12	3,41
37	струм. Кизилташський – смт Щебетівка	35	0,9	4,9	8,14	3,82
38	р. Су-Індол – с.Тополівка	71	4,8	12,8	15,38	6,98
39	р. Салгир – с.Сорокине	90	11,7	35,4	17,14	5,45
40	р. Салгир – с.Піонерське	261	13,7	16,7	15,43	4,20
41	р.Салгир – м.Сімферополь	321	19,0	23,2	18,97	4,18
42	р. Салгир – с.Роздільне (Гвардійське)	564	8,6	11,1	17,30	2,04
43	р. Салгир –с.Дворіччя	3540	8,2	4,1	21,83	1,06
44	р. Кизил-Коба – с.Краснопещерне	16,8	3,4	42,3	12,24	5,08
45	р.Ангара – с.Перевальне	38,3	5,5	27,8	12,34	5,54
46	р. Аян – нижче джерела Аян	1,2	12,2	2149,4	24,11	9,85
47	р. Малий Салгир –	96	1,1	3,9	8,34	2,00

м.Сімферополь						
Кінець таблиці 3.2.						
№	Річка-пост	F, км ²	\bar{Q} , м ³ /с	\bar{Y} , мм	T _{припливу} ГОД.	(m+1)/m
48	р. Зуя – Баланово	48	1,4	19,1	24,35	3,17
49	р. Бештерек – с.Мазанка	30	0,7	11,2	16,11	2,98
50	р.Бурульча – с. Межгір'я	85	7,1	25,6	14,42	4,04
51	р. Біюк-Карасу – м.Білогірськ	275	12,4	33,5	20,26	2,35
52	р. Біюк-Карасу – с.Зибино	601	10,3	11,5	18,14	2,33
53	р. Біюк-Карасу –с.Калинівка (нижче впадіння р.Кучук-Карасу)	1140	13,7	8,2	20,77	2,63
54	р. Тонас –м.Білогірськ	184	5,6	6,5	10,22	4,11
55	р.Кучук-Карасу – с.Червона Слобода	54	4,2	28,2	20,25	4,85
56	р. Кучук-Карасу – с.Багате	89	4,4	9,4	12,27	5,49

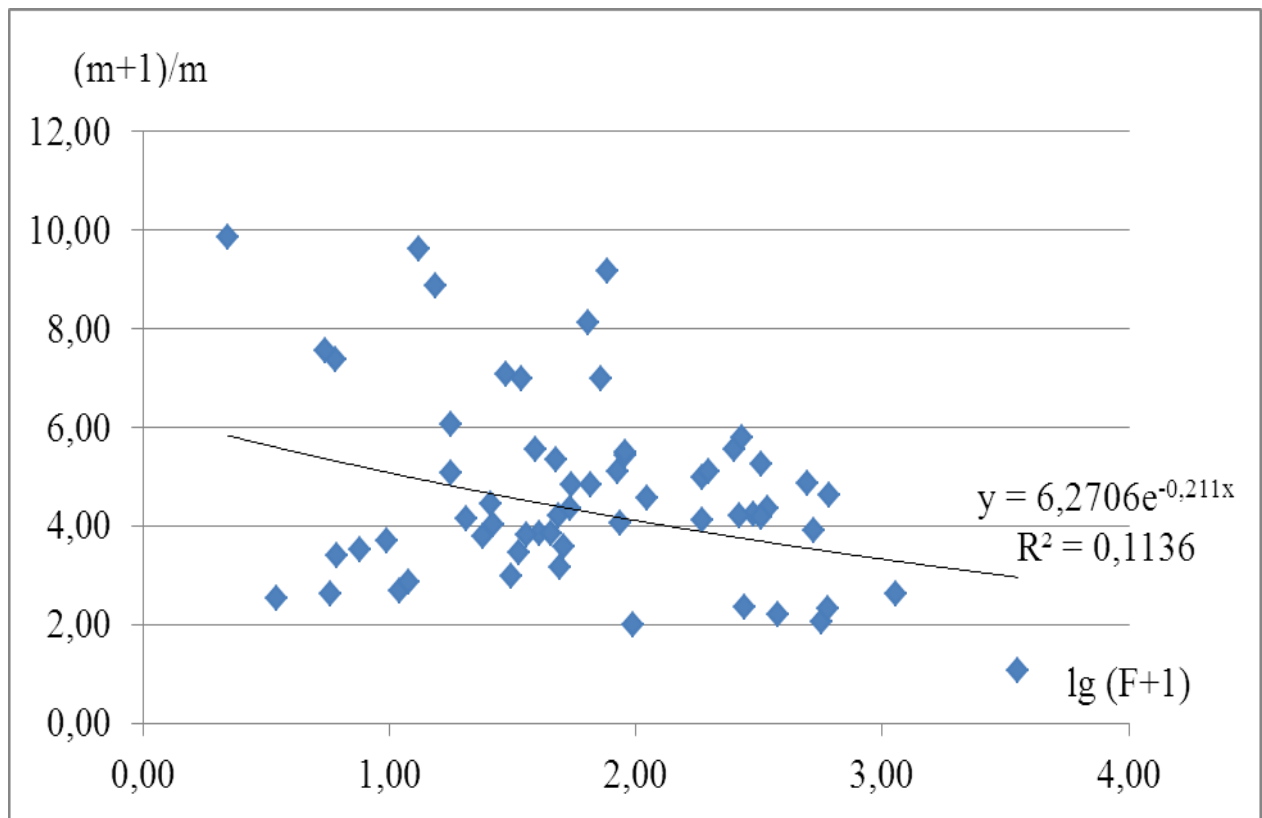


Рисунок 3.14 – Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку від площ водозборів річок Гірського Криму

3.2.3 Визначення тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі

Тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі T_0 являється підставою схилового гідрографа та являється однією з основних характеристик паводків. У двох операторній схемі трансформації водоутворення у русловий гідрограф тривалість схилового припливу T_0 при інших рівних умовах визначає передусім міру зарегулювання стоку на схилах. Складність визначення цього параметра, також, як і в попередньому випадку, полягає в необхідності густої мережі воднобалансових станцій, а також наявності високої мінливості T_0 по території.

В основі методу визначення T_0 лежить теорія ізохрон. Відповідно до [5],

$$T_n = T_0 + t_p \quad (3.46)$$

Звідки

$$T_0 = T_n - t_p, \quad (3.47)$$

де T_n – тривалість паводка, а t_p – час руслового добігання. Залежність $T_n = f(F)$ буває виражена достатньо добре. Проте, як показує аналіз численних даних про стік річок різних регіонів, рівність (3.46) не відповідає реальним умовам. Підстава $(T_0 + t_p)$ за схемою ізохрон істотно відрізняється від T_n . Лише при $F \rightarrow 0$ сума $(T_0 + t_p)$ збігається з T_n , а $(T_0 + t_p)/T_n = 1.0$.

Внаслідок впливу русло-заплавного регулювання є підвищення фактичної підстави паводка (повені), у порівнянні з теоретичною тривалістю його за схемою ізохрон. Тому замість (3.46) необхідно користуватися рівнянням виду

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t \quad (3.48)$$

Але в цьому випадку (3.48) є рівнянням не з одним, а з двома невідомими – T_0 і Δt , що робить його практично не розв'язним щодо розрахункової тривалості схилового припливу T_0 .

Викладене дозволяє зробити головний висновок про те, що в даний час немає великої кількості обґрунтованих методів прямого визначення T_0 за матеріалами спостережень. От чому заслуговує на увагу засіб чисельного розрахунку, розроблений Є.Д. Гопченком [11]. Ним обґрунтовані прийоми розрахунку T_0 також у структурі формул об'ємного і редуційного типів. Але саме перший з них пройшов всебічну апробацію й одержав значне поширення.

Професор Є.Д. Гопченко (спільно з учнями) на основі формули А.М. Бефані запропонував метод по встановленню T_0 за матеріалами спостережень стаціонарної гідрологічної мережі [9]. В результаті отримані розрахункові формули:

а) при $t_p < T_0$

$$T_0 = \left(\frac{\varepsilon'_n Y_m}{n q_m} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[(n+1)T_0 - \frac{m_1 + 1}{n + m_1 + 1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}, \quad (3.49)$$

б) при $t_p > T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m_1 + n + 1}{n + 1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon'_n} t_p \right) \frac{m_1 (n + m_1 + 1)}{n + 1} t_p^{m_1} \right]^{\frac{1}{m_1}}, \quad (3.50)$$

Зважаючи на те що в формулах, крім T_0 , невідомим є ще і коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F , то рівняння являється з двома невідомими. Для визначення T_0 використовується поетапний метод простої однокрокової ітерації.

При $t_p/T_0 > 1,0$ – рішення особливих труднощів не викликає. При $t_p/T_0 < 1,0$ – T_0 визначити складніше, так як рівняння – трансцедентного типу.

При розвинутому типі стоку провідну роль в формуванні Q_m грає форма графіка притоку, що дозволяє без великої похибки прийняти в рівнянні кривої еквідистант $m_I = 1$.

В Одеському державному Екологічному університеті на кафедрі гідрологія суші була розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої можна розрахувати значення T_0 . На першому етапі тривалість припливу T_{0I} знаходиться відповідно до рівнянь (3.49) і (3.50) при допущенні $\varepsilon'_n = 1,0$. Закінчується перший етап побудовою залежності $T_{0I} = f(F)$. Про екстраполювавши цю залежність на вісь ординат, що відповідає верхній фізичній межі $\varepsilon'_n = 1,0$, одержуємо шукане значення T_0 у першому наближенні. При відомому T_0 за рівняннями (3.49) і (3.50) оберненим розрахунком визначається ε'_n . По обчислених значеннях ε'_n будується залежність $\varepsilon'_n = f(\lg(F+1))$ (рис. 3.13). На другому етапі величини T_0 визначаються вже при відомих значеннях ε'_n , знятих з графіка зв'язку $\varepsilon'_n = f[\lg(F+1)]$. Наступною задачею є просторовий аналіз і узагальнення розрахункової тривалості припливу по території.

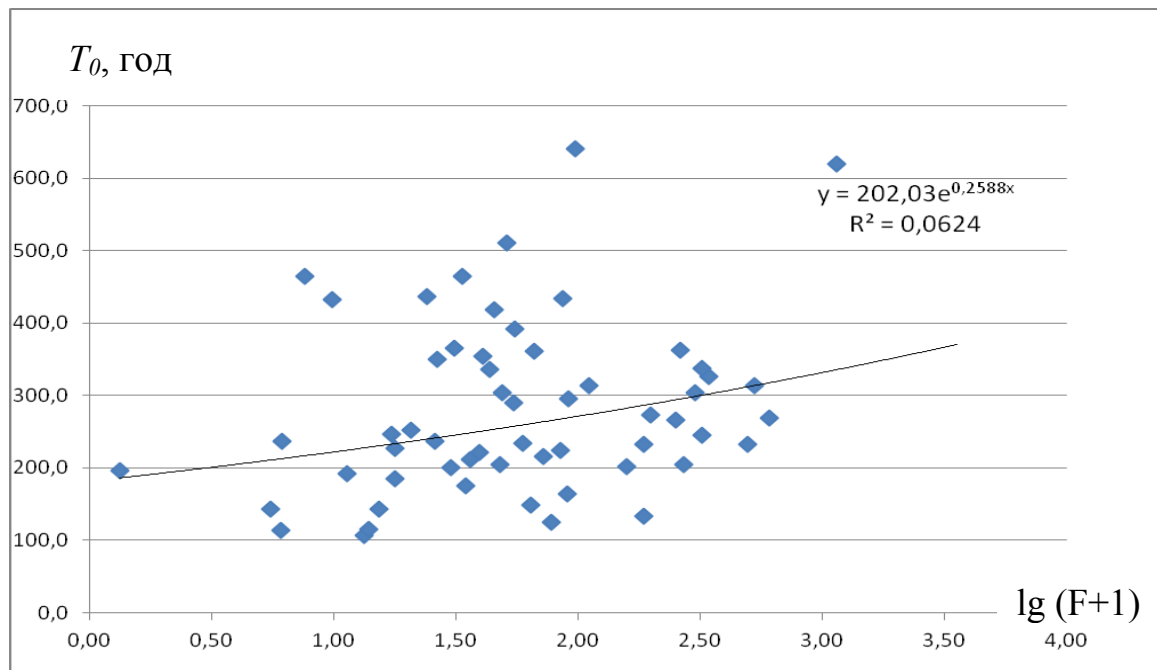


Рисунок 3.15 – Залежність тривалості схилового притоку від площ водозборів річок Гірського Криму

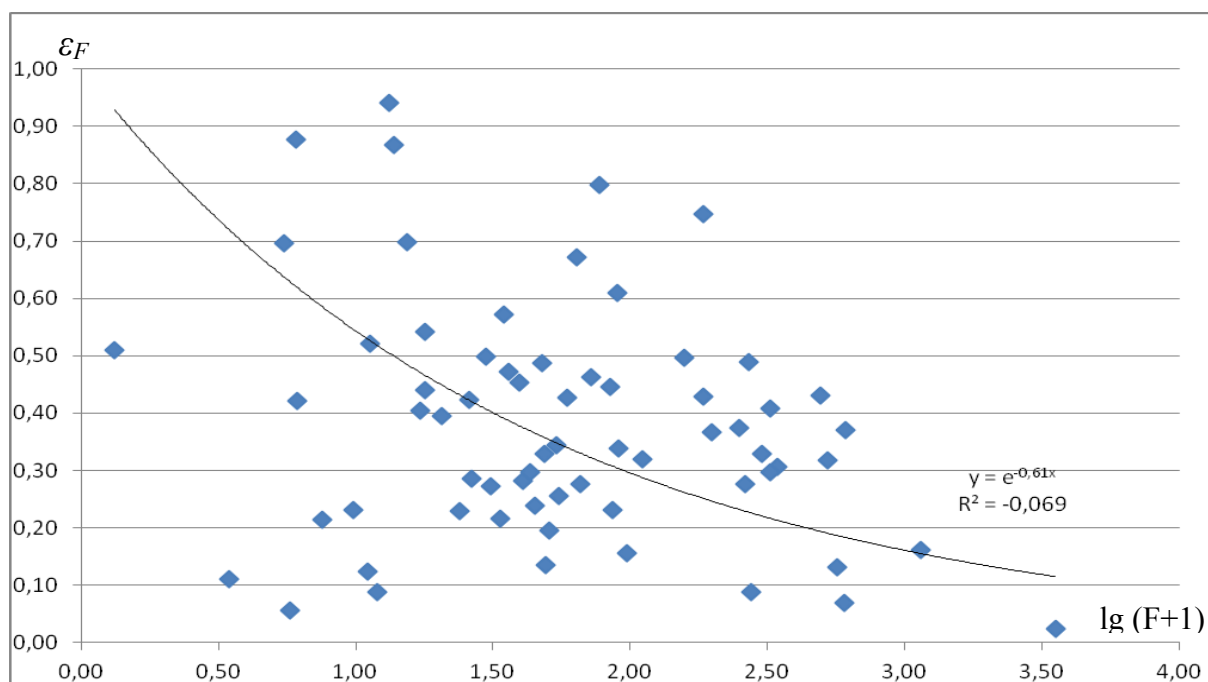


Рисунок 3.16 – Графік залежності коефіцієнта русло-заплавного регулювання від розмірів водозборів

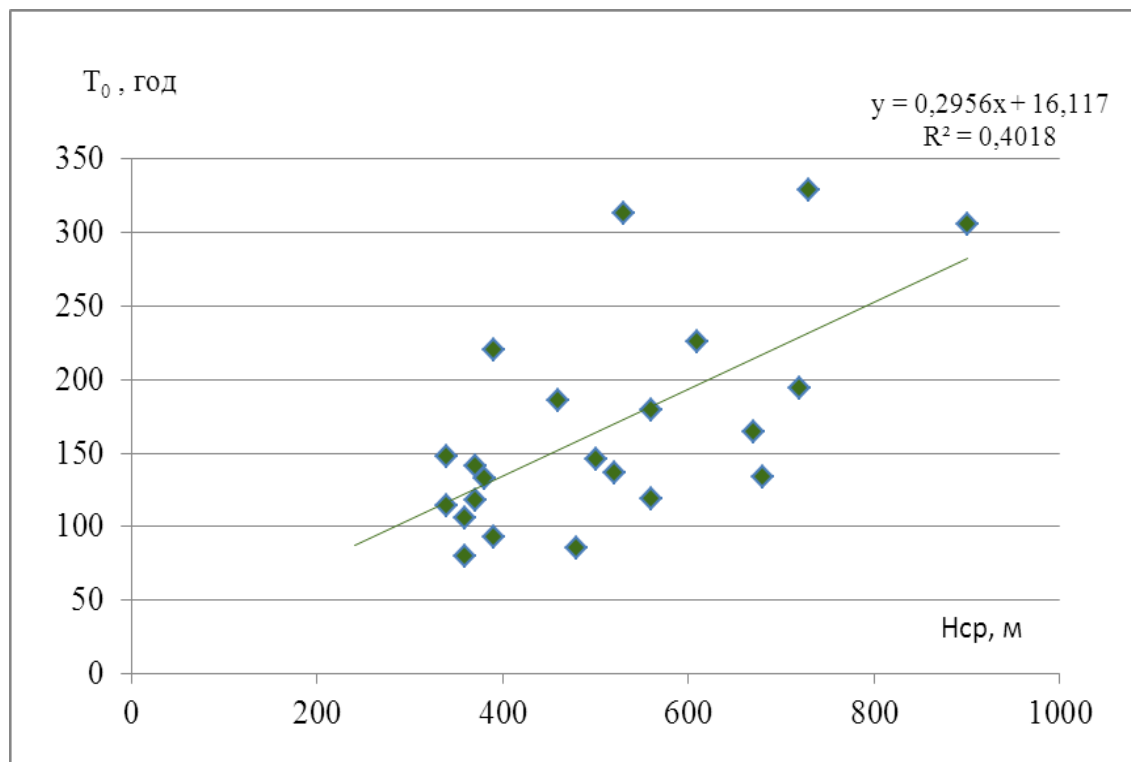


Рисунок 3.17 – Узагальнення T_0 від середньої висоти водозборів (річки південного схилу Кримських гір)

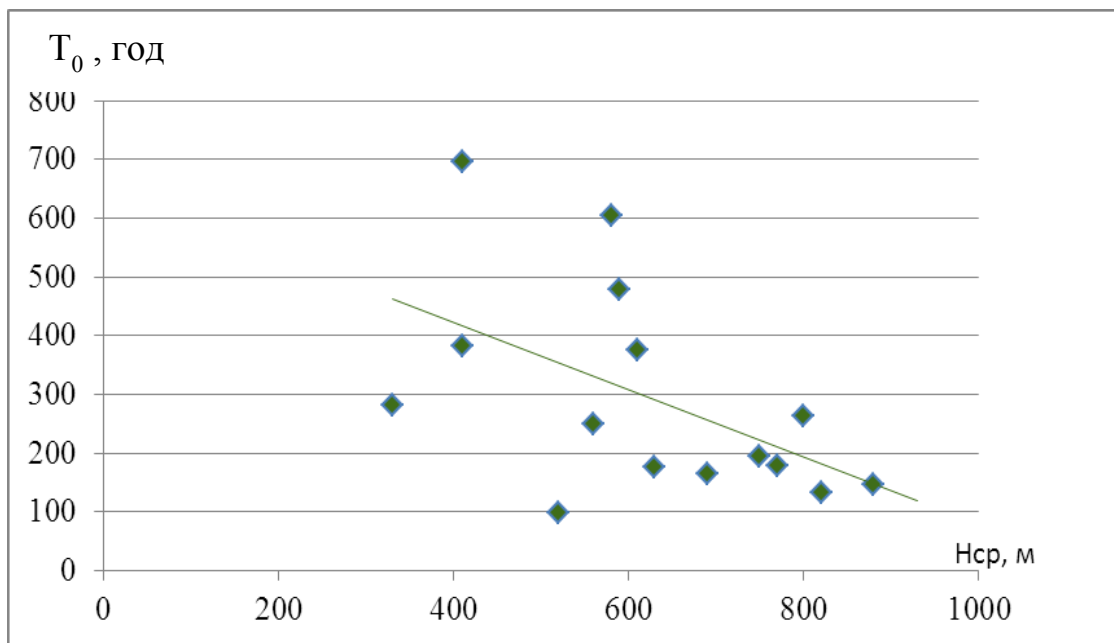


Рисунок 3.18 – Узагальнення T_0 від середньої висоти водозборів (річки північно-східного схилу Кримських гір)

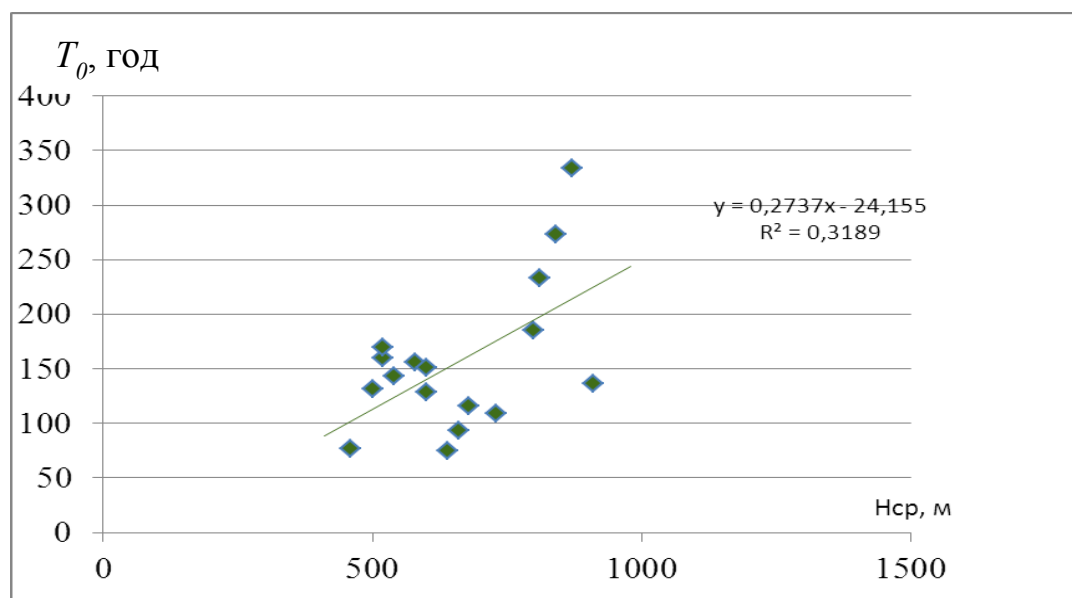


Рисунок 3.19 – Узагальнення T_0 від середньої висоти водозборів (річки північно-західного схилу Кримських гір)

Авторами [12] пропонується карта максимальних модулів схилового припливу для річок Гірського Криму під час паводків тало-дощового

походження, побудована на основі даних до 2010 р. включно. Аналізуючи отриману карту (рис. 3.20), можна відмітити, що на деяких територіях значення граничних модулів можуть досягати доволі високих значень – до $10 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ та повинні враховуватись при плануванні гідротехнічних споруд разом з аналогічними величинами паводків теплового періоду.

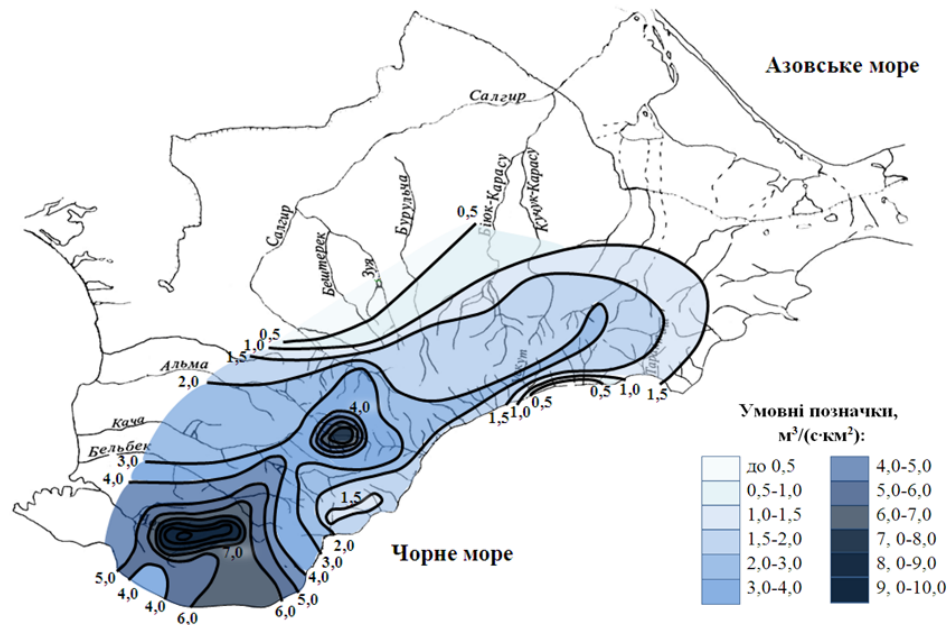


Рисунок 3.20 – Розподіл максимальних модулів схилового припливу паводків тало-дощового походження на території Гірського Криму

3.3 Регіональні узагальнення складових розрахунку максимального стоку річок басейну р. Вісла

При розрахунках максимального стоку річок басейну р. Вісла а межах України була використана операторна розрахункова структура максимального стоку, запропонована проф. Є.Д. Гопченко [13], [14]:

$$q_m = q'_{1\%} \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F r \lambda_p, \quad (3.51)$$

де q_m – максимальний модуль руслового стоку забезпеченістю $P\%$, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$;

$\psi(t_p / T_0)$ – трансформаційна функція, яка обумовлена часом руслового добігання t_p ;

ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r – коефіцієнт зарегулювання максимального стоку озерами і водосховищами проточного типу;

λ_p – коефіцієнт забезпеченості.

Однією з складових максимального стоку є модуль схилового припливу, що визначається за формулою:

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}; \quad (3.52)$$

де $q'_{1\%}$ – максимальний модуль схилового припливу забезпеченістю $P=1\%$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$.

$\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

$Y_{1\%}$ – шар стоку дощових паводків і весняних водопіль забезпеченістю $P=1\%$, мм.

Шари стоку рідкісної імовірності перевищення визначаються за результатами стандартної статистичної обробки.

Коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу визначається через коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку $\left(\frac{m+1}{m}\right)$ [15]:

$$\frac{m+1}{m} = \frac{\overline{T_n Q_m}}{Y_m F} 86,4; \quad (3.53)$$

де \overline{T}_n , \overline{Q}_m , \overline{Y}_m – середні багаторічні значення тривалості паводку або водопілля, максимальні витрати води за паводок або водопілля, шари стоку.

F – площа водозбору, км².

Таким чином, коефіцієнти нерівномірності руслового стоку узагальнюються по території з врахуванням площі водозборів і верхнє граничне значення $\frac{m+1}{m}$ при $F \rightarrow 0$ буде дорівнювати коефіцієнту нерівномірності схилового припливу.

Тривалість схилового припливу (T_0) також визначається розрахунковим методом, користуючись генетичною формулою А.М. Бефані та базовою формулою максимального стоку (3.51). Розрахункові рівняння тривалості схилового припливу (T_0) можна представити у вигляді:

- при $\frac{t_p}{T_0} < 1,0$

$$T_0 = \left\{ \frac{\varepsilon_F Y_m}{n q_m} \left[(n+1) T_0^n - \frac{m_1 + 1}{n + m_1 + 1} t_p^n \right] \right\}^{\frac{1}{n+1}}; \quad (3.54)$$

- при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m_1 + n + 1}{n + 1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} \right) \frac{m_1 (n + m_1 + 1)}{n + 1} t_p^{m_1} \right]^{\frac{1}{m_1}}. \quad (3.55)$$

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F визначається оберненим способом на одному з етапів розрахунку (T_0). Для спрощення розрахунку (T_0) на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ була розроблена програма “Caguar”, за допомогою якої можливо проводити наведені вище розрахунки.

Для визначення трансформаційної функції використовуються розрахункові рівняння, які будуть відрізнятися залежно від співвідношення $\frac{t_p}{T_0}$:

- при $0 < \frac{t_p}{T_0} < 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m_1 + 1}{(n + 1)(m_1 + n + 1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n, \quad (3.56)$$

- при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n + 1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m_1 + 1}{m_1} - \frac{n + 1}{m_1(m_1 + n + 1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^{m_1} \right], \quad (3.57)$$

де n і m_1 – показники степені в рівнянні кривих схилового припливу та ізохрон;

t_p – час руслового добігання, год;

Коефіцієнт зарегулювання максимального стоку озерами і водосховищами проточного типу r , а також коефіцієнт для переходу від 1 % забезпеченості до інших забезпеченості (λ_p) розраховуються згідно рекомендацій нормативного документу СНіП 2.01.14-83 [16].

3.3.1 Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України

Існує два підходи до узагальнення шарів стоку у просторі: картування або районування. Приступаючи до картування необхідно виключити можливий вплив місцевих факторів таких, як залісенність або заболоченість водозборів.

Спочатку досліджується залежність $Y_{1\%}$, мм від широти геометричних центрів тяжіння водозборів φ , ° дощових паводків та весняного водопілля (рис. 3.21).

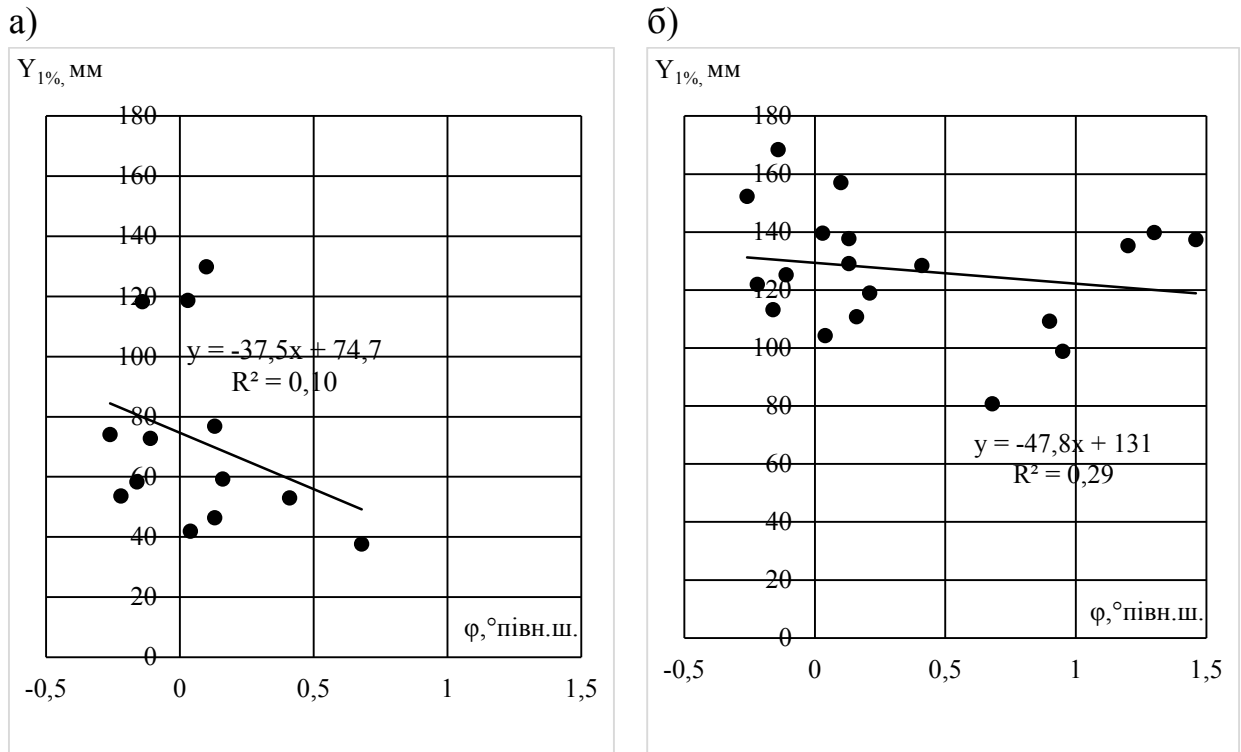
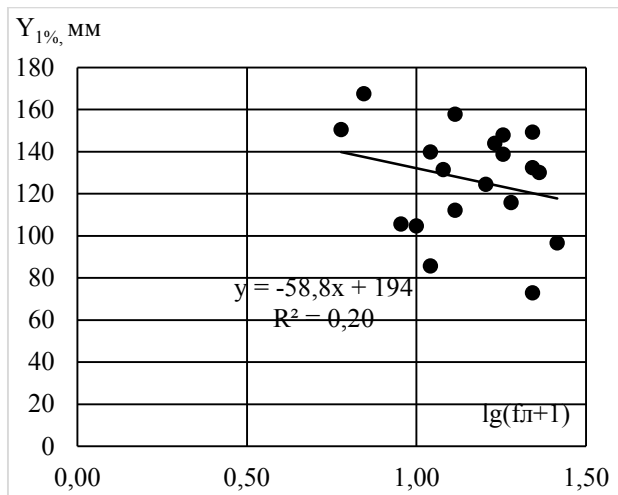


Рисунок 3.21– Залежність $Y_{1\%}$ (а) дощових паводків та(б) весняних водопіль від широти геометричних центрів тяжіння водозборів річок басейну р. Вісла

Отримана залежність шарів стоку дощових паводків і весняних водопіль рідкісної імовірності перевищення від географічної широти центрів тяжіння водозборів статистично незначна. Отже, на максимальний стік дощових паводків і весняних водопіль можуть впливати місцеві фактори [17], [18], [19].

Побудовані залежності $(Y_{1\%})_{\varphi=50^\circ, \text{півн.ш.}}$, мм від залісеності водозборів, наведені на рис.3.22 для весняного водопілля, та для дощових паводків, а також залежності $(Y_{1\%})_{\varphi=50^\circ, \text{півн.ш.}}$, мм від заболоченості водозборів для весняного водопілля та дощових паводків (рис. 3.23).

а)



б)

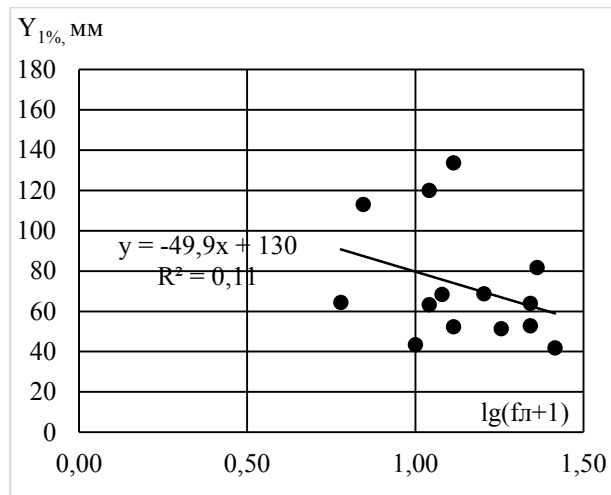
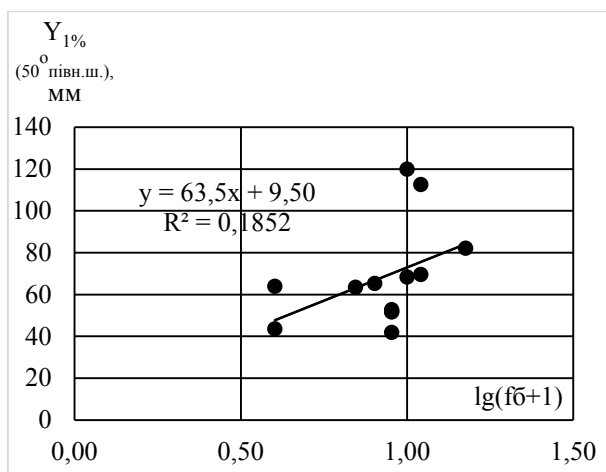


Рисунок 3.22 – Залежність $(Y_{1\%})_{\varphi=50^\circ, \text{півн.ш.}}$, мм (а) весняного водопілля та (б) дощових паводків від залісенстводозборів річок басейну р. Вісла

а)



б)

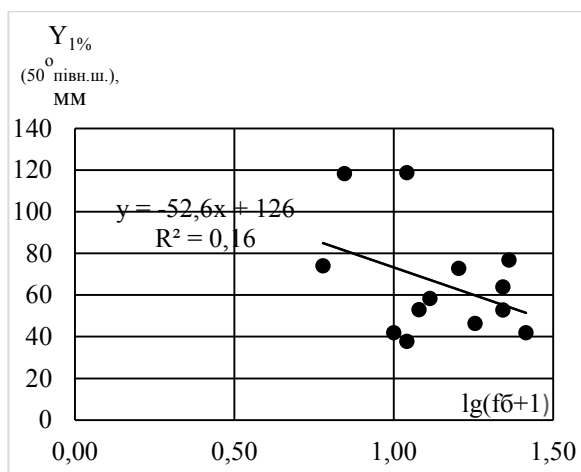


Рисунок 3.23 – Залежність $(Y_{1\%})_{\varphi=50^\circ, \text{півн.ш.}}$, мм (а) весняного водопілля (б) дощових паводків від заболоченості водозборів річок басейну р. Вісла

У обох випадках, як для дощових паводків, так і для весняних водопілля вплив лісистості на максимальний стік був незначним, проте спостерігалася залежність шарів стоку дощових паводків і весняних водопілля рідкісної імовірності перевищення від заболоченості водозбору.

Після виключення впливу заболоченості водозборів на максимальний стік дощових паводків і весняних водопіль отримали кращу залежність шарів стоку дощових паводків і весняних водопіль рідкісної імовірності перевищення від географічної широти центрів тяжіння водозборів.

Отже, було прийняте рішення побудувати карти ізоліній шарів стоку дощових паводків та весняних водопіль (рис.3.24) рідкісної імовірності перевищення з виключенням впливу заболоченості водозборів.

Для того, щоб скористуватися картами для визначення шарів стоку дощових паводків і весняних водопіль рідкісної імовірності перевищення для будь-якої точки водозбору потрібно зняти значення з карти у потрібній точці за допомогою ізоліній та скористатися формулам (3.58), (3.59) для дощових паводків і (3.58), (3.60) для весняних водопіль [20]

$$Y_{1\%} = K_{\sigma} Y_{1\%(f_{\sigma}=0)}; \quad (3.58)$$

$$K_{\sigma} = 1 + 0,64(\lg(f_{\sigma} + 1)); \quad (3.59)$$

$$K_{\sigma} = 1 + 1,40(\lg(f_{\sigma} + 1)) \quad (3.60)$$

де $Y_{1\%}$ – шари стоку весняних водопіль чи дощових паводків, мм;

K_{σ} – коефіцієнт заболоченості водозбору;

$Y_{1\%(f_{\sigma}=0)}$ – шари стоку рідкісної імовірності перевищення (весняних водопіль або дощових паводків) з виключенням впливу заболоченості, зняті з карти ізоліній шарів стоку, мм;

f_{σ} – відсоток площі заболоченої території на водозборі, %.

Як видно з рис.3.24, ізолінії шарів стоку рідкісної імовірності перевищення $Y_{1\%(f_{\sigma}=0)}$ проведені через 2 мм і збільшуються з північного сходу на південний захід. Шари стоку весняних водопіль рідкісної імовірності

перевищення змінюються від 36 мм до 68 мм, у той час як шари стоку дощових паводків рідкісної імовірності перевищення збільшуються від 20 мм до 40 мм.

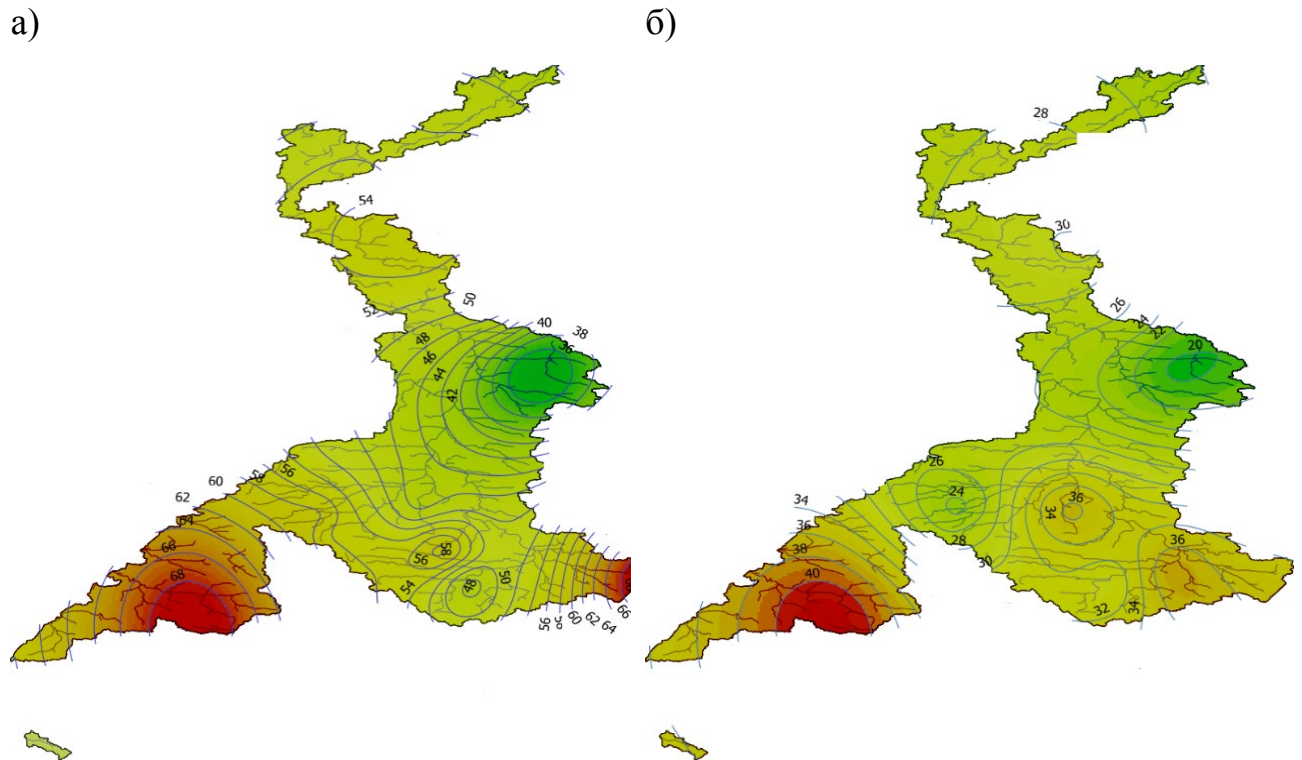


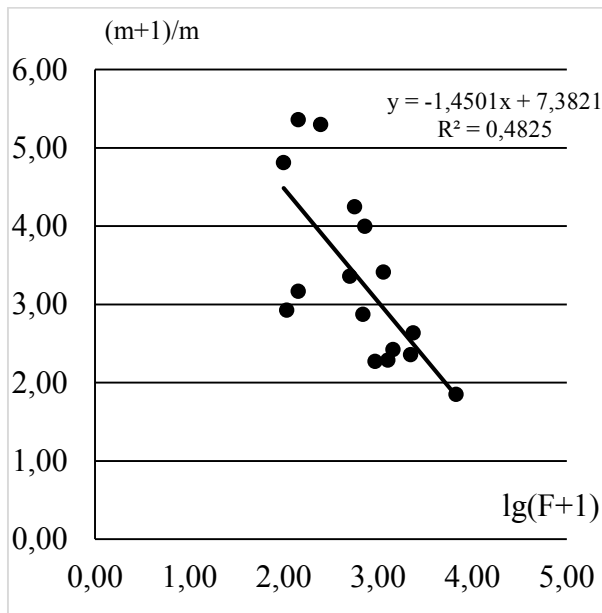
Рисунок 3.24 – Карта ізолій шарів стоку (а) весняних водопіль(б) дощових паводків рідкісної імовірності перевищення $Y_{1\%(f_0=0)}$, мм для річок басейну р. Вісла

3.3.2 Визначення та просторове узагальнення параметрів операторної розрахункової структури максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України

З метою визначення коефіцієнтів часової нерівномірності схилового припливу $\frac{n+1}{n}$ попередньо були розраховані коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку $\frac{m+1}{m}$ які для весняних водопіль

коливаються незначно, від 1,85 до 5,36, а для дощових паводків – від 0,72 до 3,18. Побудована залежність $\frac{m+1}{m} = f(\lg(F+1))$, за допомогою якої визначено коефіцієнт нерівномірності руслового стоку (рис. 3.25). Для весняного водопілля $\frac{n+1}{n} = 7,38$, а $n=0,16$, для дощових паводків відповідно $\frac{n+1}{n} = 3,94$, а $n=0,34$.

а)



б)

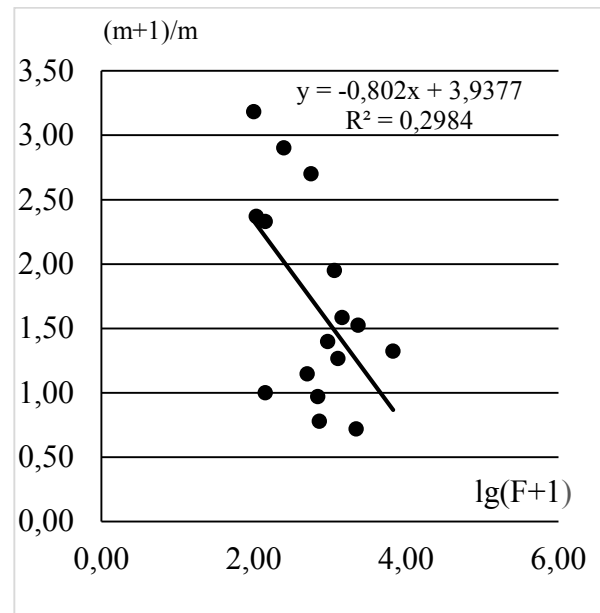


Рисунок 3.25 – Залежність коефіцієнтів нерівномірності руслового припливу підчас весняного водопілля (а) та дощових паводків (б) від площі водозбору р. Вісла в межах України

Тривалість схилового припливу T_0 була визначена за наведеною вище методикою за допомогою програми «Сагуар». Також як й шари стоку весняних водопілля та дощових паводків цей параметр розрахункової методики узагальнений за територією в вигляді карти ізоліній (рис.3.26) [21], [22].

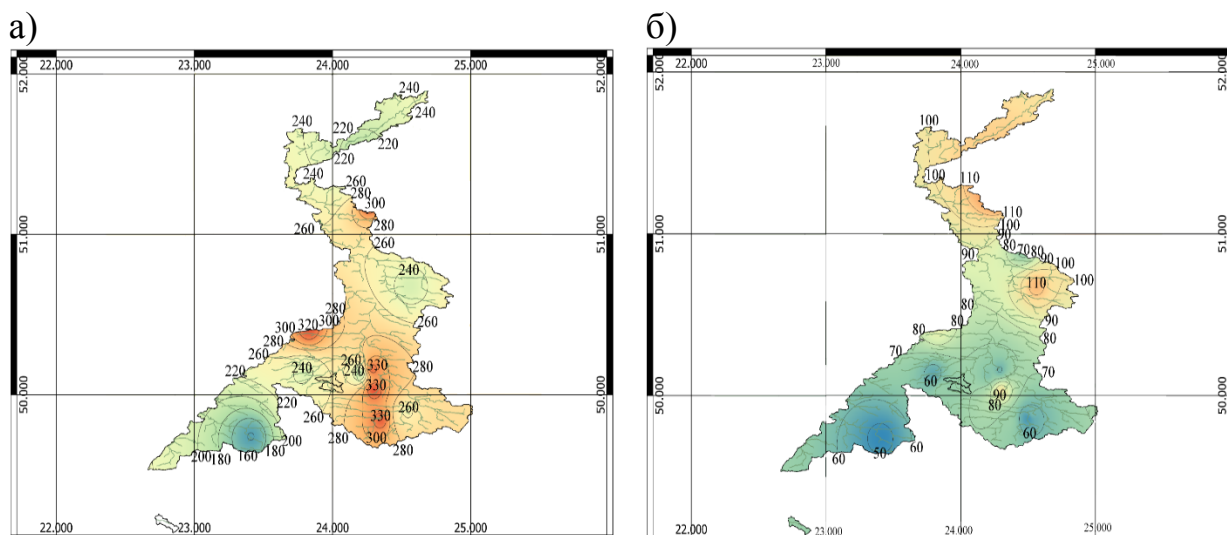


Рисунок 3.26 – Просторовий розподіл тривалості схилового припливу під часвесняного водопілля (а) та дощових паводків (б) в басейні р. Вісла в межах України.

Отже, маючи всі складові формули (3.52), розраховані максимальні модулі схилового припливу весняних водопілля і дощових паводків [23], які також підлягають просторовому узагальненню та представлені на рис. 3.27.

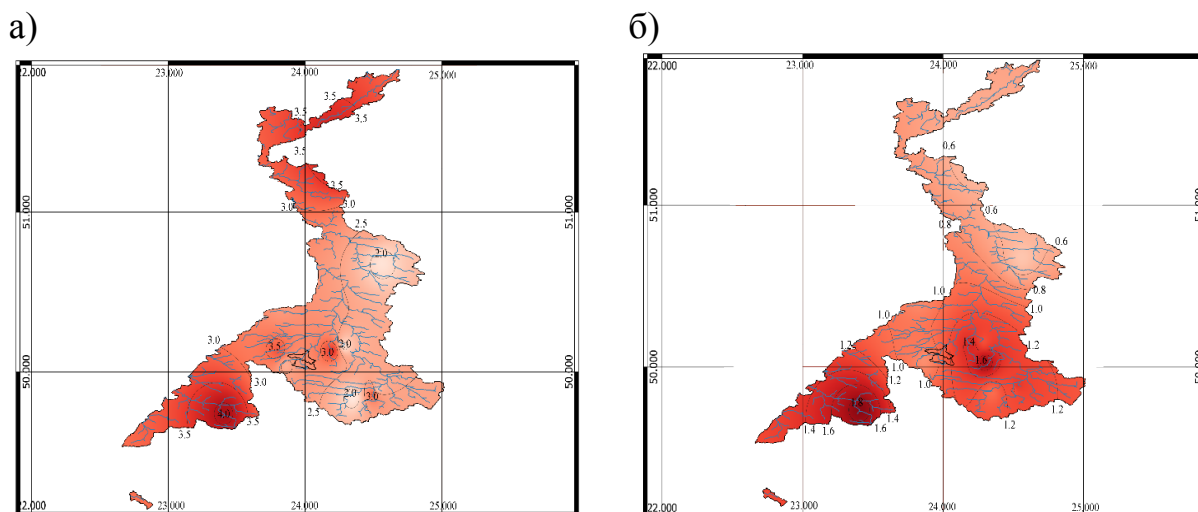


Рисунок 3.27 – Просторовий розподіл максимальних модулів схилового припливу під часвесняного водопілля (а) та дощових паводків (б) в басейні р. Вісла в межах України.

