

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Божок Юлія Володимирівна

УДК 556.16”45”:556.167

РІЧНИЙ ТА МЕЖЕННИЙ СТІК РІЧОК ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО
ПРИЧОРНОМОР'Я В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси та гідрохімія

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Науковий керівник:
Лобода Наталія Степанівна
доктор географічних наук,
професор

Одеса – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я.....	13
1.1 Географічне положення та рельєф.....	13
1.2 Кліматичні умови.....	15
1.3 Ґрунти та рослинний покрив	18
1.4 Гідрогеологічна характеристика	22
1.5 Гідрометеорологічна вивченість.....	22
1.6 Водний режим.....	29
Висновки до розділу 1.....	32
РОЗДІЛ 2 ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕНОГО СТОКУ ПРИ НАЯВНОСТІ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	33
2.1 Методи визначення статистичних параметрів при наявності тривалих рядів спостережень.....	34
2.2. Методичні підходи до розрахунків річного стоку при недостатності даних спостережень.....	36
2.3 Обчислення статистичних параметрів річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень.....	38
2.4 Визначення статистичних параметрів меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень	50
Висновки до розділу 2.....	61
РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕНОГО СТОКУ ПРИ ВІДСУТНОСТІ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....	62
3.1 Просторово-часові узагальнення гідрологічних характеристик на базі даних спостережень для території України.....	62

3.2 Просторово-часові узагальнення характеристик річного стоку на території Північно-Західного Причорномор'я.....	63
3.3 Просторово-часові узагальнення річного стоку за генетичним підходом А.М. Бефані.....	71
3.4 Просторово-часові узагальнення характеристик мінімального стоку на території Північно-Західного Причорномор'я.....	74
Висновки до розділу 3.....	81
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕННОГО СТОКУ НА БАЗІ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ (МОДЕЛЬ «КЛІМАТ-СТІК»)	
4.1 Теоретичні основи визначення природного річного стоку за моделлю «клімат-стік».....	83
4.2 Визначення характеристик природного річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я на основі моделі «клімат-стік».....	90
4.3 Теоретичні основи визначення побутового річного стоку за моделлю «клімат-стік».....	96
4.4 Застосування моделі «клімат-стік» до визначення побутового річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я.....	101
4.4.1 Оцінка впливу штучних водойм на стік річок.....	101
4.4.2 Оцінка впливу зрошування на стік річок.....	107
4.5. Визначення характеристик меженого стоку річок Північно-Західного Причорномор'я.....	109
Висновки до розділу 4.....	116
РОЗДІЛ 5 ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕННОГО СТОКУ РІЧОК ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я В ОСТАННІ ДЕСЯТИРІЧЧЯ	
5.1 Основні тенденції змін кліматичних чинників та стоку у межах України	118
5.2 Тенденції у змінах кліматичних чинників Північно-Західного Причорномор'я	120
5.3 Тенденції у змінах характеристик річного та меженого стоку.....	127

Висновки до розділу 5.....	134
РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТУ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ	
ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЗА СЦЕНАРІЯМИ	
ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	
6.1 Огляд методів розрахунку стоку річок в умовах глобального потепління	135
6.2 Сценарії глобального потепління.....	140
6.3 Теоретичні основи моделювання водних ресурсів за сценаріями глобального потепління на основі моделі «клімат-стік».....	144
6.4 Оцінка змін кліматичних чинників та річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями глобального потепління.....	150
6.5. Застосування моделі «клімат-стік» до оцінки змін водних ресурсів окремих водних об'єктів в умовах глобального потепління та їх впливу на оточуюче середовище.....	162
Висновки до розділу 6.....	170
РОЗДІЛ 7 ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПОСУХ НА ФОРМУВАННЯ	
СТОКУ МЕЖЕНІ У СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ТА ЗА	
СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	
7.1 Види посух.....	172
7.2 Передумови виникнення посух та особливості їх просторово-часового розподілу на території України.....	173
7.3 Огляд методів визначення індексів метеорологічних посух.....	175
7.4 Характеристики метеорологічних посух на основі використання стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування (SPEI) для території Північно-Західного Причорномор'я.....	184
7.5 Характеристики посух та маловодних періодів стоку за сценаріями глобального потепління.....	192
7.6 Визначення чинників формування мінімального стоку на основі факторного аналізу.....	200
7.6.1. Основи методу факторного аналізу	200