Аналізуючи отриманий розподіл, слід відмітити, що найбільші величини $q'_{1\%}$ слід очікувати як для весняних водопіль, так й для дощових паводків в суббасейні р. Сяну. Високі весняні водопілля також можливі на півночі досліджуваного басейну наряду з окремими локальними дощовими паводками в центральній частині.

Згідно з операторною моделлю формування максимального стоку, сформовані підчас паводків та водопіль максимальні модулі схилового припливу надалі трансформуються русловою мережею за рахунок руслового добігання та русло заплавного регулювання.

Регіональна розрахункова формула для визначення трансформаційної функції в басейні р. Вісла, при $T_0 > t_p$, після підставлення отриманих розрахункових величин в рівняння (3.56), буде мати вигляд:

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,75\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^{0,2}. \quad (3.61)$$

Вплив русло-заплавного регулювання на максимальний стік визначається за допомогою коефіцієнта що являє собою функцію ε_F убутного вигляду (з верхнім граничним значенням $\varepsilon_F = 1,0$, при $F \rightarrow 0$) із зростанням водозбірної площі. Розрахувати її можна зворотним шляхом з формули (3.51), як:

$$\varepsilon_F = \frac{q_m / q'_m}{\psi(t_p / T_0)}. \quad (3.62)$$

Редукція максимального модуля q_m / q'_m може бути описана рівнянням

$$q_m / q'_m = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (3.63)$$

Для визначення цього коефіцієнту вихідними даними є величини модуля схилового припливу q'_m , який розраховується за рівнянням (3.52). Отримані

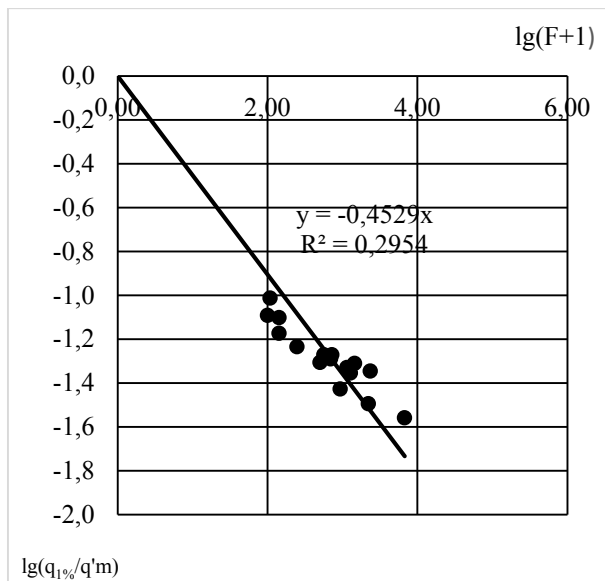
для всіх постів значення $\frac{q_{1\%}}{q_m}$ в логарифмічних координатах наносяться на

графік $\left(\frac{q_{1\%}}{q_m}\right) = f(F)$. З рис. 3.28. видно, що залежність добре виражена, а

проведення лінії зв'язку спрощується тим, що залежність повинна виходити

із $\lg\left(\frac{q_{1\%}}{q_m}\right) = 0$ при $\lg(F + 1) = 0$.

а)



б)

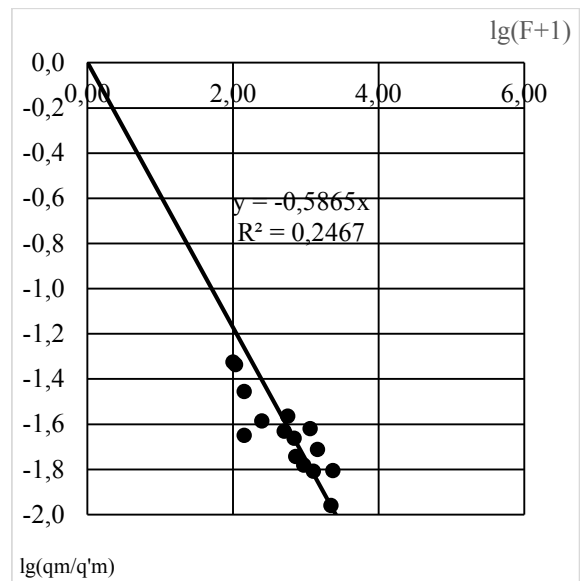


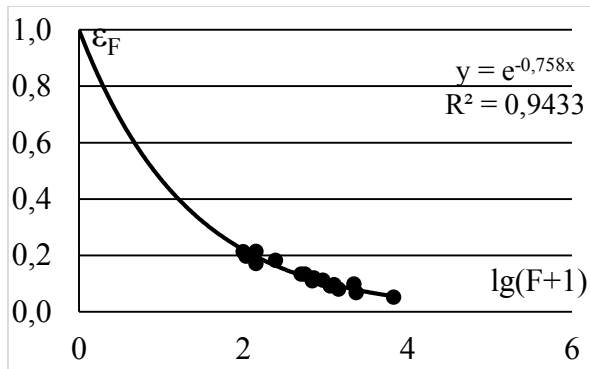
Рисунок 3.28 – Залежність відношення $\lg\left(\frac{q_m}{q'_{q\%}}\right)$ для весняних водопіль (а) та дощових паводків (б) від площі водозбору для річок басейну р. Вісла в межах України

Так, для весняних водопіль степеневий показник склав 0,45, а для дощових паводків 0,59.

Таким чином, за допомогою рівняння (3.62) визначені розрахункові значення ε_F окремо для весняних водопіль та дощових паводків. Отримані величини узагальнені у вигляді їх залежності від площі водозборів (рис.3.29). Для визначення коефіцієнтів русло-заплавного регулювання невивчених

річок досліджуваної території рекомендується використовувати представлені на графіках розрахункові рівняння.

а)



б)

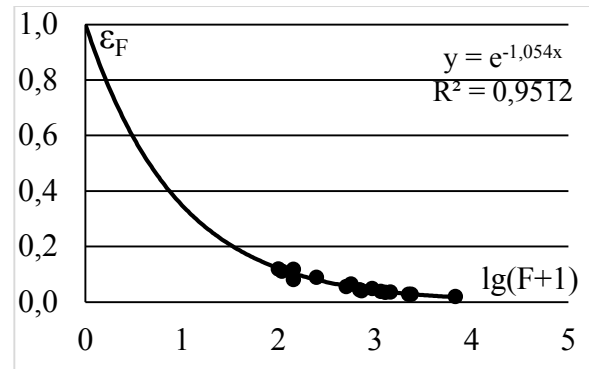


Рисунок 3.29 – Залежність коефіцієнтів русло-заплавного регулювання ε_F в період весняного водопілля (а) та дощових паводків (б) від площі водозбору для річок басейну р. Вісла в межах України

3.3.3 Визначення та перевірочні розрахунки максимальних модулів стоку дощових паводків та весняних водопіль річок басейну р. Вісла

Завершальним етапом роботи став розрахунок максимальних модулів стоку $q_{1\%}$ для дощових паводків та весняних водопіль за формулою (3.51), що наведені в табл. 3.3 – 3.4.

Таблиця 3.3 – Розрахунки максимального модуля стоку під час весняного водопілля в басейні р. Вісла в межах України

№ з/п	Річка – пост	$q'_{1\%},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$\psi(t_p / T_0)$	ε_F	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$
1	р.Вишня – с. Твіржа	4,1	0,43	0,13	0,24
2	р. Західний Буг –снтСасів	3,1	0,62	0,20	0,37
3	р. Західний Буг – м. Камянка-Бузька	2,2	0,44	0,07	0,07
4	р. Західний Буг – с. Литовеж	1,9	0,36	0,05	0,04

Кінець таблиці 3.3

№ з/п	Річка – пост	$q'_{1\%},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$\psi(t_p / T_0)$	ε_F	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$
5	р. Полтва – м. Буськ	1,7	0,47	0,08	0,07
6	руч. Каменка – г. Каменка-Бугская	2,5	0,50	0,21	0,27
7	р. Рата – с. Волиця	3,2	0,46	0,09	0,14
8	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	2,4	0,59	0,21	0,31
9	р. Желдець – с. Лугове	3,5	0,46	0,18	0,30
10	р. Солокія – м. Червоноград	2,6	0,41	0,11	0,12
11	р. Луга – м. Володимир-Волинський	1,8	0,41	0,10	0,07
12	р. Прип'ять – с. Річиця	3,8	0,32	0,10	0,12
13	р. Вижівка – с. Руда	2,3	0,63	0,17	0,24
14	р. Вижівка – смт Стара Вижівка	4,0	0,43	0,12	0,21
15	р. Тур'я – с. Ягідне	2,5	0,46	0,13	0,15
16	р. Стохід – с. Малинівка	2,0	0,48	0,11	0,10

Таблиця 3.4 – Розрахунки максимального модуля стоку під час дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України

№ з/п	Річка – пост	$q'_{1\%},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$\psi(t_p / T_0)$	ε_F	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$
1	р. Вишня – с. Твіржа	1,87	0,37	0,25	0,17
2	р. Західний Буг – смт Сасів	1,19	0,57	0,30	0,20
3	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	1,34	0,36	0,14	0,07
4	р. Західний Буг – с. Литовеж	1,20	0,26	0,13	0,04
5	р. Полтва – м. Буськ	1,03	0,38	0,17	0,06
6	руч. Каменка – г. Каменка-Бугская	1,78	0,45	0,34	0,27
7	р. Рата – с. Волиця	0,96	0,40	0,17	0,07
8	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	0,80	0,56	0,31	0,14
9	р. Желдець – с. Лугове	1,46	0,43	0,29	0,18
10	р. Солокія – м. Червоноград	0,84	0,36	0,21	0,06
11	р. Луга – м. Володимир-Волинський	0,45	0,42	0,16	0,03

Кінець таблиці 3.4

№ з/п	Річка – пост	$q'_{1\%},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$\psi(t_p / T_0)$	ε_F	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$
12	р. Прип'ять–с.Річиця	0,64	0,37	0,15	0,03
13	р. Вижівка–с.Руда	0,34	0,66	0,23	0,05
14	р. Вижівка –свт Стара Вижівка	0,39	0,50	0,16	0,03
15	р. Тур'я–с.Ягідне	0,55	0,46	0,21	0,05
16	р. Стохід–с.Малинівка	0,41	0,48	0,17	0,03

Як видно з табл. 3.3 – 3.4, отримані значення $q_{1\%}$ для весняного водопілля коливаються в межах $0,04 m^3 / (c \cdot km^2)$ (р. Західний Буг – с. Литовеж) до $0,37 m^3 / (c \cdot km^2)$ (р. Західний Буг – смт Сасів), і від $0,01 m^3 / (c \cdot km^2)$ (р. Західний Буг – с. Литовеж) до $0,1 m^3 / (c \cdot km^2)$ (р. Кам'янка – м. Кам'янка-Бузька) – для дощових паводків.

З метою оцінки методики розрахунку максимальних модулів стоку виконані перевірочні розрахунки [24]. Точність розрахунку оцінювалася за середнім відносним відхиленням між розрахованими і фактичними значеннями за формулою

$$|\Delta| = \frac{|q_{m_p} - q_{m_\phi}|}{q_{m_\phi}} \cdot 100\%, \quad (3.64)$$

де q_{m_ϕ} – величина максимального модуля стоку весняного водопілля або дощових паводків, що визначена за даними статистичної обробки.

q_{m_p} – модуль стоку, розрахований за наведеною вище методикою.

Перевірочні розрахунки максимальних модулів стоку дощових паводків та весняних водопілля в басейні р. Вісла наведені в табл. 3.5 – 3.6.

Таблиця 3.5 – Перевірочні розрахунки максимального модуля стоку річок під час весняного водопілля в басейні р. Вісла в межах України

№ з/п	Річка – пост	$q_{m\phi},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$ \Delta , \%$
1	р.Вишня – с. Твіржа	0,22	0,24	7,79
2	р. Західний Буг – смт Сасів	0,30	0,37	24,7
3	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	0,10	0,07	32,7
4	р. Західний Буг – с. Литовеж	0,05	0,04	31,7
5	р. Полтва – м. Буськ	0,08	0,07	22,6
6	руч. Каменка – г. Каменка-Бугская	0,17	0,27	59,6
7	р. Рата – с. Волиця	0,15	0,14	10,4
8	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	0,20	0,31	55,2
9	р. Желдець – с. Лугове	0,21	0,30	43,4
10	р. Солокія – м. Червоноград	0,10	0,12	23,2
11	р. Луга – м. Володимир-Волинський	0,08	0,07	-9,58
12	р. Прип'ять – с. Річиця	0,12	0,12	2,69
13	р. Вижівка – с. Руда	0,18	0,24	35,8
14	р. Вижівка – смт Стара Вижівка	0,22	0,21	3,58
15	р. Тур'я – с. Ягідне	0,13	0,15	23,0
16	р. Стохід – с. Малинівка	0,10	0,10	2,44
Середнє ± 24,3 %				

Таблиця 3.6 – Перевірочні розрахунки максимального модуля стоку річок під час дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України

№ з/п	Річка – пост	$q_{m\phi},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$q_{m_p},$ $m^3 / (c \cdot km^2)$	$ \Delta , \%$
1	р.Вишня – с. Твіржа	0,20	0,17	17,8
2	р. Західний Буг – смт Сасів	0,35	0,20	42,5
3	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	0,09	0,07	19,5
4	р. Західний Буг – с. Литовеж	0,04	0,04	0,83
5	р. Полтва – м. Буськ	0,07	0,06	7,40
6	руч. Каменка – г. Каменка-Бугская	0,19	0,27	39,5
7	р. Рата – с. Волиця	0,08	0,07	21,4
8	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	0,15	0,14	7,26
9	р. Желдець – с. Лугове	0,20	0,18	7,69
10	р. Солокія – м. Червоноград	0,05	0,06	32,6

Кінець таблиці 3.6

№ з/п	Річка – пост	$q_{m\phi},$ $м^3 / (с \cdot км^2)$	$q_{mр},$ $м^3 / (с \cdot км^2)$	$ \Delta , \%$
11	р. Луга – м. Володимир-Волинський	0,02	0,03	28,3
12	р. Прип'ять – с. Річиця	0,03	0,03	15,5
13	р.Вижівка – с. Руда	0,04	0,05	24,0
14	р.Вижівка – смт Стара Вижівка	0,03	0,03	5,83
15	р.Тур'я – с. Ягідне	0,08	0,05	38,3
16	р. Стохід – с. Малинівка	0,03	0,03	12,7
Середнє $\pm 20,1 \%$				

Для весняного водопілля розраховане значення $|\Delta| = \pm 24,3 \%$, а для дощових паводків $|\Delta| = \pm 20,1 \%$. Такі результати відповідають точності вихідної інформації по максимальному стоку річок ($\pm 20 \%$) та дозволяють рекомендувати операторну модель для визначення максимальних модулів стоку та максимальних модулів схилового припливу весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України при відсутності спостережень за стоком.

4. РЕГІОНАЛЬНІ УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧНОГО СТОКУ (БАСЕЙН Р.ДЕСНА)

Метою дослідження, яка стосується цього розділу, є оцінка просторово-часової мінливості параметрів річного стоку, аналіз ступеня впливу місцевих факторів на ці параметри та узагальнення розрахункових характеристик по території базуючись на сучасних даних.

Для рішення цієї задачі вибраний басейн р. Десна, яка є найдовшою лівою притокою Дніпра. Українська частина басейну розташована на крайній півночі Лівобережної України в поліській і лісостеповій зонах Придніпровської низовини.

Попередньо була виконана статистична обробка часових рядів середньорічних модулів річного стоку за методами моментів та найбільшої правдоподібності по 36 гідрологічних постах досліджуваної території. Отримані такі результати: значення середньорічних модулів стоку змінюється від 3,06 л/с·км² до 5,60 л/с·км². Середня квадратична похибка в середньому по басейну р. Десна складає $\sigma q_{cp} = 5,5 \%$

Коефіцієнти варіації змінюються від 0,19 до 0,56, це свідчить про те, що в цілому для річного стоку в басейні р. Десна характерна висока ступень мінливості у рядах середньорічних модулів стоку. Точність коефіцієнтів варіації $\sigma_{C_V} = 12,8 \%$.

При відсутності або недостатності гідрологічної інформації фахівці звертаються до карт ізоліній гідрологічних величин.

Для встановлення критеріїв використання побудованих карт необхідно визначити наявність залежності картованого параметра від площі водозбору. При побудові графіків зв'язку норми та мінливості річного стоку від площі водозбору для території було отримано поля точок, виходячи з яких виділення розрахункової залежності неможливе. Для коефіцієнта варіації характерне деяке зниження його абсолютних значень від мінімальних площ

водозборів до великих, проте виділити розрахункову залежність для цієї території неможливо.

Отримані залежності також не можуть використовуватися як розрахункові. Таким чином, норма та коефіцієнт варіації річного стоку підлягають картуванню для річок з площею водозбору від 100 км² до 50000 км². Нижня межа площ водозбору визначається обмеженістю даних спостережень за стоком на менших річках, верхня межа відповідає категорії великих рік з полізональним гідрологічним режимом, визначення стоку цих водних об'єктів можливе з використанням даних стаціонарної мережі спостережень.

4.1 Просторове узагальнення норми річного стоку по басейну р. Десна

Приступаючи до узагальнення норми річного стоку по території басейну р. Десна, слід перевірити наявність залежності величини норми річного стоку від широтного положення водозборів для річок басейну р. Десна (рис. 4.1). Але з іншого боку на величину норми річного стоку можуть також впливати місцеві фактори (лісистість та заболоченість) досліджуваного району (рис. 4.2).

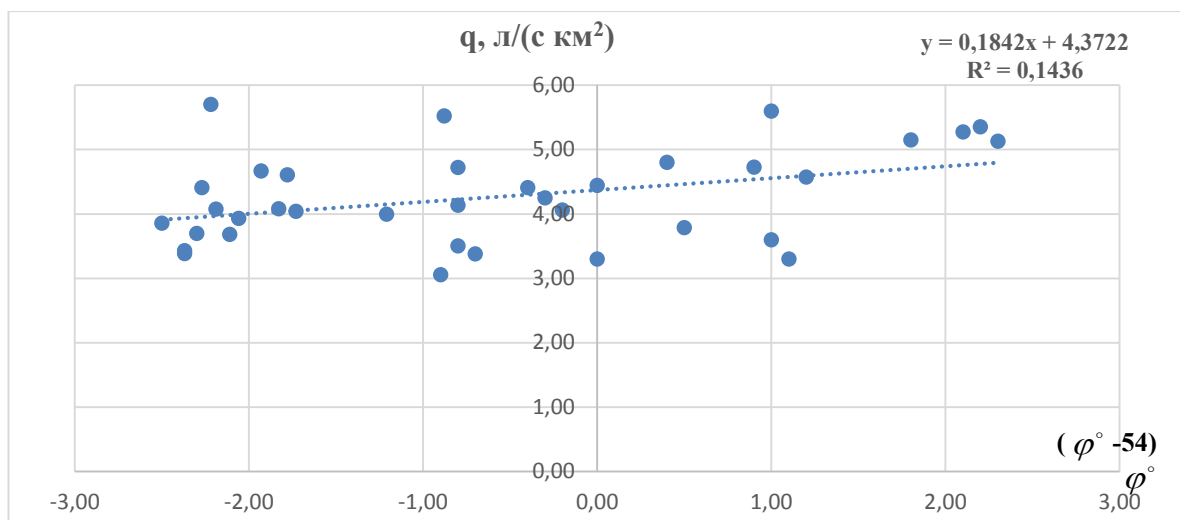


Рисунок 4.1 – Залежність модулів річного стоку (норми стоку) від широтного положення водозборів в басейні р. Десна

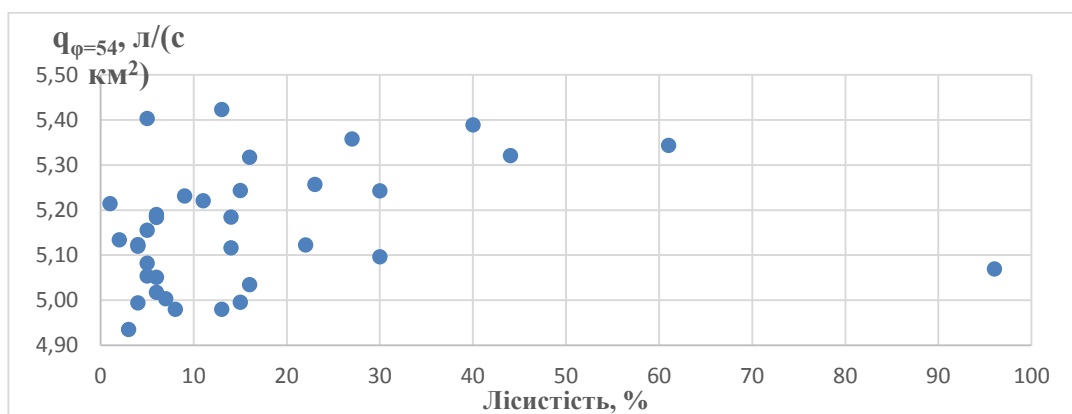


Рисунок 4.2 – Графік зв'язку норми річного стоку від лісистості водозборів в басейні р. Десна

Значимих регіональних залежностей норми річного стоку від лісистості водозборів не виявлено.

Щодо заболоченості, то її вплив на середнє значення за багаторічний період не досліджувався, оскільки в басейні р. Десна вона майже відсутня.

Таким чином, прийнято рішення картувати величину норми річного стоку для річок басейну р. Десна, що базуються на даних по 2015 рік (рис. 4.3).

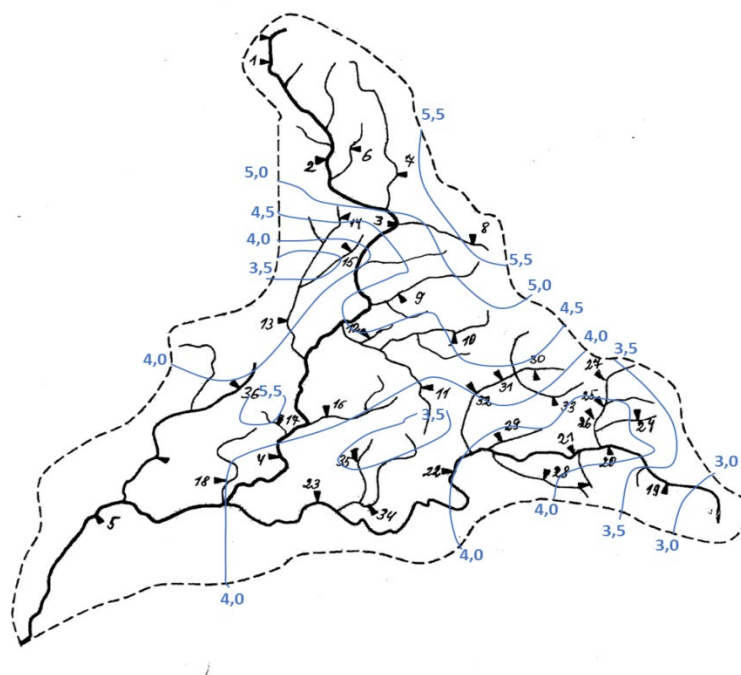


Рисунок 4.3 – Карта ізолій норми річного стоку для річок басейну р. Десна

4.2 Перевірочні розрахунки

Для перевірки точності побудови карти ізоліній норми річного стоку були зняті значення з карти та порівняні з величинами розрахованими за результатами статистичної обробки (табл. 4.1)

Похибка карти складає $\pm 4,0\%$, що задовольняє вимогам нормативного документа [1] для визначення норми річного стоку та вихідній інформації $\sigma q_{cp} = 5,5\%$.

Таблиця 4.1 – Перевірочні розрахунки визначення норми річного стоку за побудованою картосхемою ізоліній

№ з/п	Річка - пост	F , км ²	n , років	q , л/(с·км ²)	$q_{карта}$, л/(с·км ²)	Δq , %
1	р. Десна – с. Олександрівка	1710	8	5,13	5,0	2,6
2	р. Десна – с.Голубея	4770	18	5,35	5,0	6,6
3	р. Десна – м.Брянськ	13700	18	5,52	5,5	0,4
4	р. Десна – с.Розльоти	36300	67	4,73	5,0	5,8
5	р. Десна – м. Чернігів	81400	122	4,00	4,0	0,0
6	р. Ветьма – с.Круча	1370	34	5,28	5,0	5,2
7	р. Болва – с.Псурь	3210	36	5,15	5,0	3,0
8	р. Снежеть – м.Карачев	282	33	5,60	5,5	1,8
9	р. Навля – смтНавля	1560	32	4,73	4,5	4,9
10	р. Нерусса – с.Радогощ	1020	20	4,80	5,0	4,1
11	р. Сев – с.Новоямське	1150	28	3,30	3,5	6,1
12	р.Соля – с.Мальцеве	39,4	30	3,79	4,0	5,6
13	р. Судость – смтПогар	5180	36	3,60	4,0	11,2
14	р. Коста – с.Глазове	150	31	4,57	4,5	1,6
15	р. Рожок – с.Червоне	60	25	3,30	3,5	6,1
16	р. Івотка – с. Івот	1260	69	3,93	4,0	1,7
17	р. Головесня – с. Покошичі	29,5	81	5,71	5,5	3,6
18	р. Убідь – с. Кудрівка	970	24	4,08	4,0	1,9
19	р. Сейм – с.Зуївка	2320	45	3,06	3,0	1,9

Кінець таблиці 4.1

№ з/п	Річка - пост	F , км ²	n , років	q , л/(с·км ²)	$q_{карта}$, л/(с·км ²)	Δq , %
20	р. Сейм – с.Лебязж'є	4870	35	3,38	3,5	3,6
21	р. Сейм – с.Ришкове	7460	47	3,70	4,0	8,1
22	р. Сейм – м.Рильськ	18100	43	3,86	4,0	3,7
23	р. Сейм – с. Мутин	25600	88	3,69	4,0	8,5
24	р. Рать – с.Беседіно	630	33	4,41	4,5	2,1
25	р. Тускарь – с.Свобода	1690	22	4,06	4,0	1,5
26	р. Тускарь – м.Курськ	2380	53	4,25	4,0	5,9
27	р. Снова – с. Щурово	781	68	4,14	4,2	1,5
28	р. Реут – с.Любицька	960	41	3,51	3,5	0,2
29	р. Прут – с.Ширкове	530	34	4,41	4,0	9,3
30	р. Свапа – с.Локтіонове	419	30	4,44	4,0	10,0
31	р. Свапа – с.Міхайлівка	2800	21	4,67	4,5	3,6
32	р. Свапа – с.Старе Місто	3690	48	4,61	4,5	2,4
33	р. Усожа – м.Фатеж	364	33	4,08	4,0	2,0
34	р. Клевень – с. Шарпівка	2440	70	3,43	3,5	2,0
35	р. Есмань – с. Ротівка	628	49	3,39	3,5	3,3
36	р.Ревна – Залізний міст	380	18	4,04	4,0	1,0
						±4,0

4.3 Мінливість річного стоку

Мінливість річного стоку як і норма стоку, відноситься до кількісних характеристик, які мають безпосереднє практичне використання. Мінливість є причиною коливань величин річного стоку. Коефіцієнт варіації C_v річного стоку є характеристикою багаторічної мінливості ряду стоку: чим більше значення коефіцієнта варіації, тим більший розмах коливань величин стоку відносно середнього багаторічного значення [2].

Коефіцієнти варіації були обчислені з використанням методів моментів і найбільшої правдоподібності [3]. Змінюються вони у досить широких межах від 0,19 до 0,56 при середній квадратичній похибці на рівні $\sigma_{C_v} \% = 12,8$, що задовольняє вимогам нормативного документа [1].

4.4 Узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна

Для узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна були побудовані залежності коефіцієнтів варіації від широти геометричних центрів водозборів та від площ водозборів (рис. 4.4, 4.5) [4].

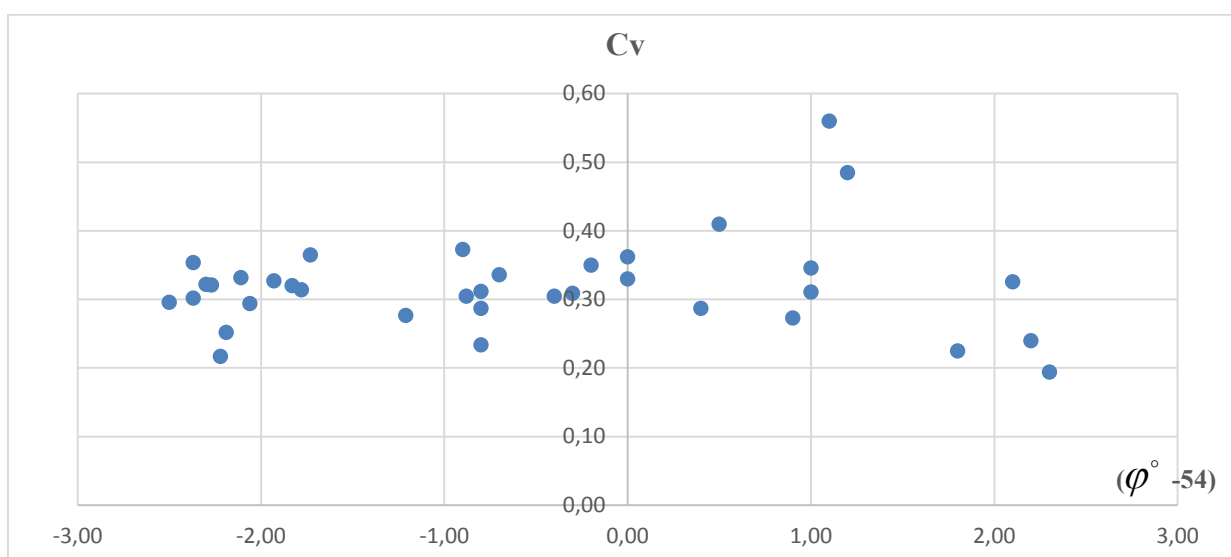


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнтів варіації від широтного положення центрів водозборів

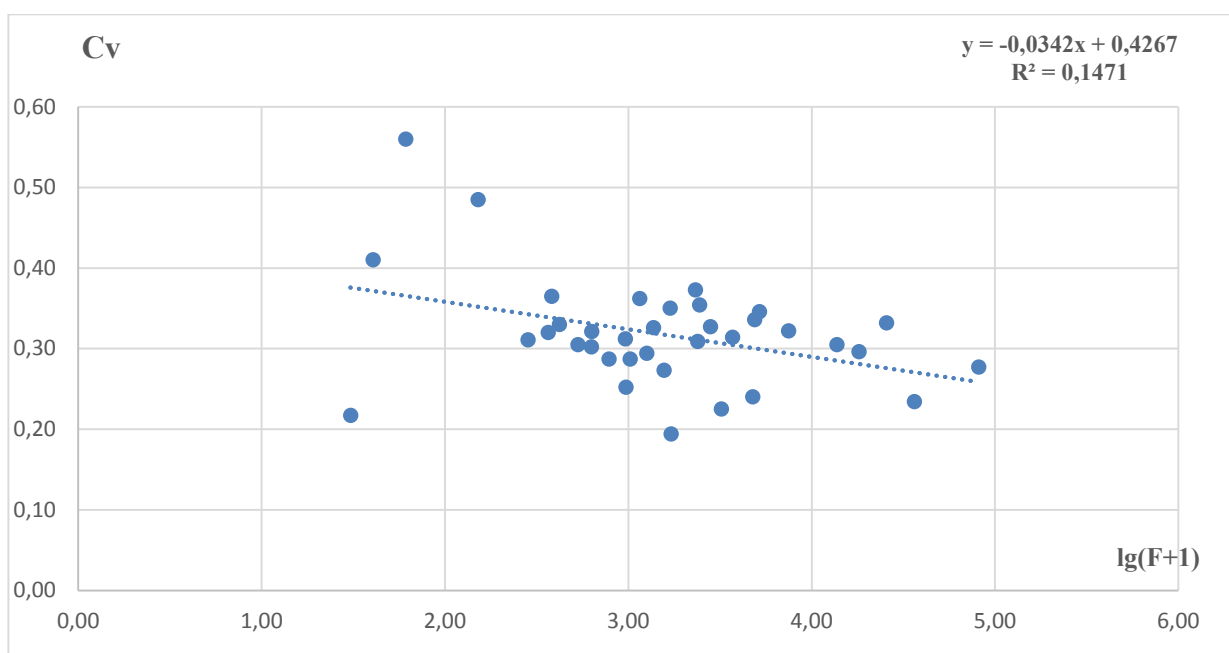


Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта варіації від площі водозборів

На підставі рівняння, яке описує залежність на рис. 4.5 отримано регіональну формулу:

$$C_v = 0,4267 - 0,0342 \lg(F + 1). \quad (4.1)$$

При необхідності встановлення характеристик річного стоку різної забезпеченості необхідно крім q_{cp} і C_v також знати коефіцієнт асиметрії. Він представляє собою 3-й центральний момент, тобто

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 n}{C_v^3 (n-1)(n-2)}. \quad (4.2)$$

Оскільки формула (4.2) потребує досить тривалих рядів, які в гідрології відсутні, то параметри C_s встановлюється шляхом осереднення по території відношення C_s / C_v [5]. Для басейну р. Десна пропонується прийняти в якості розрахункового C_s значення цього відношення для розглядуваної території $C_s / C_v = 2,5$.

4.5 Перевірочні розрахунки

Перевірочні розрахунки коефіцієнтів варіації, отриманих за регіональною формулою (4.2) виконувались за допомогою формули :

$$\Delta C_v = \frac{|C_{vp} - C_{v\phi}|}{C_{v\phi}} \cdot 100\% . \quad (4.3)$$

Отримані результати приведені в табл. 4.2. Середнє значення $\Delta C_v = 14,8$, що відповідає вихідній інформації $\sigma_{C_v} = 12,8\%$ по стоку річок і вимогам СНіП 2.01.14-83 ($\sigma_{C_v} \leq 15\%$) [1].

Це свідчить про те, що запропоновану методику можна використовувати для визначення розрахункової характеристики річного стоку – C_v , за відсутністю даних спостережень в басейні р. Десна.

Таблиця 4.2 – Перевірочні розрахунки визначення коефіцієнтів варіації за регіональною формулою для басейна р.Десна

№ з/п	Річка - пост	F , км ²	n , років	C_v	C_{vp}	ΔC_v , %
1	р. Десна – с. Олександрівка	1710	8	0,19	0,31	58,5
2	р. Десна – с.Голубея	4770	18	0,24	0,29	21,7
3	р. Десна – м.Брянськ	13700	18	0,31	0,28	9,3
4	р. Десна – с.Розльоти	36300	67	0,23	0,26	12,0
5	р. Десна – м. Чернігів	81400	122	0,28	0,25	9,7
6	р. Ветьма – с.Круча	1370	34	0,33	0,31	4,7
7	р. Болва – с.Псурь	3210	36	0,23	0,30	32,5
8	р. Снежень – м.Карачев	282	33	0,31	0,33	7,4
9	р. Навля – смтНавля	1560	32	0,27	0,31	13,1
10	р. Нерусса – с.Радогощ	1020	20	0,29	0,32	9,8
11	р. Сев – с.Новоямське	1150	28	0,36	0,31	13,4
12	р.Соля – с.Мальцеве	39,4	30	0,41	0,36	11,4
13	р. Судость – смтПогар	5180	36	0,35	0,29	15,9
14	р. Коста – с.Глазове	150	31	0,49	0,34	29,2
15	р. Рожок – с.Червоне	60	25	0,56	0,36	36,3
16	р. Івотка – с. Івот	1260	69	0,29	0,31	6,1
17	р. Головесня – с. Покошичі	29,5	81	0,22	0,37	69,2
18	р. Убідь – с. Кудрівка	970	24	0,25	0,32	25,3

5 РЕГІОНАЛЬНІ РОЗРОБКИ МЕТОДИК ПРОГНОЗУ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

5.1 Регіональна методика прогнозу меженного стоку літньо-осіннього періоду річок в басейні р. Південний Буг

5.1.1 Побудова та узагальнення прогнозних залежностей для прогнозів літньо-осіннього меженного стоку річок

В основу прогнозу витрат води меженного періоду покладено рішення рівняння водного балансу. Прогнозна величина стоку за якийсь відрізок часу може бути представлена у вигляді [1]

$$\sum_n^{n+t} Q \Delta t = W_C + W_B - P_T + W + \sum_n^{n+t} Q_n \Delta t + \sum_n^{n+t} Q_D \Delta t, \quad (5.1)$$

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

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t), \quad (5.2)$$

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 прогнозової залежності. Ці 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.

Для розробки методики просторового прогнозу середньодекадних витрат води меженного літньо-осіннього стоку р. Південний Буг були взяті дані про щоденні та середньодекадні витрати води за період червень – вересень з 1980 р. по 2015 р. для постів:

- р. Південний Буг – с.Тростянчик (17400 км² площа водозбору);
- р. Південний Буг – с.Підгір'я (24600 км² площа водозбору);
- р. Велика Вись – с.Ямпіль (2820 км² площа водозбору);
- р. Синюха – с.Синюхін Брід (16700 км² площа водозбору);
- р. Ятрань–с.Покотилове (2140 км² площа водозбору);
- р. Рів – с.Демидівка (1130 км² площа водозбору);
- р. Кодима – с. Катеринка(2390 км²площа водозбору);
- р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка (2230 км²площа водозбору);
- р. Інгул – с. Новогорожене (6670 км²площа водозбору);
- р. Тилігул – с. Березівка (3170 км²площа водозбору);
- р. Великий Куяльник –с. Северинівка (1840 км²площа водозбору).

Вихідні дані для розробки методики прогнозу середньо декадних витрат води меженного літньо-осіннього стоку річок північно-західного Причорномор'я наведено у Дод. А.

В основу прогнозу витрат води річок басейну р.Південний Буг для літньо-осіннього періоду покладено рішення рівняння водного балансу (5.1) у вигляді залежності (5.2) але узагальнених для низки постів. За даними про витрати води (модулі стоку) (на дату випуску прогнозу та середні за декаду) річок в басейні р. Південний Буг були побудовані залежності виду (5.2) для місяців літньо-осіннього періоду.

Залежності для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за серпень, липень, червень, вересень) річок в басейні р. Південний Буг (1980-2015 рр.) представлені на рис.5.1-5.4, а для меженного стоку річок північно-західного Причорномор'я – у додатку Б.

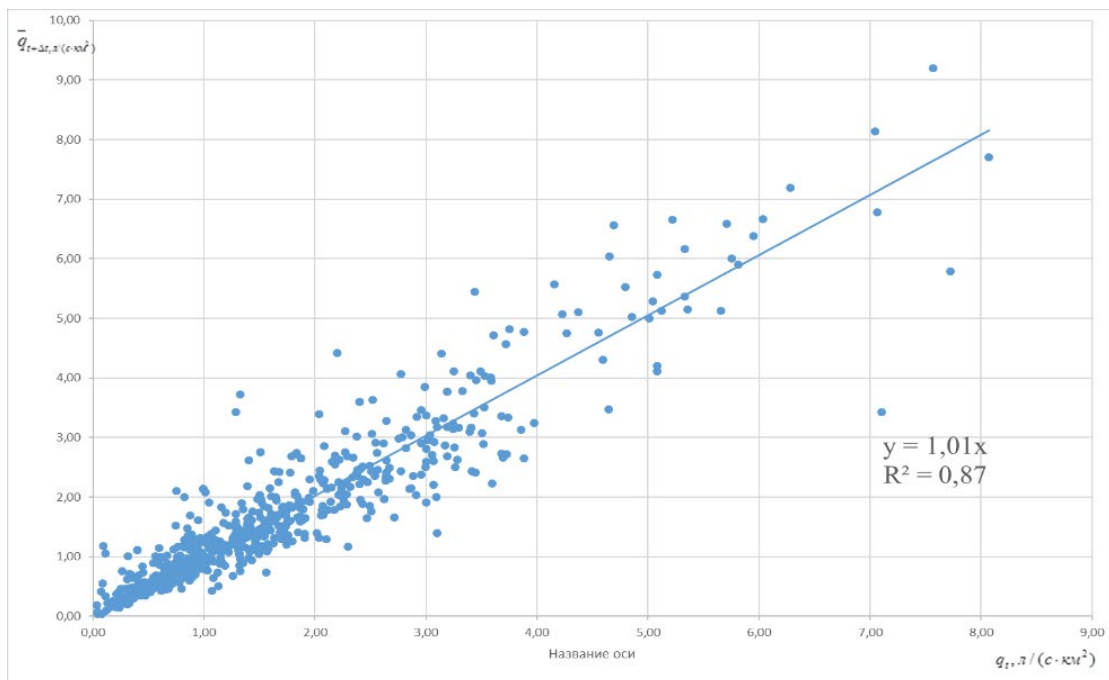


Рисунок 5.1 – Залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за червень) річок в басейні р. Південний Буг (1980-2015 рр.)

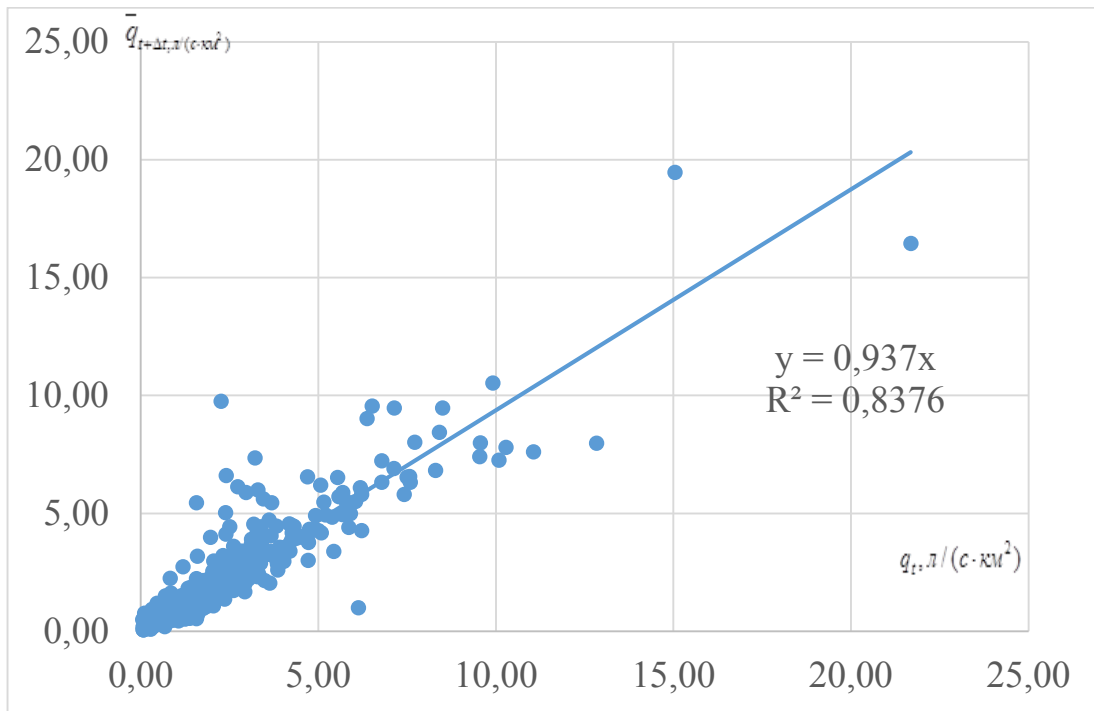


Рисунок 5.2 – Залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за липень) річок в басейні р. Південний Буг (1980-2015 рр.)

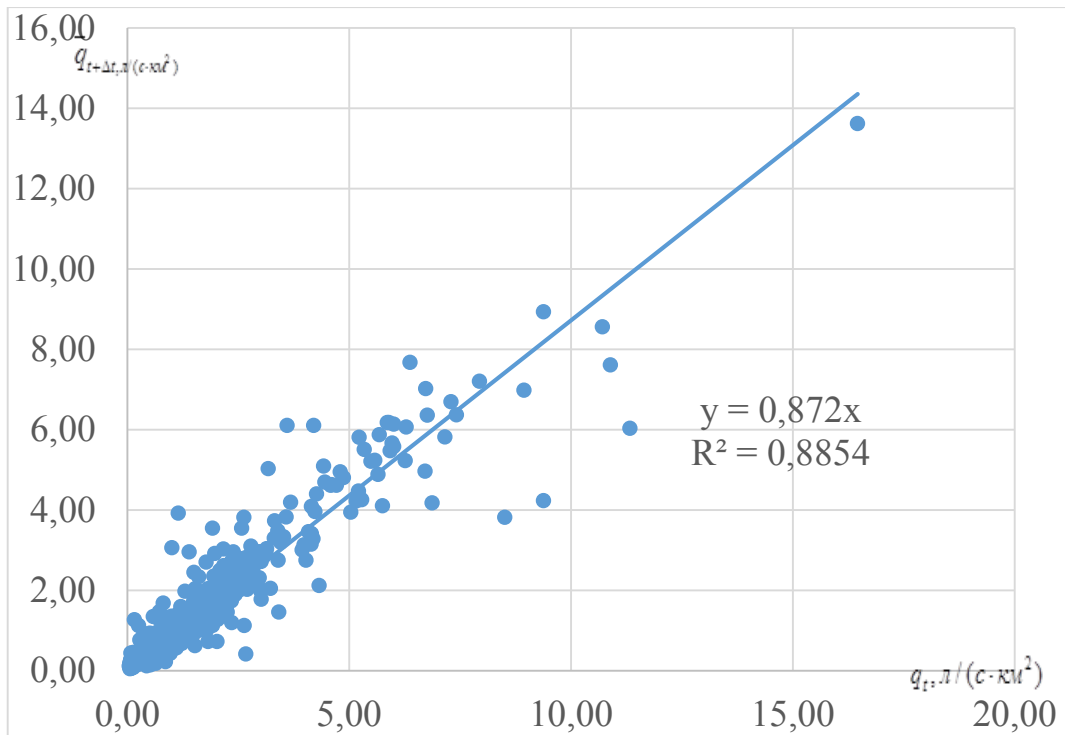


Рисунок 5.3 – Залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за серпень) річок в басейні р. Південний Буг (1980-2015 рр.)

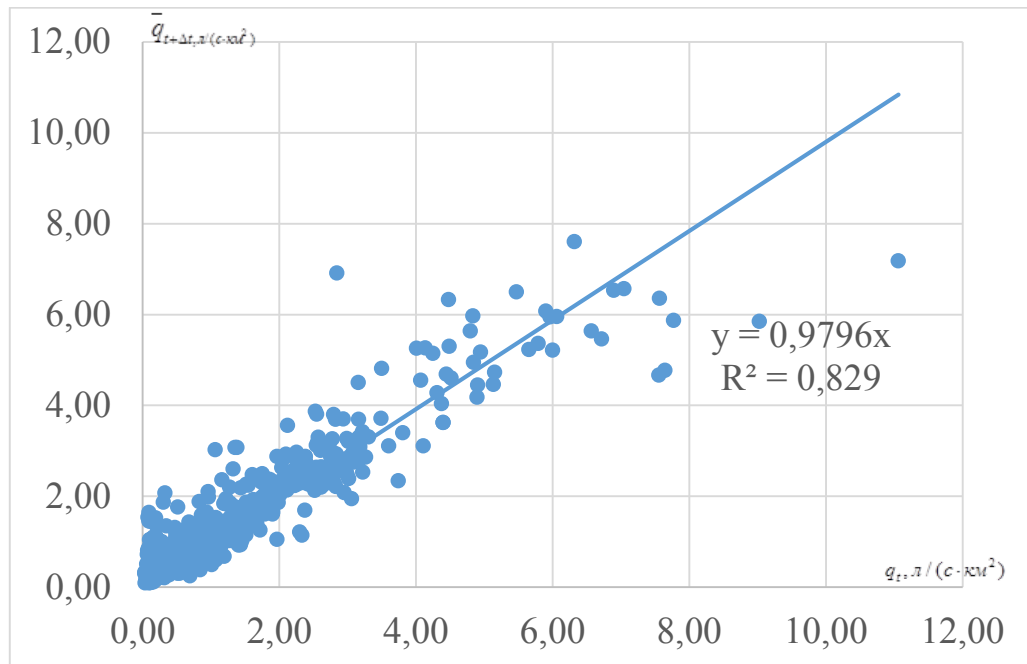


Рисунок 5.4 – Залежність для короткострокових прогнозів середньодекадних модулів стоку (за вересень) річок в басейні р. Південний Буг (1980-2015 рр.)

На графіках деякі точки значно відхиляються від лінії тренду, що пов'язано зі значними кількостями опадів, які випали за період завчасності прогнозу або при їх недостатньої кількості.

Параметри залежностей для просторових короткострокових прогнозів меженного стоку річок розглядуваної території наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри залежностей для просторових короткострокових прогнозів меженного стоку річки Південний Буг

$$\bar{q}_{t+10} = f(q_t)$$

Період прогнозу							
Червень		Липень		Серпень		Вересень	
Рівняння	r	Рівняння	r	Рівняння	r	Рівняння	r
$y = 1,01x$	0,93	$y = 0,94x$	0,92	$y = 0,87x$	0,94	$y = 0,98x$	0,91

5.1.2 Оцінка регіональної методики короткострокових прогнозів меженного стоку в басейні р.Південний Буг

За критерій якості методики прогнозів приймається [2], [3] відношення середньої квадратичної похибки S до середнього квадратичного відхилення σ_{Δ} .

Середнє квадратичне відхилення змін прогнозованої величини за період завчасності прогнозу від норми цієї змінної σ_{Δ} від норми обчислюється по формулі [2], [3]

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n - 1}}, \quad (5.3)$$

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 елемента (наприклад, шару стоку) від середнього у вигляді [2], [3]

$$\delta_{дон.} = \pm 0,674\sigma_{\Delta}. \quad (5.4)$$

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{n}}. \quad (5.5)$$

Тут Q_i Q'_i – спостережене і передбачене значення гідрологічного елементу, відповідно.

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.

Оцінка регіональної методики прогнозу середньодекадних витрат води меженого літньо-осіннього стоку річок басейну р. Південний Буг була виконана за перевірними прогнозами середньодекадних витрат води за період 1980-2015 рр. та представлена у зведеній табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Оцінка регіональної методики прогнозу середньодекадних витрат води за літньо-осінній період річок басейну р. Південний Буг (1980-2015 рр.)