7.6.2. Чинники мінімального стоку.....	205
7.7 Оцінка впливу посух на характеристики меженного стоку на основі регресійного аналізу.....	209
Висновки до розділу 7.....	218
ВИСНОВКИ.....	219
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	223
ДОДАТОК А.....	245
ДОДАТОК Б.....	247
ДОДАТОК В.....	252
ДОДАТОК Д.....	269
ДОДАТОК К.....	279
ДОДАТОК Л.....	295
ДОДАТОК М.....	298

ВСТУП

Актуальність теми обумовлена необхідністю визначення водності річок України в умовах змін клімату для науково обґрунтованого управління її водними ресурсами у майбутньому. Особливе значення такі дослідження мають у зоні степу, де наслідки потепління можуть призвести до руйнування водних ресурсів.

Проблемам оцінки водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я були присвячені роботи А.М. Бефані, Г.І. Швєбса, М.І. Ігошина, В.М. Гонтаренка, частково це питання висвітлено у роботах вчених Молдови (О.М. Мельничука, М.В. Лаликіна, Г.Г. Бєвзи, Р.М. Коробова). Вивченню гідрологічного режиму водойм Північно-Західного Причорномор'я та механізмів їх впливу на екосистеми присвячено багато наукових праць В.М. Тімченка та Ю.Д. Шуйського. Оцінка наслідків впровадження меліоративних заходів на зміни хімічного складу й властивості ґрунтів, місцевий стік була виконана такими науковцями як О.Г. Кулібабін, П.С. Лозовицький, О.О. Світличний. Програми і стратегії соціально-економічного розвитку досліджуваної території у їх зв'язку із природоохоронною діяльністю та створенням екологічної ситуації належать О.Г. Топчієву. Проте основна робота з розроблення нових та удосконалення існуючих методів гідрологічних розрахунків малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я проводилася в Одеському державному екологічному університеті (ОДЕКУ) у наукових школах вчених-гідрологів: А.М. Бефані, Є.Д. Гопченка, О.Г. Іваненка, Н.Ф. Бефані. Продовження їхніх досліджень та запровадження нових напрямків реалізується у теперішній час Н.С. Лободою, Ж.Р. Шакірзановою, В.А. Овчарук, М.Г. Сербовим.

Оцінки характеристик стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень не є достовірними та надійними через їх недостатню тривалість та трансформацію водогосподарськими заходами, до яких у останні десятиріччя додалися наслідки впливу змін клімату. У той же час приплив прісних вод від річок Північно-Західного Причорномор'я є важливою складовою

водних балансів лиманів розглядуваної території. Зміни водності річок в сучасних кліматичних умовах здатні впливати на гідрохімічний, гідробіологічний та гідроекологічний режими лиманів Одеської області й соціально-економічний стан прилеглих територій. Вирішення проблеми визначення водних ресурсів у природних та порушених водогосподарською діяльністю й глобальним потеплінням умовах можливе на основі імітаційного математичного моделювання із застосування моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ під керівництвом Є.Д. Гопченка та Н.С. Лободи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проблеми використання та охорони водних ресурсів України в умовах змін клімату належить до пріоритетних напрямків державної політики у проведенні соціально-економічних реформ (Постанова Кабінету Міністрів України №468 від 10 квітня 2006 р. «Про необхідність проведення заходів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату»).

Зміст дисертаційної роботи відповідає напряму Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (ратифікована 29 жовтня 1996 р.), Кіотського протоколу (ратифікований 4 лютого 2004 року), Регіональній програмі розвитку водного господарства Одеської області на період до 2021 р. (затверджена 18 вересня 2013 р.), Регіональній програмі по збереженню та відновленню водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 рр. (затверджена 21 лютого 2014 р.).

Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідної роботи кафедри гідроекології та водних досліджень «Оцінка та передбачення наслідків антропогенного впливу на водні ресурси річок України» (№ д/р 0108U005027, 2011-2012 рр.), міжкафедральної НДР кафедри гідроекології та водних досліджень і кафедри теоретичної метеорології та метеорологічних прогнозів ОДЕКУ «Посушливість клімату та наслідки її впливу на гідрологічний та гідроекологічний стан водних об'єктів України» (№ д/р 0113U000968, 2011-2014 рр.), госпрозрахункових НДР на замовлення Управління освіти і науки Одеської ОДА «Оцінка гідроекологічного стану верхньої частини Хаджибейського лиману від с. Єгоровка до с. Алтестове та розробка рекомендацій по поліпшенню водного

режиму та відновленню її біологічних ресурсів» (№ д/р 0111U010351, 2011 р.), «Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін» (№ д/р 0112U007606, 2012-2013 рр.), НДР МОН України «Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін» (№ д/р 0113U000696, 2013-2014 рр.), «Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін» (№ д/р 0115U000631, 2015 р.), міжнародного дослідницького проекту 7-ї Рамкової Програми ЄС FP7-ENV-2011 № 283157 «Комплексне управління водними ресурсами та прибережною зоною в Європейських лагунах за умов змін клімату» (2012-2014 рр.).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є оцінка змін характеристик річного та меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах змін клімату.

Для досягнення мети були сформульовані та вирішені такі задачі дослідження:

- установити зміни кліматичних чинників та характеристик річного й меженного стоку у останні десятиріччя на основі даних спостережень;
- визначити характеристики посушливості клімату та індекси посух й тенденції їхніх змін у останні десятиріччя;
- виявити роль посух у формуванні меженного стоку;
- визначити базові характеристики річного стоку на основі моделі «клімат-стік» та виявити тенденції їх можливих змін за сценаріями глобального потепління A1B та A2;
- оцінити зміни показників посушливості та індексів посухи за сценаріями глобального потепління A1B та A2;
- розробити методики розрахунків та прогнозів характеристик меженного стоку за даними про зміни клімату.

Об'єктом дослідження є водні ресурси річок Північно-Західного Причорномор'я в умовах змін клімату.

Предметом дослідження є характеристики річного та меженного стоку в умовах змін клімату.

Методи дослідження – методи парної та множинної регресії; метод факторного аналізу; математична модель «клімат-стік», яка базується на застосуванні метеорологічної інформації у балансових моделях природного кліматичного стоку та імітаційному стохастичному моделюванні побутового стоку.

Наукова новизна полягає у встановленні тенденцій змін кліматичних чинників та річного і меженного стоку на території Північно-Західного Причорномор'я у останні два десятиріччя та розрахунках їх змін у XXI сторіччі за даними сценаріїв глобального потепління A1B і A2 на основі моделі «клімат-стік».

Вперше для річок Північно-Західного Причорномор'я:

- виявлені закономірності змін кліматичних чинників формування стоку (за рік, теплий та холодний періоди) за даними кліматичних сценаріїв глобального потепління A1B і A2;
- установлені характеристики посушливості та індекси посух за минулі десятиріччя та за сценаріями глобального потепління A1B і A2;
- надані оцінки можливих змін характеристик річного стоку за сценаріями глобального потепління A1B і A2 на основі моделі «клімат-стік»;
- виявлені головні чинники формування характеристик стоку літньо-осінньої межени у період змін клімату на основі факторного аналізу;
- установлені показники метеорологічної посухи та закономірності їх можливих змін за сценаріями A1B та A2;
- показано внесок індексу посух SPEI у формування стоку літньо-осінньої межени на основі розробленої методики розрахунків та прогнозування характеристик меженного стоку з використанням регресійного аналізу.