Місяць	σ_{Δ} , л/(с·км ²)	$\delta_{доп}$, л/(с·км ²)	S , л/(с·км ²)	S/σ_{Δ}	P , %
Червень	0,62	0,42	0,50	0,80	76
Липень	0,98	0,66	0,79	0,81	88
Серпень	0,69	0,46	0,52	0,76	85
Вересень	0,52	0,35	0,55	1,06	70

Отже методика просторового прогнозу середніх за декаду витрат води меженого літньо-осіннього стоку річок басейну р. Південний Буг оцінюється як задовільна, так як забезпеченість допустимої похибки P складає більше 70 % (від 70 % до 88 %), а критерій якості та ефективності методики відношення S/σ перевищує 0,5 (0,76 – 0,81) [2].

Слід зазначити, що для вересня місяця методика має незадовільну оцінку. Це пов'язано з тим, що в цьому місяці збільшується кількість опадів,

які впливають на точність прогнозів. Але методика просторового прогнозу меженного літньо-осіннього стоку річки Південний Бугу дозволяє випускати прогнози середніх за декаду витрат води для будь якої річки басейну, незалежно від наявності регулярних спостережень за стоком води. В подальшому методика буде уточнюватися.

Основні результати з розробки регіональної методики прогнозування сезонного меженного стоку річок Півдня України для забезпечення сталого водокористування представлені на Другому Всеукраїнському гідрометеорологічному з'їзді (Одеський державний екологічний університет, 7-9 жовтня 2021 року) [4].

5.1.3 Схема випуску прогнозу меженного стоку річок

Схема випуску прогнозу середніх за декаду витрат води по місяцях літньої і та осінньої межени, відбувається за такою схемою:

1. з автоматизованої системи АРМ-гідро виписуються витрати води Q_t , м³/с на дату випуску прогнозу;
2. витрати води Q_t , м³/с на дату випуску прогнозу перераховуються у модулі стоку q_t , л/(с·км²) за формулою $q_t = Q_t / F * 1000$, л/(с·км²);
3. по прогностичних рівняннях для кожного місяця розглядуваного періоду (табл. 5.1) за даними про модулі стоку q_t , л/(с·км²) (на день прогнозу) прогнозуються середньо-декадні модулі стоку \bar{q}_{t+10} , л/(с·км²), які перераховуються в витрати води \bar{Q}_{t+10} , м³/с;
4. за даним про щоденні витрат води (взяті з автоматизованої системи АРМ-гідро) розраховуються середні за декаду витрати води \bar{Q}_{t+10} , м³/с;
5. розраховується похибка прогнозу δ за формулою $\delta = \bar{Q}_{t+10} - \bar{Q}_{t+10}$, м³/с;
6. оцінюється прогноз співвідношенням за $\delta / \delta_{дон}$.

Результати перевірних прогнозів середньо-декадних витрат води р. Кодима – с. Катеринка за липень 2015 року (незалежна вибірка) представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Схема випуску прогнозу середньо-декадних витрат в басейні р. Кодима – с. Катеринка за липень 2015 р.

Дата t	Q_t , м ³ /с	q_t , л/(с·км ²)	Період $t+10$	Q_{t+10} м ³ /с	q'_{t+10} , л/(с·км ²)	Q'_{t+10} , м ³ /с	$\delta_{дон.}$, м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{дон}$
30.06	0,079	0,03	1-10.07	0,068	0,03	0,013	0,25	0,055	0,26
10.07	0,042	0,02	11-20.07	0,042	0,02	0,008	0,25	0,034	0,13
20.07	0,026	0,01	21-30.07	0,031	0,01	0,004	0,25	0,027	0,11

Оцінка справджуваності представлених результатів прогнозів середньо декадних витрат води показала, що всі прогнози є виправданими і за критерієм якості $\delta / \delta_{дон}$ оцінюються як відмінні та добрі. Методика може використовуватися на практиці.

5.2 Методика територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

5.2.1 Вихідні дані для розробки методики довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг в межах районування басейну за умовами формування весняного водопілля річок.

Розробка методики довгострокового прогнозу характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг виконана в межах виділених районів та підрайонів однорідних за умовами формування весняного стоку (рис. 5.5) [5]-[7].

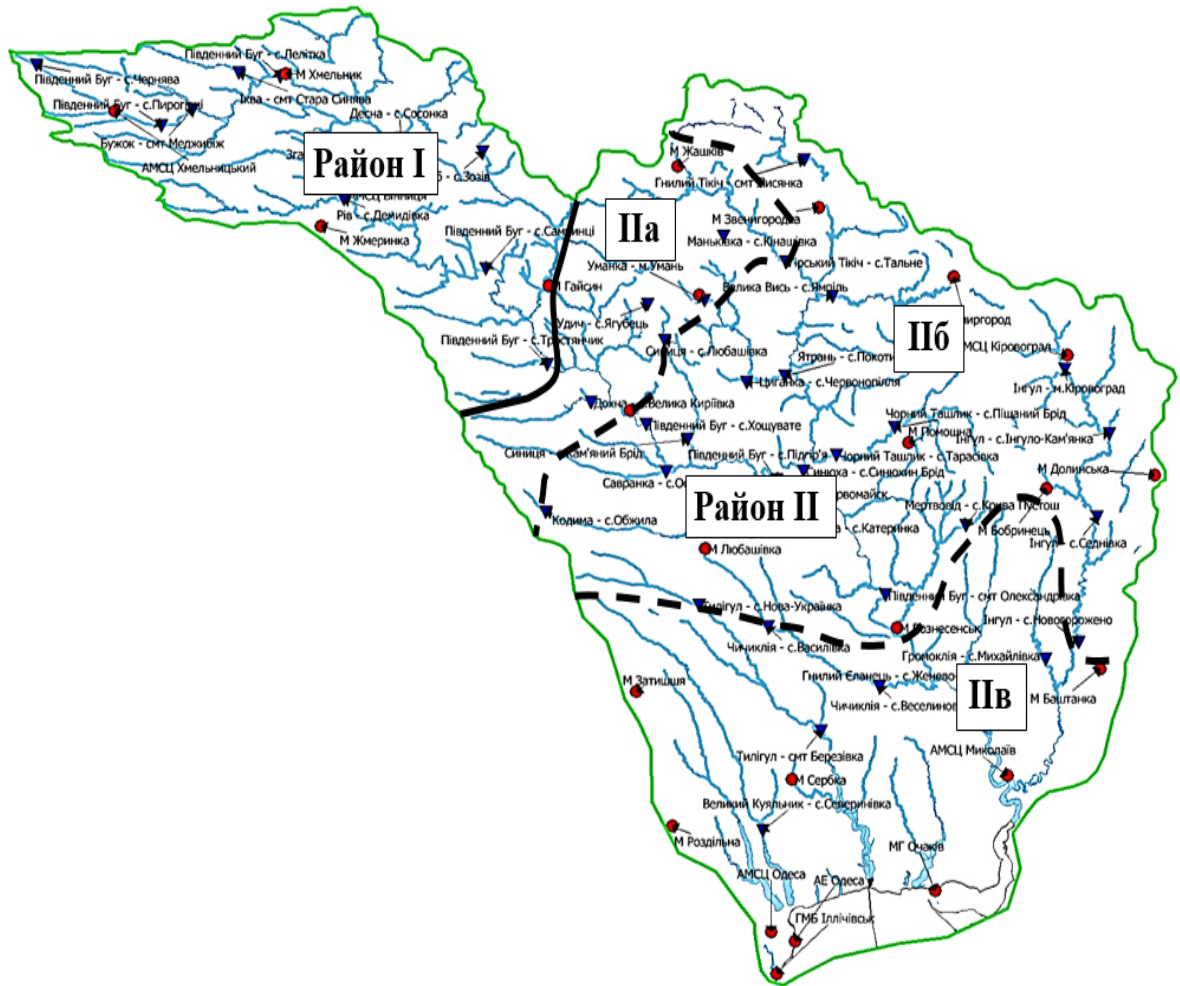


Рисунок 5.5 – Картосхема гідрологічного районування басейну р. Південний Буг за умовами формування весняного водопілля річок [5], [6]

Для розробки методики довгострокового прогнозу характеристик весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) в басейні р. Південний Буг обрано 12 опорних гідрологічних постів та залучено два пости території басейнів річок між Дністром та Південним Бугом (рр. Тилігул і Великий Куяльник). Вибір 12-ти гідрологічних постів на головній річці й притоках в басейні р. Південний Буг обумовлено їх рівномірним розташуванням по території басейну та приналежності річкових водозборів до виділених однорідних за умовами формування весняних водопіль районів. Необхідною умовою є наявність в межах водозбору однієї та більше метеорологічних станцій [5], [8].

Додаткові два пости території басейнів річок між Дністром та Південним Бугом (р. Тилігул – с. Березівка та р. Великий Куяльник – с. Северинівка) залучено у зв'язку рідкою мережею гідрометеорологічних спостережень на півдні досліджуваної території, а саме в районі II, підрайоні Пв. Таким чином, всього для розробки методики було залучено 14 гідрологічних постів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Опорні гідрологічні пости в басейні р. Південний Буг [5]

Індекс поста	Річка-пост	Приналежні метеорологічні станції
Район I		
81346	Південний Буг – с. Пирогівці	Хмельницький
81361	Південний Буг – с. Тростянчик	Хмельницький, Хмільник, Вінниця, Жмеринка, Липовець, Гайсин
81393	Рів – с. Демидівка	Жмеринка
Район II		
підрайон IIa		
81408	Савранка – с. Осички	Крижопіль, Гайворон
підрайон IIб		
81363	Південний Буг – с. Підгір'я	Хмельницький, Хмільник, Вінниця, Жмеринка, Липовець, Гайсин, Гайворон, Крижопіль
81414	Кодима – с. Катеринка	Любашівка
81417	Синюха – с. Синюхін Брід	Жашків, Звенигородка, Умань, Новомиргород, Помошна, Первомайськ
81430	Велика Вись – с. Ямпіль	Новомиргород
81433	Ятрань – с. Покотилове	Умань
81438	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	Помошна
81446	Інгул – м. Кропивницький	Знам'янка
підрайон IIв		
81450	Інгул – с. Новогорожено	Знам'янка, Долинська, Бобринець
81338	Тилігул – с. Березівка	Любашівка
81475	Великий Куяльник – с. Северинівка	Затишся, Роздільна

Розрахунковий період при розробці методики обумовлено наявністю спільних спостережень за стоковими характеристиками, метеорологічними та агрометеорологічними чинниками весняного водопілля. При цьому, залучена режимна вихідна гідрометеорологічна інформація Державної гідрометеорологічної мережі про запаси води в сніговому покриві, атмосферні опади, температури повітря, запаси вологи в метровому шарі ґрунту, глибини промерзання ґрунтів, витрати води річок у зимово-весняний період, шари стоку і максимальні витрати води та строки проходження весняних водопіль.

Опираючись на те, що спільний надійний період спостережень за опублікованими гідрометеорологічними характеристиками починається з 1966 р., для розробки методики було прийнято 50-ти річний період спостережень – з 1966 р. по 2015 р. [5], [8]. Але слід звернути увагу, що для визначення середньобогаторічних значень стокових величин характеристик використано наявний (у [9]) ряд спостережень – з початку спостережень по 2015 р. включно.

На умови формування та розміри весняних водопіль впливає комплекс гідрометеорологічних чинників, які при різних комбінаціях чи сполученнях призводять до формувань водопіль різної водності [10].

Так, у роботі [11] встановлено, що на річках басейну Південного Бугу шари стоку Y_m та максимальні витрати води Q_m весняного водопілля залежать від низки чинників формування річкового стоку: максимальних запасів води в сніговому покриві S_m , мм, суми дощових опадів періоду танення снігу X_1 , мм, суми дощових опадів періоду спаду весняного водопілля X_2 , мм, максимальної глибини промерзання ґрунтів L_m , см, передпаводкової витрати води Q_{ng} , м³/с, середньомісячної температури повітря лютого місяця, θ_{02} °С.

Ці фактори добре корелюють з характеристиками максимального стоку весняного водопілля, проте не встановлено з якою вагою кожен з них впливає

на об'єм весняного стоку. Виявлення найбільш значущих факторів, що впливають на формування весняного стоку є вкрай важливим завданням, тому що, часто їх величини невідомі на дату випуску прогнозу підлягають попередньої оцінки, що впливає на точність і справджуваність прогнозів.

Виявлення угруповань типу водності водопіль було здійснено за комплексом гідрометеорологічних чинників. Враховуючи різноманітність умов формування стоку весняного водопілля в роботі виконаний ретельний аналіз різних гідрометеорологічних чинників весняного водопілля в різних, однорідних за умовами формування весняного стоку районах розглядуваної території. Для визначення головних чинників формування весняного стоку на басейнах річок розглядуваної території був використаний метод факторного аналізу. При цьому, результати встановлення головних гідрометеорологічних чинників весняного стоку річок басейну Південного Бугу показали, що найбільші факторні навантаження на шар стоку весняного водопілля Y_m мають максимальні запаси води в сніговому покриві S_m , опади періоду весняного водопілля X_1 та максимальні глибини промерзання ґрунтів L_m [5].

Для встановлення гідрометеорологічних чинників для виявлення угруповань типу водності водопіль (високих, середніх або низьких) було використано апарат дискримінантної функції – багатовимірної статистичної моделі, яка дозволяє за комплексом гідрометеорологічних чинників (вектор-предиктором), що впливають на формування процесу, поділити вихідну вибірку на групи або класи [12]-[14].

Серед основних гідрометеорологічних чинників, що сформували вектор-предиктор найбільш надійно можуть бути встановлені шляхом їх вимірювання запаси води в сніговому покриві S_m та глибини промерзання ґрунтів L_m (як показник втрат води на інфільтрацію в період формування на басейнах весняного стоку річок). Дощові опади X_1 , які випадають на поверхню водозбору невідомі до початку весняного водопілля та враховуються в прогнозній схемі, за рекомендаціями автора [15], у вигляді

нормованої величини з врахуванням метеорологічного прогнозу (як опади вище, близькі або нижче за норму).

Аналіз основних гідрометеорологічних чинників формування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг представлено у роботі [16].

5.2.2 Встановлення типу водності весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

При розробці методики довгострокового прогнозу характеристик стоку весняного водопілля [5] в басейні р. Південний Буг визначення типу водності весняного водопілля річок здійснювалося при використанні методу дискримінантного аналізу [12] – [14].

За встановленим вектор-предиктором головних метеорологічних чинників весняного водопілля [5], [16] проводилась дискримінація весняних водопіль (класифікація за групами водності) [5].

При цьому, для проведення дискримінантного аналізу необхідно було групувати змінні, тобто віднести їх до тієї чи іншої групи, наприклад, групи *A* чи *B*. Далі, необхідно провести дискримінацію, причому, окрім параметрів, які підлягають дискримінації, ввести додатковий параметр – групувальну змінну (віднести водопілля до групи високої, середньої або низької водності). З цією метою для опорних створів басейну були побудовані регіональні залежності характеристик максимального стоку від їх метеорологічних чинників (у вигляді модульних коефіцієнтів) [5]:

- для шарів стоку весняного водопілля

$$k_Y = f(k_X), \quad (5.6)$$

де $k_Y = Y_m / Y_0$ – модульний коефіцієнт шарів стоку весняного водопілля (Y_m і Y_0 – шар стоку весняного водопілля і його середньобагаторічна величина, мм);

- для максимальних витрат води весняного водопілля

$$k_Q = f(k_X), \quad (5.7)$$

де $k_Q = q_m / q_0$ – модульний коефіцієнт максимальних витрат води весняного водопілля (q_m і q_0 – модуль максимального стоку весняного водопілля і його середньобагаторічна величина, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$);

k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період формування шару стоку чи максимальної витрати води весняного водопілля річок

$$k_X = (S_m + X_1) / (S_{m_0} + X_{1_0}). \quad (5.8)$$

Для здійснення класифікації за групами водності на графіках $k_Y = f(k_X)$ або $k_Q = f(k_X)$ спочатку візуально обиралися групи водності весняних водопіль (високої, середньої або низької), що схематично показано при прогнозуванні шарів стоку та при прогнозуванні максимальних витрат води [5].

Далі, для кожної з обраних груп встановлювалися дискримінантні рівняння за сформованим вектор-предиктором стокоформуєчих чинників весняного водопілля річок басейну р. Південний Буг в межах виділених районів та підрайонів однорідних за умовами формування весняного стоку [6], [17]. Розрахунки проводилися при використанні програми Statistica [18]. При виділенні трьох груп водності весняних водопіль (високої, середньої та низької) отримано по три дискримінантних рівняння виду [5], [11]

$$DF = a_1 \frac{S_m + X_1}{(S_m + X_1)_0} + a_2 \frac{L_m}{L_{m_0}} + a_3, \quad (5.9)$$

де a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти дискримінантної функції.

Розв'язальним правилом дискримінації угруповань є встановлення максимального значення дискримінантної функції за одержаним рівнянням виду (5.9). Тобто, тип водності весняного водопілля в басейні р. Південний Буг прогнозується по значеннях дискримінантної функції ($DF1$, $DF2$ та $DF3$) за умов [5]:

- якщо $DF1 > DF2, DF3$ – очікується весняне водопілля високої водності;
- якщо $DF2 > DF1, DF3$ – очікується весняне водопілля середньої водності;
- якщо $DF3 > DF1, DF2$ – очікується весняне водопілля низької водності.

Аналіз залежностей $k_Y = f(k_X)$ та $k_Q = f(k_X)$ показав, що розподіл точок та їх угруповання однотипні в межах виділених в басейні р. Південний Буг районів I та II (з підрайонами).

В такому разі, отримані коефіцієнти дискримінантних рівнянь є сталими та можуть бути прийнятими, при типізації весняних водопілля для всіх річок однорідного району (підрайону) [5].

Значення коефіцієнтів дискримінантних рівнянь типу (5.9) для опорних водозборів в межах виділених однорідних за умовами формування весняного водопілля районів та підрайонів представлені при прогнозуванні шарів стоку у табл. 5.5, а максимальних витрат води у табл. 5.6.

По одержаних дискримінантних рівняннях було проведено оцінку значущості дискримінації. Так, критерій лямбда Вілкса λ , у більшості випадках, становив $\lambda \leq 0,05$. Це свідчить про те, що середні значення обраних груп значимо різняться, тобто доведено наявність дискримінантних особливостей обраних чинників. Рівень значущості p , який показує наскільки

достовірними є отримані результати, у всіх випадках близький до 0, тобто похибка не перевищує 5 %.

5.2.3 Побудова регіональних залежностей для довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

По виділених угрупованнях весняних водопіль за типом їх водності (високої, середньої та низької) побудовані прогнозні залежності для визначення шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля (у вигляді модульних коефіцієнтів). Враховуючи максимальне значення дискримінантної функції ($DF1$, $DF2$ або $DF3$) прогнозні залежності описуються рівняннями виду [5]

$$k_Y(k_Q) = b_1 k_X + b_2 k_X^2 + \dots + b_m k_X^n, \quad (5.10)$$

де b_1, b_2, \dots, b_m – коефіцієнти рівняння при прогнозуванні шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля на річках.

Приклад прогнозних залежностей для різних груп водності весняних водопіль для шарів стоку весняного водопілля представлено на рис. 5.6 (для р. Південний Буг – с. Підгір'я), а для максимальних витрат води – на рис. 5.7 (для р. Південний Буг – с. Тростянчик) [5].

Коефіцієнти прогностичних рівнянь (5.10) при прогнозуванні шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг представлені в табл. 5.7 та табл. 5.8 відповідно [5].

Отримані коефіцієнти прогностичних рівнянь, також як і для дискримінантної функції, є сталими, а залежності регіональними для всіх річок однорідного району (підрайону) при прогнозуванні шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг.

Таблиця 5.5 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій (5.9) при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг [5]

Опорний пост в районі (підрайоні) для отримання коефіцієнтів в (5.9)	Опорні пости в районі (підрайоні), для яких прийняті коефіцієнти DF	Дискримінантна функція, DF	a_1	a_2	a_3
1	2	3	4	5	6
Район I					
Південний Буг – с. Тростянчик	Південний Буг – с. Пирогівці, Рів – с. Демидівка	$DF1$	1,69	5,77	5,54
		$DF2$	3,42	3,10	3,75
		$DF3$	6,96	1,28	7,78
Район II					
підрайони IIa та IIб (правобережжя)					
Савранка – с. Осички	Кодима – с. Катеринка	$DF1$	1,26	5,92	-4,99
		$DF2$	5,29	3,94	-5,56
		$DF3$	6,86	3,36	-7,22
підрайон IIб (лівобережжя)					
Синюха – с. Синюхін Брід	Велика Вись – с. Ямпіль, Ятрань – с. Покотилово, Чорний Ташлик – с. Тарасівка, Інгул – м. Кропивницький, Інгул – с. Новогорожене	$DF1$	3,43	8,40	-8,80
		$DF2$	5,36	5,41	-6,01
		$DF3$	7,64	2,30	-6,87
підрайон IIв					
Тилігул – с. Березівка	Великий Куяльник – с. Северинівка	$DF1$	2,33	7,45	-8,41
		$DF2$	2,25	4,35	-3,96
		$DF3$	2,42	3,68	-3,69

Таблиця 5.6 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій (5.9) при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг [5]

Опорний пост в районі (підрайоні) для отримання коефіцієнтів в (5.9)	Опорні пости в районі (підрайоні), для яких прийняті коефіцієнти DF	Дискримінантна функція, DF	a_1	a_2	a_3
1	2	3	4	5	6
Район I					
Південний Буг – с. Тростяничок	Південний Буг – с. Пирогівці, Рів – с. Демидівка	$DF1$	2,89	6,48	-7,89
		$DF2$	2,34	5,04	-4,56
		$DF3$	3,78	3,06	-4,28
Район II					
підрайон Па та Пб (правобережжя)					
Савранка – с. Осички	Кодима – с. Катеринка	$DF1$	0,89	11,4	-12,2
		$DF2$	2,41	6,46	-5,27
		$DF3$	3,78	5,38	-5,27
підрайон Пб (лівобережжя)					
Синюха – с. Синюхін Брід	Велика Вись – с. Ямпіль, Ятрань – с. Покотилово, Чорний Ташлик – с. Тарасівка, Інгул – м. Кропивницький, Інгул – с. Новогорожене	$DF1$	5,26	13,7	-15,9
		$DF2$	3,93	10,9	-10,1
		$DF3$	6,22	5,69	-5,99
підрайон Пв					
Тилігул – с. Березівка	Великий Куяльник – с. Северинівка	$DF1$	2,33	7,45	-8,41
		$DF2$	2,25	4,35	-3,96
		$DF3$	2,42	3,68	-3,69

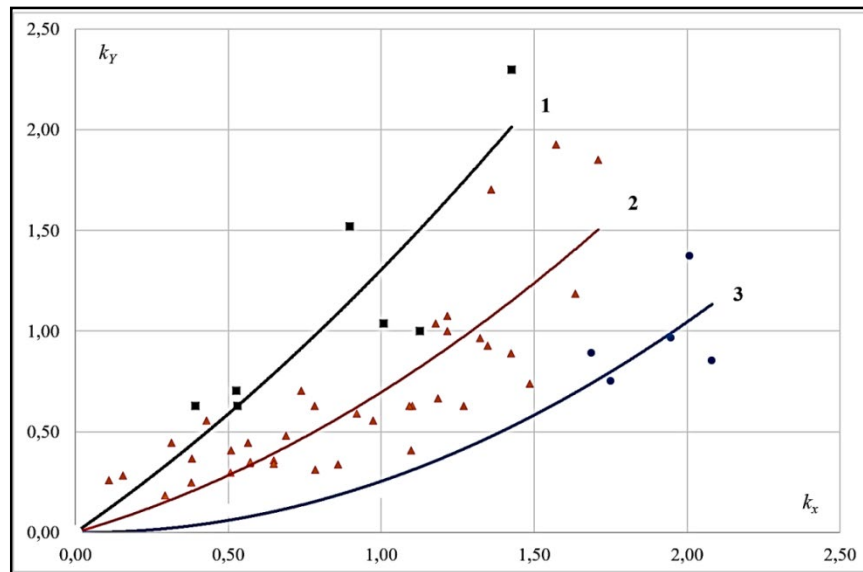


Рисунок 5.6 – Залежність модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля k_y від модульних коефіцієнтів запасів вологи на басейні k_x для району II, підрайону IIб (басейн р. Південний Буг – с. Підгір'я) [5]

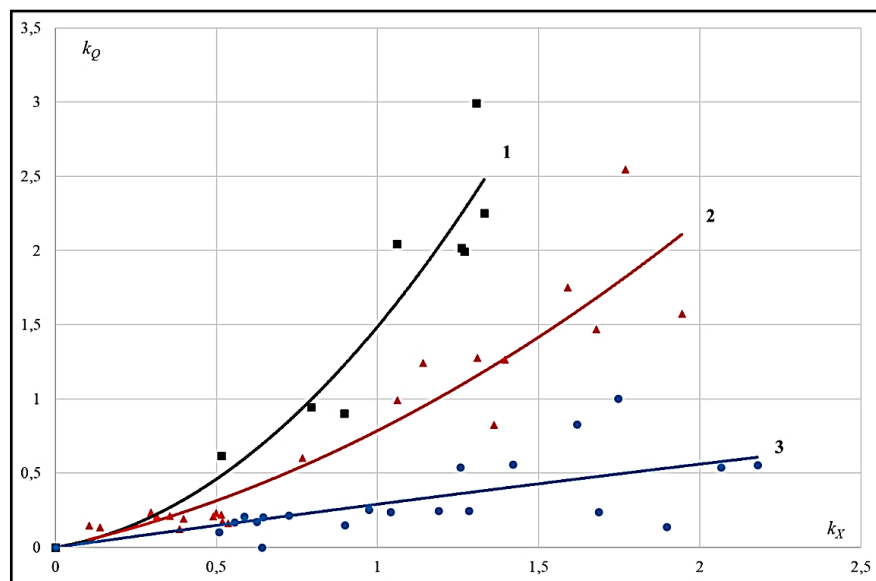


Рисунок 5.7 – Залежність модульних коефіцієнтів максимальних витрат води весняного водопілля k_Q від модульних коефіцієнтів запасів вологи на басейні k_x для району I (басейн р. Південний Буг – с. Тростяничик) [5]

Умовні позначення до рис. 5.6 та рис. 5.7:

1 – $DF1 > DF2, DF3$; 2 – $DF2 > DF1, DF3$; 3 – $DF3 > DF1, DF2$

Таблиця 5.7 – Коефіцієнти рівнянь (5.10) при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

Опорний пост в районі (підрайоні) для отримання коефіцієнтів в (5.10)	Опорні пости в районі (підрайоні), для яких прийняті коефіцієнти прогнозних кривих	Умови застосування прогнозних кривих по значеннях DF	b_1	b_2	b_3
1	2	3	4	5	6
Район I					
Південний Буг – с. Тростянчик	Південний Буг – с. Пирогівці, Рів – с. Демидівка	$DF1 > DF2, DF3$	2,28	-3,24	2,18
		$DF2 > DF1, DF3$	0,54	-0,91	0,96
		$DF3 > DF1, DF2$	0,18	-0,16	0,11
Район II					
підрайони IIa та IIб (правобережжя)					
Савранка – с. Осички	Кодима – с. Катеринка	$DF1 > DF2, DF3$	1,93	-1,14	1,17
		$DF2 > DF1, DF3$	0,18	0,12	0,28
		$DF3 > DF1, DF2$	0,11	0,16	-
підрайон IIб (лівобережжя)					
Синюха – с. Синюхін Брід	Велика Вись – с. Ямпіль, Ятрань – с. Покотилово, Чорний Ташлик – с. Тарасівка, Інгул – м. Кропивницький, Інгул – с. Новогорожене	$DF1 > DF2, DF3$	1,27	0,23	-
		$DF2 > DF1, DF3$	0,74	-0,21	-
		$DF3 > DF1, DF2$	0,31	-0,12	-
підрайон IIв					
Тилігул – с. Березівка	Великий Куяльник – с. Северинівка	$DF1 > DF2, DF3$	0,71	0,75	-
		$DF2 > DF1, DF3$	0,73	-0,23	-
		$DF3 > DF1, DF2$	0,33	-0,21	-

Таблиця 5.8 – Коефіцієнти рівнянь (5.10) при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

Опорний пост в районі (підрайоні) для отримання коефіцієнтів в (5.10)	Опорні пости в районі (підрайоні), для яких прийняті коефіцієнти прогнозних кривих	Умови застосування прогнозних кривих по значеннях DF	b_1	b_2
1	2	3	4	5
Район I				
Південний Буг – с. Тростянчик	Південний Буг – с. Пирогівці, Рів – с. Демидівка	$DF1 > DF2, DF3$	1,13	0,35
		$DF2 > DF1, DF3$	0,32	0,47
		$DF3 > DF1, DF2$	0,01	0,30
Район II				
підрайони IIa та IIб (правобережжя)				
Савранка – с. Осички	Кодима – с. Катеринка	$DF1 > DF2, DF3$	3,60	–
		$DF2 > DF1, DF3$	0,56	0,22
		$DF3 > DF1, DF2$	0,12	0,04
підрайон IIб (лівобережжя)				
Синюха – с. Синюхін Брід	Велика Вись – с. Ямпіль, Ятрань – с. Покотилово, Чорний Ташлик – с. Тарасівка, Інгул – м. Кропивницький, Інгул – с. Новогорожене	$DF1 > DF2, DF3$	1,57	-0,07
		$DF2 > DF1, DF3$	0,39	0,47
		$DF3 > DF1, DF2$	0,06	0,10
підрайон IIв				
Тилігул – с. Березівка	Великий Куяльник – с. Северинівка	$DF1 > DF2, DF3$	0,71	0,75
		$DF2 > DF1, DF3$	0,73	-0,23
		$DF3 > DF1, DF2$	0,33	-0,21

5.2.4 Визначення прогнозних величин очікуваних шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

По спрогнозованим модульним коефіцієнтам шарів стоку весняного водопілля k_Y річок басейну Південного Бугу очікувані шари стоку Y_m весняного водопілля визначаються при помноженні їх на середньобогаторічні значення Y_0 [5], [11], [15]

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0. \quad (5.11)$$

Об'єм стоку весняного водопілля W , млнм³, можна визначити за формулою [5]

$$W = k_Y \left(\frac{Y_0 F}{1000} \right). \quad (5.12)$$

Встановлення середньобогаторічних величин шарів стоку весняного водопілля Y_0 для досліджених річок території визначено за часовими рядами стокових спостережень Y_m шляхом їх статистичної обробки [19], [20].

Також, визначено моментні значення коефіцієнтів варіації шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг.

Для досліджуваних річок вони коливаються в межах від 0,46 (р. Південний Буг – с. Селище, $F=9100$ км², $n=14$ років) до 2,03 (р. Великий Куяльник – с. Северинівка, $F=1840$ км², $n=58$ років) при середньому C_v по регіону – 0,90, а правдоподібні від 0,47 (р. Південний Буг – с. Селище, $F=9100$ км², $n=14$ років) до 2,44 (р. Великий Куяльник – с. Северинівка, $F=1840$ км², $n=58$ років) при середньому C_v по регіону – 0,92. Коефіцієнти варіації шарів стоку весняного водопілля, визначених за методом моментів та найбільшої правдоподібності мають тісну збіжність [5].

Дещо різняться співвідношення між C_s і C_v у цих методах ($C_s/C_v=1,74$ – у методі моментів і $C_s/C_v=2,18$ – у методі найбільшої правдоподібності).

Аналіз даних показав, що по обох методах (найбільшої правдоподібності й моментів) отримані в загальному збіжні значення коефіцієнтів варіації C_v .

По спрогнозованим модульним коефіцієнтам максимальних витрат води весняного водопілля k_Q річок басейну р. Південний Буг очікувані величини максимальних витрат води весняного водопілля Q_m визначаються наступним чином [5], [11], [15]

$$Q_m = k_Q \cdot Q_0 = k_Q \cdot q_0 \cdot F. \quad (5.13)$$

Встановлення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля Q_0 для досліджених річок території визначено шляхом статистичної обробки часових рядів Q_m [19].

Моментні значення коефіцієнтів варіації C_v для максимальних витрат води весняного водопілля досліджуваних річок коливаються в межах від 0,66 (р. Південний Буг – с. Селище, $F=9100 \text{ км}^2$, $n=14$ років) до 2,75 (р. Великий Куяльник – с. Северинівка, $F=1840 \text{ км}^2$, $n=14$ років) при середньому C_v по регіону – 1,29, а правдоподібні від 0,67 до 3,48, при середньому їх значенню 1,35 відповідно. Коефіцієнти варіації визначені за двома методами також мають тісну збіжність. Співвідношення між C_s і C_v за методом моментів та найбільшої правдоподібності становлять ($C_s/C_v=1,81$ – у методі моментів і $C_s/C_v=2,37$ – у методі найбільшої правдоподібності) [5].

Відповідно до [21] при $C_v > 0,5$ рекомендується використовувати для розрахунків метод найбільшої правдоподібності, а при $C_v > 0,5$ і $C_s/C_v > 2,0$ – трипараметричний гамма-розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля, який дає більш надійні значення розрахунків, у порівнянні з кривою біноміального розподілу [22]. Враховуючи, що значення коефіцієнтів варіації шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля досліджуваних річок практично у всіх випадках становлять $C_v \geq 0,50$, а $C_s/C_v > 2,0$ – для подальших розрахунків при визначенні прогнозних забезпеченостей характеристик

весняного водопілля прийнятий трипараметричний гама-розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля.

В дослідженні також обґрунтована регіональна методика довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг для невивчених у гідрологічному відношенні річок досліджуваної території. Прогнозна методика використовується, також як й для інших річок басейну, за метеорологічними даними, тобто на основі типізації водопіль за їх водністю при встановленому вектор-предикторі стокоутворюючих чинників і регіональних рівняннях для модульних коефіцієнтів або по картосхемах прогнозних модульних коефіцієнтів максимального стоку водопіль (шарів стоку чи максимальних витрат води).

Перехід від спрогнозованих k_Y чи k_Q доочікуваних значень шарів стоку Y_m чи максимальних витрат води Q_m весняного водопілля здійснюється за рівняннями (5.11) та (5.13) відповідно, тобто шляхом помноження на їх середньобагаторічні величини. При цьому, для невивчених річок території басейну Південного Бугу середньобагаторічні величини стокових характеристик встановлюються за рівняннями:

- для шарів стоку весняного водопілля за формулою

$$Y_0 = (S_0 + \sum X_0) \eta_0. \quad (5.14)$$

- для максимальних витрат води весняного водопілля за операторною моделлю формування максимального стоку у вигляді

$$q'_0 = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_0 + \sum X_0) \eta_0. \quad (5.15)$$

Реалізація методики визначення середньобагаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг для невивчених річок території представлено у роботі [23].

Методика довгострокового прогнозування характеристик стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг передбачає, також, встановлення максимальних рівнів води весняного водопілля. Максимальні рівні води встановлюють за спрогнозованими максимальними витратами води весняного водопілля за кривою витрат води вигляді $Q = f(H)$ [5].

5.3 Визначення прогнозних забезпеченостей характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

Метод територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля річок [15], [24], [25], який покладено в основу розробки методики довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) в басейні р. Південний Буг, дає змогу визначення не тільки кількісних характеристик стоку, а й *встановлення ймовірнісних величин* їх настання у багаторічному періоді, що стає найбільш актуальною задачею при прогнозуванні весняних водопіль рідкісної ймовірності перевищення та виникненні ризику підтоплення територій [26], особливо при відсутності стокових спостережень на річках.

Для оцінки забезпеченостей настання спрогнозованих за методикою шарів стоку P_{γ} та максимальних витрат води весняних водопіль P_Q в басейні р. Південний Буг прийнято криву трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля [22]. При цьому забезпеченість встановлюється за спрогнозованими модульними коефіцієнтами шарів стоку k_{γ} чи максимальних витрат води водопіль k_Q та одержаними, при статистичній обробці часових рядів, коефіцієнтами їх варіації за методом найбільшої

правдоподібності – $(C_v)_Y$ та $(C_v)_Q$. Використовуючи таблицю трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля (при врахуванні середніх по району співвідношень C_s/C_v представлених у табл. 5.9) [21] встановлююся прогностичні забезпеченості у вигляді їх інтервалу

$$P_B < P_Y(P_Q) < P_H. \quad (5.16)$$

Верхня P_B , % і нижня P_H , % межі забезпеченостей приймаються з таблиць трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля (для середніх по району C_s/C_v) [21].

Таблиця 5.9 – Середні по району співвідношення C_s/C_v для характеристик стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг[5]

Характеристика стоку весняного водопілля	Середні по району співвідношення C_s/C_v			
	Район I		Район II	
	за даними статистичної обробки	прийняті у таблицях [21]	за даними статистичної обробки	прийняті у таблицях [21]
Шари стоку	1,81	2,0	2,51	2,5
Максимальні витрати води	3,05	3,0	2,26	2,0

5.4 Картографічна форма представлення прогностичної інформації

У сучасних математичних моделях та методах, які використовуються для прогнозу елементів водного режиму річок, зокрема територіальному методі довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, дат початку водопілля та проходження його максимальних витрат (рівнів) води формою представлення прогнозів є найбільш наочний метод – *картографічне представлення прогнозних величин* (у вигляді картосхем розподілу ізоліній цих величин) [15], [24], [25].

Картосхеми дозволяють встановлювати прогнозні значення характеристик весняного водопілля для будь-яких водозборів в межах розглядуваної території, включаючи й річки, і невеликі водотоки, по яких відсутні дані гідрологічних спостережень. Картографічна форма представлення прогнозних стокових величин є доцільною при оцінці можливих гідрологічних небезпек, пов'язаних з затопленням територій при проходженні високих весняних водопіль, відповідно до вимог Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 року про оцінки й управління ризиками затоплення [26].

При цьому, доцільним є представлення прогностичних стокових характеристик на основі картосхем не в фактичних, а у відносних величинах – модульних коефіцієнтах [15], [24], [25]. Особливо це стосується максимальних витрат води весняного водопілля, які взагалі не можуть бути безпосередньо представлені у вигляді картосхем їх розподілу у зв'язку із залежністю від розмірів (площ, F , км²) річкових водозборів та русло-заплавного регулювання.

Крім того, встановлені забезпеченості (P , %) прогнозних величин шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля у багаторічному розрізі також представляються у картографічному вигляді, що дає змогу їх визначення для будь-якого водозбору території, незалежно від стану гідрологічної вивченості річок, і оцінки ймовірності настання гідрологічного явища, у тому числі й рідкісної ймовірності настання (наприклад, 0,2 %; 1 %; 10 %, згідно з вимогами Водної Паводкової Директиви 2007/06/ЄС [26]).

Таким чином, спрогнозовані у кожному році по залежності (5.10) і описаній методиці величини модульних коефіцієнтів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля та їх прогнозні забезпеченості наносяться на картосхему до геометричних центрів опорних водозборів, а потім проводяться ізолінії змін очікуваних величин по всій території басейну, з обраним кроком. Такі картосхеми для спрогнозованих по розробленій у даній роботі методиці довгострокових прогнозів

характеристик (шарів стоку k_Y та максимальних витрат води k_Q) весняного водопілля та їх забезпеченостей $P_Y, \%$ та $P_Q, \%$ відповідно в басейні р. Південний Буг представлені для водопілля 2017-2018 р. на рис. 5.8 та рис. 5.9 [5].

Розподіл прогнозних модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг показує, що вони змінюються в межах району I від 0,30 до 0,40 (рис. 5.8, а) та забезпеченості 95-80 % (рис. 5.8, б), а для району II – від 0,60 до 0,10 і забезпеченості 50-90 % [5].

Спрогнозовані модульні коефіцієнти максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг змінюються в межах району I від 0,20 до 0,40 (рис. 5.9, а) при забезпеченості порядку 95-70 % (рис. 5.9, б), а для району II – від 0,25 до 0,10 при забезпеченості 50-80 %.

Побудовані картосхеми (рис. 5.8) та (рис. 5.9) дають можливість проводити моніторинг та аналіз гідрометеорологічної ситуації під час проходження весняного водопілля в басейні р. Південний Буг [5].

Так, модульні коефіцієнти характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг вказують на відсутність вираженого водопілля 2017-2018 р.

Важливим є те що, по картосхемах очікуваних величин можна здійснювати прогноз шарів стоку чи максимальних витрат води водопілля, їх прогнозної ймовірності настання для різних за розміром та географічним положенням річкових водозборів в басейні р. Південний Буг.

Взагалі ж, картосхеми очікуваних гідрологічних характеристик та їх ймовірнісних оцінок щорічно складаються оперативними службами прогнозування України [27] і вчасно передаються до державних структур та відповідних служб щодо оцінки зон підвищеної небезпеки та здійснення заходів щодо захисту від можливих гідрологічних ризиків у вигляді затоплення паводковими водами населених пунктів і об'єктів господарського призначення.

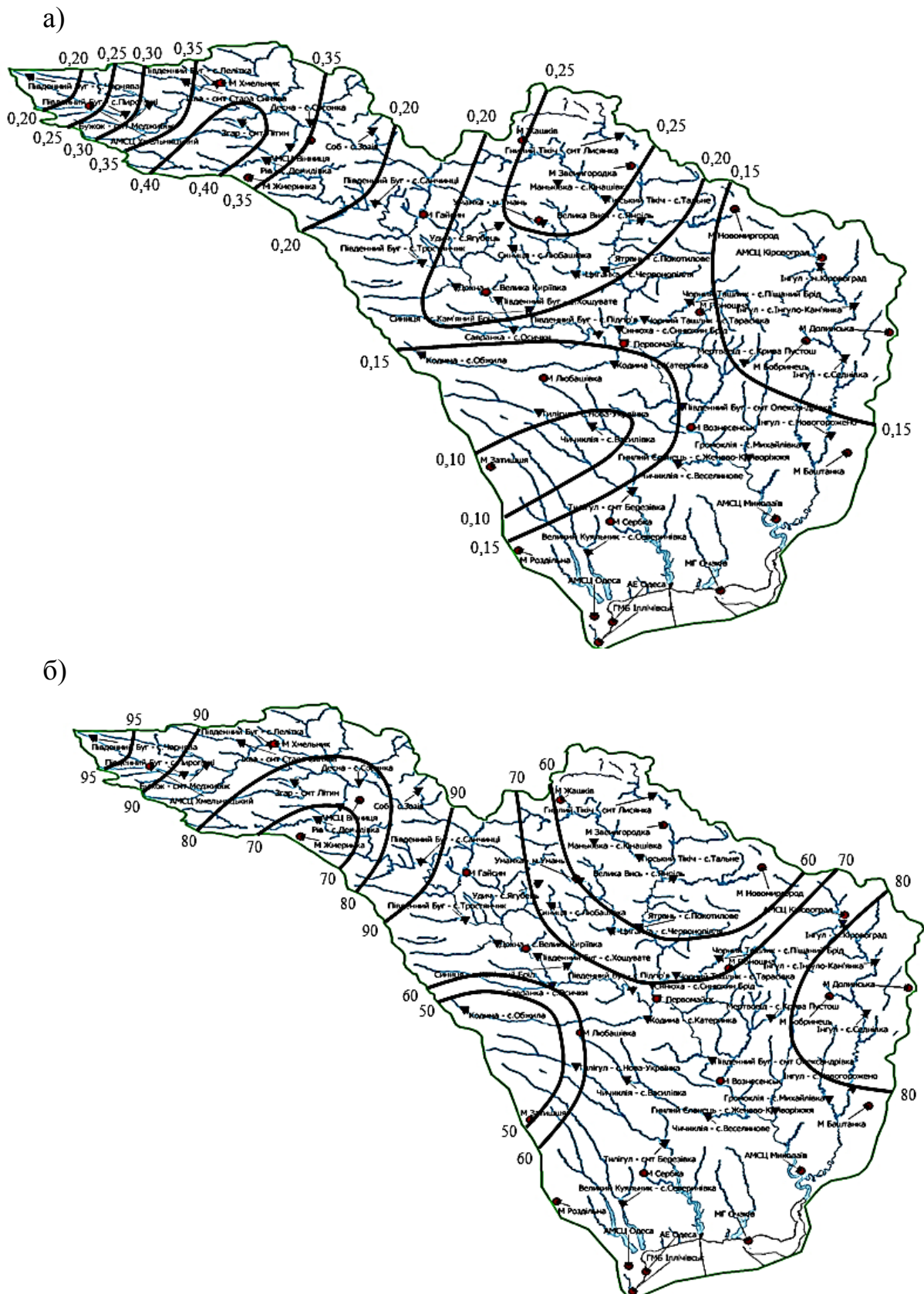


Рисунок 5.9 – Картосхема розподілу прогнозних модульних коефіцієнтів максимальних витрат води k_Q весняного водопілля у 2017-2018 р. (а) та їх забезпеченості P_Q , % (б) в басейні р. Південний Буг [5]

Можливість оцінки зон затоплення територій під час високих водопіль пов'язана з залученням топографічних карт місцевості (при використанні технологій геоінформаційної системи, ГІС) та наявністю очікуваних максимальних рівнів води водопілля, спрогнозованих за запропонованою в роботі методикою довгострокових прогнозів максимальних витрат (рівнів) води весняних водопіль в басейні р. Південний Буг.

5.5 Перевірка ефективності методики довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок в басейні р. Південний Буг

Оцінка ефективності методики довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг виконана за двома критеріями – S/σ та забезпеченістю допустимої похибки гідрологічного прогнозу $P, \%$ [2], [3].

Відношення S/σ є критерієм якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля. При цьому, S – середня квадратична похибка перевірених прогнозів гідрологічних величин, яка є мірою точності прогнозу методикою визначається за рівнянням (5.5) [2], [3].

Середнє квадратичне відхилення σ гідрологічної характеристики від його середньобаторічного значення розраховується за рівнянням [2], [3]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}}, \quad (5.17)$$

де Y_i – значення гідрологічної характеристики, яку прогнозують;

\bar{Y} – середньобаторічне значення гідрологічної характеристики, яку прогнозують.

Величина відношення S/σ показує у скільки разів варіація функції (прогнозу змінної Y_i') менша варіації аргументу (основної незалежної

змінної, по якій випускається даний прогноз x_j). У випадку, якщо $S < \sigma$, то довгостроковий прогноз характеристик максимального стоку весняного водопілля за розробленою методикою буде більш ефективний, ніж прогноз за середньобогаторічним значенням [3].

Забезпеченість методики (забезпеченість допустимої похибки), під якою розуміють кількість випадків – прогнозів, які є справджуваними від загальної кількості складених прогнозів (у відсотках) визначається за формулою [2], [3]

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100 \%, \quad (5.18)$$

де m – кількість випадків (прогнозів), похибка яких не перевищувала допустиму $\delta_{дон}$;

n – загальна кількість прогнозів, складених за розробленою методикою.

За допустиму похибку прогнозу $\delta_{дон}$ приймається відхилення прогнозної величини від середньобогаторічного значення (норми) за період завчасності [2], [3], тобто

$$\delta_{дон} = \pm k_p \cdot \sigma. \quad (5.19)$$

Виходячи з припущення, що розподіл похибок прогнозу підпорядковується нормальному закону розподілу з нульовою асиметрією (відсутністю асиметрії), він описується кривою Гауса [2]

$$P(Y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5.20)$$

де $P(Y)$ – ймовірність даного відхилення випадкової змінної Y від її нормованої величини \bar{Y} ;

Δ – значення відхилення Y від \bar{Y} .

Інтегрування кривої Гауса дає можливість визначити коефіцієнт k_p . Значення k_p визначається за спеціальною таблицею [2] для заданої забезпеченості P , %. При $P=50\%$, $k_p=\pm 0,674$. Таким чином, допустима похибка прогнозу δ_{don} – це ймовірне відхилення прогнозованої величини від середньобагаторічного значення (норми) гідрологічної величини [2]

$$\delta_{don} = \pm 0,674 \cdot \sigma. \quad (5.21)$$

Методика прогнозу вважається ефективною, якщо забезпеченість допустимої похибки за методикою не менш ніж на 10 % перевищує забезпеченість прогнозів по середньобагаторічному значенню (50 %), тобто значення P , % перевірних прогнозів повинне становити $P \geq 60$ %.

Опираючись на точність спостережень за характеристиками весняного водопілля та оцінками розробленої методики прогнозу прийнято [2], [3], що при числі членів ряду $n \geq 25$ категорія методики буде *доброю*, якщо $P \geq 82$ % та $S/\sigma \leq 0,50$ або *задовільною* – при $P=60-81$ % та $S/\sigma = 0,51-0,80$. При інших значеннях цих показників методика є не ефективною для її практичного використання [3].

В даній роботі оцінка якості та ефективності методики була здійснена за гідрометеорологічними даними 12 опорних річкових постів басейну р. Південний Буг та двох опорних річкових постів басейну річок між Дністром та Південним Бугом.

За розрахунковий період з 1966 р. по 2015 р. (50 років) при розробці методики було складено близько 700 перевірних прогнозів для шарів стоку весняного водопілля та близько 700 перевірних прогнозів для максимальних витрат води весняного водопілля при їх складанні в дату настання максимальних снігозапасів S_m , яка в кожному році спостерігається в різні календарні строки.

Для річок досліджуваного басейну критерій якості методики S/σ для шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг змінюється від

0,20 до 0,59 зі справджуваністю перевірних прогнозів P_Y , % в межах від 76 до 100 % (табл. 5.10). Для максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг критерій якості методики S/σ змінюється від 0,27 до 0,60 зі справджуваністю перевірних прогнозів P_Q , % в межах від 80 до 98 % (табл. 5.11).

Виходячи з одержаної оцінки ефективності методики довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг, розроблена методика переважно належить до категорії «добра» та у деяких випадках – «задовільна», відповідно шкалі класифікацій у [3].

Збіжності спрогнозованих за розробленою методикою та фактичних (визначеними за даними спостережень) шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля за багаторічний період показали задовільні результати (на прикладі р. Південний Буг – с. Тростянчик на рис. 5.10).

Аналіз похибок прогнозів і оцінка ефективності методики гідрологічного прогнозу також здійснюються на основі зіставлення кривої забезпеченості похибок перевірних прогнозів і кривої відхилень прогнозного елемента режиму від його середньобагаторічного значення [2].

Для оцінки якості розробленої методики довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг в роботі були побудовані суміщені криві забезпеченості похибок прогнозів та їх відхилень від середньобагаторічних значень (для шарів стоку на рис. 5.11 (а) та максимальних витрат води – на рис. 5.11 (б)).

Суттєве перевищення відхилень над рівнозабезпеченими похибками прогнозів вказує на перевагу розробленого методу прогнозу в порівнянні зі статистичною оцінкою за середньобагаторічним значенням [28].

Виходячи з рис. 5.11 забезпеченість (P , %) допустимої похибки прогнозів для обох характеристик дорівнює 50 % при розрахунку за середньобагаторічною величиною, а за розробленою методикою прогнозу 97 % – для шарів стоку і 87 % – для максимальних витрат води весняного водопілля.

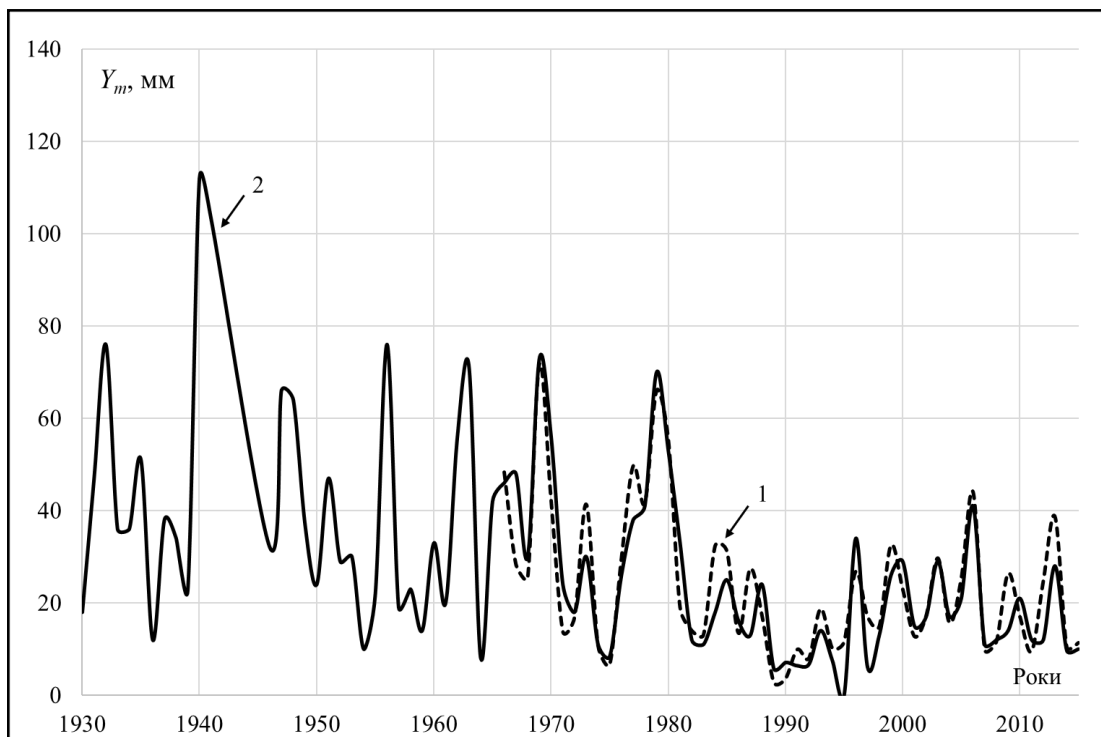
Таблиця 5.10 – Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля по опорних створах в басейні річки Південний Буг та малих річок між Дністром та Південним Бугом [5]

№ з/п	Індекс поста	Річка – пост	Площа водозбору, км ²	n, років	σ , мм	$\delta_{дон}$, мм	S, мм	S/ σ	P, %
Район I									
1	81346	Південний Буг – с. Пирогівці	827	22	18	12	10	0,55	76
2	81361	Південний Буг – с. Тростянчик	17400	82	22	15	8	0,36	96
3	81393	Рів – с. Демидівка	1130	94	25	17	13	0,52	82
Район II									
підрайон IIa									
4	81408	Савранка – с. Осички	1740	77	10	7	5	0,50	96
підрайон IIб									
5	81363	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	76	18	12	9	0,50	90
6	81414	Кодима – с. Катеринка	2390	82	16	11	6	0,38	90
7	81417	Синюха – с. Синюхин Брід	16700	90	21	14	5	0,24	98
8	81430	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	89	19	13	9	0,47	90
9	81433	Ятрань – с. Покотилове	2140	61	21	14	12	0,57	88
10	81438	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	82	25	17	13	0,52	86
11	81446	Інгул – м. Кропивницький	840	71	23	16	10	0,43	92
12	81450	Інгул – с. Новогорожене	6670	83	22	15	13	0,59	76
підрайон IIв									
13	81338	Тилігул – м. Березівка	3170	59	10	13	4	0,20	100
14	81475	Великий Куяльник – с. Северинівка	1840	19	2,7	1,8	1,4	0,51	80

Таблиця 5.11 – Оцінка якості методики довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля по опорних створах в басейні річки Південний Буг та малих річок між Дністром та Південним Бугом[5]

№ з/п	Індекс поста	Річка – пост	Площа водозбору, км ²	n, років	σ , м ³ /с	$\delta_{дон}$, м ³ /с	S, м ³ /с	S/ σ	P, %
Район I									
1	81346	Південний Буг – с. Пирогівці	827	22	15	10	9	0,60	82
2	81361	Південний Буг – с. Тростянчик	17400	82	372	251	176	0,47	86
3	81393	Рів – с. Демидівка	1130	94	39	26	22	0,56	80
Район II									
підрайон IIa									
4	81408	Савранка – с. Осички	1740	77	17	11	7	0,41	94
підрайон IIб									
5	81363	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	76	433	292	118	0,40	98
6	81414	Кодима – с. Катеринка	2390	82	72	49	21	0,29	94
7	81417	Синюха – с. Синюхин Бід	16700	90	448	302	217	0,48	86
8	81430	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	89	104	70	41	0,39	92
9	81433	Ятрань – с. Покотилове	2140	61	100	67	59	0,59	92
10	81438	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	82	130	88	13	0,52	86
11	81446	Інгул – м. Кропивницький	840	71	49	33	20	0,20	94
12	81450	Інгул – с. Новогорожене	6670	83	212	143	72	0,34	94
підрайон IIв									
13	81338	Тилігул – м. Березівка	3170	59	82	55	22	0,27	98
14	81475	Великий Куяльник – с. Северинівка	1840	19	5	3,37	3	0,60	88

а)



б)

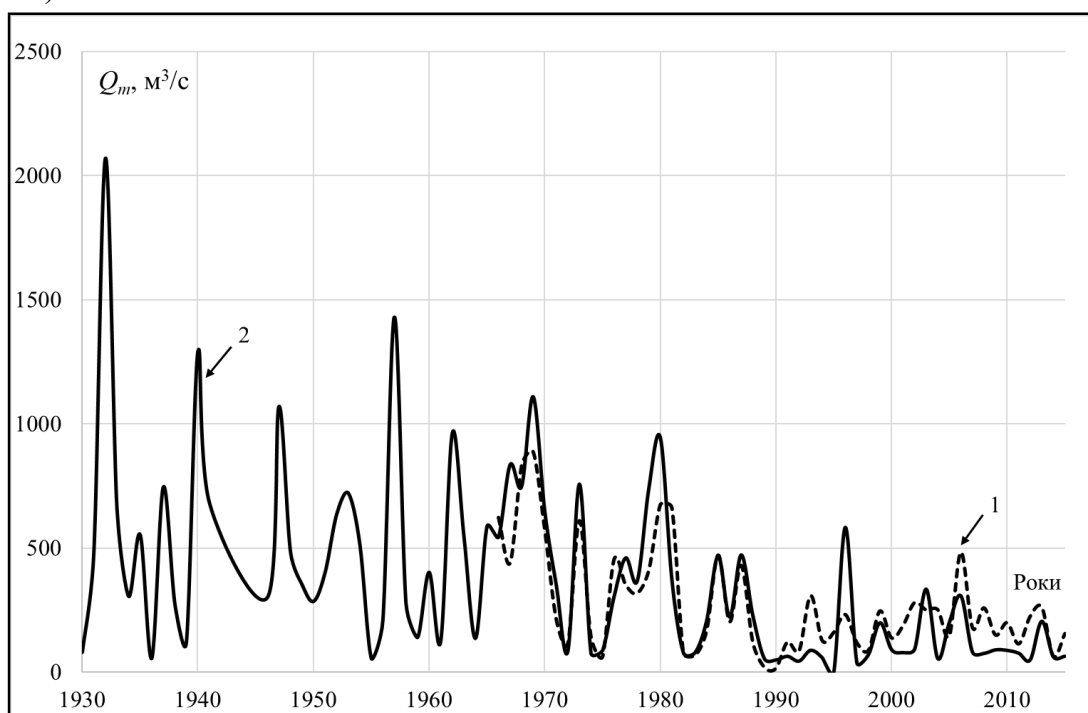
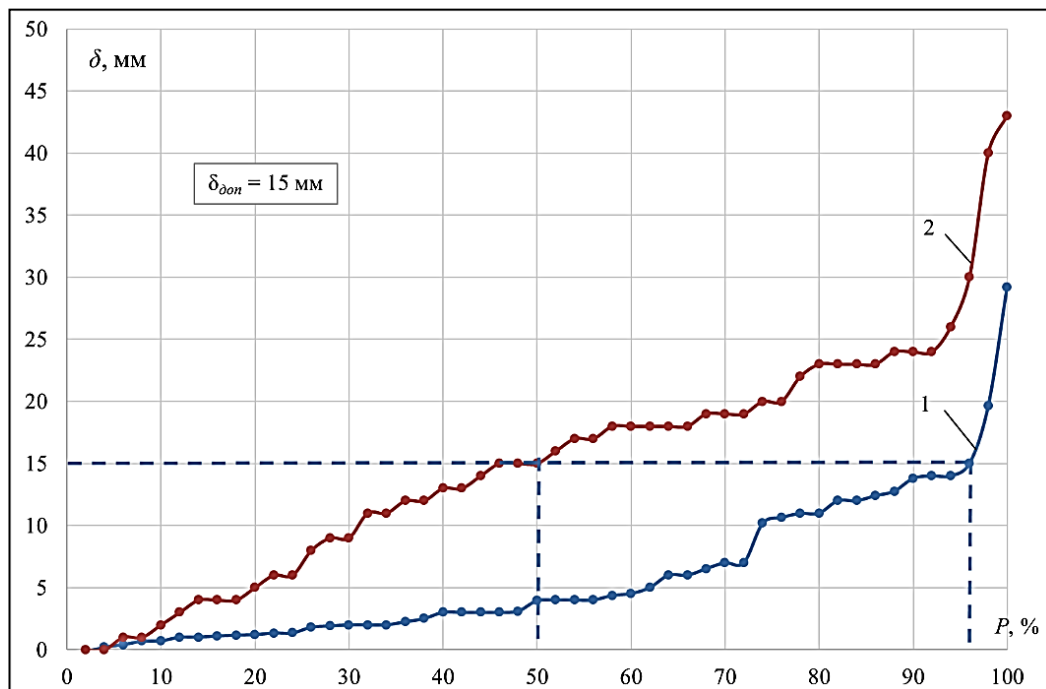


Рисунок 5.10 – Хронологічний графік спрогнозованих за розробленою методикою (1) та фактичних (2) шарів стоку (а) та максимальних витрат води (б) весняного водопілля в басейні р. Південний Буг – с. Тростянички (район І) [5]

а)



б)

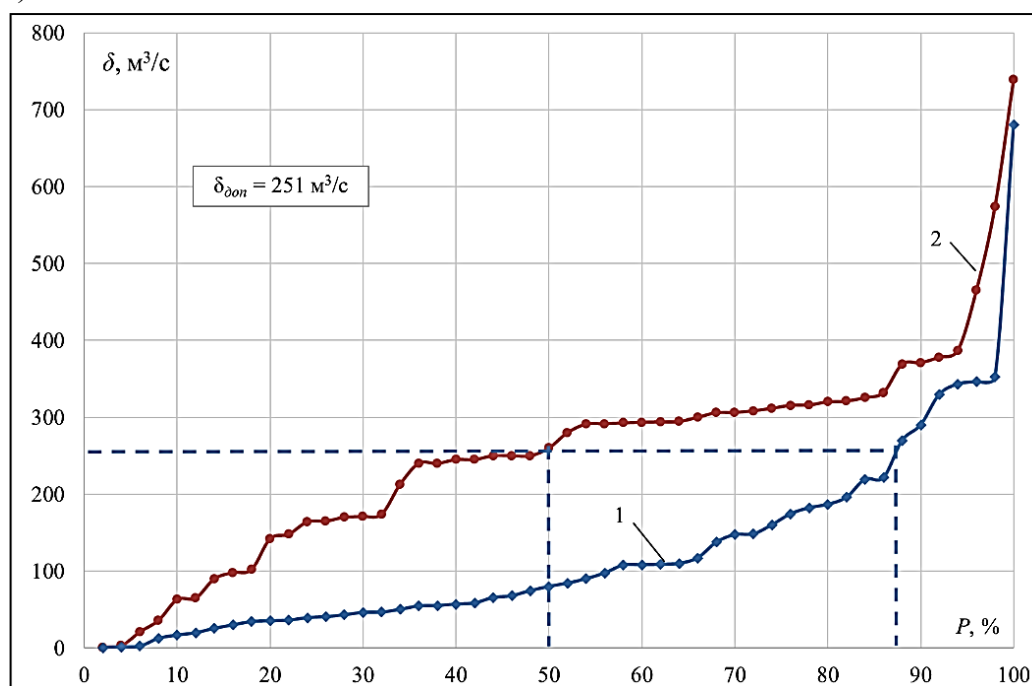


Рисунок 5.11 – Криві забезпеченості похибок прогнозу шарів стоку (а) та максимальних витрат води (б) весняного водопілля (1) і відхилень їх від середньобагаторічних величин (2) в басейні р. Південний Буг – с. Тростяничок (район І) [5]

Таким чином, розроблена методика довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг може вважатися регіональною при можливості одержання параметрів методики для всіх річок в межах виділених за умовами формування весняного стоку районах.

Оцінка якості запропонованої автором прогнозної методики та перевірка її на даних незалежного періоду показала, що вона є практично придатною для використання, відповідно [2], [3], при випуску оперативних прогнозів в діяльності регіонального Гідрометцентру (ГМЦ ЧАМ, м. Одеса) та інших гідрпрогностичних установах.

Основні наукові дослідження авторів з питань довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг опубліковано у роботах [11], [29] – [32].

6 РЕГІОНАЛЬНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДІВ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ РІЧОК І ВОДОЙМ ПРИДУНАЙСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

6.1 Сольовий баланс Придунайських озер

Через скорочення масштабів зрошування земель в останні десятиріччя забори води з водосховища Катлабух значно зменшились, а підкачки води з р. Дунай майже припинились. Це призвело до погіршення якості води. Зокрема, мінералізація в оз. Катлабух в останні роки сягає 2,0-3,5 г/дм³, що у 2-3,5 рази перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

В результаті аналізу вивченості озера Катлабух встановлено, що спостереження на гідрометричній мережі в районі озера почалися в 40-50 роках минулого століття. Початок вимірювань рівнів води на р. Дунай в створі Кислиці – 1945 рік, на оз. Катлабух – 1962 рік. Спостереження за температурою води в р. Дунай і оз. Катлабух почалися в 1962 році. За гідрохімічними складу озера Катлабух ведуться спостереження з 1970 року.

6.1.1 Структура рівняння сольового балансу

Структура рівняння сольового балансу розглянута в роботах таких вчених як В.Н. Михайлов та А.Д. Добровольського [1], Є.Д. Гопченка та О.В. Гушлі [2], Н.С. Лободи, Ю.С. Тучковенка та ін. [3], [4], Ю.С. Медведєвої та ін. [5].

О.О. Алекін [6] виражає сольовий баланс такими елементами (в тис.т)

$$S_{np} + S_{on} + S_{zp} = S_{ct} + S_{eol} + S_{\phi} + S_{oc}, \quad (6.1)$$

де S_{np} – солі, привнесені притоками;

S_{on} – солі, привнесені атмосферними опадами і пилом;

S_{zp} – солі, привнесені ґрунтовими водами;

S_{cm} – солі, винесені стоком;

S_{eol} – солі, винесені з водними бризками вітру;

S_{ϕ} – солі, винесені при фільтрації з озера;

S_{oc} – солі, які випали в осад (для прісних і солонуватих це CaCO_3 , MgCO_3 , сполуки силіцію та заліза).

Якщо виразити рівняння сольового балансу виду (6.1) відносно кількості солей у водоймищі на початок і кінець розрахункового i -того періоду [2], то отримаємо вираз (у тис. т)

$$S_{\kappa_i} = S_{n_i} + S_{np_i} + S_{zp_i} + S_{a_i} - S_{cm_i} - S_{\phi_i} - S_{B_i} - S_{oc_i}, \quad (6.2)$$

де S_{κ_i} та S_{n_i} – кількість солей у водоймищі на початок та кінець розрахункового періоду;

S_{np_i} – прихід солей з поверхневим припливом;

S_{zp_i} – прихід солей з підземним припливом;

S_{a_i} – прихід солей з атмосферними опадами та вітром;

S_{cm_i} та S_{ϕ_i} – витрата солей з поверхневим та підземним стоком;

S_{B_i} – витрата солей з вітровим виносом;

S_{oc_i} – витрата солей, що осідають на дно.

Сольовий баланс тісно пов'язаний з водним балансом [1], [2]. Найголовнішу роль у сольовому балансі мають приплив солей та їх винос зі стоком води [2].

Для лиманів Північно-Західного Причорномор'я, а саме для Тілігульського [3] та Куяльницького [4]. Рівняння сольового балансу записане

авторами цих робіт у вигляді маси солей і мінералізації води в лимані наприкінці попереднього і наприкінці місяця, за який виконується розрахунок, тис. т. Враховується також мінералізація води при водообміні через канал «лиман-море» за місяць.

6.1.2 Водні та сольові баланси, які представляються в зарубіжній літературі

У практиці закордоном дослідженню водно-сольових балансів озер (річних, сезонних, місячних) в останні часи приділяється велика увага у зв'язку з катастрофічними наслідками падіння рівнів води, підвищення мінералізації [7], [8] чи обміління водойм [7] – [9], а іноді й зростання рівнів води в них [10].

Водний баланс озера чи водосховища у посібнику «Руководство по гидрологической практике» Всесвітньої метеорологічної організації [11] представляється у вигляді рівняння

$$E = I + P - V_{SS} - O \pm \Delta_s, \quad (6.3)$$

де E – випаровування;

I – приток;

P – опади;

V_{SS} – повна фільтрація та берегове регулювання;

O – відтік;

Δ_s – зміна запасів води.

Найголовнішими елементами балансу є дренажні води і річковий приплив, а гідравлічний зв'язок з морем гарантує набагато більш сприятливі умови для швидкого і повного водообміну.

Дослідженням сольових балансів озер, зазвичай, в зарубіжній літературі при аналізі складових водних балансів, присвячені роботи авторів [7], [8], [10], [12].

Рівняння сольового балансу у роботі [12] представлено у вигляді (у мг/л)

$$S_p + S_i + S_r + S_d + S_f = S_c + S_{ppt} + S_{dw}, \quad (6.4)$$

де S_p – сіль у природних опадах, що випали на площу озера;

S_i – сіль у поливній воді;

S_r – залишкові солі у ґрунті;

S_d – сіль, розчинена від мінералів ґрунту;

S_f – сіль, що вноситься разом із добривами;

S_c – сіль, що потрапляє з рослинами;

S_{ppt} – хімічна сіль, яка осідає у ґрунті;

S_{dw} – сіль у дренажній воді.

Вважають [7], [8], що зменшення кількості опадів зменшує рівень, та тим самим підвищує мінералізацію і погіршує хімічний склад водоймищ. Приход прісної води в солоні озера набагато скоротився, в деяких випадках майже зник через забір підземних і поверхневих вод, в основному, для зрошення [10].

6.1.3 Структура рівняння сольового балансу Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух)

Рівняння сольового балансу для озера Катлабух може бути записане, якщо взяти за основу рівняння водного балансу озера Катлабух [13], [14] у вигляді кількості солей в озері (тис.т)

$$\begin{aligned}
 W_1 S_1 + V_P S_P + V_r S_r + V_b S_b + V_g S_g + V_{dr} S_{dr} + V_D S_D = \\
 = W_2 S_2 + V_f S_f + V_z S_z + V_{D'} S_{D'} + V_{oz} S_{oz},
 \end{aligned}
 \tag{6.5}$$

де S_1 і S_2 – середні по озеру мінералізація на початку та в кінці розрахункових місяців, кг/м³;

W_1 і W_2 – об'єми води в озері на початку та у кінці розрахункових місяців, 10⁶м³;

S_P – мінералізація води в опадах, кг/м³;

S_r – мінералізація води в річках, які впадають в озеро, кг/м³;

S_b – мінералізація вод бічного припливу, кг/м³;

S_g – мінералізація ґрунтових вод, кг/м³;

S_{dr} – мінералізація дренажних вод, кг/м³;

S_D – мінералізація води р. Дунай, кг/м³;

S_f – мінералізація води, що витрачається на фільтрацію, кг/м³;

S_z – мінералізація води, що витрачається на зрошення, кг/м³;

$S_{D'}$ – мінералізація води, що скидається до р. Дунай, кг/м³;

S_{oz} – мінералізація води, що витрачається на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян, кг/м³.

Структура рівняння сольового балансу для озера Катлабух [14] може бути представлена у вигляді блок-схеми (рис.6.1).

Розрахунок і аналіз складових сольового балансу озер

6.2.1 Мінералізація води окремих складових рівняння сольового балансу

Середньорічна мінералізація атмосферних опадів для досліджуваної території відповідно досліджень авторів В.І.Пелешенка та В.К. Хільчевського [15], [16] становить в північній частині 32,5-35 мг/дм³, а в південній – 35-40 мг/дм³, а середньому для озера Катлабух прийнята на рівні 35 мг/дм³.

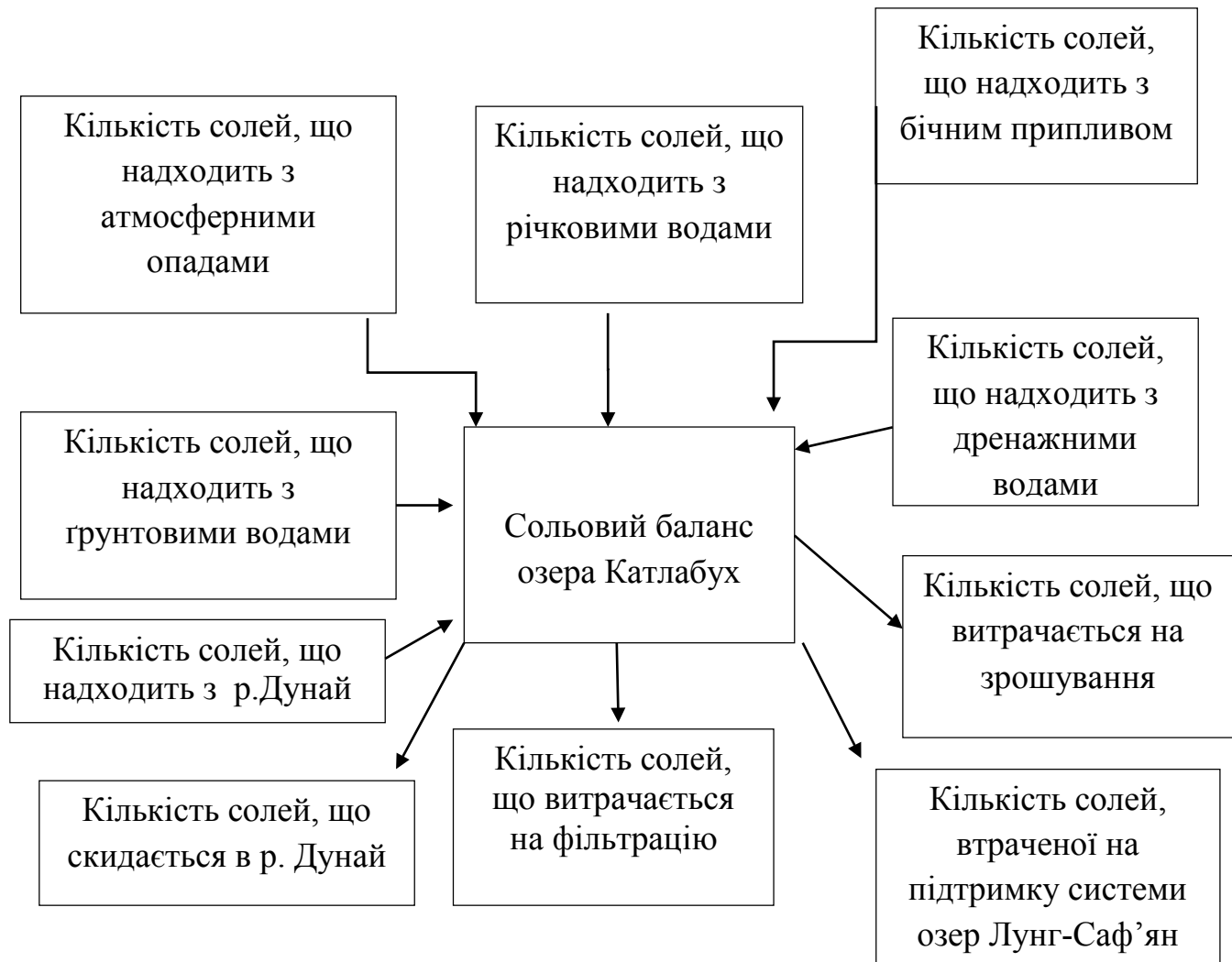


Рисунок 6.1 – Блок-схема сольового балансу озера Катлабух

При дослідженнях природних умов придунайського регіону України, зокрема, басейну озера Катлабух виявлено, що формування підвищеної мінералізації озера і, особливо, річок, які його живлять (до 6,0-7,5 г/дм³) обумовлено високою мінералізацією ґрунтових вод (від 0,3 до 8,4 г/дм³), розповсюдженням хлоридно-сульфатних солончакових ґрунтів і солончаків.

Багаторічна мінливість мінералізації річок, які впадають у озеро, за даними епізодичних вимірів за багаторічний період (1999-2018 рр.) показана на графіку (рис. 6.2).

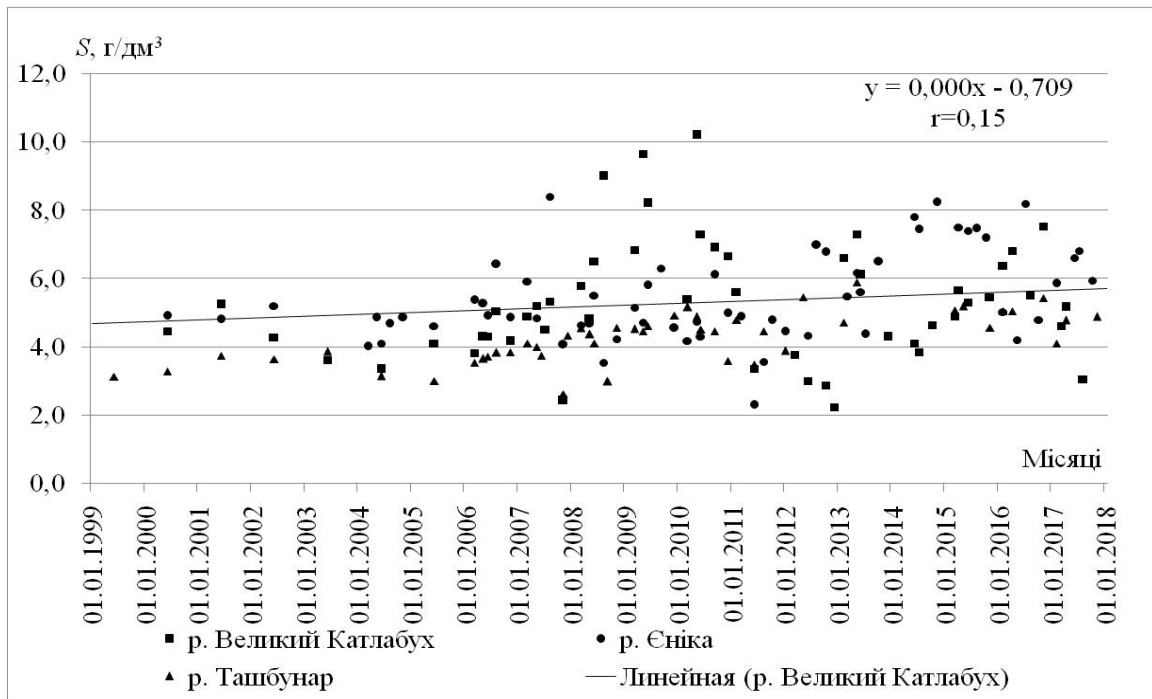


Рисунок 6.2 – Багаторічна мінливість мінералізації річок, що впадають в озеро Катлабух [14]

З рис. 6.2 можна бачити, що спостерігається деяке зростання мінералізації у багаторічний період, а в окремих роках вона сягає 8-10 г/дм³. За класифікацією О.О. Алекіна [6] це води з високою мінералізацією, тобто більш ніж 1000 мг/дм³.

Місячна мінералізація річок (S_r) встановлена в роботі [14] в залежності від об'ємів річного стоку V_r за рівнянням

$$S_r = 5,12 \cdot \exp(-0,021 \cdot V_r) \quad (6.6)$$

Зміни мінералізації води рр. Великий Катлабух, Ташбунар та Єніка при різних об'ємах надходження річкових вод представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Значення мінералізації води річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка [14]

$V_r,$ 10^6 м^3	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$S_r,$ г/дм^3	5,11	5,11	5,07	5,01	4,91	4,81	4,71	4,61	4,51

Мінералізація вод бічного припливу S_b встановлена за матеріалами інтегрованого моніторингу проекту Tacis 2001 р. для басейну озер Ялпуг-Кугурлуй за співвідношенням

$$S_b = 0,57 S_r, \quad (6.7)$$

де S_r – мінералізація води в річках, які впадають у озера Катлабух.

Мінералізація ґрунтових вод S_{gr} прийнята за даними Відокремленого підрозділу «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» БУВР річок Причорномор'я і нижнього Дунаю прийнята на рівні 2,60 г/дм³.

Мінералізація дренажних вод S_{dr} встановлена за даними Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю для озера Катлабух прийнята на рівні 2,00 г/дм³.

Мінералізація води, що витрачається на фільтрацію S_f , на зрошення та інші види користування S_z (враховуючи мінералізацію води, що витрачається на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян S_{oz}) приймалися як середні по озеру для розрахункових місяців.

Мінералізація води, що надходить з р. Дунай S_D , прийнята за даними її вимірів – в середньому на рівні 0,39 г/дм³.

Мінералізація води, що скидається до р. Дунай розраховувалась за співвідношенням

$$S_{D'} = 0,82 \cdot S, \quad (6.8)$$

де $S_{D'}$ – мінералізація води озера в його південній частині;

S – середня розрахункова мінералізація у межах водойми на початок поточного місяця.

6.2.2 Результати розрахунків сольових балансів озера Катлабух

Дослідження сольових балансів озера Катлабух виконувалось за період 1980-2020 рр., базуючись на рівнянні (6.5) при урахуванні мінералізації окремих складових балансів і їх об'єму води, одержаних в водному балансі озера. Розрахункова одиниця часу становить один місяць.

Етапи розрахунків сольових балансів наступні:

1. Початкова мінералізація для першого місяця 1980 року прийнята на рівні 1,5 г/дм³.

2. На основі рівняння (6.5) розраховується кінцева мінералізація для першого місяця, яка стає початковою для другого розрахункового місяця.

За такою схемою здійснювалися розрахунки сольових балансів для місяців і років всього багаторічного періоду – 1980-2018 рр. [14], а в роботі автора – у 2019 та 2020 рр. (табл.6.2).

За даними табл.6.2 вклад кількості солей (у %), що надходять зі складовими прибуткової або витрачаються із витратними частинами водних балансів озера Катлабух в середньому за період 1980-2020 рр. представлений у вигляді кругових діаграм на рис. 6.3 і рис. 6.4, відповідно.

В цілому можна сказати, що найбільший відсоток у приходних частинах сольових балансів у 1980-2020 рр. (табл. 6.2, рис. 6.3) складає надходження солей разом з поверхневим стоком річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка (від 0,1 % – у 1982 р. до 82,5 % – у 1997 р.) та надходження солей разом з дунайською водою - від 0 % (2011 р.) до 86,9 % (1994 р.).

Приплив солей разом з іншими складовими значно нижчий. В середньому ж за багаторічний період у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком річок становить 42,8 %, води з р. Дунай – 34,9 %, з опадами у середньому надходить близько 3,8 %. З ґрунтовими водами, бічним припливом та дренажними водами надходить відповідно 10,6 %, 5,6 % та 4,1 % солей (рис.6.3).

Витратна частина (табл. 6.2, рис. 6.4) у найбільшій мірі обумовлена скидами води (а разом і солей) у р. Дунай, за виключенням 2001, 2007, 2011, 2014 та 2015 рр., коли майже не було скидів і у середньому становить 35,5 % (рис.6.4). Витрати солей при заборі води на зрошування, рибне господарство та інші види користування складають від 0 % і 10,7 % (2019 і 2018 рр.) до 76,4 % (у 1991 р.) і 82,7 % (у 2020 р.), при середніх значеннях 45,6%. Витрата солей з фільтрацією становила від 4,5-4,9 % (у 1985, 1990 і 2020 рр.) до 58,6 % (у 2014 р.), а в середньому – 18,9 %.

Таблиця 6.2 – Складові приходної та витратної частин сольових балансів озера Катлабух (у %) за період 1980-2020 рр.

Рік	Приходна частина						Витратна частина		
	C_p	C_r	C_b	C_{gr}	C_{dr}	C_D	C_f	C_z	$C_{D'}$
1980	0,7	78,1	10,2	1,1	0,5	9,4	5,1	59,9	35,0
1981	1,3	77,9	10,2	2,7	1,2	6,7	5,3	64,2	30,5
1982	2,5	0,1	0,0	8,4	3,8	85,1	5,7	61,8	32,5
1983	2,3	3,5	0,5	6,9	3,1	83,7	4,7	66,8	28,5
1984	1,3	76,6	10,0	2,7	1,2	8,2	6,1	56,1	37,8
1985	0,8	76,8	10,1	1,5	0,7	10,1	4,6	54,2	41,2
1986	3,0	19,5	2,6	7,3	3,3	64,4	5,3	54,4	40,3
1987	1,6	25,5	3,3	4,4	2,0	63,1	6,0	45,8	48,1
1988	2,3	59,9	7,9	4,3	1,9	23,8	6,0	49,6	44,3
1989	4,1	5,0	0,7	9,9	4,4	75,9	5,1	56,1	38,7

Продовження таблиці 6.2

Рік	Приходна частина						Витратна частина		
	C_p	C_r	C_b	C_{gr}	C_{dr}	C_D	C_f	C_z	$C_{D'}$
1990	3,0	1,2	0,2	10,4	4,6	80,6	4,5	56,7	38,8
1991	1,6	58,9	7,7	3,8	1,7	26,3	6,2	76,4	17,4
1992	3,9	25,2	3,3	8,4	3,7	55,6	5,3	53,5	41,2
1993	1,8	76,6	10,0	3,7	1,7	6,2	7,9	64,0	28,1
1994	1,7	1,4	0,2	6,8	3,0	86,9	6,5	72,7	20,9
1995	2,3	33,4	4,4	6,4	2,8	50,6	10,0	62,9	27,1
1996	1,1	70,3	9,2	2,2	1,0	16,1	3,6	68,6	27,8
1997	0,6	82,5	10,8	1,0	0,4	4,7	10,2	29,2	60,6
1998	1,7	70,8	9,3	3,1	1,4	13,6	23,3	59,1	17,6
1999	1,7	74,4	9,8	3,4	1,5	9,2	17,4	31,3	51,4
2000	3,9	14,9	1,9	11,3	5,0	63,0	35,0	39,5	25,5
2001	2,7	38,5	5,0	7,4	3,3	43,1	44,0	34,6	21,4
2002	2,8	37,8	5,0	5,6	2,5	46,4	37,8	62,2	0,0
2003	1,2	44,4	5,8	3,7	1,6	43,1	33,7	46,0	20,3
2004	1,2	75,2	9,9	2,4	1,0	10,3	21,7	28,4	49,9
2005	1,7	68,8	9,0	3,1	1,4	16,0	20,4	29,7	49,9
2006	3,7	13,8	1,8	11,1	4,9	64,8	25,7	19,2	55,1
2007	1,4	34,3	4,5	16,2	12,3	31,2	22,8	68,9	8,4
2008	2,5	10,8	1,4	28,4	16,4	40,4	11,4	24,5	64,0
2009	2,2	5,7	0,7	26,2	11,8	53,3	22,9	38,6	38,4
2010	0,5	70,4	9,2	4,0	1,1	14,8	15,4	17,5	67,1
2011	5,0	2,9	0,4	77,3	14,5	0,0	56,1	43,9	0,0
2012	74,3	74,3	9,7	7,2	1,5	6,4	18,6	16,8	64,5
2013	1,1	51,4	6,7	10,9	4,3	25,6	23,8	36,8	39,4
2014	1,9	49,3	6,6	13,3	2,4	26,5	58,6	41,4	0,0
2015	1,7	61,2	8,0	15,9	4,2	9,0	48,8	51,2	0,0

Кінець таблиці 6.2

Рік	Приходна частина						Витратна частина		
	C_p	C_r	C_b	C_{gr}	C_{dr}	C_D	C_f	C_z	$C_{D'}$
2016	1,3	65,6	8,6	10,0	1,7	12,8	23,7	16,5	59,8
2017	1,9	64,2	8,4	16,9	2,6	5,9	31,3	18,9	49,8
2018	2,0	16,2	2,1	24,1	1,9	53,7	37,5	10,7	51,8
2019	1,8	2,8	0,4	35,9	0,0	59,2	29,9	0,0	70,1
2020	0,5	33,6	4,4	6,4	29,1	26,0	4,9	82,7	12,4
Середнє	3,8	42,8	5,6	10,6	4,1	34,9	18,9	45,6	35,5

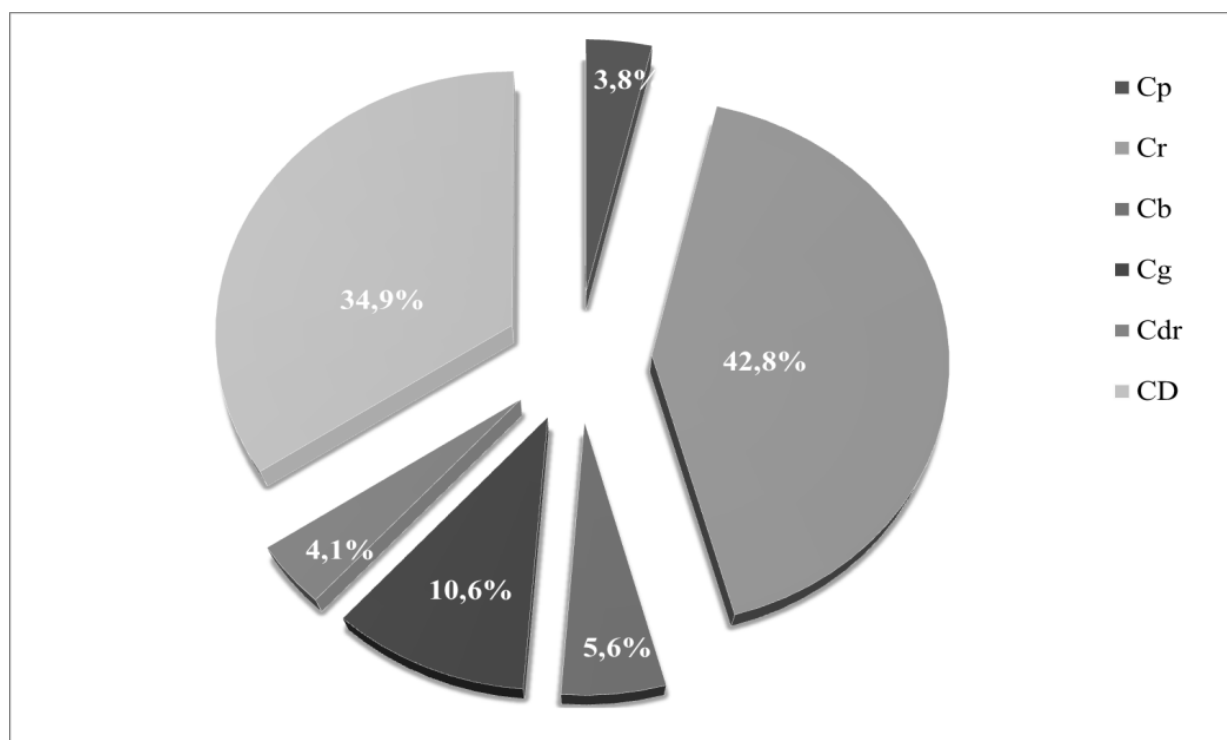


Рисунок 6.3 – Відносний внесок (у %) складових приходної частини сольових балансів озера Катлабух в середньому за 1980-2020 рр.

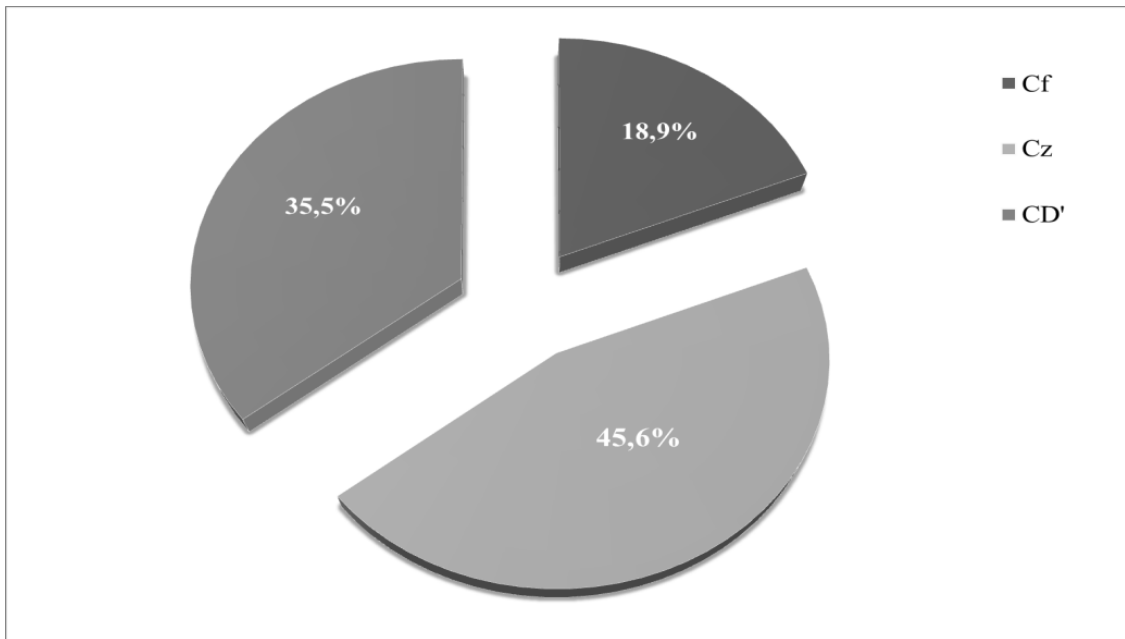


Рисунок 6.4 – Відносний внесок (у %) складових приходної частини сольових балансів озера Катлабух в середньому за 1980-2020 рр.

Умовні позначення на рис. 6.3 та 6.4: C_p – концентрація солей в опадах; C_r – концентрація солей у водах річок, що впадають в озеро; C_b – концентрація солей в водах бічного припливу; C_{gr} – концентрація солей в ґрунтових водах; C_{dr} – концентрація солей в дренажних водах; C_D – концентрація солей в водах, що надходять з р. Дунай. C_f – концентрація солей у воді, що втрачається на фільтрацію; C_z – концентрація солей у воді, що витрачається на зрошення; $C_{D'}$ – концентрація солей у воді, що скидається до р. Дунай.

За результатами розрахунків сольових балансів озера Катлабух (при початковій мінералізації води в озері $1,5 \text{ г/дм}^3$) побудовано графіки багаторічної мінливості приходної (рис. 6.5) та витратної (рис. 6.6) складових сольових балансів озера Катлабух (1980-2020 рр.).

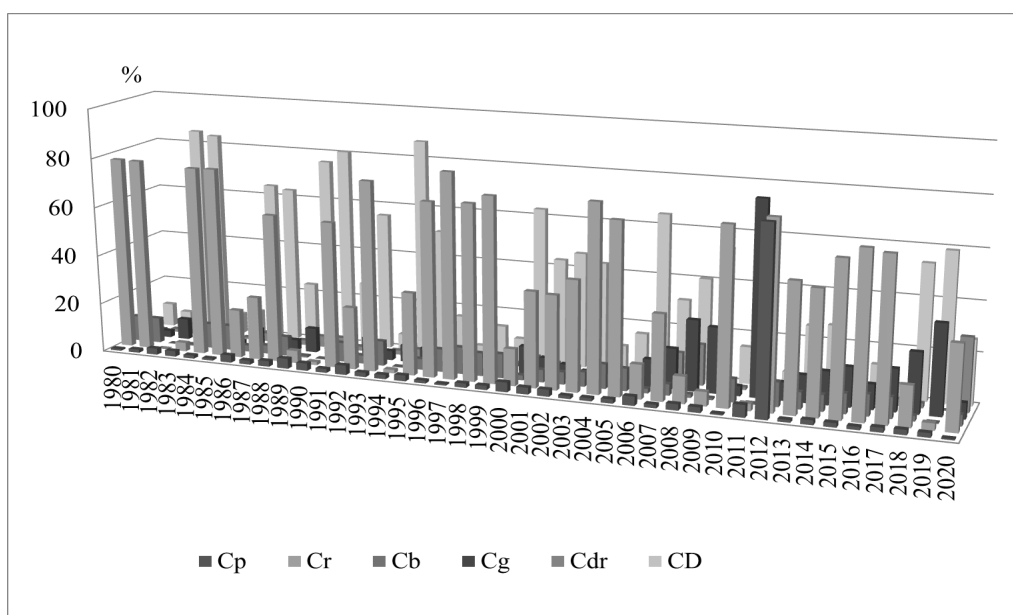


Рисунок 6.5 – Багаторічна мінливість приходної складової сольових балансів озера Катлабух (1980-2020 рр.)

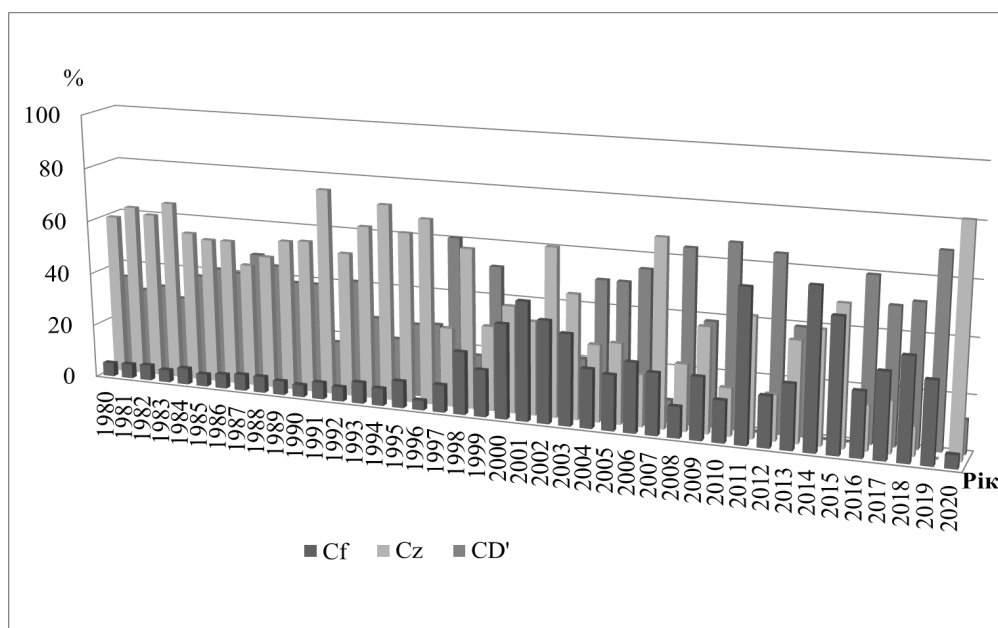


Рисунок 6.6 – Багаторічна мінливість витратної складової сольових балансів озера Катлабух (1980-2020 рр.)

Графік часової мінливості мінералізації води (спостереженої і розрахункової) за період 1980-2020 рр. представлено на рис. 6.7. У період

1980-1996 рр. розрахункова мінералізація вод була на рівні проектної (1,0-1,5 г/дм³), а з 1997 р., при погіршенні умов водообміну у водоймі, вона почала різко зростати – до величин 5,4 г/дм³, потім дещо знижувалася і знов почала зростати – до 4,5 г/дм³ і вище. У зв'язку з різким падінням рівня води в озері у 2019 і 2020 рр. спостерігалось різке підвищення мінералізації води до 4,0 і вище г/дм³. В результаті примусової підкачки води у 2020 р. рівні води дещо підвищились, а мінералізація знизилася до 2,0-2,5 г/дм³, при цьому спостерігається добра збіжність розрахункових і вимірених значень мінералізації води (рис. 6.7).

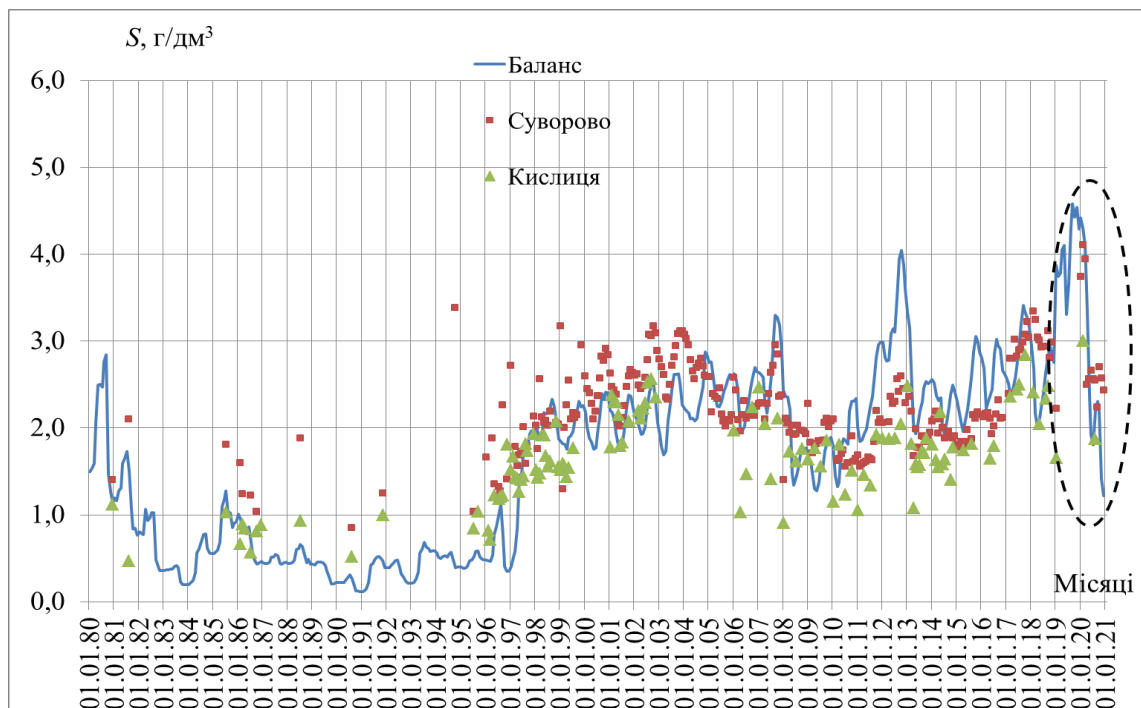


Рисунок 6.7 – Багаторічна мінливість спостереженої і розрахункової мінералізації і рівнів води в озері Катлабух за 1980-2020 рр.

Розрахунок сольового балансу озера Катлабух показав, що загальна мінералізація води озера визначається умовами щорічного сезонного водообміну і зазнає значних часових і просторових змін. Протягом року мінералізація води в озері до початку вегетаційного періоду зменшується за рахунок припливу дунайської води (у південній частині озера), а потім, зі

зменшення кількості опадів і підвищенням випаровування, відсутності водообміну з Дунаєм, надходженням мінералізованих вод із стоком малих річок мінералізація зростає досягаючи найвищих у році значень.

Основні результати по розрахунках водних і сольових балансів озера Катлабух представлені в роботах авторів дослідження [13], [14], [17], [18].

Автором розроблений алгоритм та запропонований автоматизований програмний комплекс для багаторічного і щорічного розрахунку складових водного і сольового режимів озера Катлабух (з часовим кроком один місяць), табличного і графічного представлення результатів розрахунків за різних умов водообміну у водоймі, що дозволить здійснювати оптимізацію режимів експлуатації водойми [19].

6.3 Дослідження водного режиму Каховського водосховища і складових його балансів

6.3.1 Характеристика Каховського водосховища

Каховське водосховище є шостою сходинкою у каскаді Дніпровських гідроелектростанцій та охоплює Дніпропетровську, Запорізьку і Херсонську області. Заповнення відбувалось в період з 1955 р. по 1958 р. Експлуатується вона з 1955 р., коли був введений в дію 1-й агрегат. Останній, 6-й агрегат, ввійшов в експлуатацію в 1956 році [20].

До складу споруд Каховського гідровузла належать: будівля ГЕС, закритий розподільчий пристрій, водозлив та бетонна гребля з 28 водозливами, однокамерний судноплавний шлюз і ґрунтові греблі.

Загальна довжина напірного фронту гідроспоруд Каховської ГЕС – 3,8 км, пропускна спроможність – 21400 м³/сек. Біля ГЕС збудоване місто Нова Каховка.

На ГЕС встановлено 6 вертикальних гідроагрегатів загальною потужністю 351 МДж/с. Електрична мережа скомпонована по три блоки «генератор – трансформатор» на дві системи шин ЗРУ – 154 кДж/с.

Середньорічне виробництво електрики Каховської ГЕС становить 5360 млн МДж.

Довжина Каховського водосховища 230 км, пересічна ширина 9,4 км (максимальна – 24 км). Площа водозбору дорівнює 2155 км², об'єм води – 18,2 км³. Довжина берегової лінії – 896 км. Каховське водосховище здійснює сезонне регулювання стоку. Коливання рівня води до 3,3 м, водообмін відбувається 2-3 рази на рік. Зона мілководдя (глибина до 2 м) займає 8 % площі; переважають глибини понад 5 м (77 %). Береги переважно круті, розчленовані глибокими балками, лише на окремих ділянках пологі, піщані. Є багато островів (наприклад, Великі і Малі Кучугури).

Температура води влітку досягає +24 °С. Замерзання води відбувається наприкінці листопада – на початку грудня, а скресання – у середині лютого – на початку березня. Товщина льоду досягає 17-37 см. У липні-серпні відбувається «цвітіння води», яке охоплює до 80-95 % акваторії [21].

Каховське водосховище використовується для судноплавства, зрошення, водопостачання, рибного господарства, рекреації.

З водоймища починаються Каховський канал, Північно-Кримський канал і канал Дніпро-Кривий Ріг. На Каховському водосховищі розташований порт Нікополь. Уздовж лівого берега водоймища проходить залізнична магістраль із Запоріжжя в Сімферополь і Херсон.

У водосховищі виділяють верхню, середню та нижню частини (рис. 6.8).

Верхня частина охоплює саму широку та мілководну частини водойми – район колишніх Кінських заплав, де переважають глибини 3-5 м, інколи – 8 м. Тут виділяється дві ділянки: четверта та п'ята. Четверта ділянка розташована від с.Благовіщенка до с. Плавні – заплавна, відокремлена від п'ятої ділянки піщаною грядою і має вигляд мілководного озера з переважаючими глибинами 3-5 м. Велика площа четвертої ділянки має глибини близько 1 м. Це район колишніх Кінських заплав. Площа четвертої

ділянки становить 690 км². П'ята, руслова ділянка, розташована від с. В.Тарасівка до с. Розумовка. Площа її дорівнює 73 км².

Середня частина Каховського водосховища складається з другої та третьої ділянок. Друга ділянка розташована від с.Бабіно до м.Нікополь має вигляд мілководного озера, з шириною 8-15 км, переважаючі глибини – 10-12 м. Площа другої ділянки дорівнює 532 км². Третя ділянка розташована від м. Нікополь до с.В.Тарасівка шириною від 8 до 16 км з глибинами 8-10 м. Площа третьої ділянки дорівнює 365 км². Гідрологічний режим другої та третьої ділянок – перехідний – від річкового до озероподібного.



Рисунок 6.8 – Каховське водосховище та його ділянки

До нижньої частини Каховського водосховища входить перша ділянка, яка розташована між м. Н.Каховка та с. Бабіно – пригреблева, найбільш

глибока зона шириною 5-6 км, глибиною – від 13 до 25 м, а інколи – і 36 м, з переважанням річного режиму. Площа першої ділянки – 495 км².

У водосховищі переважає стічна течія, найсильніше виражена в період весняного водопілля. Швидкість течії зменшується від верхів'я до греблі, змінюючись від 0,6-2 до 0,01-0,08 м/с. Вітрова течія виражена слабо, однак під впливом вітру спостерігаються сильні хвильові переміщення мас води (особливо восени). В залежності від глибини та ширини плесу найбільша висота хвилі коливається від 1,0 до 2,5-3,0 м. Рівень води в Каховському водосховищі протягом року майже постійний у зв'язку з тим, що воно експлуатується в іригаційному режимі. Восени вода по всій території водосховища прогривається неоднаково. В озероподібній, мілководній ділянці, прогрів розпочинається раніше та проходить більш інтенсивно, ніж в інших ділянках. Тут також в найбільш виражене добове коливання температури води. Зокрема, межі коливання температури води в прибережній зоні (глибина – до 0,5 м) можуть досягати 8°C, а в відкритих частинах водосховища з глибинами до 3 м – лише до 4°C [21].

В заплавах нижньої та середньої ділянок рослинність розвивається слабо, переважаючи в верхніх заливах. Більш розвинута вона в верхній ділянці. Дно складене здебільшого чорноземними ґрунтами, лише в районі колишніх Великих та Малих Кучугур, які залишилися у вигляді островів, переважають піщані, в більшості – замулені.

6.3.2 Рівняння водного балансу Каховського водосховища

Каховське водосховище забезпечує водою підприємства й об'єкти теплової та атомної енергетики Херсонської, Запорізької, АРК, півдня Донецької, Миколаївської, Кіровоградської областей та зрошує землі цих областей. З початку експлуатації Каховська ГЕС виробила понад 7200 млн МДж екологічно чистої енергії, що сприяло зменшенню навантаження в енергосистемі в ранкові та вечірні піки. Слід прийняти до

уваги також високопродуктивне рибне господарство на мліководдях водосховища (збільшення вилову риби від 194 до 215,5 тис ц) [22].

Глибоке сезонне регулювання стоку Дніпра каскадом водосховищ, зростання безповоротного водоспоживання, збільшення втрат води після створення водосховищ несприятливо позначилося і продовжує позначатися на економіці й природному комплексі річки. Особливо постраждало рибне господарство: скорочення і перерозподіл стоку, а головне, великі середньодобові коливання рівня в нижньому б'єфі Каховського гідровузла в період нересту риби, що мали місце до 1962 р., призвели до різкого скорочення найбагатших у минулому, рибних запасів. Таким чином, стає зрозумілою роль Каховського водосховища та ті високі вимоги, які пред'являються до розрахунків його водного балансу.

Водний баланс Каховського водосховища розраховується за таким рівнянням [23], [24]:

$$(P_o + P_n + P_p + X + P_c) - (C_e + C_c + C_x + C_\phi + Z_o + Z_e + I + \Phi) - (A_g - A_d) = \pm H, \quad (6.9)$$

де P_o – поверхневий приплив води у водосховище по р.Дніпр через споруди ДГЕС ім.Леніна;

P_n – перекачки води у водосховище з річок, перекритих дамбами;

P_p – поверхневий приплив води у водосховище з невивчених площ;

X – атмосферні опади на водне дзеркало водосховища;

P_c – приплив у водосховище промислових і побутових стічних вод;

C_e – витрати води на виробіток електроенергії Каховської ГЕС (стік через турбіни, включно витрати води на власні потреби ГЕС);

C_c – витрата води на потреби судноплавства (стік води через шлюз, включаючи витік через нещільності затворів шлюзу);

C_x – стік через водозлив Каховського гідровузла (холості скиди води);

C_ϕ – фільтрація та витік води в створі гідровузла (через споруди гідровузла);

- Z_o – забір води з водосховища на зрошення;
- Z_g – забір води з водосховища на водопостачання;
- I – втрати води на випаровування з поверхні водосховища;
- Φ – фільтрація води з водосховища в артезіанський басейн и Чорне море;
- A_g – акумуляція води у водосховищі («+» – при наповненні та «-» – при спрацюванні його об'єму);
- A_l – акумуляція води в льоду берегах при зниженні рівня (зі знаком «+») і спливаючим при підвищенні рівня або тане навесні (зі знаком «-»);
- H – нев'язка балансу.

Визначення приходних складових водного балансу

Приходна частина водного балансу Каховського водосховища має вигляд

$$\text{“Приходна частина”} = P_o + P_n + P_p + X + P_c,$$

де P_o – поверхневий приплив води у водосховище по р.Дніпро через споруди ДГЕС ім.Леніна;

P_n – перекачка води у водосховище з річок, перекритих дамбами;

P_p – поверхневий приплив води у водосховище з невивчених площ (бічний приплив);

X – атмосферні опади на дзеркало водосховища;

P_c – приплив у водосховище промислових та побутових стічних вод.

Основний поверхневий приплив води у Каховське водосховище (P_o) включає:

- стік через турбіни ДГЕС ім. Леніна;
- стік через Запорізькі судноплавні шлюзи;
- фільтраційні витoki на шлюзах;
- холості скиди через водозливну греблю.

В основу розрахунку стоку через турбіни ДГЕС ім.Леніна покладена залежність

$$q = f(H), \quad (6.10)$$

де q – питома витрата води, $\text{м}^3/(3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год})$,

H – напір, м.

Залежність визначена на основі заводської універсальної характеристики поворотно-лопатевої турбіни ПЛ40-В-680 $\eta_T = f(N_T, H)$ та характеристики генератора $\eta_G = f(N_a, \cos \varphi)$ при $\cos \varphi = 0,8$. Високі стабільні коефіцієнти корисної дії (ККД) турбіни та генератора у великому діапазоні навантажень (понад 216 Дж/год) дозволили вважати ККД блоку постійним $\eta_{\text{бл}} = \eta_T \cdot \eta_G = 0,92$ та визначити лінійну залежність $q = f(H)$, перетворивши її на лінійну функцію $K = f(H)$, де $K = \frac{1000 \cdot q}{86400}$, ($\text{м}^3/(\text{с} \cdot (3,6 \cdot 10^9 \text{ кДж/год}))$).

Розрахунок стоку через турбіни ДГЕС ім.Леніна виконується технічним відділом ГЕС. Для кожного агрегату за його добовою виробкою активної енергії (A_a , $3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$) та часом його роботи у генераторному режимі (T_a , год) розраховується середня потужність

$$N_a = \frac{A_a}{T_a} \cdot 10^{-3}, \quad (6.11)$$

Напір (H , м) береться однаковим для всіх агрегатів і розраховується як середнє зі щогодинних значень різниці рівнів верхнього та нижнього б'єфів за час роботи ГЕС в режимі генератору. За залежністю $q = f(N_a, H)$ для кожного агрегату визначається питома витрата води, а потім розраховується

середнє значення витрати (q_{cp} , м³/с) та об'єм стоку через всі турбіни ДГЕС за добу

$$W_T = q_{cp} \cdot \sum A_a, \quad (6.12)$$

де W_T – об'єм стоку, м³;

$\sum A_a$ – сумарний виробіток активної енергії ДГЕС за добу, (3,6·10⁶ кДж/год).

Розраховується середня добова витрата води (Q_T , м³/с) через турбіни за виразом

$$Q_T = \frac{W_T}{86400}. \quad (6.13)$$

В наш час в м.Запорозжя діє два судноплавних шлюзи: старий (трикамерний) та новий (однокамерний). Врахування стоку через шлюзи здійснюється диспетчерською службою шлюзів. Об'єми стоку через шлюзи розраховуються за залежностями:

– для трикамерного шлюзу

$$W_c = \omega \cdot \frac{H}{3} \cdot n; \quad (6.14)$$

– для однокамерного

$$W'_c = \omega' \cdot H \cdot n, \quad (6.15)$$

де W_c , W'_c – об'єм стоку за добу через трикамерного та однокамерного шлюзи, м³;

ω, ω' – площа камери трикамерного та однокамерного шлюзів, м²;

H – середньодобовий напір, м;

n – кількість злитих призм за добу, шт.

Розраховується середньодобова витрата води (Q_c , м³/с) через шлюзи за формулою

$$Q_c = \frac{W_c + W_c'}{86400}. \quad (6.16)$$

До визначеної величини витрат Q_c додається витрата витоків через щільності затворів шлюзів $Q_{\phi} = 0,8$ м³/с (70 тис. м³/д).

Всі споруди та береги ДГЕС ім.Леніна – бетонні, складені гранітами на скельній основі, тому фільтрація в створі гідровузла практично відсутня. Витікання через щільності закритих направлених апаратів турбін і затворів водозливних отворів в розрахунках стоку не враховуються через їх невелику величину (менше ніж 1-3 м³/с).

Перекачки води в Каховське водосховище ($Пn$) здійснюються на трьох станціях (рис. 6.8), які зосереджені в центрі водосховища – на межі другої та третьої ділянок. Об'єми перекачок враховуються на насосних станціях за продуктивністю та кількістю годин роботи насосних агрегатів або за затратами електроенергії на перекачку води.

Поверхневий приплив води у Каховське водосховище ($Пp$) формується на площі 18600 км² – різниця площ водозборів Дніпра між створами Каховської ГЕС та ДГЕС ім. Леніна, з якої 2150 км² припадає на площу водного дзеркала Каховського водосховища та близько 2000 км² – на безстічні області («поди»).

Посушливий клімат та рівнинний рельєф досліджуваної території зумовлюють формування значної частки бічного припливу (норма річного стоку не перевищує 1 дм³/(с·км²)). На площі близько 46 % площі водозбору

Каховського водосховища боковий приплив безпосередньо враховується на насосних станціях перекачки води з річок Томаковка, Білозірка та Базавлук, а 54 % площі – розраховується за методом аналогії. В якості аналогів беруться річки: Вовча – смт Василівка ($F=11600 \text{ км}^2$); Гайчур – с. Андріївка ($F=2100 \text{ км}^2$); Мокрі Яли – х. Грушевський ($F=2660 \text{ км}^2$); Мала Терса – с. Троїцьке ($F=750 \text{ км}^2$); Мокра Сура – смт Кринички ($F=389 \text{ км}^2$); Конка – м. Пологи ($F=353 \text{ км}^2$) (рис. 6.9).

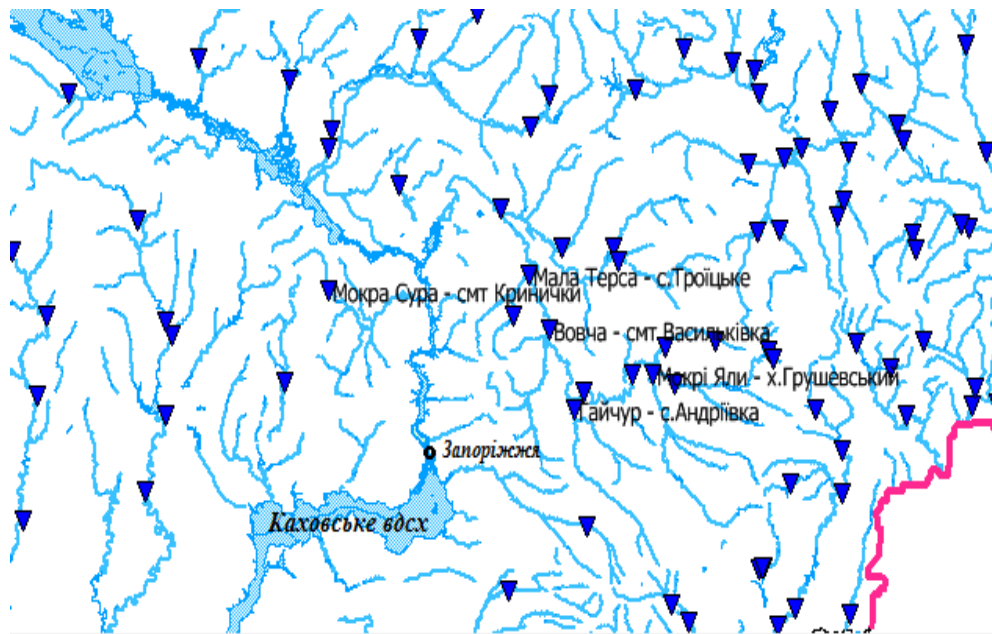


Рисунок 6.9 – Карта-схема розташування річок-аналогів

Для кожної з річок визначаються середньомісячні значення модулів стоку (q , $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$), а потім середнє з отриманих величини ($q_{\text{ср}}$). Витрата води та об'єм розрахункового бічного припливу з площ, неохоплених вимірами стоку, визначаються за залежностями $Q_p = 7,82 \cdot q_{\text{ср}}$, $\text{м}^3/\text{с}$ та $P_p = 86400 \cdot n \cdot Q_p$, м^3 , де n – кількість днів у місяці.

На півдні України опади випадають переважно у вигляді злив і вкрай нерівномірно розподіляються по площі [22]. В таких випадках точність визначення середнього шару опадів на водне дзеркало водосховища багато в

чому визначається густиною опадовимірної мережі і тому для розрахунку середнього шару використовуються, крім даних опадовимірної мережі гідрометслужби, ще й результати спостережень відомчих агрометпостів, розташованих поблизу водосховища.

На Каховському водосховищі розташовані 5 гідрометеорологічних постів та 3 гідрометеорологічні станції (рис. 6.9).

Середній шар опадів розраховується окремо для лівого та правого берегів Каховського водосховища, як середньоарифметичне з даних спостережень постів і станцій, за кінцевий результат береться середнє з двох величин.

Надходження до водосховища промислових і побутових стічних вод (P_c) пов'язане головним чином із Запорізькою ГРЕС і м. Запоріжжя. Скиди Запорізької ГРЕС становлять більше 3 км³ за рік (85-90 % всіх скидів). Забір води на водопостачання м. Запоріжжя здійснюється в основному з водосховища ім. Леніна, а промислові та побутові стоки теж скидаються в Каховське водосховище. Крім того у водосховище скидаються стічні води річок міст Дніпрорудний, Нікополь, Берислав та деяких населених пунктів і промислових підприємств. В останні роки величина припливу стічних вод стабілізувалася і складає (крім скидів Запорізької ГРЕС) приблизно 0,4 км³ на рік, що зумовлено переведенням частини підприємств на зворотне водопостачання.

Скидання стічних вод у водосховище частково враховується водокористувачами, а частково визначається по забору води (береться в розмірі 60-80 % від величини водозабору).

Визначення витратних складових водного балансу

Стік через споруди Каховського гідровузла є основною складовою витратної частини водних балансів і включає: стік через турбіни ГЕС, витрата води на власні потреби ГЕС (C_e), стік Каховського судноплавного

шлюзу (C_c), холості скиди води через водозливну греблю (C_x), фільтрацію в створі гідровузла (C_ϕ).

На Каховській ГЕС встановлено 6 агрегатів з поворотно-лопатевими турбінами ПЛ548-ВБ-800, загальною пропускною здатністю 2900 м³/с. Врахування стоку через турбіни виконується на підставі витратних характеристик турбін

$$Q_T = f(N_T, H), \quad (6.17)$$

де Q_T – витрата води через турбіну, м³/с;

N_T – потужність турбіни, МВт;

H – напір бруто, м.

По середній величині активної (N_a , МВт) та реактивної (N_p , МВт) потужності агрегату, використовуючи номограму $\eta_G = f(N_a, N_p)$, визначається ККД генератора (η_G). Розраховується середня потужність турбіни як $N_T = \frac{N_a}{\eta_G}$, МВт. Напір води в турбіна ГЕС (H , м) розраховується як середньоарифметичне з щогодинних значень різниці відміток рівнів верхнього та нижнього б'єфів за час роботи ГЕС в генераторному режимі. За розрахованими N_T и H по витратній характеристиці $Q_T = f(N_T, H)$ визначається витрата через турбіну та розраховується середньодобова витрата через усі турбіни ГЕС $Q_3 = (Q_a \cdot T_a) / 24$, м³/с. Місячні об'єми стоку через турбіни, включаючи споживання води на власні потреби ГЕС розраховуються по залежності

$$C_3 = (86400 \cdot \sum Q_3) + (q_{сн} \cdot T), \text{ м}^3, \quad (6.18)$$

де $\sum Q_3$ – місячна сума середньодобових витрат води через турбіни ГЕС, м³/с;

$q_{сн}$ – витрата води на власні потреби на 1 год роботи одного агрегату та дорівнює 784 м³/год;

T – сумарне число машино-годин роботи агрегатів за місяць.

Питома вага витрат води, на вироблення електроенергії становить 70-88 % витратної частини річних водних балансів. У місячних балансах частка C_e коливається в дуже широких межах: в зимові місяці становить не менше 90 %, в літні місяці коливається від 35-45 % – у маловодні роки, до 60-75 % – у багатоводні роки, у рідких випадках частка C_e – до 41-49 %. У зв'язку із зростанням об'ємів води з водосховища на зрошення помітна тенденція на скорочення частки C_e у витратній частині балансів вегетаційного періоду.

Каховський шлюз є двокамерний в одну нитку. В останні роки використання судів починається зазвичай в середині березня (ще при льодоставі) і закінчується в кінці грудня – в середині січня (після встановлення льодоставу). Щоденні витрати води на шлюзування обчислюються по залежності

$$Q_c = \frac{\omega \cdot H \cdot n + \phi}{86400}, \quad (6.19)$$

де Q_c – середньодобова витрата води через шлюз, м³/с;

ω – площа шлюзу, яка дорівнює 5220 м²;

H – середньодобовий напір, м;

n – число злитих призм за добу;

ϕ – об'єм витоків через нещільності затворів, м³/доб.

В залежності від стану ущільнень затворів виток коливаються від 8 до 60 тис м³/доб (от 0,1 до 0,7 м³/с). Місячні об'єми стоку через шлюз отримуються як сума їх добових величин: $C_c = \sum (\omega \cdot H \cdot n + \phi)$, м³.

Витрата води на шлюзування в останні роки стабілізувалась і становить близько $0,4 \text{ км}^3$ на рік або $0,7-1,3 \%$ витратної частини річних водних балансів.

Холості скиди води через споруди Каховського гідровузла (C_x) бувають рідко завдяки глибокому сезонному регулюванню стоку Дніпра каскадом водосховищ. Здійснюються холості скиди у березні-червні тільки при дуже великому об'ємі весняного водопілля у випадках передчасного наповнення всіх водосховищ при великих (більше $3000-3500 \text{ м}^3/\text{с}$) витратах води на спаді водопілля.

Фільтрація та витік води в створі Каховського гідровузла (C_ϕ) включають: фільтрацію через споруди і під ними, обхідну фільтрацію в берегових примиканнях споруд, витоку через закриті направляючі апарати турбін, витоку через закриті затвори водозливних отворів донних водоскидів.

Для оцінки фільтраційних втрат виконані безпосередні вимірювання обхідної фільтрації та спеціальні дослідження фільтрації через споруди і під ними. На підставі цих робіт сумарна величина фільтрації оцінюється в $3 \text{ м}^3/\text{с}$. Хороший стан ущільнень, своєчасне шлакування затворів водозливних отворів після їх закриття зводять до мінімуму величину витоків, яка приймається в розмірі $1-2 \text{ м}^3/\text{с}$. Фільтрація і виток в сумі дають $4-5 \text{ м}^3/\text{с}$. Ця величина й приймається в розрахунках водних балансів.

Забір води з водосховища на зрошення (3_o) важливий елемент витратної частини водних балансів вегетаційного періоду. Найбільш великими водоспоживачем є Північнокримський (ПКК) і Каховський магістральний (КМК) канали. Водозабір в ці два канали становить $87-93 \%$ усього водоспоживання на зрошення.

Північнокримський канал самопливний. Його головною спорудою є двохпролітний водозлив з секторними затворами, який опускають під рівень верхнього б'єфу при подачі води в канал. Ширина прольотів водозливу по 20 м кожен. Максимальна пропускна здатність водозливу (при позначці НІР водосховища, рівний $16,0 \text{ м}$) становить $270 \text{ м}^3/\text{с}$. Облік стоку через головне

спорудження ПКК виконується диспетчерською службою каналу. В основу обліку стоку покладена крива пропускної здатності водозливу

$$Q = f(h), \quad (6.20)$$

де Q – витрата води через водозлив, м³/с;

h – напір на гребені водозливу (секторного затвору), м.

Заданий напір підтримується автоматично (регулюється положення секторного затвора). У балансах враховується режим підтоплення водозливу з боку нижнього б'єфу. Рівень води у верхньому б'єфі (рівень водосховища) і нижньому (в самому каналі) і відмітка гребеня водозливу реєструються самописами.

У Каховській магістральний канал вода подається потужними насосними агрегатами. Облік водоподачі виконується диспетчерською службою каналу по продуктивності і тривалості роботи насосних агрегатів з урахуванням напору.

На всіх інших державних зрошувальних системах (Північно-Рогачикській, Благовіщенській, Іванівській, Нікопольській, Верхньо-Тарасівській та ін.) облік водоспоживання виконується аналогічно КМК, тобто по продуктивності і тривалості роботи насосних агрегатів з імовірною похибкою обліку 5-10 % [23].

Основними водоспоживачами є Запорізька ГРЕС й АЕС та великі промислові комплекси Криворізького і Нікополь–Марганцевського гірничорудних районів.

Запорізькою ГРЕС з водосховища забирається більше 3 км³ води на рік, але безповоротне водоспоживання мізерне (не більше 0,2 км³ на рік), так як вода використовується в основному як охолоджувач і скидається назад у водосховище, але вже з більш високою температурою.

Решта водоспоживачі в останні роки забирають близько $0,7 \text{ км}^3$ води на рік. Серед них найбільшим є Дніпро – Кривий Ріг, на який припадає 75-80 % від зазначених $0,7 \text{ км}^3$. Вода в канал подається насосною станцією, забезпеченою 4-ма насосними з агрегатами максимальною продуктивністю кожного $9,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Облік забору води в канал автоматизований, похибки обліку не перевищують 2 %. Рештою водокористувачами забір води враховується водомірами різних систем або по продуктивності і тривалості роботи насосних установок, або за витратами електроенергії на подачу води з похибками порядку 10 %.

Частка об'ємів води на водопостачання (без водозабору Запорізької ГРЕС) становить не більше 2,5 % (зазвичай, 1-1,5 %) витратної частини річних водних балансів і від 0,7 до 4 % – у місячних балансах.

Втрати води на випаровування з поверхні водосховища (B) обчислюється за рівнянням

$$B = E \cdot \omega \cdot 10^{-3}, \quad (6.21)$$

де B – об'єм води, що випаровувалась за місяць, 10^6 м^3 ;

E – шар випаровування за місяць, мм;

ω – площа водного дзеркала водосховища, км^2 .

Шар випаровування розраховується за формулою[25]:

$$E = 0,18 \cdot n \cdot (e_0 - e_{200}) \cdot (1 + 0,44 \cdot w_{200}), \quad (6.22)$$

де E – шар випаровування, мм;

n – число днів у місяці;

e_0 – середній за місяць тиск насиченої водяної пари, який розраховується за температурою водної поверхні, гПа;

e_{200} – середній за місяць парціальний тиск водяної пари на висоті 2 м над водною поверхнею, гПа;

w_{200} – середньомісячна швидкість вітру на висоті 2 м над водною поверхнею, м/с.

Температура води в поверхневому шарі (для визначення e_0) розраховується як середньозважене по площі п'яти ділянок, а середня температура на окремих ділянках визначається графічно по спостереженнях на постах і термічних профілях відповідно до рекомендацій ДГІ. Парціальний тиск водяної пари над водосховищем розраховується за даними спостережень трьох станцій (Запорожжя, Нікополь й Нова Каховка) по залежності

$$e_{200} = K_e \frac{e_{zn} + e_{ни} + e_{нк}}{3}, \quad (6.23)$$

де $e_{zn}, e_{ни}, e_{нк}$ – середньомісячне значення парціального тиску водяної пари за даними спостережень на зазначених станціях, гПа;

K_e – коефіцієнт, який враховує трансформацію повітряних мас над водосховищем.

Величина K_e визначена на основі паралельних спостережень за абсолютною вологістю повітря над водосховищем. У зв'язку зі зміною оточення метеоплощадок змінюється і значення коефіцієнта трансформації: до 1982 р. приймалось $K_e = 1,09$, а з 1982 р. приймається – $K_e = 1,07$.

Швидкість вітру над водосховищем розраховується по записах самописців М-12, які встановлені на постах Благовіщенка, Грушевська дамба та Нова Каховка. Місця встановлення датчиків самописців вітру відкриті з боку водосховища, висота установок становить 12-15 м над НПР. Середня швидкість вітру визначається як середньоарифметичне з щогодинних її значень по записах самописців вітру М-12.

У розрахунках випаровування приймається середнє значення швидкості вітру в зазначених трьох пунктах. Для приведення швидкості вітру до висоти 200 см і обліку трансформації повітряного потоку над

водосховищем отримане середнє значення швидкості множиться на коефіцієнт $K_w = 0,9$.

За зимові місяці випаровування з льоду і снігу обчислюється за формулою П.П. Кузьміна [26]:

$$E = 0,18 \cdot n \cdot (e_0 - e_{200}) \cdot (1 + 0,55 \cdot w_{1200}), \quad (6.24)$$

де E – шар випаровування, мм;

n – число днів у місяці;

e_0 – середній за місяць тиск насиченої водяної пари, який розраховується за температурою водної поверхні, гПа;

e_{200} – середній за місяць парціальний тиск водяної пари на висоті 2 м над водною поверхнею, гПа;

w_{1200} – середня швидкість вітру, м/с, на висоті установки приборів М-12 (по спостереженнях зазначених трьох постів).

Після наповнення водосховища в нижній його частині (нижче смт Горностаївка) відмітка НІР виявилася на 6-10 м вище відміток рівня ґрунтових вод на вододілах, що і призвело до фільтрації з водосховища в Чорне море – по лівому березі і в сторону р. Інгулець – по правому. Крім того, існує фільтрація води з водосховища в артезіанський басейн Причорноморської низовини.

Величина односторонньої фільтрації визначена як нев'язки річних водних балансів за 1964-1972 рр. Для виключення впливу берегового регулювання на результати розрахунку, за початок року в цих розрахунках прийнято 1-е серпня. Зауважимо, що при такому методі визначення односторонньої фільтрації в неї автоматично увійшли і систематичні похибки обліку (розрахунку) всіх інших складових водного балансу. Величина односторонньої фільтрації приймається в розмірах: 60 млн. м³ – при зниженні рівня водосховища за місяць на 25-30 см і більше, 70 млн. м³ – при незначних

коливаннях рівня протягом місяця , 80 млн. м³ – при підйомі рівня за місяць на 25-30 см і більше [22].

6.3.3 Акумуляційні складові водного балансу Каховського водосховища

Акумуляція води в чаші водосховища ($A_в$) визначається за загальною кривою статичних ємностей водосховища та середніх значеннях оцінок рівня води на кінець і початок місяця $W = f(H)$.

Для визначення об'ємів водосховища середній рівень його на кінець і початок місяця обчислюється як середньозважене за площею з даних спостережень постів. За розрахунковий рівень на постах приймається середній з двох середньодобових: першого числа розрахункового місяця і останнього числа попереднього місяця. При цьому виключається вплив на результати розрахунку внутрішньодобових періодичних коливань рівня (за рахунок осереднення рівня за 48 годин) і вітрових денівеляцій (за рахунок розташування постів вище і нижче осей денівеляції водної маси), а також враховується ухил водної поверхні в зоні виклинювання підпору (за рахунок включення до розрахунку даних постів, розташованих у цій зоні). У розрахунок середнього рівня включається рівень у с.Біленький, розташованого в нижній частині виклинювання підпору. Водний пост в с.Біленький закритий в 1967 р. і величина рівня у цього пункту приймається рівною з рівнями на постах Розумівка, Плавні, Верхньо-Тарасівка, Благовіщенка і величиною середньодобового витрати води через споруди ДГЕС ім.Леніна в останній день місяця [23].

Акумуляція води в чаші водосховища розраховується як різниця його об'ємів наприкінці та на початку місяця: $A_в = W_k - W_n$.

Акумуляція води, в якій осів на берегах (сплив) лід ($A_л$) обчислюється по залежності:

$$A_l = (\omega_n - \omega_k) \cdot h_{\Pi} \cdot 10^{-2}, \quad (6.25)$$

де A_l – акумуляція в якій осів лід, 10^6 м^3 ;

$(\omega_n - \omega_k)$ – площа водосховища наприкінці та на початку місяця, відповідна позначці нижньої поверхні льоду, км^2 ;

h_{Π} – середньомісячна товщина зануреного льоду біля берега, см.

Враховуючи, що при зниженні рівня більше 80 % площі осушень припадає на озероподібну частину водосховища, величина обчислюється як середньоарифметичне з даних спостережень постів Плавні, Верхньо-Тарасівка, Благовіщенка, Кам'янка, Грушевська дамба та Нова Каховка.

У разі наповнення водосховища при льодоставі об'ємів сплившого льоду (від'ємна величина A_l) визначається за графіком наростаючих сум A_l за попередній період спрацювання водосховища, відповідно до рекомендацій ДГІ. Якщо наповнення при льодоставі не було і осівший за зиму лід танув на берегах, то від'ємна величина A_l приймалася рівною сумі її додатніх значень за весь зимовий період, ставилася на період руйнування льоду і водосховища до його повного очищення від льоду.

На Каховському водосховищі величина A_l не перевищувала 62 млн. м^3 за зимовий сезон, що пояснюється невеликим спрацюванням водосховищ при льодоставі і малою товщиною льоду в умовах зазвичай м'яких зим України. Якщо спрацювання водосховища при льодоставі становить менше 0,5 м, а товщина льоду до кінця зими менше 30-40 см, то розрахунок акумуляції в якій осів лід втрачає сенс, оскільки її величина позначається на порядок менше вірогідної похибки розрахунку акумуляції в чаші водосховища.

6.3.4 Нев'язка водного балансу

Допустима невязка балансу. Враховуючи ймовірні похибки розрахунку складових водного балансу і їх питому вагу в балансах

використовується залежність для визначення величини допустимої нев'язки місячних водних балансів [23]:

$$H_M = 0,07B_M + 40, \quad (6.26)$$

де H_M – допустима нев'язка місячних балансів, 10^6м^3 ;

B_M – об'єм рівневого місячного водного балансу;

40 – похибка розрахунку акумуляції в чаші водосховища 10^6м^3 .

Відносна величина допустимої нев'язки при цьому залишається на рівні 7,5-9 %. У літні маловодні місяці, коли частка основних складових (P_o , C_e) зменшується, а частка складових обчислюється з великими похибками (Z_o , B , Φ) збільшується, допускаються нев'язки до 10-11 % .

Важливо щоб нев'язки місячних водних балансів протягом року мали різний знак. Якщо знак нев'язок зберігається (тим більше з року в рік), то це свідчить про наявність систематичних похибок у розрахунках основних складових балансу і методики їх розрахунку мають бути переглянуті, а систематичні похибки – виключені.

Для річних балансів допустима нев'язка визначається з рівняння:

$$H_{\Gamma} = 0,02B_{\Gamma} + 40. \quad (6.27)$$

Відносна величина допустимої нев'язки при цьому становить 1,1-2,4 %.

Фактичні нев'язки водних балансів (Н). Середнє значення нев'язок місячних водних балансів, обчислених за алгебраїчними сумами та представлені в табл.6.3.

При достатньо високій точності розрахунків водних балансів Каховського водосховища можна судити по нев'язці сумарного балансу за

період 1957-1990 рр. Нев'язка цього балансу склала всього 0,51 км³ або 0,03 % [22].

Таблиця 6.3 – Фактичні невіязки водних балансів Каховського водосховища

	М І С Я Ц Ь											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
10 ⁶ м ³	32	46	56	-3	-66	-49	-62	-66	-12	16	41	83
%	0,4	0,9	0,7	0,4	0,9	1,5	2,2	2,2	0,8	0,3	1,1	1,9

6.3.5 Методика розрахунку об'єму бічного припливу води в Каховське водосховище

Як зазначалось вище, на Каховському водосховищі проводяться спостереження за опадами на 3 метеостанціях та 5 метеопостах. На рис.6.10 наводиться залежність середніх величин опадів, визначених між цими постами та метеостанціями [27].

Як видно з рис.6.10, для підрахунку кількості опадів, що випадають на акваторію Каховського водосховища, можна використовувати дані лише 3 метеостанцій, замість 8 метеопунктів, що спрощує збір інформації про опади та розрахунок їх випадіння на водну поверхню водосховища.

На наш погляд, найбільш ненадійно визначається складова бічного припливу в Каховське водосховище.

Бічний прилив (P_p) відбувається за рахунок річок, що впадають у водосховище, тимчасових водотоків, струмків, просочування крізь ґрунти, що в свою чергу ускладнює їх врахування в балансі водосховища. В Каховське водосховище впадає р. Конка ($F=353$ км²), яка знаходиться на п'ятій (мілководній) ділянці біля греблі ДГЕС ім.Леніна.

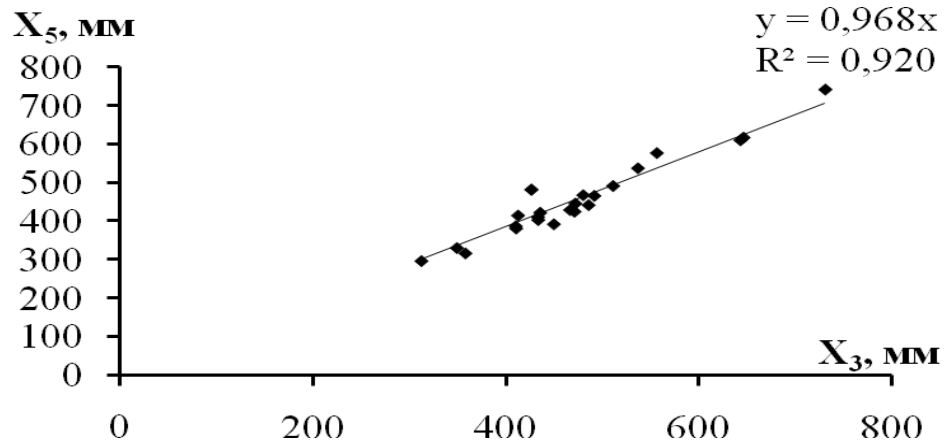


Рисунок 6.10 – Залежність кількості опадів між станціями та постами на Каховському водосховищі

Основним джерелом живлення тимчасових водотоків та р. Конка є атмосферні опади. Нами побудовано залежність між річними витратами води р. Конка та шаром опадів за період з 1991-2010 рр. (рис. 6.11).

Коефіцієнт кореляції отриманої залежності становить 0,50, тобто є значущим.

Це дає можливість використовувати цю залежність для визначення величини бічного припливу в Каховське водосховище.

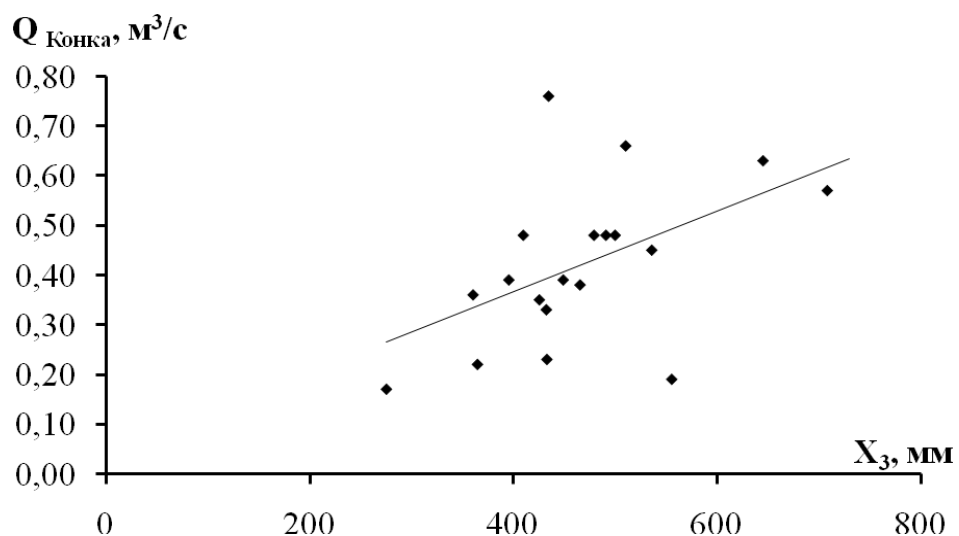


Рисунок 6.11 – Залежність між витратами води р.Конка та шарами опадів, що випали на акваторії Каховського водосховища

Запропоновано методику визначення бічного припливу, аналогічно [5], [13], [14], а саме:

1. За даними спостережень по 3 метеостанціях побудована крива забезпеченості річних опадів (рис.6.12).

2. Використовуючи карту норми стоку та таблиці СНіП 2.01.14-83[27], в залежності від забезпеченості року визначається модуль стоку, $q_{p\%}$:

$$q_{p\%} = q_{сер} \cdot k_{p\%} , \quad (6.28)$$

де $q_{сер}$ – середній багаторічний модуль стоку $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, який визначається по картах-додатках СНіП 2.01.14-83[27];

$k_{p\%}$ – модульний коефіцієнт забезпеченості року за опадами P %, яка визначається за допомогою рис.6.12 по величині річних опадів X .

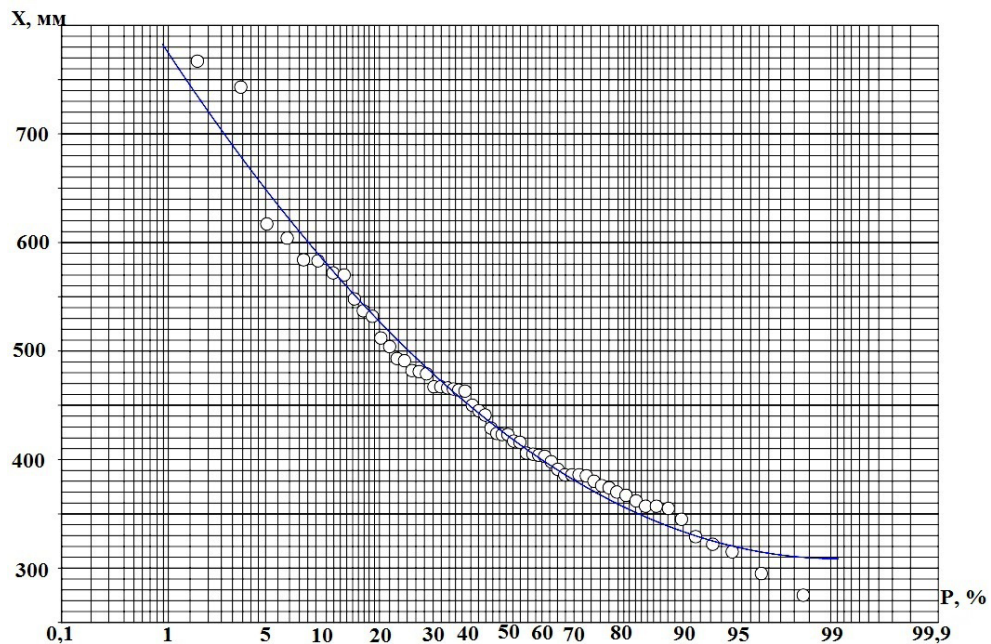


Рисунок 6.12 – Крива забезпеченості річних опадів

3. Витрата води $Q_{p\%}$ дорівнює

$$Q_{p\%} = q_{p\%} \cdot F \cdot 10^{-3} , \quad (6.29)$$

де F – площа водозбору Каховського водосховища, км².

4. Об'єм бічного припливу становить:

$$Pr_{p\%} = 86400 \cdot n \cdot Q_{p\%} \cdot 10^{-6}, \quad (6.30)$$

де n – кількість діб у місяці.

Таким чином, при аналізі складових водного балансу Каховського водосховища можна зробити наступні висновки:

1. Для розрахунку об'ємів опадів, що випадають на поверхню Каховського водосховища, можна використовувати дані 3 метеостанцій, які рівномірно розміщені по акваторії Каховського водосховища.

2. Бічний приплив водосховища та надходження води з невивчених площ пропонується здійснювати, використовуючи карти норми річного стоку та криву забезпеченості річних опадів у межах Каховського водосховища.

Основні результати автора дослідження представлені в роботах [28] - [31].

6.4 Оцінка якості вод за комплексом гідрохімічних показників

6.4.1 Характеристика методів оцінки якості води

Гідрохімічний режим Придунайських озер в основному залежить від ступеня наповнення та спрацювання озера, який в свою чергу лімітується його корисним об'ємом та динамікою рівнів р. Дунай. В зв'язку з цим не завжди вдається забезпечити необхідні об'єми води в озері та оптимізувати мінералізацію [32].

Окремо необхідно зазначити, що одним із значних важелів щодо екологічного стану досліджуваних озер є вплив води малих річок, що до них

впадають. Так води р. Карасулак та р. Ялпуг завдяки їх високій мінералізації та забрудненню, особливо р.Ялпуг (до речі 90 % басейну річки знаходиться на території Молдови значно впливають на північну частину озера Ялпуг, що в свою чергу в результаті змінно-нагінних явищ розповсюджуються і досягають значної частини озера. Малі річки, що впадають до озера Катлабух також високо мінералізовані і піддаються значному антропогенному впливу.

В зв'язку з цим при використанні води цих озер для тих чи інших видів водокористування, постає питання оцінки її якості. Для оцінки якості води озер Ялпуг-Кугурлуй, Катлабух та річок, що до них впадають було обрано методику оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення води (ІЗВ) та коефіцієнтом забруднення (КЗ), які найбільш прості за розрахунками, дозволяють достатньою мірою оцінити якість води та провести порівняння досліджуваних водних об'єктів [15, 33-35].

Гідрохімічний індекс забруднення води

Для оцінки якості води поверхневих водойм використовують індекс забруднення води (ІЗВ). Перевага ІЗВ полягає в тому, що він дозволяє порівняти якість води в різних річках між собою, навіть якщо в них наявні різні забруднювальні речовини, дозволяє виявляти тенденцію зміни якості води впродовж низки років. Індекс забруднення для поверхневих вод розраховується лише за певною кількістю показників. За результатами аналізів кожного з показників виводиться середньоарифметичне значення. Кількість показників, які беруться для розрахунку ІЗВ, дорівнює шести й охоплює розчинений кисень (O_2), біохімічне споживання кисню (BCK_5), амоній (NH_4^+), нітрити (NO_2^-), нафтопродукти (НП), феноли (C_6H_5OH). На відміну від інших показників, для розчиненого кисню при розрахунках ІЗВ береться співвідношення нормативу ($ГДК_i$) до реальної концентрації (C_i). Розрахунок ІЗВ здійснюється за формулою [15,33,34]

$$IЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}. \quad (6.31)$$

Для того, щоб порівняти якість вод у різних створах, визначити їх динаміку, використовують в якості критеріїв класи якості води.

До I класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх показників забруднення води (ІЗВ) близькі до природних значень даного регіону. Для вод II класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги. До III класу належать води, які перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем. Води IV–VII класів відносять до вод із порушеними екологічними параметрами. Критерії оцінки якості вод за ІЗВ для поверхневих вод наведено у табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Критерії оцінки якості вод за ІЗВ для поверхневих вод

Клас якості вод	Текстовий опис	Величина ІЗВ
I	Дуже чиста	$\leq 0,3$
II	Чиста	$> 0,3 - 1,0$
III	Помірно забруднена	$> 1,0 - 2,5$
IV	Забруднена	$> 2,5 - 4,0$
V	Брудна	$> 4,0 - 6,0$
VI	Дуже брудна	$> 6,0 - 10,0$
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$

Модифікований ІЗВ розраховується теж за шістьма показниками: біохімічне споживання кисню (BCK_5) та розчинений кисень (O_2) є обов'язковими, а інші чотири показники беруть за найбільшим відношенням до ГДК з переліку: SO_4 , Cl^- , $\tilde{O}\tilde{N}\tilde{E}$, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , $Fe_{\text{св}}$, Mn^{2+} ,

Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} , нафтопродукти (НП), синтетичні поверхневі активні речовини (СПАР)[16,33,34].

Коефіцієнт забруднення

Для узагальненої оцінки стану поверхневих вод і для виявлення можливих тенденцій у зміні їх якості здійснюється оцінка рівня забрудненості за коефіцієнтом забруднення. Коефіцієнт забрудненості (КЗ) є узагальненим показником, що характеризує рівень забрудненості сукупно за низкою показників якості води, які багаторазово виміряні у кількох пунктах (створах) спостережень водних об'єктів. Величина КЗ характеризує кратність перевищення нормативів у частках ГДК. Будь-які значення КЗ, що перевищують одиницю, свідчать про порушення чинних норм. Тотожність КЗ одиниці означає, що для даного водного об'єкта всі нормовані показники якості води в усіх пунктах (створах) спостережень при всіх вимірюваннях протягом досліджуваного періоду відповідають чинним нормам якості води. Значень, менших за одиницю, коефіцієнт забрудненості набувати не може. Оскільки водний об'єкт призначено для кількох видів водокористування, то під час розрахунку КЗ слід враховувати ті нормативи, які висувають найбільш високі вимоги до якості води. Зазвичай, такими є нормативи якості води для водойм рибогосподарського призначення [34,35].

Перелік промислових ділянок рибогосподарських водних об'єктів затверджено постановою Кабінету міністрів України від 27 травня 1996 р. №552. Під час розрахунку КЗ водних об'єктів, що не є рибогосподарськими, потрібно використовувати гранично допустимі концентрації (ГДК) для об'єктів господарсько-побутового водокористування (або інші норми, офіційно встановлені для даного об'єкта). Втім, КЗ дозволяє зіставляти обидва типи цих об'єктів з погляду дотримання у кожному із них своїх нормативів. Значення КЗ розраховуються за формулами:

$$\gamma = 0,1 \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N_{ij}} \gamma_{ijn} \right); \quad (6.32)$$

$$\gamma_{ijn} = \begin{cases} \frac{C_{ijn}}{ГДК_i}, & \text{якщо } ГДК_i \text{ порушено } (C_{ijn} > ГДК_i), \\ 1, & \text{якщо } ГДК_i \text{ задовольняє } (C_{ijn} \leq ГДК_i), \end{cases} \quad (6.33)$$

де $i, 10$ – порядковий номер і загальна кількість контрольованих показників;
 j, J – порядковий номер і загальна кількість пунктів (створів)
 спостережень;

n, N_{ij} – порядковий номер і загальна кількість вимірювань i -го показника в
 j -му пункті (створі) за період часу, що аналізують (квартал, рік, тощо);

N_i – загальна кількість вимірювань i -го показника в усіх пунктах (створах)
 спостережень;

γ_{ijn} – кратність перевищення $ГДК$ при n -му вимірюванні i -го показника у j -
 му пункті (створі) спостережень.

Значення КЗ розраховується тільки для десяти показників. До складу цих показників входять ті показники, що найбільшою мірою перевищують значення $ГДК$. У разі, якщо кількість показників, що перевищують $ГДК$, менша десяти, у формулі (6.32) значення величин γ_{ijn} для решти показників приймається таким, що дорівнює одиниці. Для деяких речовин нормативи вимагають повної їх відсутності у природних водах. Для кожного із них у формулі (6.33) замість $ГДК_i=0$ необхідно підставляти те значення концентрації, яке ще може бути виявлене за найбільш чутливою методикою вимірювання даної речовини, тобто найменший із порогів його виявлення. Наведені формули застосовують для тих показників якості води, для яких $ГДК$ задає верхню допустиму границю. Якщо ж нормується нижня границя (наприклад, для розчиненого кисню і водневого показника рН), то в разі їх

порушення розрахунок кратності перевищення (γ_{ijn}) ведеться за такими формулами:

$$\gamma_{ijn} = \begin{cases} 1 & \text{при } C_{ijn} \geq ГДК_i \\ 1 + 9 \frac{ГДК_i - C_{ijn}}{ГДК_i - ВЗ_i} & \text{при } ВЗ_i \leq C_{ijn} < ГДК_i \\ 10 + 90 \frac{ВЗ_i - C_{ijn}}{ВЗ_i - ЕВЗ_i} & \text{при } C_{ijn} < ВЗ_i \end{cases} \quad (6.34)$$

Для розчиненого у воді кисню значення ВЗ (високе забруднення) та ЕВЗ (екстремально високе забруднення) згідно з додатком 2 ЄМК („Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод”), дорівнюють 3 мг/дм³ та 2 мг/дм³. Для рН до встановлення критеріїв ВЗ та ЕВЗ можна використовувати у формулі (6.34) значення ВЗ_i=6 од. рН та ЕВЗ_i=4 од. рН. Методика дає можливість підрахувати загальний КЗ для водного об'єкта чи ділянки і узагальнені характеристики забрудненості за одним показником по всій ділянці (γ_i) і за всіма показниками для будь-якого створу (γ_j):

$$\gamma_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N_{ij}} \gamma_{ijn} \quad (6.35)$$

$$\gamma_j = \frac{1}{I_j} \sum_{i=1}^{I_j} \left(\frac{1}{N_{ij}} \sum_{n=1}^{N_{ij}} \gamma_{ijn} \right) \quad (6.36)$$

де I_j – кількість показників якості води, що виміряні у j -му створі. Отримані числові значення КЗ дозволяють оцінити стан води за рівнями забрудненості. Показники забрудненості вод за коефіцієнтом забрудненості наведено у табл.6.5.

Таблиця 6.5 – Показники забрудненості вод за коефіцієнтом забрудненості

Значення КЗ	1	1,01-2,50	2,51-5,00	5,01-10,0	Більше 10
Рівень забрудненості	Незабуднені (чисті)	Слабко забруднені	Помірно забруднені	Брудні	Дуже брудні

У діяльності установ Державної гідрометслужби та Державного агентства водних ресурсів України застосовується методика оцінки якості води Гідрохімічного інституту. Відповідно до цієї методики проводиться оцінка якості води на основі комбінаторного індексу забруднення (КІЗ)

Найповнішу і найбільш надійну оцінку якості води річок і водойм із екологічних позицій дають класифікації, які будуються на комплексі фізичних, хімічних, бактеріологічних та гідробіологічних показників. За даними О.М. Никанорова, зараз існують два основні напрямки оцінки якості води і стану водних екосистем: біологічна індикація та біотестування. Метод біологічної індикації (біоіндикації) – це метод оцінки якості води за видовим складом гідробіонтів, які проживають у ній. Він дає можливість здійснювати пряму оцінку стану біоти, яка зазнає шкідливого впливу від забруднення водного середовища. В екології найчастіше використовують індекси Глісона, Маргалефа, Симпсона, Фішера, Корбета, Вільямса, Шеннона та інші.

Метод біологічного тестування (біотестування) – це метод оцінки шкідливого впливу певного токсиканта або компонентів водного середовища шляхом реєстрації змін біологічних показників піддослідних організмів (тест-об'єктів). Принцип біотестування полягає в тому, що в експериментальних умовах вивчають реакцію організмів на певний токсикант, забруднену або природну воду і порівнюють її з контролем, який не підлягає дії токсиканта. Методи біотестування показують наявність у воді біологічно небезпечної речовини за реакціями тест-об'єктів, але не підміняють хімічні методи визначення якості води. Після того як біотести покажуть наявність небезпечних речовин у водоймі, проводяться детальні хімічні аналіз [33,34].

6.4.2 Оцінка якості води за ІЗВв озері Ялпуг-Кугурлуй

Дослідження з оцінки якості води в озері Ялпуг-Кугурлуй та річок, що в нього впадають проводилися за методикою індекса забруднення води (ІЗВ).

Оцінка якості води за ІЗВ виконувалася за 6 хімічними показниками для р. Дунай – м. Рені, р. Ялпуг – с. Табаки, р. Карасулак – с. Криничне, оз. Ялпуг-Кугурлуй: кисень, феноли, нафтопродукти, азот амонійний, азот нітритний та БСК₅. Розрахунки ІЗВ за період спостережень наводяться в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Індекс забруднення вод за період 2006-2018 рр.

Рік	р. Дунай м. Рені		оз. Ялпуг- Кугурлуй с. Ново- Некрасівка		р. Ялпуг с. Табаки		оз. Ялпуг- Кугурлуй Болградсь кий питний водозабір с. Оксамит не		р. Карасулак с. Криничне	
	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води
2006	0,51	II	0,5	II	1,1	III	0,4	II	0,98	II
2007	0,62	II	0,6	II	1,2	III	0,7	II	1,95	III
2008	0,64	II	0,9	II	1,1	III	0,6	II	1,78	III
2009	1,08	III	0,8	II	1,0	III	0,8	II	1,33	III
2010	0,62	II	0,7	II	1,1	III	0,6	II	1,78	III
2011	0,61	III	0,7	II	1,2	III	0,6	II	1,61	III
2012	0,63	II	1,3	III	1,3	III	1,3	III	2,25	III
2013	0,66	II	1,0	II	1,2	III	1,0	III	0,94	II
2014	0,55	III	0,8	II	0,9	II	0,8	II	1,98	III
2015	0,55	III	1,0	II	1,7	III	0,8	II	1,98	III
2016	0,6	II	0,8	II	1,6	III	0,8	II	2,1	III
2017	0,6	II	1,0	II	1,1	III	0,9	II	1,3	III
2018	0,5	II	0,9	II	1,0	II	0,8	II	1,6	III

Таблиця 6.7 – Результати розрахунку ІЗВ за період 2006 – 2018 рр.

Місце водного об'єкту	Класифікація по ІЗВ	
	Клас забруднення	Кількість випадків, %
р. Дунай, м. Рені	II	60
	III	40
р. Ялпуг, с. Табаки	III	90
	II	10
оз. Ялпуг-Кугурлуй, с. Оксамитне	II	80
	III	20
оз. Ялпуг-Кугурлуй, с. Ново-Некрасівка	II	90
	III	10
р. Карасулак, с. Криничне	II	80
	III	20

За розрахунками ІЗВ отримані наступні результати:

р. Дунай– 163 км від гирла ріки, м.Рені, кордон з Румунією –вода помірно забруднена 40 %, вода чиста 60 %.

оз. Ялпуг-Кугурлуй – Болградський питний водозабір с.Оксамитне Болградського району – вода помірно забруднена 20 %, вода чиста – 80 %.

оз. Ялпуг-Кугурлуй – с.Ново-Некрасівка – вода помірно забруднена 10 %, вода чиста – 90 %.

р. Ялпуг– впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 5,4 км від гирла с. Табаки Болградського району, кордон з Молдовою –вода помірно забруднена90%, 10 % – чиста вода.

р. Карасулак– впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 3,3 км від гирла по руслу ріки с. Криничне Болградського району – вода чиста – 80 %, помірно забруднена 20 %.Динаміка середньорічних значень ІЗВ за досліджуваний період представлена на рис. 6.13.

На рисунку 6.13 динаміка середньорічних значень ІЗВ на пунктах спостереження за досліджувальний період показала, що відбувається

поступове незначне зменшення забруднюючих речовин у оз. Ялпуг-Кугурлуй.

Найбільше значення ІЗВ за середніми значеннями спостерігалось:

- в р. Карасулак – с.Криничне у 2012 році (ІЗВ – 2,25), на високий індекс вплинув показник такий як феноли (6 мкг/дм³);
- в р. Дунай – м. Рені у 2009 році (ІЗВ – 1,08), на високий індекс вплинули– нафтопродукти (3 мкг/дм³);
- в р. Ялпуг – с. Табаки у 2015 році (ІЗВ – 1,6), на високий індекс вплинув такий показник як феноли (6,00 мкг/дм³);
- в оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Оксамитне у 2012 році (ІЗВ – 1,3), на високий індекс вплинули – феноли (2,30 мкг/дм³), БСК₅ (2,07 мкг/дм³);
- в оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Ново-Некрасівка у 2012 році (ІЗВ – 1,3), на високий індекс вплинули – феноли (3,00 мкг/дм³), БСК₅ (2,13 мкг/дм³).

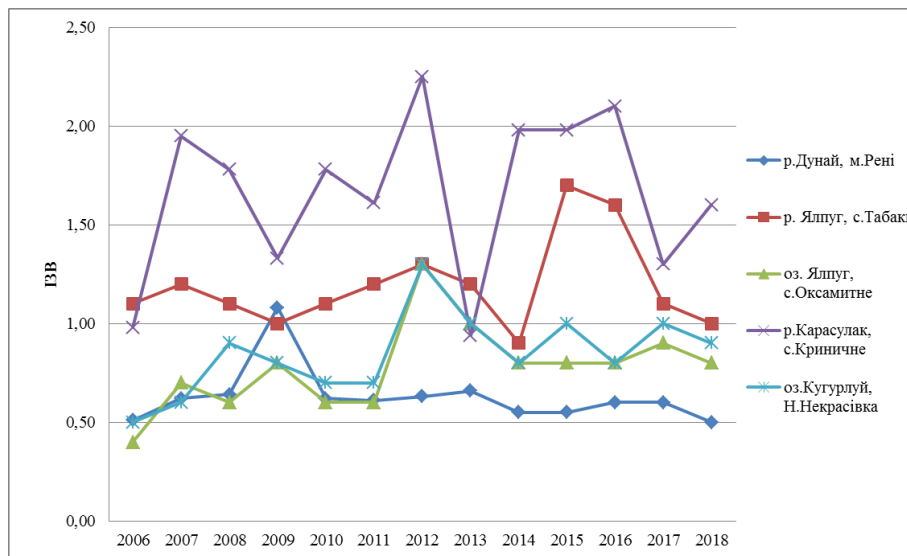


Рисунок. 6.13 – Динаміка середньорічних значень ІЗВ за досліджуваний період.

6.4.3 Оцінка якості води за КЗ в озері Ялпуг-Кугурлуй

Оцінка якості води за КЗ виконувалася для пунктів спостереження за програмою моніторингу поверхневих вод розташованих на р. Дунай –

м. Рені, р. Ялпуг – с. Табаки, р. Карасулак – с. Криничне, оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Оксамитне, с. Ново-Некрасівка. Класифікація КЗ за досліджуваний період по зазначеним пунктам спостережень наведена у таблиці 6.8. Динаміка середньорічних значень КЗ за досліджуваний період представлена на рис. 6.14.

Таблиця 6.8 – Результати розрахунку КЗ за досліджуваний період

Водний об'єкт	Значення КЗ по рокам												Рівень забрудненості вод за досліджуваний період
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
р. Дунай	1,10	1,10	1,08	1,09	1,08	1,09	1,07	1,04	1,03	1,04	1,03	1,04	Слабко забруднені
оз. Ялпуг	1,54	1,52	1,4	1,42	1,52	1,76	1,60	1,46	1,43	1,40	1,39	1,41	Слабко забруднені
оз. Кугурлуй	1,36	1,43	1,4	1,35	1,49	1,54	1,39	1,41	1,39	1,42	1,43	1,44	Слабко забруднені
р. Ялпуг	2,63	3,00	2,80	2,63	3,04	3,87	2,35	2,74	3,85	3,90	3,87	3,89	Помірно забруднені
р. Карасулак	3,56	2,58	4,37	3,22	3,66	3,17	2,75	3,1	3,28	3,25	3,29	3,28	Помірно забруднені

За рівнем забрудненості протягом досліджувального періоду р. Дунай, озера Ялпуг-Кугурлуй – «слабко забруднені». Головною проблемою цих водних об'єктів є надмірне забруднення води органічними та біогенними речовинами (сполуками азоту та фосфору). Головною причиною забруднення поверхневих вод сполуками азоту та фосфору є недостатній рівень очистки

стічних вод, що надходять від комунальних, промислових та сільськогосподарських точкових джерел, та с поверхневим стоком.

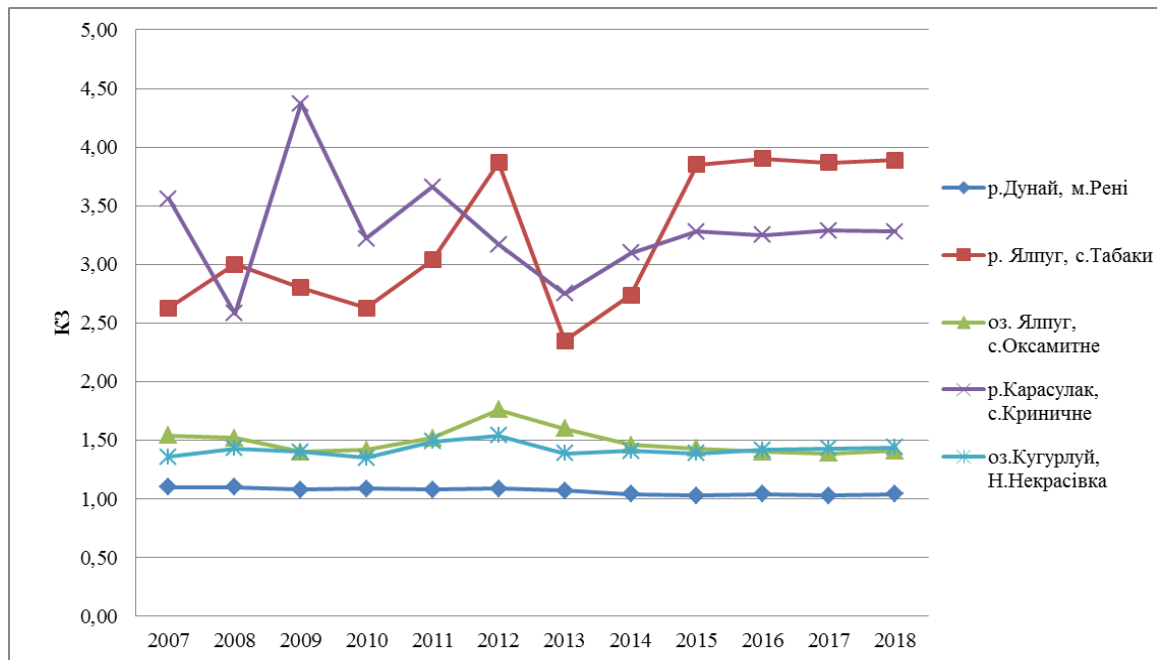


Рисунок 6.14 – Динаміка середньорічних значень КЗ за досліджуваний період

Вважається, що надмірна евтрофікація водойм починається при вмісті в воді азоту в концентрації 0,2-0,3 мг/дм³, фосфору – 0,01-0,02 мг/дм³.

Середній вміст неорганічних сполук азоту у воді Дунаю на українській частині становить 1,55 мг/дм³, фосфору – 0,08 мг/дм³. Тому дуже значна частина біогенних речовин потрапляє до озера-водосховища саме з дунайською водою під час наповнення озера та посилює його евтрофікацію [36].

Високі концентрації біогенних елементів в умовах доброго прогрівання води, спричиняють інтенсивний розвиток водоростей та вищих форм рослинного життя (самозабруднення вод органічними речовинами); спричиняють небажане порушення балансу організмів, що існують у воді; погіршення стану водного об'єкта; його замулення та природного старіння [36].

Порівняння якості води за обраними методиками

Для порівняння оцінок якості поверхневої води на пунктах спостереження згідно до програми моніторингу поверхневих вод затвердженою Державним агентством водних ресурсів України нар. Дунай – м. Рені, оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Оксамитне, оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Нова-Некрасівка, р. Ялпуг – с. Табаки, р. Карасулак – с. Криничне використовувалася методика оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення води (ІЗВ) та методика визначення показників забрудненості вод за коефіцієнтом забрудненості (КЗ). Порівняльні графіки оцінки якості води за різними методиками поверхневих водах наведені на рис. 6.15 – 6.16.

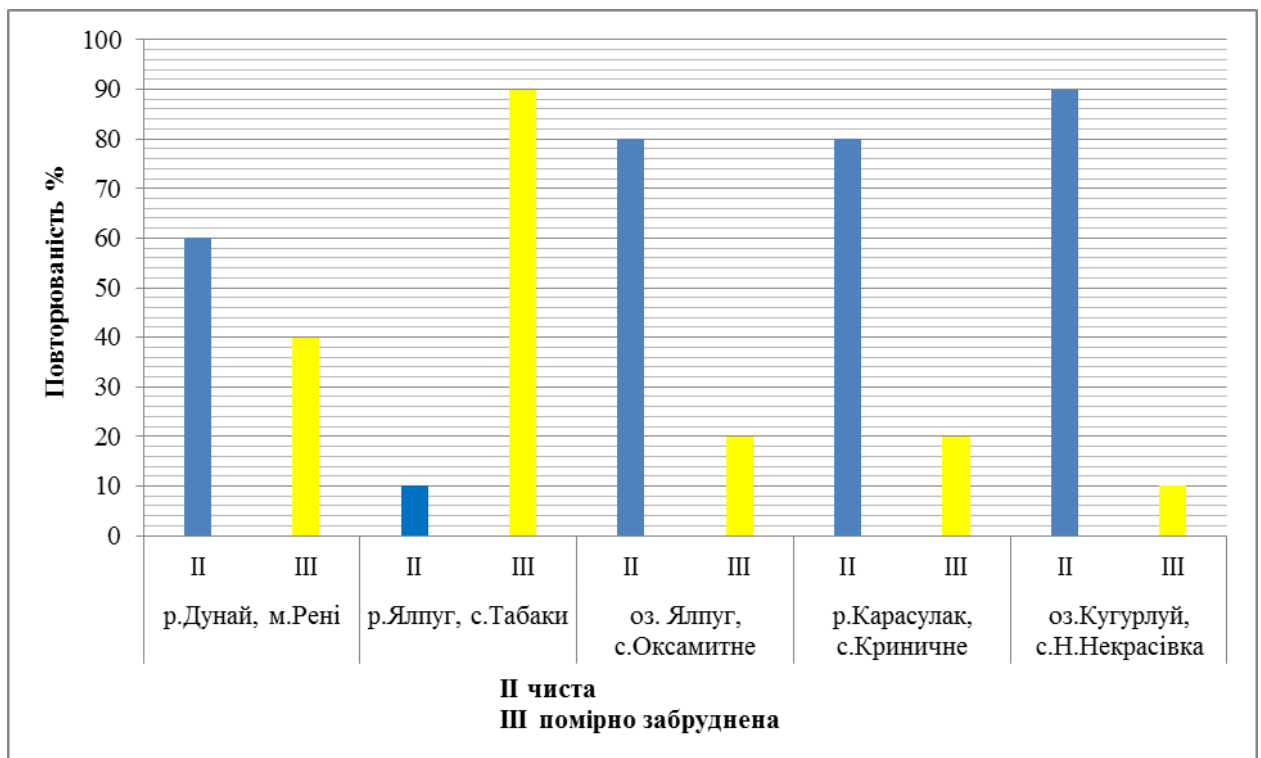


Рисунок 6.15 – Графік оцінки якості води за індексом забруднення за досліджуваний період

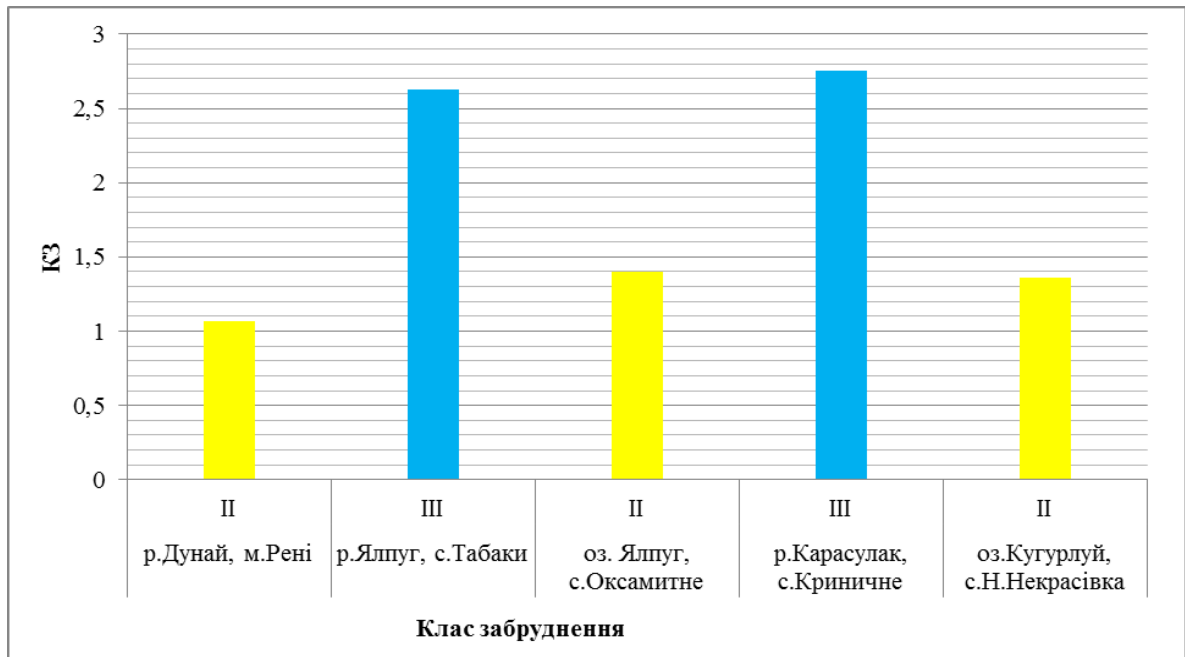


Рисунок 6.16 – Графік оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення води за досліджуваний період

Згідно методики оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення в р. Дунай – 163 км від гирла ріки, м. Рені, кордон з Румунією – вода помірно забруднена 40 %, вода чиста 60 %.

оз. Ялпуг-Кугурлуй– Болградський питний водозабір с.Оксамитне Болградського району – вода помірно забруднена 20 %, вода чиста – 80 %.

р. Ялпуг – впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 5,4 км від гирла с. Табаки Болградського району, кордон з Молдовою – вода помірно забруднена 90 %, 10 % – чиста вода.

р. Карасулак – впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 3,3 км від гирла по руслу ріки с. Криничне Болградського району – вода чиста – 80 %, помірно забруднена 20 %.

оз. Ялпуг-Кугурлуй – с. Ново-Некрасівка – вода помірно забруднена 10 %, вода чиста – 90 %.

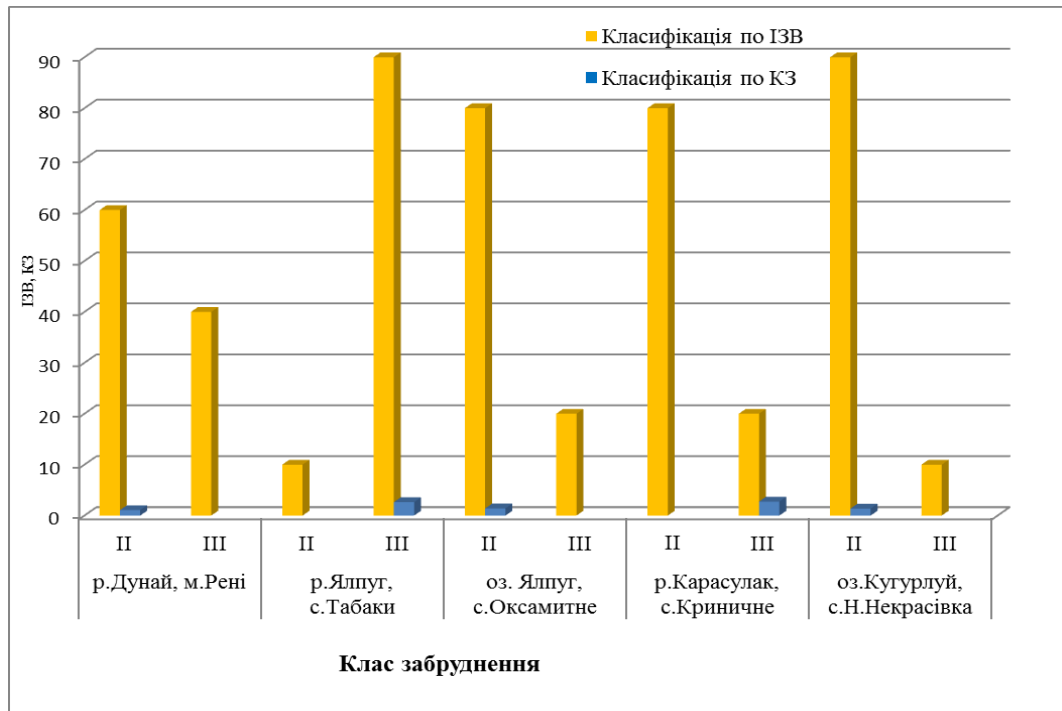


Рисунок 6.17– Графік порівняння якості води за методиками ІЗВ та КЗ

Згідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення вода в р. Дунай – 163 км від гирла ріки, м. Рені, кордон з Румунією слабо забруднена. Вода в р. Ялпуг впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 5,4 км від гирла с. Табаки Болградського району, кордон з Молдовою, оз. Ялпуг-Кугурлуй Болградський питний водозабір с. Оксамитне Болградського району, р. Карасулак, впадає в оз. Ялпуг-Кугурлуй 3,3 км від гирла по руслу ріки с. Криничне Болградського району – помірно забруднена.

Розрахунки за різними методиками показали що вода більш забруднена згідно методики оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення (ІЗВ).

6.4.4 Оцінка якості води озера Катлабухза ІЗВ та КЗ

Оцінка якості води оз. Катлабух та річок, що до нього впадають проводилася також за ІЗВ та КЗ.

За розрахунками ІЗВ отримані такі результати (табл. 6.9).

Таблиця 6.9 – Індекс забруднення вод за період 2000-2018 рр.

рік	р. Ташбунар		р. В. Катлабух		р. Єніка		оз.Катлабух	
	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води	ІЗВ	Клас якості води
2000	1,27	III	0,68	II	0,49	II	0,8	II
2001	0,96	II	0,71	II	0,76	II	0,57	II
2002	1,71	III	1,04	III	0,31	II	0,47	II
2003	1,35	III	0,66	II	0,47	II	0,56	II
2004	1,42	III	1,13	III	1,14	III	1,14	III
2005	1,27	III	1,54	III	0,96	II	0,89	II
2006	1,44	III	1,23	III	1,18	III	1,05	III
2007	1,73	III	1,22	III	1,32	III	0,72	II
2008	1,57	III	1,4	III	0,74	II	0,62	II
2009	1,91	III	1,49	III	1,66	III	0,85	II
2010	1,91	III	1,06	III	0,98	II	0,68	II
2011	1,32	III	0,95	II	1,02	III	0,98	II
2012	1,83	III	1,7	III	1,47	III	1,87	III
2013	1,75	III	0,82	II	1,53	III	0,81	II
2014	1,48	III	1,23	III	2,15	III	-	
2015	1,65	III	1,21	III	2,26	III	1,15	III
2016	1,19	III	1,12	III	1,48	III	0,87	II
2017	1,56	III	1,65	III	1,47	III	0,75	II
2018	1,69	III	1,51	III	2,1	III	1,01	III

р.Ташбунар – значення ІЗВ змінюються від 0,96 у 2001 році (вода відноситься до другого класу забруднення) до 1,91 у 2009 та 2010 роках (вода відноситься до третього класу забруднення). Вода в *р. В. Катлабух* за значенням ІЗВ змінюється від 0,66 (другий клас забруднення) у 2003 році до 1,65 (третій клас забруднення) у 2017 році. Дуже відрізняються значення ІЗВ у *р.Єніка* від 0,31, що відповідає другому класу забруднення до 2,26 (III клас) у 2015 році [37].

Найчистіша вода у озері Катлабух, де значення ІЗВ змінюються від 0,56 (II клас) до 1,87 (III клас), але років з водою третього класу за досліджуваний період всього п'ять.

Була також розрахована повторюваність класів забруднення на досліджуваних об'єктах. Результати розрахунку наведені у табл.6.10

Таблиця 6.10 – Результати розрахунку ІЗВ за період 2000 – 2018 р.р.

Місце водного об'єкту	Класифікація по ІЗВ	
	Клас забруднення	Кількість випадків,%
р. Ташбунар	II	5
	III	95
р. В. Катлабух	III	79
	II	21
р. Еника	II	37
	III	63
оз.Катлабух	II	72
	III	28

За розрахунками ІЗВ отримані такі результати (табл. 6.10):

р.Ташбунар – впадає в оз. Катлабух тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів, довжина річки 40км вода помірно забруднена 95%, вода чиста 5%.

р. В. Катлабух – впадає в озеро Катлабух, тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів – вода помірно забруднена 79 %, вода чиста – 21 %.

р. Єіика– впадає в оз. Катлабух тече в межах Ізмаїльського району – вода помірно забруднена 63 %, 37 % – чиста вода.

оз. Катлабух, НС-2 Суворовської ЗС – вода чиста – 72 %, помірно забруднена 28 %.

Динаміка середньорічних значень ІЗВ за досліджуваний період представлена на рис. 6.18.

На рисунку 6.18 динаміка середньорічних значень ІЗВ на пунктах спостереження за досліджувальний період показала, що рівень забруднюючих речовин тримається на одному рівні коливаючись ввєрх чи вниз у озері Катлабух.

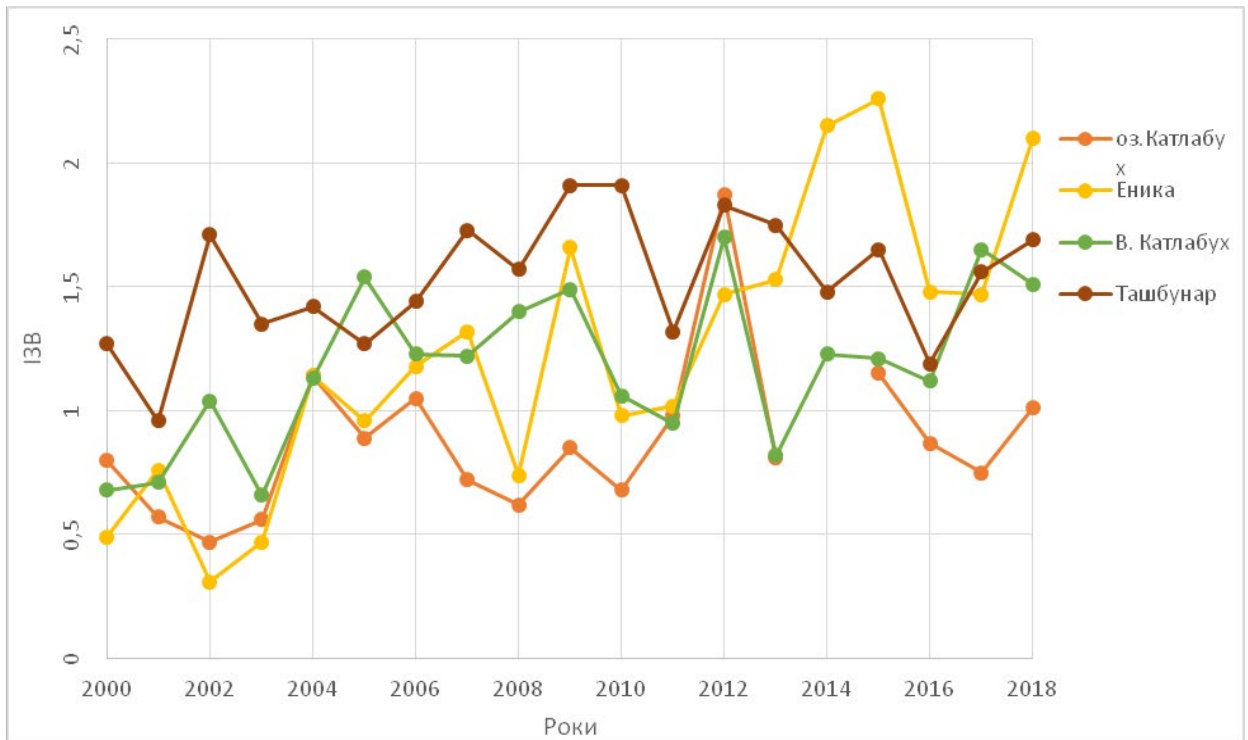


Рисунок 6.18 – Динаміка середньорічних значень ІЗВ за досліджуваний період

Найбільше значення ІЗВ за середніми значеннями спостерігалось:

- в р.В.Катлабух, у 2012 році (ІЗВ – 1,83), на високий індекс вплинули показники азот нітритний та феноли (3,98 мг/дм³, 3,9 мкг/дм³ відповідно);
- в р. Ташбунар, у 2009 році (ІЗВ – 1,91), на високий індекс вплинув такий показник як феноли (2,7 мкг/дм³);
- в р. Єніка у 2015 році (ІЗВ – 2,26), на високий індекс вплинув такий показник як феноли (7,00 мкг/дм³);
- в оз. Катлабух НС-2 Суворовської ЗС у 2012 році (ІЗВ – 1,7), на високий індекс вплинули - феноли (7,60 мг/дм³).

6.4.5 Оцінка якості води за КЗ

Оцінка якості води за КЗ виконувалася для пунктів спостереження за програмою моніторингу поверхневих вод розташованих оз. Катлабух, НС-2 Суворовської ЗС, р. В. Катлабух, р. Єніка, р. Ташбунар.

Коефіцієнт забрудненості води (КЗ) – узагальнений показник, що характеризує рівень забрудненості сукупно по низці показників якості води, які багаторазово вимірювалися в кількох створах [34].

Класифікація КЗ за досліджуваний період по зазначеним пунктам спостережень наведена у таблиці 6.11. Динаміка середньорічних значень КЗ за досліджуваний період представлена на рис. 6.19.

Як видно з графіку, рис. 6.19 та таблиці 6.11 найвищі показники притаманні водам річки Єніки і становлять у 2002 році – 2,88, 2014 р. – 2,45, 2015 р. – 2,54. Ці води віднесено до класу помірно забруднених. Також високі значення КЗ – 2,62 у 2009 році притаманні і водам р. В. Катлабух, що дозволяє віднести їх до класу помірно забруднених. Це свідчить про те, що басейни малих річок піддаються зростаючому антропогенному навантаженню, яке характеризується досить високою ступеню розораності водозборів, інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва, недотримання зростаючих природоохоронних вимог до сільськогосподарського виробництва, наявністю потужних джерел забруднення у вигляді промислових стоків [36-38].

За рівнем забрудненості протягом досліджуваного періоду оз. Катлабух та р. Ташбунар можна віднести до класу «слабко забруднені». Головною проблемою цих водних об'єктів є надмірне забруднення води важкими металами, пестицидами, фенолами та нафтопродуктами (марганець, залізо, сульфати, нафтопродукти, феноли). Головною причиною забруднення поверхневих вод цими елементами є недостатній рівень очистки стічних вод, що надходять від комунальних, промислових та сільськогосподарських точкових джерел, та с поверхневим стоком [37].

Таблиця 6.11 – Результати розрахунку КЗ за досліджуваний період 2000 – 2015 рр.

Водний об'єкт	Значення КЗ по рокам																Рівень забрудненості вод у 2015 р.
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
оз. Катлабух	1,91	1,52	2,03	2,01	1,35	1,34	1,67	1,72	1,39	1,66	1,24	1,39	1,88	1,78	1,40	1,60	Слабко забруднені
р.В.Катлабух	2,18	1,95	1,98	1,10	1,24	1,41	1,74	1,33	1,89	2,62	1,35	1,73	1,44	1,30	1,31	1,50	Помірно забруднені
р.Єніка	2,02	2,08	2,88	1,22	1,44	1,55	2,12	1,66	1,44	1,98	1,95	1,52	1,69	1,83	2,45	2,54	Помірно забруднені
р.Ташбунар	2,10	1,69	2,02	1,57	1,25	1,16	1,94	1,27	1,40	1,69	1,24	1,38	1,94	1,36	1,39	1,44	Слабко забруднені

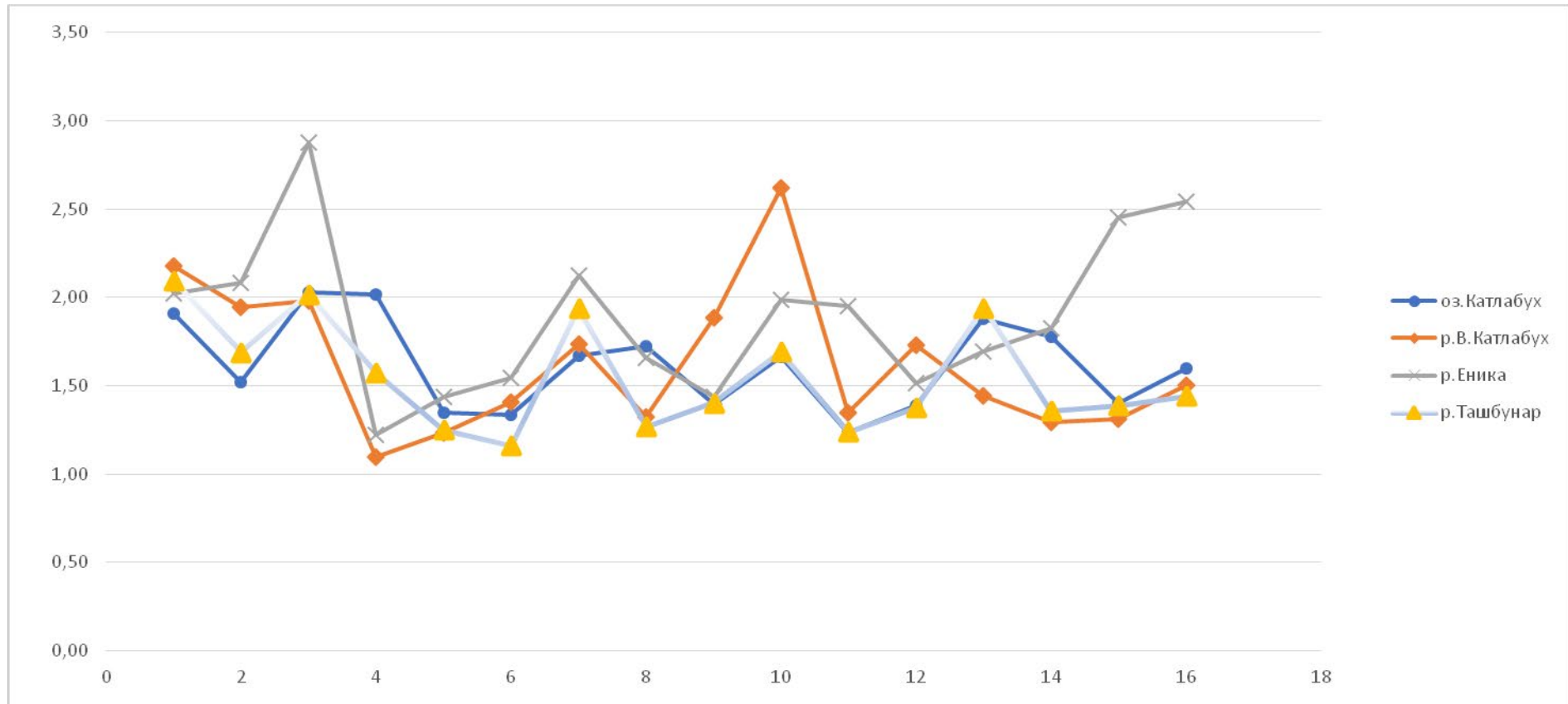


Рисунок 6.19 – Динаміка середньорічних значень КЗ за досліджуваний період

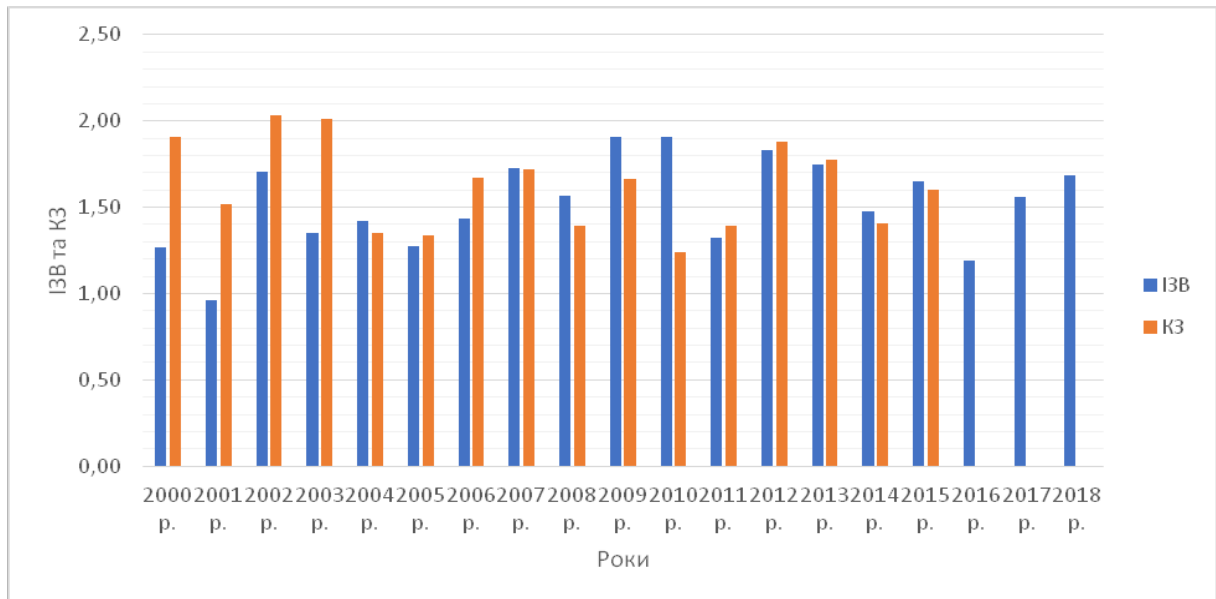


Рисунок 6.20 – Графік оцінки якості води за індексом забруднення води та коефіцієнтом забруднення на озері Катлабух за досліджуваний період

Порівняння оцінок якості води за даними методиками

Для порівняння оцінок якості поверхневої води на пунктах спостереження згідно до програми моніторингу поверхневих вод затвердженою Державним агентством водних ресурсів України на озері Катлабух НС-2 Суворовської ЗС, р. В. Катлабух, р. Єніка, р. Ташбунар використовувалася методика оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення води (ІЗВ) та методика визначення показників забрудненості вод за коефіцієнтом забрудненості (КЗ). Порівняльні графіки оцінки якості води за різними методиками поверхневих водах наведені на рис. 6.20 – 6.23.

Згідно методики оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення оз. Катлабух, НС-2 Суворовської ЗС – вода помірно забруднена 95%, вода чиста 5%. Згідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення вода в оз. Катлабух, НС-2 Суворовської ЗС слабо забруднена. Відповідно до графіку, рис. 6.20 можна відзначити, що дещо вищі показники забруднення за коефіцієнтом забруднення (КЗ).

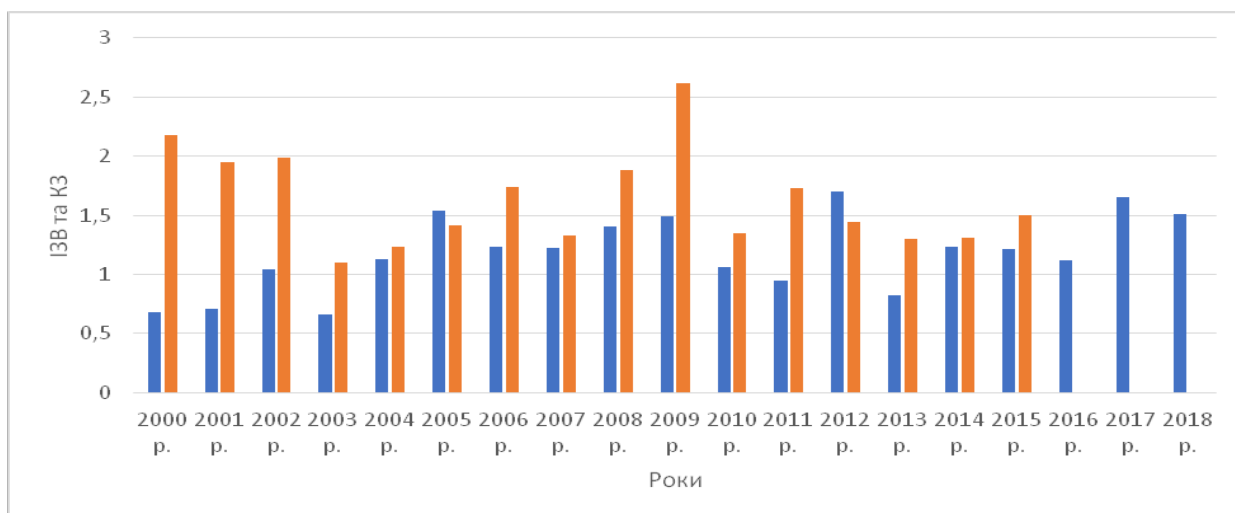


Рисунок 6.21– Графік оцінки якості води за індексом забруднення води та коефіцієнтом забруднення на р. В Катлабух за досліджуваний період

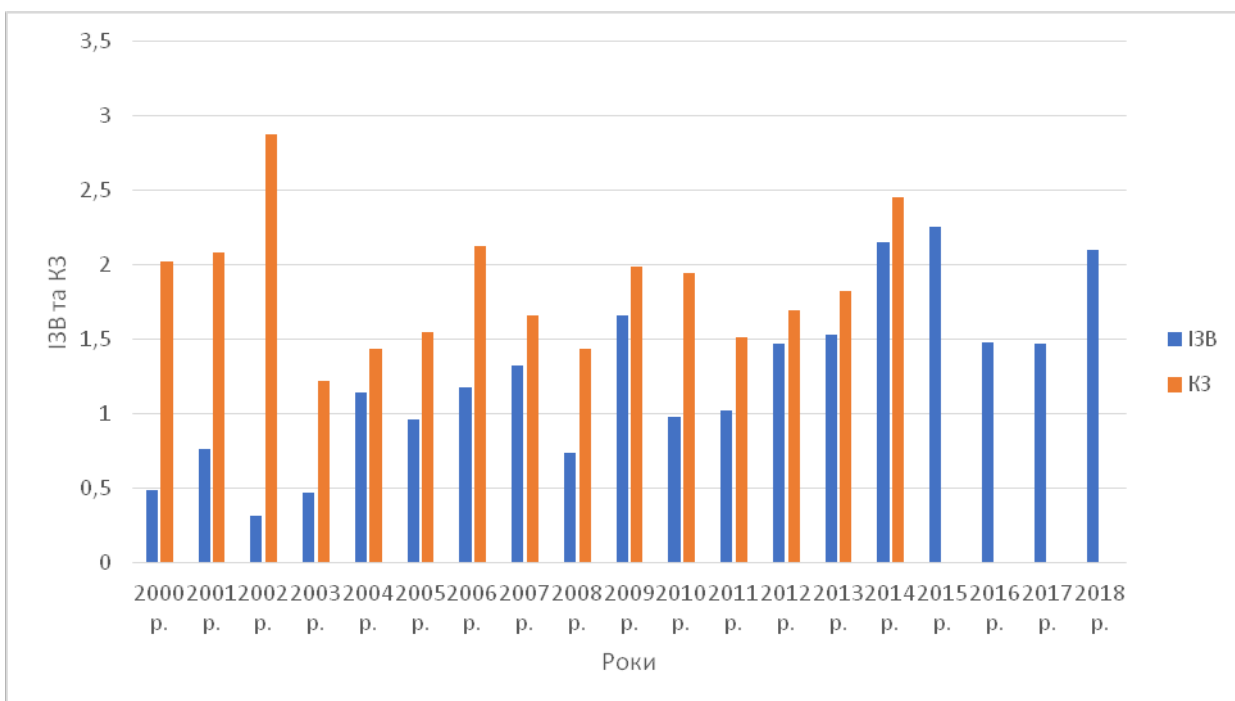


Рисунок 6.22– Графік оцінки якості води за індексом забруднення води та коефіцієнтом забруднення на р. Єніка за досліджуваний період

р. В. Катлабух – впадає в озеро Катлабух, тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів – вода брудна 5%, помірно забруднена 74%, вода чиста – 21%. Згідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення вода в *р. В. Катлабух* – помірно забруднена.

Порівнюючи отримані значення за різними методиками, рис.6.22 можна відмітити, що згідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення отримані вищі результати.

р. Єніка – впадає в оз. Катлабух тече в межах Ізмаїльського району згідно методики оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення вода помірно забруднена 63%, 37% – чиста вода, а відповідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення вода відноситься до класу *помірно забруднена*. Порівнюючи отримані результати за графіком, рис.6.23 можна відмітити, що вищі результати відповідають КЗ.

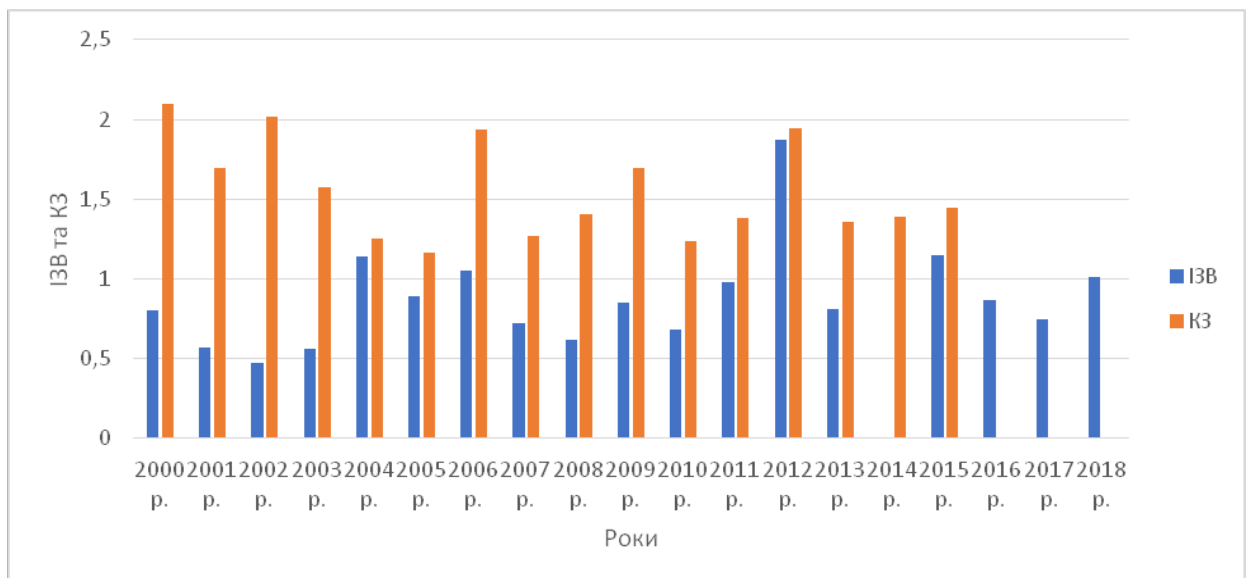


Рисунок 6.23 – Графік оцінки якості води за індексом забруднення води та коефіцієнтом забруднення на р. Ташбунар за досліджуваний період

р. Ташбунар – впадає в оз. Катлабух тече в межах Болградського та Ізмаїльського районів, довжина річки 40км –за методикою оцінки якості води за гідрохімічним індексом забруднення вода чиста – 72 %, помірно забруднена 28 %. Згідно методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення вода в *р.Ташбунар* – *слабко забруднена*.

Аналізуючи графік, рис. 6.23 можна відмітити значно вищі значення отримані за за коефіцієнтом забруднення.

Порівнюючи отримані результати загідрохімічним індексом забруднення води ІЗВ та за коефіцієнтом забруднення (КЗ) в усіх досліджуваних об'єктах, можна зробити висновки, що більші значення забруднення води відповідають коефіцієнту забруднення. Це підтверджується і відповідними графіками, рис. 6.20 – 6.23. На нашу думку це пов'язано з тим, що при використанні методики оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення (КЗ) використовується більша кількість показників, які більш повно характеризують якість води досліджуваного об'єкту.

Тому ми рекомендуємо для оцінки якості води, особливо в малих річках, що піддаються значному антропогенному навантаженню, використовувати методику оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення (КЗ).

ВИСНОВКИ

В результаті виконання четвертого етапу науково-дослідного проекту здійснено регіональні узагальнення розрахункових параметрів сучасних методів для розрахунку і прогнозу стоку річок і водойм окремих регіонів України, розрахунок і аналіз складових сольового балансу придунайських озер і Дніпровського водосховища, виконана оцінка якості води за комплексом гідрохімічних показників.

До основних висновків *першого розділу* можна віднести такі:

1. В роботі здійснено обґрунтування параметрів розрахункових методик на основі регіональних наукових досліджень в області гідрологічних розрахунків і прогнозів водного режиму річок і водойм України (Українського Полісся, басейну Південного Бугу, малих річок Причорномор'я, річок Гірського Криму та Прикарпаття), досліджено гідрохімічний режим річок і водойм Придунайського регіону країни, оцінено водний баланс водосховищ.

2. Розробка, удосконалення та практична реалізація сучасних розрахункових і прогностичних методик для визначення характеристик паводків і водопіль, річного і меженого стоку річок, що враховують закономірності його формування в усьому діапазоні водозбірних площ річок і географічного положення водозборів та в умовах кліматичних змін дозволить вирішувати деякі питання важливої науково-прикладної та соціально-економічної проблеми покращення водогосподарської обстановки в басейнах річок і водойм України.

Розв'язання таких завдань виконувалося дотримуючись вимог Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС при плануванні та управлінні водними ресурсами за басейновим принципом та досягнення доброго статусу всіх водних об'єктів, а також Водної паводкової директиви 2007/60/ЄС щодо оцінки гідрологічних ризиків, попередження та захисту територій від їх підтоплення при проходженні повеней рідкісної ймовірності перевищення.

3. Для покращення гідроекологічного стану водойм і річок Придунайського і Нижньодніпровського регіонів, їх існування та раціонального використання здійснено оцінку їх водного і сольового режиму, гідрохімічного складу та якості вод з метою раціонального використання їх водних ресурсів.

Під час наукових досліджень у *другому розділі* зроблено наступні основні висновки:

1. Для визначення екологічних витрат були використані дані багаторічних спостережень за стоком річок досліджуваної території (методика УкрГМЦ), а також розрахункові мінімальні витрати води періоду відкритого русла 95%-ої та 75%-ої забезпеченості, визначені за методикою СНіП 2.01.14-83 та теоретичним розподілом С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля.

2. Аналізуючи отримані результати, можна відмітити, що, по-перше, роки, в які спостерігались найменші витрати води, дуже різняться за територією та не мають вираженої закономірності. По-друге, малі та середні річки Причорномор'я та басейну Південного Бугу пересихають, й отже за методикою УкрГМЦ, екологічна витрата для них дорівнює нулю. З іншого боку, використовуючи мінімальні витрати води 75%-ої забезпеченості ми отримуємо величини, які відрізняються від 0, що, безумовно є більш прийнятним результатом.

3. Якщо аналізувати отримані величини екологічних витрат, то у більшості випадків величини екологічних витрат, які розраховані через мінімальні витрати води заданої забезпеченості перевищують ті, що отримані за методикою УкрГМЦ.

4. Виконаний авторами порівняльний аналіз екологічних витрат, які визначені за різними методиками, показує, що використання даних по мінімальному стоку дає добру збіжність з величинами, отриманими на даних про річний стік, отже є перспективним та дозволяє рекомендувати такий варіант визначення екологічних витрат нарівні з методикою, яка рекомендована УкрГМЦ.

Основні висновки *третього розділу* є наступні:

3.1. В результаті виконання етапу дослідження визначені, обґрунтовані та узагальнені розрахункові параметри запропонованої методики визначення характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Прикарпаття.

Узагальнення виконано на базі вихідної інформації по 52 водозборах правих гірських приток р. Дністер та басейн р. Прута в межах України.

Визначені такі розрахункові параметри:

- розрахунковий шар стоку, який визначається за регіональним рівнянням, яке залежить від висотного положення водозборів та їх залісеності;

- коефіцієнт часової нерівномірності рекомендується використовувати на рівні 9,19, звідки $=0,12$;

- тривалість схилового припливу визначається за картою ізоліній та залежить від висотного положення водозборів;

- трансформаційна функція визначається за регіональними залежностями в залежності від співвідношення $tr/T0$;

- коефіцієнт русло-заплавного регулювання визначається за регіональним рівнянням.

Наступним етапом буде практична реалізація запропонованої розрахункової методики для визначення максимального стоку дощових паводків на річках Прикарпаття для невивчених у гідрологічному відношенні річок.

3.2. Враховуючи потенційну загрозу для населення, яка викликає таке небезпечне природне явище, як Flash Floods, та з огляду на фізико-географічні умови формування паводків на річках Гірського Криму і неоднозначність прояву того чи іншого чинника формування стоку, необхідно з особливою відповідальністю поставитися до прогнозування паводків з урахуванням якісних і кількісних характеристик для запобігання

катастрофічних ситуацій на даній території. Тому сучасні методи розрахунку максимального стоку річок на даний час залишається актуальним науково-прикладним завданням для району Кримських гір. Обґрунтування характеристик схилового припливу є одним з основних етапів при розробці методики для визначення максимального стоку недосліджених у гідрологічному відношенні річок.

На даному етапі були отримані розрахункові значення характеристик схильного припливу паводків холодного періоду. Було досліджено, що основним фактором, який впливає на просторовий розподіл характеристик схилового стоку на території Криму, являється висота місцевості.

3.3. За результатами розрахунків було виконане географічне узагальнення основних складових максимального стоку весняного водопілля та дощових паводків, а саме шарів стоку рідкісної імовірності перевищення, тривалості схилового припливу та максимальних модулів схилового припливу для річок басейну р. Вісла.

Побудовані карти ізоліній шарів стоку весняного водопілля та дощових паводків, ізолінії проведені через 2 мм. Відповідні шари стоку змінюються від 36 мм на північному сході басейну до 68 мм на південний захід для шарів стоку весняного водопілля, та від 20 мм до 40 мм – для дощових паводків.

Ізолінії тривалості схилового припливу на відповідних побудованих картах для весняного водопілля проведені через 20 год, і збільшуються від 160 год на сході до 330 год на південний захід, відповідно, для дощових паводків ізолінії проведені через 10 год, і збільшуються від 50 год на півдні до 110 год на півночі.

Отримані карти ізоліній модулів схилового припливу показують, що найбільші величини для весняних водопіль ($4,0 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$) і дощових паводків ($1,8 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$) спостерігаються в суббасейні р. Сяну. Ізолінії

проведені через $0,5 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$ для весняних водопіль і через $0,2 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$ для дощових паводків.

Розроблена регіональна методика для визначення максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків на річках басейну р. Вісли, що базується на використанні операторної моделі формування стоку.

Оціненаточністьрозрахунків максимального модуля стокувесняного водопілля та дощовихпаводківбасейну р. Вісла. Так, середнє відносне відхилення розрахункових значень максимальних модулів стоку весняного водопілля складає $|\Delta| = \pm 24,3\%$, а дощових паводків $|\Delta| = \pm 20,1\%$, що вказує на те, що точність розрахунків знаходиться на рівні точності вимірювань максимального стоку.

Четвертий розділ має наступні основні висновки:

Основна мета дослідження – регіональні узагальнення розрахункових параметрів річного стоку (басейн р. Десна).

У цьому розділі оцінені просторово-часової мінливості параметрів річного стоку, досліджений ступень впливу місцевих факторів на його параметри та узагальнені розрахункові характеристики по території, які базуються на сучасних даних. В результаті виконаної роботи можна зробити висновки, що досліджені місцеві фактори формування річного стоку, не мають суттєвого впливу на його величину. В результаті побудована карта ізоліній норми річного стоку. По результатам перевірки адекватності карти ізоліній норми річного стоку, похибка складає $\pm 4 \%$. Коефіцієнти варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна узагальнені у вигляді регіональної залежності, що залежить лише від площі водозбору. Похибка визначення за формулою складає $14,8 \%$, що відповідає вихідній інформації і вимогам СНіП 2.01.14-83 (15%) при розрахунках річного стоку.

Розробленими, в рамках наукових досліджень, регіональними картою ізоліній та формулою можна користуватися для визначення норми стоку та її

мінливості при визначенні величини річного стоку за відсутністю даних спостережень досліджуваного району.

В *п'ятому розділі* можна зробити наступні висновки:

5.1 Розроблено та оцінено регіональну методика короткострокових прогнозів середніх за декаду витрат води літньо-осіннього періоду річок в басейні Південного Бугу.

Регіональна методика прогнозу середніх за декаду витрат води меженного літньо-осіннього стоку річок басейну р. Південний Буг на основі побудови (з 1980 по 2015 рр.) територіальних залежностей витрат води від попередніх витрат води (у модулях стоку) $\bar{q}_{t+10} = f(q_t)$ окремо для червня, липня та серпня оцінюється як задовільна – при забезпеченості допустимої похибки $P\%$ від 70 % до 88 %, а критерій якості та ефективності методики становить 0,76 – 0,81. Що стосується вересня місяця методика має незадовільну оцінку. Це пов'язано з тим, що в цьому місяці збільшується кількість опадів, які впливають на точність прогнозів.

Регіональна методика просторового прогнозу меженного літньо-осіннього стоку річки Південний Буг дозволяє випускати прогнози середніх за декаду витрат води для будь якої річки басейну, не залежно від наявності регулярних спостережень за стоком води.

Здійснена перевірка методики прогнозу річок басейну р. Південний Буг на незалежних даних за липень 2015 р. Оцінка справджуваності представлених результатів прогнозів середньо декадних витрат води показала, що всі прогнози є виправданими і за критерієм якості $\delta / \delta_{дон}$ оцінюються як відмінні та добрі, що дає підставу використовувати регіональну методика на практиці.

5.2 При застосуванні методу дискримінантного аналізу здійснено типізацію водопіль та виділено три групи водності (високої, середньої та низької), отримані коефіцієнти дискримінантних рівнянь для опорних гідрологічних постів в межах однорідних за умовами формування весняного

водопілля районів (підрайонів). При цьому, розв'язальним правилом дискримінації угруповань є встановлення максимального значення дискримінантної функції.

По одержаних дискримінантних рівняннях оцінку значимості дискримінації виконано за критерієм лямбда Вілкса λ , значення якого у більшості випадків становить $\lambda \leq 0,05$, що свідчить про наявність дискримінуючих особливостей обраних чинників, та за рівнем значимості p , який відображає наскільки достовірними є отримані результати, у всіх випадках близький до 0, тобто похибка не перевищує 5 %.

5.3 По виділених угрупованнях весняних водопіль за типом їх водності (високої, середньої та низької) побудовані прогнозні залежності для визначення шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля (у вигляді модульних коефіцієнтів). Отримані коефіцієнти прогностичних рівнянь, також як і для дискримінантної функції, є сталими, а залежності регіональними для всіх річок однорідного району (підрайону) при прогнозуванні шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг.

5.4 Очікувані шари стоку та максимальні витрати води весняного водопілля річок басейну р. Південний Буг визначено по їх спрогнозованим модульним коефіцієнтам при помноженні їх на середньобагаторічні значення. При цьому, для визначення середньобагаторічних стокових величин характеристик весняного водопілля та їх статистичних параметрів (коефіцієнтів варіації та асиметрії) використано гідрометеорологічні ряди – з початку спостережень по 2015 р. включно.

5.5 На основі проведеного статистичного аналізу гідрологічних рядів спостережень весняного стоку річок обґрунтовано, що прогнозні забезпеченості шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля річок басейну р. Південний Буг можуть бути встановлені за трипараметричним гама-розподілом С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля (при

врахуванні визначених автором середніх по району співвідношень коефіцієнтів варіації і асиметрії).

5.6 Перевагою методики довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг є представлення прогнозних величин не лише в табличному вигляді, а й у картографічній формі представлення прогнозних величин (у вигляді картосхем розподілу ізоліній цих величин). Такі картосхеми дають можливість одночасно характеризувати досить велику і неодноманітну за фізико-географічними характеристиками територію, оцінюючи зони підвищеного весняного стоку в поточному році та визначати частоту повторюваності очікуваних шарів весняного стоку та максимальних витрат води в багаторічному періоді для річок різних за площею та географічним положенням водозборів.

5.7 Виконана оцінка ефективності методики довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг, показала, що розроблена методика переважно відноситься до категорії «добра» та «задовільна» (критерій якості методики S/σ для шарів стоку весняного водопілля змінюється від 0,20 до 0,59 зі справджуваністю перевірних прогнозів P_Y , % в межах від 76 % до 100 %, а для максимальних витрат води – S/σ змінюється від 0,27 до 0,60 зі справджуваністю перевірних прогнозів P_Q , % в межах від 80 до 98 %). При оцінці ефективності методики, також, встановлено, що розроблена методика прогнозу має перевагу в порівнянні зі статистичною оцінкою за середньобагаторічним значенням. Завчасність прогнозів характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг збільшується зі збільшенням широти геометричних центрів водозборів та коливається для шарів стоку від 46 до 68 діб, а максимальних витрат води – від 21 до 34 діб.

5.8 В результаті, розроблена методика довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг може вважатися регіональною при можливості одержання параметрів методики для

всіх річок в межах виділених за умовами формування весняного стоку районах та може бути рекомендована для її практичного використання при випуску оперативних прогнозів в практичній діяльності гідропрогностичних підрозділів.

В шостому розділі можна зробити наступні висновки:

6.1 В результаті виконання роботи з досліджень сольових балансів озера Катлабух в умов його господарського використання зроблені такі основні висновки.

1. Через скорочення масштабів зрошування земель в останні десятиріччя забори води з водосховища Катлабух значно зменшились, а підкачки води з р. Дунай майже припинились. Це призвело до погіршення якості води. Зокрема, мінералізація в оз. Катлабух в останні роки сягає 2,0-3,5 г/дм³, що у 2-3,5 рази перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

2. При дослідженнях природних умов придунайського регіону України, зокрема, басейну озера Катлабух виявлено, що формування підвищеної мінералізації озера і, особливо, річок, які його живлять (до 6,0-7,5 г/дм³) обумовлено високою мінералізацією ґрунтових вод (від 0,3 до 8,4 г/дм³), розповсюдженням хлоридно-сульфатних солончакових ґрунтів і солончаків.

3. Розрахунок сольового балансу озера Катлабух показав, що загальна мінералізація води озера визначається умовами щорічного сезонного водообміну і зазнає значних часових і просторових змін. Протягом року мінералізація води в озері до початку вегетаційного періоду зменшується за рахунок припливу дунайської води (у південній частині озера), а потім, зі зменшенням кількості опадів і підвищенням випаровування, відсутності водообміну з Дунаєм, надходженням мінералізованих вод із стоком малих річок мінералізація зростає досягаючи найвищих у році значень.

4. Розрахунки сольового балансу озера Катлабух показали, що у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком річок становить 42,8 %, з водами р. Дунай – 34,9 %. З ґрунтовими водами, бічним припливом,

дренажними та з водами атмосферних опадів надходить відповідно 10,6 %, 5,6 %, 4,1 % та 3,8 % солей. У витратній частині втрати солей відбуваються з об'ємами води на зрошування та дорівнюють 45,6 %, а також витрачаються на скиди води до р. Дунай – 35,5 %, а втрати солей на фільтрацію становлять 18,9 %.

5. Графік часової мінливості спостереженої і розрахункової мінералізації води (за період 1980-2020 рр.) показав, що спостерігається добра збіжність розрахункових і вимірних значень мінералізації води. Багаторічний хід мінералізації води озера має багаторічні коливання, які пов'язані зі змінами гідротехнічних умов господарського використання озера Катлабух, водністю Дунаю та кліматичними змінами.

6.2 В даному розділі представлена характеристика Каховського водосховища, розписана формула для розрахунку водних балансів. В результаті аналізу точності визначення кожної складової водного балансу виявлено менш надійним розрахунок об'єму бічного припливу води з невивчених площ за методом аналогії. Запропоновано методику визначення цього об'єму використовуючи криві забезпеченості опадів та карти норми річного стоку.

6.3 В результаті виконання роботи по оцінці якості води за комплексом гідрохімічних показників можна зробити наступні висновки:

Екологічна і водогосподарська обстановка на Придунайських озерах вимагає комплексного підходу по вирішенню усіх проблем, що накопичилися з питним водопостачанням, забезпеченням зрошуваних земель, якістю поливної води, берегоруйнівними процесами, відведенням забруднених стоків, скидань в малі річки, реконструкції комплексу ГТС по забезпеченню водообміну в озері та ін.

Дослідження за описаними методиками оцінки якості води в озері Ялпуг-Кугурлуй за досліджуваний період показало, що в цілому стан озера можна охарактеризувати як умовно задовільний. Річки, що впадають до озера, високо мінералізовані і мають значне антропогенне навантаження.

Найбільше значення ІЗВ за середніми значеннями спостерігалось в р. Карасулак – с.Криничне у 2012 році (ІЗВ – 2,25).

При оцінці якості за коефіцієнтом забруднення КЗ гіршої якості була вода в р. Ялпуг та р. Карасулак, що оцінюється як помірно забруднена.

Для озера Катлабух і для річок, що в нього впадають також характерна висока мінералізація води, що перевищує нормативи від 2,5 до 7,8 разів (р. Єніка). Значний внесок в такі показники надають, в першу чергу, сульфатні іони, а також хлоридні та іони натрію та калію. Окрім цього відзначається значне забруднення біогенними речовинами, особливо нітратами, що стосується в першу чергу водних ресурсів малих річок,

Значний вплив на якість води мають показники ХСК та БСК₅(перевищення ГДК рибогосподарського призначення у 7-8 разів), найвищі показники відзначаються у річках Єніка, В. Катлабух і свідчать про значне забруднення органічними речовинами. У всіх досліджуваних водних об'єктах спостерігається значне забруднення важкими металами (марганець, залізо), а також фенолами і дещо в меншій ступені нафтопродуктами.

За результатами проведених розрахунків з оцінки якості води за методикою гідрохімічного індексу забруднення води (ІЗВ) видно, що найгірша за якістю вода в річках Єніка та Ташбунар (III клас), найкраща – в озері Катлабух(II клас).

При використанні методики коефіцієнта забрудненості (КЗ) для оцінки якості водних ресурсів досліджуваних об'єктів, можна зробити висновок, що вода гіршої якості притаманна р. Єніці та р. В. Катлабух і відноситься до класу «помірно забруднені», інші досліджувані об'єкти мають воду класу «слабко забруднена».

При порівнянні результатів з оцінки якості води за цими двома методиками, можна зробити висновок, що за коефіцієнтом забруднення (КЗ) використовується більша кількість показників, які більш повно характеризують якість води досліджуваного об'єкту. Тому рекомендується для оцінки якості води, особливо в малих річках, що піддаються значному

антропогенному навантаженню, використовувати методику оцінки якості води за коефіцієнтом забруднення.

Підсумовуючи отримані результати за період з 2000 по 2018 рр., можна зробити висновок, що в усіх досліджуваних об'єктах відмічається значне підвищення сольового складу, а також забруднення біогенними, органічними речовинами та такими забруднюючими речовинами, як важкі метали (марганець, залізо), феноли, нафтопродукти, які мають значний вплив на якість води.

Значний вплив на екологічний стан озер має також поверхневий стік з басейну самих озер, тому необхідно вирішувати питання на всіх рівнях як загальнодержавних, так і місцевих щодо виносу в природу прибережних смуг і проведення конкретних заходів за веденням господарської діяльності в водоохоронних зонах.

Також досить важливим є посилення роботи в рамках міжнародної угоди між урядом України та Молдови щодо посилення співробітництва з покращення стану водних об'єктів.

Загалом стає питання щодо розробки на державному та регіональному, а можливо і міжнародному рівні комплексної програми щодо оздоровлення Придунайських озер та розробці заходів щодо оздоровлення як самої акваторії озера, так і всього басейну.

Основною причиною такого стану досліджуваних об'єктів є значне антропогенне навантаження на водозбірну територію малих річок, що впадають в озера Ялруг та Катлабух, погіршуючи якість їх водних ресурсів. Одним із основних факторів погіршення якості води є недостатній водообмін у самих озерах через ряд негативних факторів, включаючи і географічне положення, і вплив змін клімату, і недосконалість управління експлуатаційними процесами.

Для покращення стану поверхневих вод в озерах Ялруг та Катлабух пропонується:

- провести детальний аналіз впливу людської діяльності та природних чинників на якість води озера і річок, що в нього впадають;
- як для самого озера так і для території його басейну розробити програму конкретних заходів проти забруднення води усіма можливими джерелами забруднення;

забезпечити дотримання природоохоронного законодавства усіма водокористувачами, проводити регулювання (обмеження) або повну заборону такої діяльності, що впливає на якість води, в тому числі і рибогосподарського водокористування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

До розділу 1

1. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" від 23 жовтня 2000 р. URL :http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962(Дата звернення: 08.11.2021 р.).

2. Директива №2007/60/ЕС Європейського Парламенту та Ради "Про оцінку та управління ризиками, пов'язаними з наводненнями (Директива про наводнення)" від 23 жовтня 2007 г. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b29#Text(Дата звернення: 08.11.2021 р.).

3. Guideto hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. World meteorological organization (WMO). No. 168. Fifth edition. 1994. 770 p.

<http://www.innovativehydrology.com/WMO-No.168-1994.pdf>

4. Guide to Hydrological Practices, Volume II: Management of Water Resources and Applications of Hydrological Practices. WMO. No. 168. 2009. 302 p. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=222

5. Екстремальні гідрологічні явища: паводки і посухи на території гірських регіонів України / за ред. Гопченка Є.Д.: монографія. Одеса: ТЕС, 2018. 324 с.

6. Овчарук В.А., Гопченко Є.Д. Модифікований варіант операторної моделі формування максимального стоку рівнинних річок України в умовах змін клімату : Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології : монографія / за ред. В.І. Осадчого та ін. Київ: Ніка-Центр, 2019. С.75 – 89.

7. PannEx White Book, A GEWEX Regional Hydroclimate Project (RHP) over the Pannonian Basin (2019). WCRP Report 3/2019, World Climate Research Programme (WCRP): Geneva, Switzerland, 108 pp. FQ4: Water management, droughts and floods – Contributors > Valeriya Ovcharuk<: FQ5: Education, knowledge transfer and outreach– Contributors > Valeriya Ovcharuk<

<http://www.wcrp-climate.org/WCRP-publications/2019/WCRP-Report-No3-2019-PannEx-WB.pdf>

8. Овчарук В.А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 300с.

9. Wissenschaft für den modernen menschen: medizin, chemie, landwirtschaft, geographie, architektur. Book 1. Part 2 / Овчарук В.А., Тодорова О.І., Лошовська О.П. Maximum runoff of spring flood in the Gorin river basin. Karlsruhe: NetAkhatAV, 2020.P. 100-113. p. DOI: [10.30888/978-3-9821783-1-8.2020-01-02-045](https://doi.org/10.30888/978-3-9821783-1-8.2020-01-02-045)

10. Шакірманова Ж.Р., Ємельянова К.Б. Дослідження характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Причорноморської низовини. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2020. P. 404-419. doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-19

11. Modelling of land surface waters: Notes of lectures for students of courses for further training and retraining of specialists. ShakirzanovaZh.R., Gopchenko E.D., OvcharukV.A., KichukN.S.; Odessa: TES, 2018. 112 p.

12. Шакірманова Ж.Р., Докус А.О., Тодорова О.І., Сербова З.Ф., Швець Н.М. Комплексний метод довгострокового прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля річок : Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології : монографія /за ред. В.І. Осадчого та ін. Київ: Ніка-Центр, 2019. С.58 – 74.

13. Шакірманова Ж.Р., Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія / Одеса: Бондаренко М. О., 2021. 244 с. (15,25 д.а.) ISBN 978-617-8005-42-9.

<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9674/>

14. Кущенко Л.В., Гопцій М.В., Тодорова О.І., Прокоф'єв О.М. Гідролого-генетичний аналіз часових рядів мінімального стоку річок в зоні недостатньої водності України за сучасних кліматичних умов. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. №3(54). С.51 – 52.

15. Овчарук В.А., Кущенко Л.В. Просторово-часовий аналіз меженого стоку річок зони недостатньої водності України. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2020. P. 223-240. doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-11

16. Овчарук В.А., Кущенко Л.В., Прокоф'єв О.М., Гопцій М.В., Андреевська Г.М. Мінімальний та екологічний стік річок в зоні недостатньої водності України. Екологічні науки. 2021. Вип. 2 (35). С. 30-36.

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.5>

17. Гопцій М.В., Овчарук В.А., Кущенко Л.В., Прокоф'єв О.М., Гоян Ю.О. Мінімальний водний стік району басейну річок Приазов'я в періоди літньо-осінньої та зимової межени. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. Т.2(60). С. 18-26. http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2021_2_4.

18. Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є., Погорелова М.П. Норма річного стоку в басейні річок Приазов'я. Екологічні науки : науково – практичний журнал. Київ: видавничий дім «Гельветика», 2020. № 6 (33). С.16-22.

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.2>

19. Бурлуцька М. Е., Романчук М. Є. Дослідження норми річного стоку в басейнах річок Прикарпаття. *The 8 th International scientific and practical conference “Worldscience: problems, prospects and innovations”* (April 21-23, 2021) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2021.P. 2178- 281 (ISBN 978-1-4879-3793-5)

20. Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є. Просторове узагальнення характеристик річного стоку по басейну р. Південний Буг. *VII Международная научно-практическая конференция «FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE MODERN WORLD»* направление «Географические науки». Бостон, США 7-19 февраля, 2021. С.260-267.

21. Медведева Ю.С., Гопченко Є. Д., Шакірманова Ж.Р. Водний і сольовий режими озера Китай: монографія. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.

22. Шакірманова Ж.Р., Романова Є.О. Водний і сольовий режими озера Катлабух: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет,

2021. 336 с. (21 д.а.) ISBN 978-966-186-167-0.
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/9594/>

23. Шакірманова Ж.Р., Кічук Н.С. Гідрохімія річок і водойм України: навчальний посібник. Одеса: ТЕС, 2019. 123 с.

24. Даус М.Є., Кічук Н.С., Романчук М.Є., Шакірманова Ж.Р. Динаміка мінералізації і вмісту головних іонів у поверхневих водах басейну Дніпра за період 1990-2015 роки. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. №3(50). С. 6-23.

25. Ovcharuk, V., Daus, M., Kichuk, N., Myroshnychenko, M., & Daus, Y. The analysis of time series of river water mineralization in the Dnipro basin with the use of theoretical laws of random variables distribution. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 2020. 29(1).Pp. 166-175.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112015>

До розділу 2

1. Водні ресурси. *Сталий розвиток для України*: веб-сайт. URL: <https://sd4ua.org/golovni-temi-stalogo-rozvitku/vodni-resursi/>(дата звернення: 28.02.2021).

2. Васютинська К.А., Барбашев С.В., Кімінчиджи М.І. Небезпека створення дефіциту водних ресурсів у регіонах України в умовах урбанізації. *Екологічні науки*. 2020. № 4(31). С. 42–48.

3. DIRECTIVE 2003/35/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 26 May 2003. *Official Journal of the European Union*. 2003. P. 17–24. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF(Accessed: 27.02.2021)

4. Дубинина В. Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). Москва: Экономика и информатика, 2001. 118 с.

5. Методические указания по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) / Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И. и др. Москва: Федеральное государственное учреждение «Межведомственная ихтиологическая комиссия», 2009. 39 с.

6. Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2020. 13 с.

7. Коренева И. Б., Христофоров А. В. Об оценке минимального экологического стока воды в реках. *Вестник Московского университета. Серия географическая*. 1993. № 1. С. 77–83.

8. Иофин З.К. Экологическая обоснованность остаточного минимального расхода воды. *Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: материалы научной конференции*. Иркутск, 2005. С. 80–83.

9. Иофин З.К. Экологически допустимые изъятия речного стока. *Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе: труды международной научной конференции, 19-20 окт. Москва, 2006*. С. 252–254.

10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия /под ред.М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1969. 884 с.

11. Визначення екологічно допустимих об'ємів відбору води з малих річок / Яцик А.В. та ін. *Вісник аграрної науки*. 2019, №3 (792). С. 57–62.

12. Руденко Л. Г., Чабанюк В.С., Бочковська А.І. Атлас України. Київ: Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», 1999-2000. URL: <http://www.isgeo.kiev.ua> (дата звернення: 25.02.2021).

13. Кущенко Л. В., Овчарук В. А. Умови формування меженного стоку річок в зоні недостатньої водності України. *Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ*, 02-08 травня. Одеса: ТЕС, 2018. С. 131–132.
14. Мінімальний та екологічний стік річок в зоні недостатньої водності України / Кущенко Л.В., Овчарук В.А, Прокоф'єв О.М. и др. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2021. № 2(35). С. 30-36 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.5>
15. Кущенко Л. В. Нормування меженного стоку на річках Півдня України. *Тези доповідей II Всеукр. гідрометеорологічного з'їзду*, 7-9 жовтня. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 69-70
16. Гопченко Є.Д., Гушля О.В. Гідрологія суші з основами водних меліорацій: навч. пос. Київ: ІСДО, 1994. 296 с.
17. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
18. Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 212 с.
19. Овчарук В.А., Кущенко Л.В. Порівняльний аналіз статистичних характеристик мінімального стоку річок в зоні недостатньої водності України. *Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених*, 25-29 травня. Одеса, 2020. С. 121–122.
20. LiliiaKushchenko, ValeriyaOvcharuk. Environmental runoff as indicators of social resilience of South of Ukraine to global climate change. *INTENSE Open Science Conference: Abstract Book*, 5-7 October. Online/Tartu, Estonia, 2021. Pp. 16-17.
21. Кущенко Л.В. Визначення характеристик маловоддя на півдні України. *Матеріали V-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук*, 1-2 липня. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 44-46.
22. Мінімальний водний стік району басейну річок Приазов'я в періоди літньо-осінньої та зимової межени / Гопцій М.В., Овчарук В.А., Кущенко Л.В. и др. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. Т.2(60). С. 18-26.

23. Кущенко Л.В. Визначення екологічних витрат та дефіцитів водності на річках півдня України. *Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*, 26-30 квітня. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 77-78.

До розділу 3

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / под ред. М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 884 с.

2. Гопченко Є.Д., Гопцій М.В. Максимальний стік дощових паводків у Передкарпатті: монографія / Одеськ. держ-ний екол-ний ун-т. Одеса: ТЕС, 2015. 128 с.

3. Екстремальні гідрологічні явища: паводки і посухи на території гірських регіонів України: монографія/ за ред. Є.Д.Гопченка / Одеськ. держ. екол-ний ун-т. Одеса: ТЕС, 2018. 324 с.

4. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А. Практическая реализация операторной модели максимального стока на примере рек Предкарпатья // *Наук. праці УкрНДГМІ*, 2007. Вип. 256. С. 197-206

5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 448 с

6. Мирза К.Л., Овчарук В.А. Катастрофічні паводки в Криму влітку 2021 року. *Тези доповідей Другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду*, 7-9 жовтня. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. С. 77-78.

7. Мирза К.Л., Овчарук В.А. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених*, 25-26 листопада. Харків. 2021. С. 38-40.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.4. Крым/ под ред. М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоздат, 1973. 848 с.
9. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины : монография Одесса : ТЭС. 2002. 110 с.
10. Соколовский Д.Л. Речной сток. Ленинград: Гидрометеоздат, 1968. 538 с.
11. Гопченко Е.Д. О редукации максимальных модулей дождевого стока по площади. *Метеорология, климатология и гидрология*. 1975. №12. С.66-71.
12. Calculating the characteristics of flash floods on small rivers in the Mountainous Crimea / Ovcharuk V., Gopchenko E., Todorova O. et al. *Geofizika*. 2020. Vol 37. №1. С. 27-43.
13. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса: ТЭС, 2002. 110 с.
14. Гопченко Е. Д., Романчук М. Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Київ: КНТ, 2005. 148 с.
15. Андреевская Г.М., Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графика притока воды склонов в русловую сеть. *Метеорология, климатология и гидрология*. 1996. Вып. 33. С. 106-110
16. СНіП 2.01.14-83. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. [Чинний від 1984-07-01]. Ленинград : Государственный гидрологический институт, 1984. 447 с.
17. Мартинюк М.О., Овчарук В.А. Використання ГІС-технологій для визначення залісеності басейнів річок Малого та Волинського Полісся. *Геологічне, гідрологічне та біологічне різноманіття Полісся* : зб. наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції до 130-річчя від дня народження видатного польського дослідника Полісся Станіслава Малковського та у рамках проведення Водного форуму до 105-річчя

Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне : НУВГП, 2020. С. 287–291.

18. Мартинюк М.О., Овчарук В.А. Визначення характеристик максимального стоку дощових паводків в басейні Вісли в межах України з використанням супутникових даних і ГІС-технологій. Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня. Одеса : ОДЕКУ, 2020. С. 114-115.

19. Maksym Martyniuk, Valeriya Ovcharuk. Application The Space Techniques To Measure The Area Forestation And Wetlands At The Basin Of The Vistula Within Ukraine. *4th Hydrospace-GEOGloWS2021*, 7-11 June. Virtualevent, 2021.

20. Martyniuk M.O., Ovcharuk V.A. Study of the influence of zonal and azonal factors on the maximum floods runoff in the Vistulabasin (within Ukraine). 3-rd Baltic Earth Conference. *Earth system changes and Baltic Seacoasts*. 1-5 June, Jastarnia, Hel Peninsula, Poland, 2020. P.76.

21. Мартинюк М.О., Овчарук В.А. Обґрунтування параметрів розрахункової методики для визначення максимального стоку річок району басейну Вісли. *Тези доповідей Другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду*, 7-9 жовтня. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. С. 75-76.

22. Maksym Martyniuk, Valeriya Ovcharuk. The modern method for calculating the maximum river runoff on the Vistula River Basin within Ukraine. *INTENSE Open Science Conference: Abstract Book*, 5-7 October. Online/Tartu, Estonia, 2021. P. 21-22.

23. Мартинюк М. О., Овчарук В.А. Визначення та узагальнення граничних модулів схилового припливу підчас паводків та водопіль в басейні р.Вісла. *Матеріали ХХ наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*, 26-30 квітня. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 79 – 82.

24. Овчарук В.А., Мартинюк М. О. Застосування операторної моделі для визначення максимальних модулів стоку весняних водопіль і дощових паводків річок басейну Вісли в межах України. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. Том 36. С. 22-33.

До розділу 4

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Гидрометеиздат. Ленинград, 1983. 448 с.

2. Гопченко Є.Д Овчарук В.А., Лобода Н.С. Гідрологічні розрахунки. Одеса:ТЕС, 2014.483с

3. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 303с

4. Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є., Колесник А.В. Мінливість у часових рядах річного стоку (на прикладі басейну р. Десна). *MODERNSCIENCES : PROBLEMS AND INNOVATIONS*: матеріали VIII Міжнародна научно-практична конференція напрямлення «Географічні науки», 18-20 жовтня. Стокгольм, Швеція. 2020. С. 145-149.

5. Рождественський А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

До розділу 5

1. Шакірманова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: конспект лекцій. Одеса: Вид-во ТЕС, 2010. 154 с.

2. Керівний документ. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування/ Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2012. 120 с.

3. Керівний документ. Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші / Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2015. 70 с.
4. Методика прогнозування сезонного меженного стоку річок Півдня України для забезпечення сталого водокористування / Шакірзанова Ж.Р., Погорелова М.П., Мостій А.С. и др. *Тези доповідей Другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду, 7-9 жовтня*. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. С.109-110.
5. Шакірзанова Ж.Р., Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія / Одеса: Бондаренко М. О., 2021. 244 с. (15,25 д.а.) ISBN 978-617-8005-42-9. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9674/>
6. Докус А. О., Шакірзанова Ж. Р. Районування басейну річки Південний Буг за умовами формування весняного водопілля річок. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Том 36. 2021.С.8-21.
7. Zhannetta Shakirzanova, Angelina Dokus. Development of tools for forecasting of maximum spring runoff to the black sea estuaries required for decision-making. *Abstract Book of INTENSE Open Science Conference "Socio-ecological resilience across Eurasia innovation for sustainability transition"*, 5-7 October. Online/Tartu, Estonia, 2021.P. 27-28.
8. Докус А.О., Шакірзанова Ж.Р. Методика довгострокового прогнозування екстремальних характеристик весняного водопілля на річках басейну Південного Бугу та річок Причорномор'я. *Тези доповідей II Всеукр. гідрометеорологічного з'їзду, 7-9 жовтня*. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 59-60.
9. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011-2015 рр. та весь період спостережень). Частина 1. Річки. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Довідкове видання. Київ, 2017. 465 с.
10. Докус А.О. Вплив кліматичних змін на річковий стік весняного водопілля в басейні Південного Бугу. *Матеріали V-го Всеукраїнського*

пленеру з питань природничих наук, 1-2 липня. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 22-24.

11. Шакірманова Ж.Р., Казакова А.О. Територіальне довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 3(38). С. 25-33.

12. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ. Дж.- О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И. С. Енюкова. Москва: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

13. Школьный С.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. Київ: Міносвіти України, 1999. 538 с.

14. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2010. 184 с.

15. Шакірманова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ФОб Бондаренко М.О., 2015. 252 с.

16. Нізіцький Максим, Докус А.О. Визначення основних гідрометеорологічних чинників формування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених, 25-26 листопада*. Харків. 2021.С. 91-93.

17. Dokus A.O., Shakirzanova Zh.R. Detection of the Climate Change Impact on the River Runoff of Spring Flood in Pivdenny Bug River Basin. *Conference Proceedings of International research-to-practice conference on «Climate services: Science and education»*, 22-24 September 2021. Odesa, Ukraine. P.103-104.

18. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD). СПб.: Питер, 2003. 688 с.

19. Шакірманова Ж.Р., Казакова А.О. Гідрометеорологічні чинники і характеристики весняних водопіль в басейні р. Південний Буг в сучасних кліматичних умовах. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. Вип. 20. С. 100-107.

20. Докус А.О. Дослідження часових рядів характеристик весняного стоку в басейні р. Південний Буг. *Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ*, 2-8 травня. Одеса, 2018. С. 63-64.

21. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеоздат, 1984. 450 с.

22. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.

23. Докус А.О., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Визначення середньобогаторічних величин максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. *Український гідрометеорологічний журнал*, 2019, № 24. С. 49-63. <https://doi.org/10.31481/uhmj.24.2019.05>.

24. Гопченко Е.Д., Шакірманова Ж.Р. Территориальное долгосрочное прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья: учебное пособие. Київ: КНТ, 2005. 240 с.

25. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.

26. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/994_b29 (Accessed: 21 December 2019).

До розділу 6

1. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая Гидрология: учеб. для геогр. спец. Вузов. Москва: Высш. шк., 1991. 368 с.

2. Гопченко Є.Д, Гушля О.В. Гідрологія суші з основами водних меліорацій: навч. посібник. Київ: ІСЛЮ, 1994. 296 с.
3. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія/ Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеса:ТЕС, 2014. 277 с.
4. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: монографія/ Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Н.С. Лободи, Є.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
5. Медведєва Ю.С., Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р.Водний і сольовий режим озера Китай: монографія/ Од. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.
6. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
7. FrolovA. V., VyrychalkinaT. Yu., SarkisyanS. G. Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake. *Water Resources*. 2018. 45(3)Pp. 318-325.
8. YusufujiangRusuli, LanhaiLi, SajjadAhmad, XinZhao. Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China.*Environmental Earth Sciences*. 2015. 74(3). Pp. 2499-2510.
9. Water balance of Lake Victoria / Okongu J. R., Sewagudde S. M., Mngodo R. J. et al. Lake Victoria Environmental Management Project, 2018. Pp.25-41
10. MahmoudM. A. Elgamal, KassemS. El-Alfy, MohamedG.M. Abdallah, FahmyS. AbdelhaleemandAhmadM. S. *Elhamrawy. RestoringWaterandSaltBalanceofQarunLake, Fayoum. Mansoura Engineering Journalof MansouraUniversityFacultyofEngineering*. 2017. 42. Pp.1-13.
11. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). Пятое изд. 1994. 844 с.

12. James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III, The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake. *Applied Geochemistry*. 2004. 19.Pp. 1827-1835.

13. Романова Є.О., Шакірзанова Ж.Р., Гопченко Є.Д., Медведєва Ю.С. Водний та сольовий баланси озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55). С. 23-40.

14. Романова Є.О. Водний і сольовий режими озера Катлабух за різних умов функціонування водойми: дис. доктора філософії: 103 «Науки про Землю». Одеса. 2020. 380 с.

15. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. Київ : Либідь, 1997. 382 с.

16. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. ВПЦ "Київський університет", 2019. 343 с.

17. Шакірзанова Ж.Р., Медведєва Ю.С., Романова Є.О., Станко М.І. Сучасні методи та технології гідрометеорологічних досліджень Придунайських водойм для забезпечення сталого водокористування в умовах зміни клімату. Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 7-9 жовтня 2021 року. С.107-108.

18. Shakirzanova Zh.R., Romanova Ye.O., Medvedieva Iu.S. Scientifically Substantiated Recommendations of Water Management of Katlabukh Lake under Current and Future Climate Change. Conference Proceedings. International research-topractice conference on «Climate services: Science and education», 22-24 September 2021. Odesa, Ukraine. P.48-49.

19. Ліхачов К.Д., Романова Є.О., Шакірзанова Ж.Р. Розробка програмного комплексу для розрахунку водного і сольового балансів озера Катлабух. *Інформаційні технології та взаємодії*. Матеріали доповідей VI Міжнародної наук.-практ. конф., 20 грудня. Київ. 2019. С. 145-150.

20. Каховское водохранилище. URL: http://myfisging.org.ru>kakhovskoe_vodokhranilishhe.727 (дата звернення: 10.09.2011).
21. Яцык А.В., Шмаков В.М. Гидроэкология. Киев: Урожай, 1992. 192 с.
22. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Раєвського, 2003. 343 с.
23. Методика расчетов водных балансов Каховского водохранилища/ за ред. Л.И. Лещенко, В.Г. Булат. Госкомгидромет СССР. Н.Каховка, 1991. 35 с.
24. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественский, А.Г. Лобанова. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
25. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Узагальнені оцінки випаровування з Каховського водосховища: монографія. Одеса: Полиграф, 2012. 130 с.
26. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Порівняльні розрахунки випаровування з водної поверхні Каховського водосховища в сучасних умовах. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип. 13. С.187-195.
27. СНіП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Москва : Стройиздат, 1985. 36 с.
28. Корягіна О.С. Визначення приходних складових водного балансу Каховського водосховища. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. №16. 209-214. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.28>
29. Тимко О.С., Шакірманова Ж.Р. Методика розрахунку шарів опадів та поверхневого припливу води до каховського водосховища. *Тези доповідей II Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду, 7-9 жовтня*. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. С. 99-100.
30. Тимко О.С. Характеристика Каховського водосховища та визначення складових його водного балансу. *Екологія, неоекологія, охорона*

навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали IX Міжнародної наукової конференції молодих вчених, 25-26 листопада. Харків. 2021. С. 57-59.

31. Тимко О.С. Дослідження водного режиму Каховського водосховища . Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 26-30 квітня. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 75-76.

32. Сніжко С.І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем. Київ : Ніка-Центр, 2006. 284 с

33. Е.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Н.С. Кічук. Современные проблемы, связанные с эксплуатацией Придунайских озер-водохранилищ. *Причорноморський екологічний бюлетень*. 2011. Вип.2. С.35 -41.

34.Формування гідрохімічного режиму та оцінка якості води у Придунайських озерах / Кічук Н.С., Шакірзанова Ж.Р., Медведєва Ю.С. и др. Наук. збірник «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія». 2016.Том 3(42). С.56-63.

35. Hydrochemical regime and water quality of the Danubian lake Katlabukh / Natalia Kichuk, Ivan Kichuk, Valeriya Ovcharuk et al. *XXIX Conference of the Danubian Countries*, 6-8 September. Brno, the Czech Republic. 2021. P. 44-45.

36. Поліщук В.В. Малі річки України та їх охорона. Київ: Тов. «Знання УРСР», 1988. – 32 с.

37. Екологічні основи управління водними ресурсами: навч. посіб. / А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін та ін. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 200 с.

38. Методика упорядкування водоохоронних зон річок України. Мінприроди України, Держводгосп України, УНДІВЕР, «Оріяни», Київ, 2004. –128 с.

Додаток А

Таблиця А.1 Вихідні та розрахункові данні р. Кодима – с. Катеринка (червень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{np}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
1	Кодима-Катеринка	1980	31,05	3,25	1,36	1-10.06	2,97	1,24	1,29	-0,05	0,00	21-31.05	1,43	1-10.06	1,24	-0,18	-0,184	0,03
2	2390		10,06	2,76	1,15	11-20.06	3,45	1,44	1,10	0,34	0,12	1-10.06	1,24	11-20.06	1,44	0,20	0,201	0,04
3			20,06	3,86	1,62	21-31.06	3,94	1,65	1,54	0,11	0,01	11-20.06	1,44	21-30.06	1,65	0,21	0,205	0,04
4		1981	31,05	4,3	1,80	1-10.06	3,5	1,46	1,71	-0,25	0,06	21-31.05	2,49	1-10.06	1,46	-1,03	-1,025	1,05
5			10,06	2,78	1,16	11-20.06	2,22	0,93	1,11	-0,18	0,03	1-10.06	1,46	11-20.06	0,93	-0,54	-0,536	0,29
6			20,06	2,08	0,87	21-31.06	1,53	0,64	0,83	-0,19	0,04	11-20.06	0,93	21-30.06	0,64	-0,29	-0,289	0,08
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
103		2014	31,05	0,77	0,08	1-10.06	1,37	0,57	0,08	0,49	0,24	21-31.05	0,34	1-10.06	0,57	0,23	0,230	0,05
104			10,06	1,61	0,18	11-20.06	1,21	0,51	0,17	0,34	0,11	1-10.06	0,57	11-20.06	0,51	-0,07	-0,067	0,00
105			20,06	1,09	0,12	21-31.06	1,27	0,53	0,11	0,42	0,17	11-20.06	0,51	21-30.06	0,53	0,03	0,025	0,00
106		2015	31,05	0,42	0,05	1-10.06	0,26	0,11	0,04	0,06	0,00	21-31.05	0,23	1-10.06	0,11	-0,13	-0,126	0,02
107			10,06	0,15	0,02	11-20.06	0,12	0,05	0,02	0,03	0,00	1-10.06	0,11	11-20.06	0,05	-0,06	-0,059	0,00
108			20,06	0,12	0,01	21-31.06	0,098	0,04	0,01	0,03	0,00	11-20.06	0,05	21-30.06	0,04	-0,01	-0,009	0,00

Таблиця А.2 – Вихідні та розрахункові данні р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка (червень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{np}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
109	Чорний Ташлик-Тарасівка	1980	31,05	1,76	0,79	1-10.06	2,29	1,03	0,75	0,28	0,08	21-31.05	1,04	1-10.06	1,03	-0,02	-0,018	0,00
110	2230		10,06	2,93	1,31	11-20.06	3,08	1,38	1,25	0,13	0,02	1-10.06	1,03	11-20.06	1,38	0,35	0,354	0,13
111			20,06	2,21	0,99	21-31.06	1,88	0,84	0,94	-0,10	0,01	11-20.06	1,38	21-30.06	0,84	-0,54	-0,538	0,29
112		1981	31,05	0,51	0,23	1-10.06	0,5	0,22	0,22	0,01	0,00	21-31.05	0,28	1-10.06	0,22	-0,05	-0,054	0,00
113			10,06	0,51	0,23	11-20.06	0,64	0,29	0,22	0,07	0,00	1-10.06	0,22	11-20.06	0,29	0,06	0,063	0,00
114			20,06	0,92	0,41	21-31.06	1,66	0,74	0,39	0,35	0,12	11-20.06	0,29	21-30.06	0,74	0,46	0,457	0,21
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
211		2014	31,05	1,86	0,83	1-10.06	1,88	0,84	0,79	0,05	0,00	21-31.05	0,37	1-10.06	0,84	0,48	0,475	0,23
212			10,06	1,78	0,80	11-20.06	1,77	0,79	0,76	0,03	0,00	1-10.06	0,84	11-20.06	0,79	-0,05	-0,049	0,00
213			20,06	1,47	0,66	21-31.06	1,68	0,75	0,63	0,13	0,02	11-20.06	0,79	21-30.06	0,75	-0,04	-0,040	0,00
214		2015	31,05	1,52	0,68	1-10.06	2,16	0,97	0,65	0,32	0,10	21-31.05	0,75	1-10.06	0,97	0,22	0,215	0,05
215			10,06	1,97	0,88	11-20.06	1,74	0,78	0,84	-0,06	0,00	1-10.06	0,97	11-20.06	0,78	-0,19	-0,188	0,04
216			20,06	1,89	0,10	21-31.06	1,92	0,86	0,09	0,77	0,59	11-20.06	0,78	21-30.06	0,86	0,08	0,081	0,01

Таблиця А.3 – Вихідні та розрахункові данні р. Інгул – с. Новогорожене (червень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{\text{нр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
217	Інгул-Новогорожене	1980	31,05	13,5	2,02	1-10.06	20,5	3,07	1,93	1,15	1,31	21-31.05	2,10	1-10.06	3,07	0,97	0,975	0,95
218	6670		10,06	29	4,35	11-20.06	33,9	5,08	4,14	0,94	0,89	1-10.06	5,08	11-20.06	5,08	0,00	0,000	0,00
219			20,06	21	3,15	21-31.06	15,6	2,34	3,00	-0,66	0,43	11-20.06	2,34	21-30.06	2,34	0,00	0,000	0,00
220		1981	31,05	7,97	1,19	1-10.06	7,33	1,10	1,14	-0,04	0,00	21-31.05	1,44	1-10.06	1,10	-0,34	-0,340	0,12
221			10,06	6,76	1,01	11-20.06	8,97	1,34	0,96	0,38	0,14	1-10.06	1,34	11-20.06	1,34	0,00	0,000	0,00
222			20,06	5,9	0,88	21-31.06	4,79	0,72	0,84	-0,12	0,02	11-20.06	0,72	21-30.06	0,72	0,00	0,000	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
319		2014	31,05	3,87	0,58	1-10.06	5,1	0,76	0,55	0,21	0,05	21-31.05	0,00	1-10.06	0,76	0,76	0,765	0,58
320			10,06	4,81	0,72	11-20.06	3,95	0,59	0,69	-0,09	0,01	1-10.06	0,76	11-20.06	0,59	-0,17	-0,172	0,03
321			20,06	4,69	0,70	21-31.06	4,07	0,61	0,67	-0,06	0,00	11-20.06	0,59	21-30.06	0,61	0,02	0,018	0,00
322		2015	31,05	2,79	0,42	1-10.06	2,72	0,41	0,40	0,01	0,00	21-31.05	0,63	1-10.06	0,41	-0,22	-0,217	0,05
323			10,06	2,67	0,40	11-20.06	3,55	0,53	0,38	0,15	0,02	1-10.06	0,41	11-20.06	0,53	0,12	0,124	0,02
324			20,06	4,57	0,69	21-31.06	4,58	0,69	0,65	0,03	0,00	11-20.06	0,53	21-30.06	0,69	0,15	0,154	0,02

Таблиця А.4 – Вихідні та розрахункові данні р. Тилігул – с. Березівка (червень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{\text{нр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
325	Тилігул-Березівка	1980	31,05	0	0,00	1-10.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1-10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
326	3170		10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1-10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
327			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
328		1981	31,05	1,18	0,37	1-10.06	0,47	0,15	0,35	-0,21	0,04	21-31.05	0,24	1-10.06	0,15	-0,09	-0,091	0,01
329			10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1-10.06	0,15	11-20.06	0,00	-0,15	-0,148	0,02
330			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
427		2014	31,05	0	0,00	1-10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1-10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
428			10,06	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1-10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
429			20,06	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
430		2015	31,05	0	0,00	1-10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1-10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
431			10,06	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1-10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
432			20,06	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00

Таблиця А.5 – Вихідні та розрахункові данні р. Великий Куяльник – с. Сиверинівка (червень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{\text{нр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
433	Великий Куяльник-Сиверинівка	1980	31,05	0	0,00	1 -10.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1 -10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
434	1840		10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
435			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
436		1981	31,05	0	0,00	1 -10.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1 -10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
437			10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
438			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
535		2014	31,05	0	0,00	1 -10.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1 -10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
536			10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
537			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00
538		2015	31,05	0	0,00	1 -10.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.05	0,00	1 -10.06	0,00	0,00	0,000	0,00
539			10,06	0	0,00	11-20.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.06	0,00	11-20.06	0,00	0,00	0,000	0,00
540			20,06	0	0,00	21-31.06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.06	0,00	21-30.06	0,00	0,00	0,000	0,00

Таблиця А.6 – Вихідні та розрахункові данні р. Кодима – с. Катеринка (липень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{\text{нр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}_n	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
1	Кодима-Катеринка	1980	30,06	4,14	1,73	1 -10.07	2,97	1,24	1,39	-0,15	0,02	21-30.06	1,65	1 -10.07	1,24	-0,41	-0,41	0,17
2	2390		10,07	3,35	1,40	11-20.07	3,45	1,44	1,13	0,32	0,10	1 -10.07	1,24	11-20.07	1,44	0,20	0,20	0,04
3			20,07	2,55	1,07	21-31.07	3,94	1,65	0,86	0,79	0,63	11-20.07	1,44	21-31.07	1,65	0,21	0,21	0,04
4		1981	30,06	1,23	0,51	1 -10.07	1,11	0,01	0,41	-0,40	0,16	21-30.06	0,64	1 -10.07	0,01	-0,63	-0,63	0,39
5			10,07	1,34	0,56	11-20.07	1,38	0,58	0,45	0,13	0,02	1 -10.07	0,01	11-20.07	0,58	0,57	0,57	0,32
6			20,07	1,15	0,48	21-31.07	1,44	0,60	0,39	0,22	0,05	11-20.07	0,58	21-31.07	0,60	0,03	0,03	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
103		2014	30,06	1,46	0,61	1 -10.07	0,96	0,40	0,49	-0,09	0,01	21-30.06	0,53	1 -10.07	0,40	-0,13	-0,13	0,02
104			10,07	0,66	0,28	11-20.07	0,47	0,20	0,22	-0,03	0,00	1 -10.07	0,40	11-20.07	0,20	-0,21	-0,21	0,04
105			20,07	0,33	0,14	21-31.07	0,32	0,13	0,11	0,02	0,00	11-20.07	0,20	21-31.07	0,13	-0,06	-0,06	0,00
106		2015	30,06	0,078	0,03	1 -10.07	0,067	0,03	0,03	0,00	0,00	21-30.06	0,04	1 -10.07	0,03	-0,01	-0,01	0,00
107			10,07	0,043	0,02	11-20.07	0,043	0,02	0,01	0,00	0,00	1 -10.07	0,03	11-20.07	0,02	-0,01	-0,01	0,00
108			20,07	0,025	0,01	21-31.07	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	11-20.07	0,02	21-31.07	0,01	-0,01	-0,01	0,00

Таблиця А.7 – Вихідні та розрахункові данні р. ЧорнийТашлик – с. Тарасівка(липень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{тр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
109	Чорний Ташлик-Тарасівка	1980	30,06	1,58	0,71	1 -10.07	1,75	0,78	0,57	0,22	0,05	21-30.06	0,84	1 -10.07	0,78	-0,06	-0,06	0,00
110	2230		10,07	1,76	0,79	11-20.07	1,53	0,69	0,63	0,05	0,00	1 -10.07	0,78	11-20.07	0,69	-0,10	-0,10	0,01
111			20,07	1,33	0,60	21-31.07	1,32	0,59	0,48	0,11	0,01	11-20.07	0,69	21-31.07	0,59	-0,09	-0,09	0,01
112		1981	30,06	2,21	0,99	1 -10.07	0,65	0,29	0,80	-0,51	0,26	21-30.06	0,74	1 -10.07	0,29	-0,45	-0,45	0,21
113			10,07	0,33	0,15	11-20.07	0,3	0,13	0,12	0,02	0,00	1 -10.07	0,29	11-20.07	0,13	-0,16	-0,16	0,02
114			20,07	0,27	0,12	21-31.07	0,25	0,11	0,10	0,01	0,00	11-20.07	0,13	21-31.07	0,11	-0,02	-0,02	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
211		2014	30,06	1,73	0,78	1 -10.07	1,91	0,86	0,62	0,23	0,05	21-30.06	0,75	1 -10.07	0,86	0,10	0,10	0,01
212			10,07	1,79	0,80	11-20.07	1,52	0,68	0,65	0,04	0,00	1 -10.07	0,86	11-20.07	0,68	-0,17	-0,17	0,03
213			20,07	1,38	0,62	21-31.07	1,04	0,47	0,50	-0,03	0,00	11-20.07	0,68	21-31.07	0,47	-0,22	-0,22	0,05
214		2015	30,06	1,55	0,70	1 -10.07	1,37	0,61	0,56	0,06	0,00	21-30.06	0,86	1 -10.07	0,61	-0,25	-0,25	0,06
215			10,07	1,11	0,50	11-20.07	0,97	0,43	0,40	0,03	0,00	1 -10.07	0,61	11-20.07	0,43	-0,18	-0,18	0,03
216			20,07	0,86	0,39	21-31.07	0,97	0,43	0,31	0,12	0,02	11-20.07	0,43	21-31.07	0,43	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.8 – Вихідні та розрахункові данні р. Інгул – с. Новогорожене(липень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{тр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
217	Інгул-Новогорожене	1980	30,06	15,7	2,35	1 -10.07	11,7	1,75	1,89	-0,14	0,02	21-30.06	2,34	1 -10.07	1,75	-0,58	-0,58	0,34
218	6670		10,07	7,44	1,12	11-20.07	6,33	0,95	0,90	0,05	0,00	1 -10.07	1,75	11-20.07	0,95	-0,81	-0,81	0,65
219			20,07	5,88	0,88	21-31.07	5,91	0,89	0,71	0,18	0,03	11-20.07	0,95	21-31.07	0,89	-0,06	-0,06	0,00
220		1981	30,06	4,57	0,69	1 -10.07	4,63	0,69	0,55	0,14	0,02	21-30.06	0,72	1 -10.07	0,69	-0,02	-0,02	0,00
221			10,07	4,88	0,73	11-20.07	4,53	0,68	0,59	0,09	0,01	1 -10.07	0,69	11-20.07	0,68	-0,01	-0,01	0,00
222			20,07	4,35	0,65	21-31.07	3,54	0,53	0,52	0,01	0,00	11-20.07	0,68	21-31.07	0,53	-0,15	-0,15	0,02
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
319		2014	30,06	4,21	0,63	1 -10.07	3,85	0,58	0,51	0,07	0,00	21-30.06	0,61	1 -10.07	0,58	-0,03	-0,03	0,00
320			10,07	3,37	0,51	11-20.07	3,23	0,48	0,41	0,08	0,01	1 -10.07	0,58	11-20.07	0,48	-0,09	-0,09	0,01
321			20,07	3,04	0,46	21-31.07	3,48	0,52	0,37	0,16	0,02	11-20.07	0,48	21-31.07	0,52	0,04	0,04	0,00
322		2015	30,06	4,54	0,68	1 -10.07	3,14	0,47	0,55	-0,08	0,01	21-30.06	0,69	1 -10.07	0,47	-0,22	-0,22	0,05
323			10,07	2,9	0,43	11-20.07	3,10	0,46	0,35	0,12	0,01	1 -10.07	0,47	11-20.07	0,46	-0,01	-0,01	0,00
324			20,07	2,52	0,38	21-31.07	2,39	0,36	0,30	0,05	0,00	11-20.07	0,46	21-31.07	0,36	-0,11	-0,11	0,01

Таблиця А.9 – Вихідні та розрахункові данні р. Тилігул – с. Березівка(липень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{тр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
325	Тилігул-Березівка	1980	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
326	3170		10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
327			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
328		1981	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
329			10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
330			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
427		2014	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
428			10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
429			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
430		2015	30,06	1,09	0,34	1 -10.07	0	0,00	0,28	-0,28	0,08	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
431			10,07	1,19	0,38	11-20.07	0	0,00	0,30	-0,30	0,09	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
432			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.10 – Вихідні та розрахункові данні р. Великий Куяльник р. Северинівка (липень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{тр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
433	Великий Куяльник-Северинівка	1980	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
434	1840		10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
435			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
436		1981	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
437			10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
438			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
535		2014	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
536			10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
537			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00
538		2015	30,06	0	0,00	1 -10.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-30.06	0,00	1 -10.07	0,00	0,00	0,00	0,00
539			10,07	0	0,00	11-20.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.07	0,00	11-20.07	0,00	0,00	0,00	0,00
540			20,07	0	0,00	21-31.07	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.07	0,00	21-31.07	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.11 – Вихідні та розрахункові данні р. Кодима – с. Катеринка (серпень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta_{\text{гпр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}_n	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
1	Кодима-Катеринка	1980	31,07	1,56	0,65	1 -10.08	1,27	0,53	0,53	0,00	0,00	21-31.07	1,65	1 -10.08	0,53	-1,12	-1,12	1,25
2	2390		10,08	1,01	0,42	11-20.08	0,8	0,33	0,34	-0,01	0,00	1 -10.08	0,53	11-20.08	0,33	-0,20	-0,20	0,04
3			20,08	0,77	0,32	21-31.08	0,8	0,33	0,26	0,07	0,01	11-20.08	0,33	21-31.08	0,33	0,00	0,00	0,00
4		1981	31,07	1,45	0,61	1 -10.08	1,09	0,46	0,49	-0,04	0,00	21-31.07	0,60	1 -10.08	0,46	-0,15	-0,15	0,02
5			10,08	0,75	0,31	11-20.08	0,56	0,23	0,25	-0,02	0,00	1 -10.08	0,46	11-20.08	0,23	-0,22	-0,22	0,05
6			20,08	0,47	0,20	21-31.08	0,51	0,21	0,16	0,05	0,00	11-20.08	0,23	21-31.08	0,21	-0,02	-0,02	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
103		2014	31,07	0,15	0,06	1 -10.08	0,096	0,04	0,05	-0,01	0,00	21-31.07	0,13	1 -10.08	0,04	-0,09	-0,09	0,01
104			10,08	0,073	0,03	11-20.08	0,057	0,02	0,02	0,00	0,00	1 -10.08	0,04	11-20.08	0,02	-0,02	-0,02	0,00
105			20,08	0,045	0,02	21-31.08	0,035	0,01	0,02	0,00	0,00	11-20.08	0,02	21-31.08	0,01	-0,01	-0,01	0,00
106		2015	31,07	1,8	0,75	1 -10.08	1,57	0,66	0,61	0,05	0,00	21-31.07	0,01	1 -10.08	0,66	0,65	0,65	0,42
107			10,08	1,47	0,62	11-20.08	1,17	0,49	0,50	-0,01	0,00	1 -10.08	0,66	11-20.08	0,49	-0,17	-0,17	0,03
108			20,08	0,9	0,38	21-31.08	0,86	0,36	0,30	0,05	0,00	11-20.08	0,49	21-31.08	0,36	-0,13	-0,13	0,02

Таблиця А.12 – Вихідні та розрахункові данні р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка (серпень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta_{\text{гпр}}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}_n	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
109	Чорний Ташлик-Тарасівка	1980	31,07	1,33	0,60	1 -10.08	1,31	0,59	0,48	0,10	0,01	21-31.07	0,59	1 -10.08	0,59	0,00	0,00	0,00
110	2230		10,08	1,23	0,55	11-20.08	1,26	0,57	0,45	0,12	0,01	1 -10.08	0,59	11-20.08	0,57	-0,02	-0,02	0,00
111			20,08	1,3	0,58	21-31.08	1,24	0,56	0,47	0,08	0,01	11-20.08	0,57	21-31.08	0,56	-0,01	-0,01	0,00
112		1981	31,07	0,24	0,11	1 -10.08	0,24	0,11	0,09	0,02	0,00	21-31.07	0,11	1 -10.08	0,11	0,00	0,00	0,00
113			10,08	0,23	0,10	11-20.08	0,74	0,33	0,08	0,25	0,06	1 -10.08	0,11	11-20.08	0,33	0,22	0,22	0,05
114			20,08	1,18	0,53	21-31.08	1,59	0,71	0,43	0,28	0,08	11-20.08	0,33	21-31.08	0,71	0,38	0,38	0,15
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
211		2014	31,07	0,82	0,37	1 -10.08	0,750	0,34	0,30	0,04	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,34	0,34	0,34	0,11
212			10,08	0,69	0,31	11-20.08	0,610	0,27	0,25	0,02	0,00	1 -10.08	0,34	11-20.08	0,27	-0,06	-0,06	0,00
213			20,08	0,37	0,17	21-31.08	0,520	0,23	0,13	0,10	0,01	11-20.08	0,27	21-31.08	0,23	-0,04	-0,04	0,00
214		2015	31,07	1,29	0,58	1 -10.08	1,040	0,47	0,47	0,00	0,00	21-31.07	0,43	1 -10.08	0,47	0,03	0,03	0,00
215			10,08	0,25	0,11	11-20.08	0,210	0,09	0,09	0,00	0,00	1 -10.08	0,47	11-20.08	0,09	-0,37	-0,37	0,14
216			20,08	0,34	0,15	21-31.08	0,35	0,16	0,12	0,03	0,00	11-20.08	0,09	21-31.08	0,16	0,06	0,06	0,00

Таблиця А.13 – Вихідні та розрахункові данні р. Інгул – с. Новогорожене (серпень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_{t + \Delta t}$	$q_{t + \Delta t}$	$Q_t + \Delta_{гпр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
217	Інгул-Новогорожене	1980	31,07	5,8	0,87	1 -10.08	5,89	0,88	0,70	0,18	0,03	21-31.07	0,89	1 -10.08	0,88	0,00	0,00	0,00
218	6670		10,08	6,01	0,90	11-20.08	5,87	0,88	0,73	0,15	0,02	1 -10.08	0,88	11-20.08	0,88	0,00	0,00	0,00
219			20,08	5,88	0,88	21-31.08	5,88	0,88	0,71	0,17	0,03	11-20.08	0,88	21-31.08	0,88	0,00	0,00	0,00
220		1981	31,07	3,21	0,48	1 -10.08	2,95	0,44	0,39	0,05	0,00	21-31.07	0,53	1 -10.08	0,44	-0,09	-0,09	0,01
221			10,08	2,9	0,43	11-20.08	2,87	0,43	0,35	0,08	0,01	1 -10.08	0,44	11-20.08	0,43	-0,01	-0,01	0,00
222			20,08	2,79	0,42	21-31.08	2,76	0,41	0,34	0,08	0,01	11-20.08	0,43	21-31.08	0,41	-0,02	-0,02	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
319		2014	31,07	2,94	0,44	1 -10.08	0,00	0,43	0,36	0,07	0,01	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,43	0,43	0,43	0,19
320			10,08	3,05	0,46	11-20.08	0,00	0,39	0,37	0,02	0,00	1 -10.08	0,43	11-20.08	0,39	-0,04	-0,04	0,00
321			20,08	2,17	0,33	21-31.08	0,00	0,41	0,26	0,14	0,02	11-20.08	0,39	21-31.08	0,41	0,02	0,02	0,00
322		2015	31,07	2,46	0,37	1 -10.08	2,44	0,37	0,30	0,07	0,00	21-31.07	0,36	1 -10.08	0,37	0,01	0,01	0,00
323			10,08	2,26	0,34	11-20.08	3,47	0,52	0,27	0,25	0,06	1 -10.08	0,37	11-20.08	0,52	0,15	0,15	0,02
324			20,08	3,09	0,46	21-31.08	2,31	0,35	0,38	-0,03	0,00	11-20.08	0,52	21-31.08	0,35	-0,17	-0,17	0,03

Таблиця А.14 – Вихідні та розрахункові данні р. Тилігул – с. Березівка (серпень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_{t + \Delta t}$	$q_{t + \Delta t}$	$Q_t + \Delta_{гпр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
325	Тилігул-Березівка	1980	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
326	3170		10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
327			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
328		1981	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
329			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
330			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
427		2014	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
428			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
429			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
430		2015	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
431			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
432			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.15 – Вихідні та розрахункові данні р. Великий Куяльник – с. Сиверинівка (серпень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_{t + \Delta t}$	$q_{t + \Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
433	Великий Куяльник-Сиверинівка	1980	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
434	1840		10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
435			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
436		1981	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
437			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
438			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
535		2014	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
536			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
537			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00
538		2015	31,07	0	0,00	1 -10.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21-31.07	0,00	1 -10.08	0,00	0,00	0,00	0,00
539			10,08	0	0,00	11-20.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1 -10.08	0,00	11-20.08	0,00	0,00	0,00	0,00
540			20,08	0	0,00	21-31.08	0	0,00	0,00	0,00	0,00	11-20.08	0,00	21-31.08	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.16 – Вихідні та розрахункові данні р. Кодима – с. Катеринка (вересень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_{t + \Delta t}$	$q_{t + \Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}_n	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
1	Кодима-Катеринка	1980	31,08	0,83	0,35	1 -10.09	0,83	0,35	0,34	0,00	0,000	21-31.08	0,33	1-10.09	0,35	0,01	0,01	0,00
2	2390		10,09	1,04	0,44	11-20.09	1,1	0,46	0,43	0,03	0,001	1 -10.09	0,35	11-20.09	0,46	0,11	0,11	0,01
3			20,09	1,2	0,50	21-30.09	1,07	0,45	0,50	-0,05	0,002	11-20.09	0,46	21-30.09	0,45	-0,01	-0,01	0,00
4		1981	31,08	0,55	0,23	1 -10.09	0,48	0,20	0,23	-0,03	0,001	21-31.08	0,21	1-10.09	0,20	-0,01	-0,01	0,00
5			10,09	0,47	0,20	11-20.09	0,76	0,32	0,19	0,12	0,015	1 -10.09	0,20	11-20.09	0,32	0,12	0,12	0,01
6			20,09	0,87	0,36	21-30.09	0,91	0,38	0,36	0,02	0,000	11-20.09	0,32	21-30.09	0,38	0,06	0,06	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
103		2014	31,08	0,032	0,01	1 -10.09	0,031	0,01	0,01	0,00	0,000	21-31.08	0,01	1-10.09	0,01	0,00	0,00	0,00
104			10,08	0,031	0,01	11-20.09	0,031	0,01	0,01	0,00	0,000	1 -10.09	0,01	11-20.09	0,01	0,00	0,00	0,00
105			20,09	0,031	0,01	21-31.09	0,031	0,01	0,01	0,00	0,000	11-20.09	0,01	21-30.09	0,01	0,00	0,00	0,00
106		2015	31,08	0,02	0,01	1 -10.09	0,021	0,01	0,01	0,00	0,000	21-31.08	0,36	1-10.09	0,01	-0,35	-0,35	0,12
107			10,09	0,02	0,01	11-20.09	0,021	0,01	0,01	0,00	0,000	1 -10.09	0,01	11-20.09	0,01	0,00	0,00	0,00
108			20,09	0,02	0,01	21-31.09	0,022	0,01	0,01	0,00	0,000	11-20.09	0,01	21-30.09	0,01	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.17 – Вихідні та розрахункові данні р. ЧорнийТашлик – с. Тарасівка (вересень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
109	Чорний Ташлик-Тарасівка	1980	31,08	1,94	0,87	1 -10.09	1,81	0,81	0,86	-0,05	0,002	21-31.08	0,56	1-10.09	0,81	0,26	0,26	0,07
110	2230		10,09	1,74	0,78	11-20.09	2,1	0,94	0,77	0,17	0,029	1 -10.09	0,81	11-20.09	0,94	0,13	0,13	0,02
111			20,09	2,21	0,99	21-30.09	2,27	1,02	0,98	0,04	0,002	11-20.09	0,94	21-30.09	1,02	0,08	0,08	0,01
112		1981	31,08	1,93	0,87	1 -10.09	1,86	0,83	0,85	-0,02	0,000	21-31.08	0,71	1-10.09	0,83	0,12	0,12	0,01
113			10,09	1,53	0,69	11-20.09	1,57	0,70	0,68	0,03	0,001	1 -10.09	0,83	11-20.09	0,70	-0,13	-0,13	0,02
114			20,09	1,84	0,83	21-30.09	1,34	0,60	0,81	-0,21	0,046	11-20.09	0,70	21-30.09	0,60	-0,10	-0,10	0,01
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
211		2014	31,08	0,69	0,31	1 -10.09	1,00	0,45	0,31	0,14	0,020	21-31.08	0,23	1-10.09	0,45	0,22	0,22	0,05
212			10,08	1,13	0,51	11-20.09	1,46	0,65	0,50	0,15	0,024	1 -10.09	0,45	11-20.09	0,65	0,21	0,21	0,04
213			20,09	1,86	0,83	21-31.09	2,49	1,12	0,82	0,29	0,086	11-20.09	0,65	21-30.09	1,12	0,46	0,46	0,21
214		2015	31,08	0,19	0,09	1 -10.09	0,32	0,14	0,08	0,06	0,004	21-31.08	0,16	1-10.09	0,14	-0,01	-0,01	0,00
215			10,09	0,44	0,20	11-20.09	0,50	0,22	0,19	0,03	0,001	1 -10.09	0,14	11-20.09	0,22	0,08	0,08	0,01
216			20,09	0,6	0,27	21-31.09	0,47	0,21	0,27	-0,05	0,003	11-20.09	0,22	21-30.09	0,21	-0,01	-0,01	0,00

Таблиця А.18 – Вихідні та розрахункові данні р. Інгул – с. Новогорожене (вересень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_r + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
217	Інгул-Новогорожене	1980	31,08	5,8	0,87	1 -10.09	5,84	0,88	0,86	0,02	0,000	21-31.08	0,88	1-10.09	0,88	-0,01	-0,01	0,00
218	6670		10,09	5,88	0,88	11-20.09	5,68	0,85	0,87	-0,02	0,000	1 -10.09	0,88	11-20.09	0,85	-0,02	-0,02	0,00
219			20,09	5,38	0,81	21-30.09	5,33	0,80	0,80	0,00	0,000	11-20.09	0,85	21-30.09	0,80	-0,05	-0,05	0,00
220		1981	31,08	2,79	0,42	1 -10.09	2,7	0,40	0,41	-0,01	0,000	21-31.08	0,41	1-10.09	0,40	-0,01	-0,01	0,00
221			10,09	2,69	0,40	11-20.09	2,74	0,41	0,40	0,01	0,000	1 -10.09	0,40	11-20.09	0,41	0,01	0,01	0,00
222			20,09	2,74	0,41	21-30.09	2,74	0,41	0,41	0,01	0,000	11-20.09	0,41	21-30.09	0,41	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
319		2014	31,08	2,01	0,30	1 -10.09	1,77	0,27	0,30	-0,03	0,001	21-31.08	0,41	1-10.09	0,27	-0,14	-0,14	0,02
320			10,08	1,85	0,28	11-20.09	2,71	0,41	0,27	0,13	0,018	1 -10.09	0,27	11-20.09	0,41	0,14	0,14	0,02
321			20,09	1,59	0,24	21-31.09	1,69	0,25	0,24	0,02	0,000	11-20.09	0,41	21-30.09	0,25	-0,15	-0,15	0,02
322		2015	31,08	2,18	0,33	1 -10.09	2,28	0,34	0,32	0,02	0,000	21-31.08	0,35	1-10.09	0,34	0,00	0,00	0,00
323			10,09	2,3	0,34	11-20.09	2,35	0,35	0,34	0,01	0,000	1 -10.09	0,34	11-20.09	0,35	0,01	0,01	0,00
324			20,09	2,37	0,36	21-31.09	2,4	0,36	0,35	0,01	0,000	11-20.09	0,35	21-30.09	0,36	0,01	0,01	0,00

Таблиця А.19 – Вихідні та розрахункові данні р. Тилігул – с. Березівка (вересень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
325	Тилігул-Березівка	1980	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
326	3170		10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
327			20,09	0	0,00	21-30.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
328		1981	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
329			10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
330			20,09	0	0,00	21-30.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
427		2014	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
428			10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
429			20,09	0	0,00	21-31.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
430		2015	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
431			10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
432			20,09	0	0,00	21-31.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця А.20 – Вихідні та розрахункові данні р. Великий Куяльник – с. Сиверинівка (вересень)

№	Річка - Пост	Рік	ДВП t	Q_t	q_t	$t + \Delta t$	$Q_t + \Delta t$	$q_{t+\Delta t}$	$Q_t + \Delta t_{пр}$	Δ	Δ^2	n	\bar{q}	n+1	\bar{q}_{n+1}	Δ_i	$\Delta_i - \bar{\Delta}$	$(\Delta_i - \bar{\Delta})^2$
433	Великий Куяльник-Сиверинівка	1980	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
434	1840		10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
435			20,09	0	0,00	21-31.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
436		1981	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
437			10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
438			20,09	0	0,00	21-30.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
535		2014	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
536			10,08	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
537			20,09	0	0,00	21-31.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00
538		2015	31,08	0	0,00	1 -10.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	21-31.08	0,00	1-10.09	0,00	0,00	0,00	0,00
539			10,09	0	0,00	11-20.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	1 -10.09	0,00	11-20.09	0,00	0,00	0,00	0,00
540			20,09	0	0,00	21-31.09	0	0,00	0,00	0,00	0,000	11-20.09	0,00	21-30.09	0,00	0,00	0,00	0,00

Додаток Б

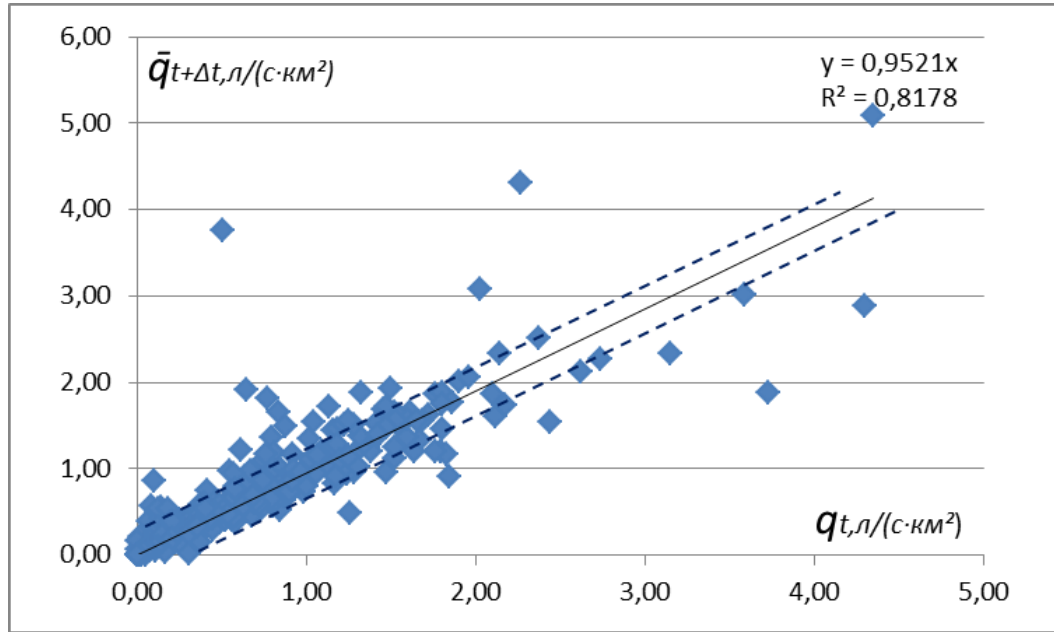


Рисунок Б.1 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку)

$$\bar{q}_{t+10} = f(q_t) \text{ по 5 опорним постам за червень}$$

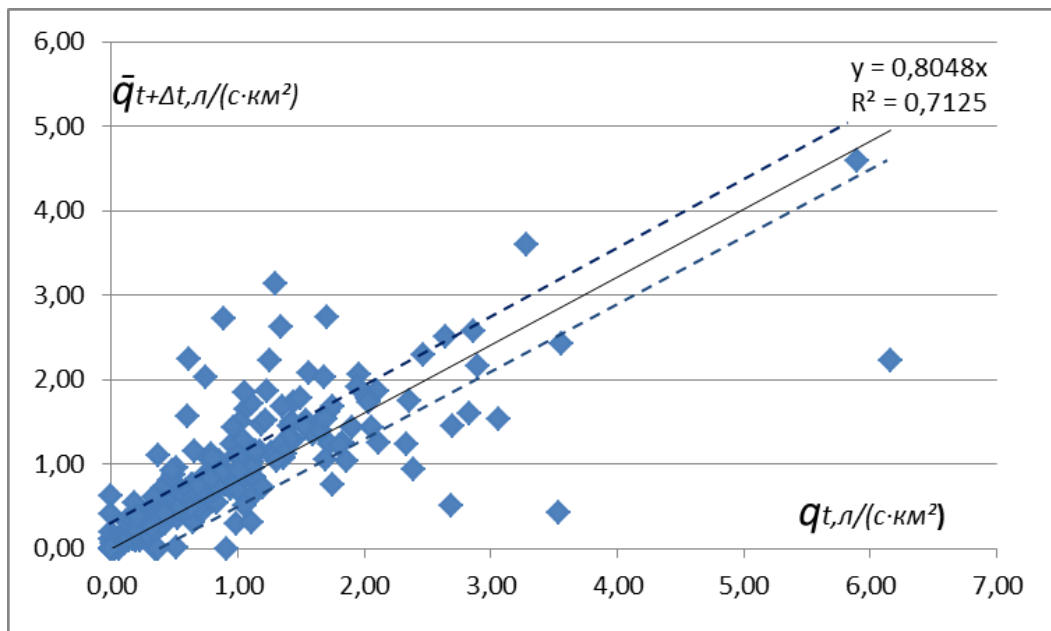


Рисунок Б.2 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за липень

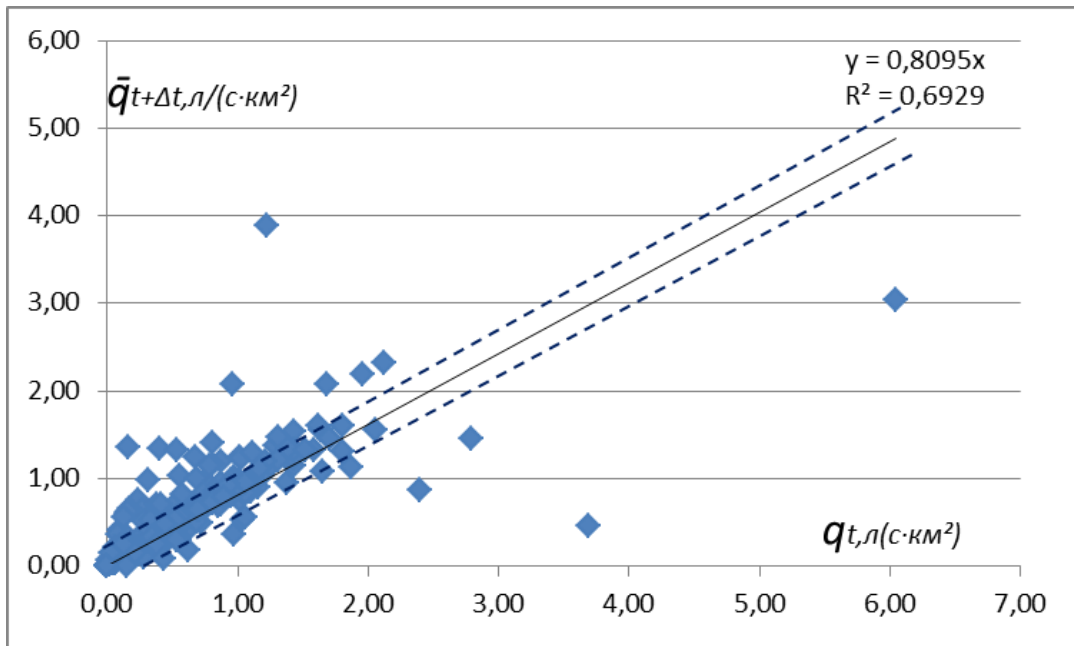


Рисунок Б.3 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за серпень

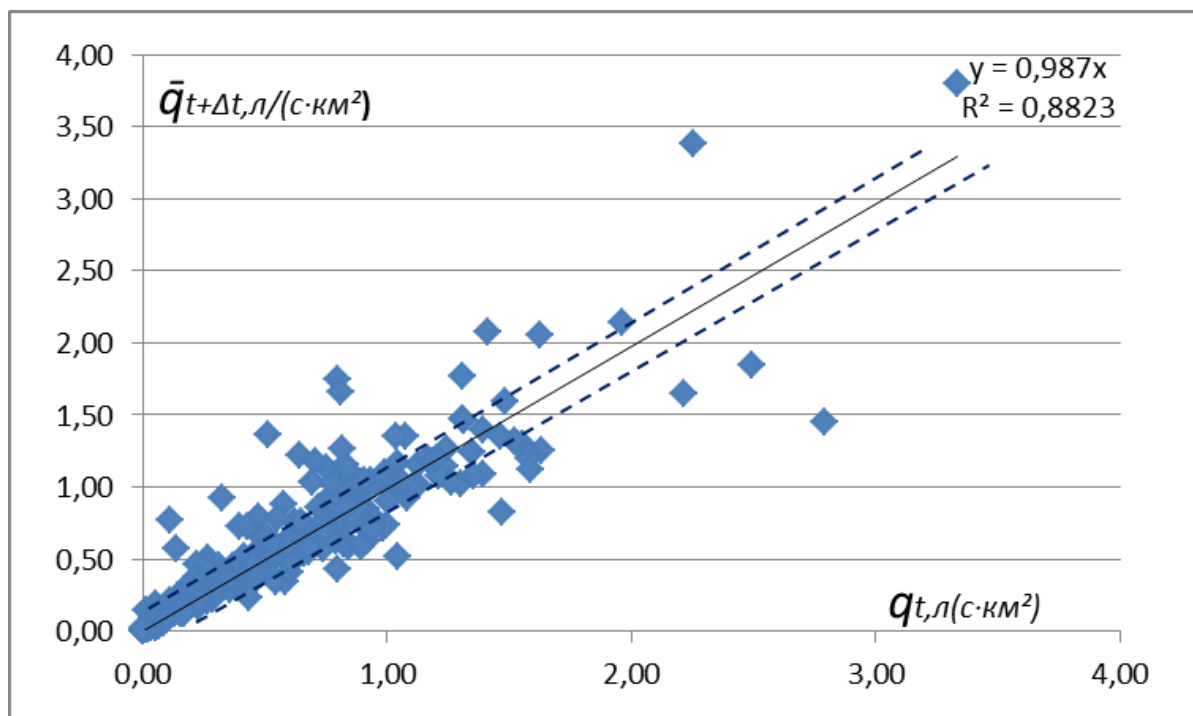


Рисунок Б.4 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за вересень

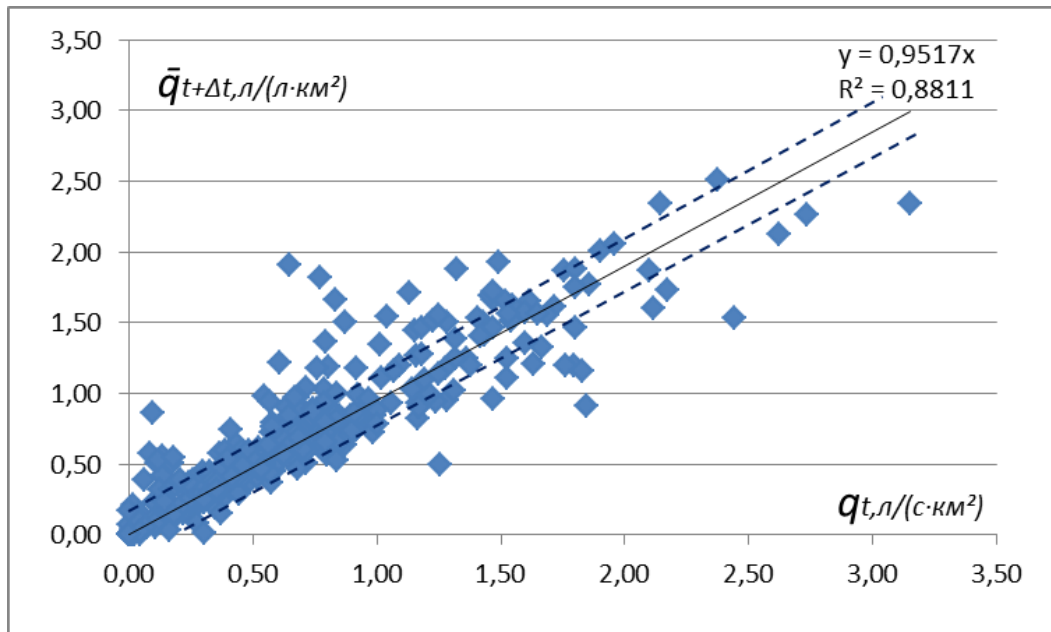


Рисунок Б.5 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за червень без урахування значень з великою кількістю опадів

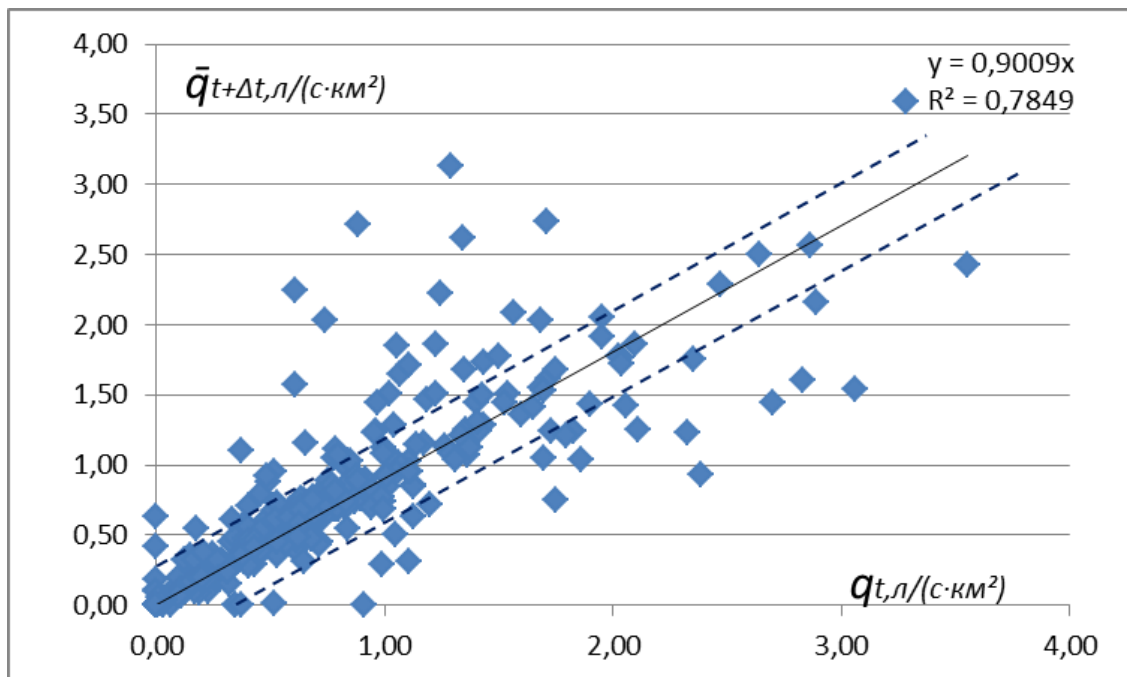


Рисунок Б.6 – Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за липень без урахування значень з великою кількістю опадів

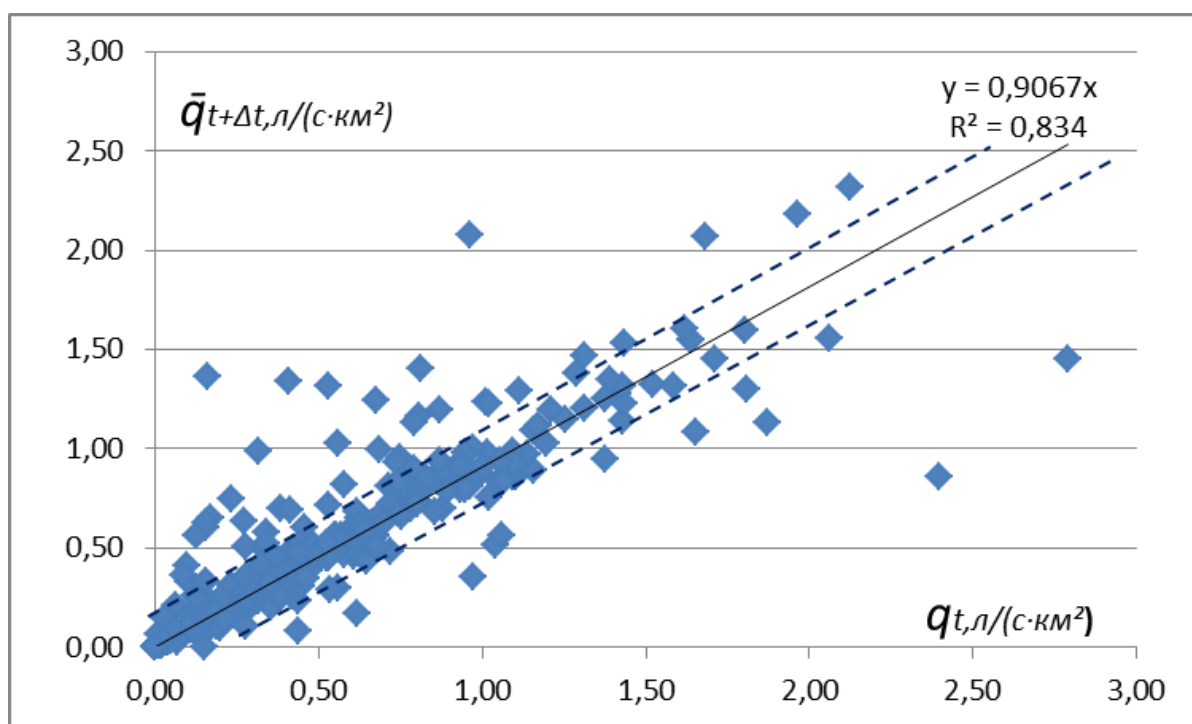


Рисунок Б.7– Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за серпень без урахування значень з великою кількістю опадів

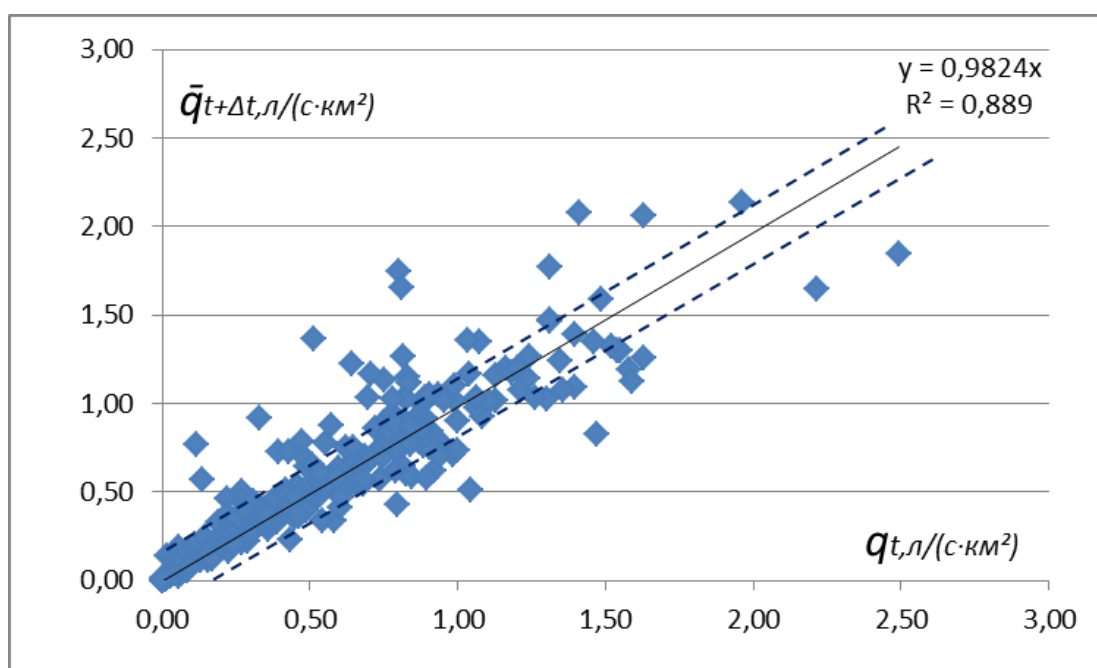


Рисунок Б.8– Регіональні прогностичні залежності (для модулів стоку) по 5 опорним постам за вересень без урахування значень з великою кількістю опадів