Уточнено:

- закономірності змін кліматичних чинників у період значущих змін температурного режиму України (починаючи з 1989 р. до 2012 р.);
- статистичні параметри річного та меженного стоку, які розраховувалися за даними спостережень до 2012 р.;
- характеристики річного та мінімального стоку у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах невивчених у гідрологічному відношенні річок за моделлю «клімат-стік».

Дістало подальшого розвитку:

- теоретичні та практичні засади моделі «клімат-стік»;
- дослідження впливу змін глобального клімату на річний та меженний стік.

Практичне значення одержаних результатів полягає в установленні статистично значущих змін кліматичних чинників та характеристик річного та меженного стоку, які відбулися та мають відбутися у майбутньому на території Північно-Західного Причорномор'я. Отримані дані про можливе безповоротне руйнування місцевих водних ресурсів використовуються при обґрунтуванні стратегії управління водним господарством у XXI сторіччі, що включає до себе оптимізацію розміщення та експлуатації штучних водойм на річках, відновлення меліоративних систем, які виконують перекид стоку великих річок, збереження та відновленню водних ресурсів малих та середніх річок.

Розроблення методики розрахунку та прогнозу середньомісячного стоку у період літньо-осінньої межени дозволяють враховувати вплив зростання тривалості та інтенсивності посух через індекс SPEI (стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування).

Результати дисертації впроваджені в роботу Одеського обласного управління водних ресурсів, Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів, а також в навчальний процес при викладанні дисциплін «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (водне господарство)», «Оцінка, прогноз та управління якістю водних ресурсів» в ОДЕКУ.

Особистий внесок здобувача. Результати розрахунків та прогнозів, наведених у дисертації, належать здобувачеві.

Значна частина публікацій написана у співавторстві з керівником, якому належить теоретичне підґрунтя досліджень, а здобувачу – їх теоретична та практична реалізація.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати, отримані під час написання дисертації, доповідалися на VIII Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці» (м. Київ, 2012 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2012 р.), Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної гідрометеорології» (м. Одеса, 2012 р.), XII-XIV конференціях молодих вчених ОДЕКУ (м. Одеса, 2012-2014 рр.), XI з'їзді Українського географічного товариства «Україна: географія цілей та можливостей» (м. Київ, 2013 р.), Міжнародній конференції молодих вчених та аспірантів «Первые Виноградовские чтения. Будущее гидрологии» (м. Санкт-Петербург, 2013 р.), Міжнародній науковій конференції «Географія: виклики XXI сторіччя» (м. Сімферополь, 2014 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2014 р.), VI Всеукраїнській науковій конференції з міжнародною участю «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.), Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2014 р.), наукових семінарах міжнародного проекту «Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – LAGOONS» (Потсдамський інститут досліджень впливу змін клімату, м. Потсдам, Німеччина, 2013 р.), науковому семінарі «Посухи та опустелювання, як основний чинник деградації земель» (м. Одеса, 2014 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 31 наукова публікація, в тому числі 9 статей у фахових наукових виданнях, рекомендованих ДАК України, 2 статті у зарубіжних наукових виданнях, 19 тез доповідей, та 2 розділи в колективній монографії.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (216 найменувань), 7 додатків на 56 сторінках. Робота містить 62 рисунка, 56 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 300 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

1.1 Географічне положення та рельєф

Північно-Західне Причорномор'я розташоване в південній частині України між річками Дунай та Дніпро. Географічне положення визначається координатами його крайніх точок, тобто розміщенням між $45,0^\circ$ та $48,5^\circ$ півн. ш. й між $28,0^\circ$ та $32,5^\circ$ сх. д. Територія є витягнутою вздовж Чорного моря. З точки зору адміністративного поділу, в межах Північно-Західного Причорномор'я розташовані Одеська та Миколаївська області [2].

Основним елементом рельєфу є Причорноморська низовина, абсолютні відмітки якої не перевищують 120-150 м БС (рис. 1.1) і поступово зменшуються до 50-0 м БС. Вона складається з переважно молодих морських відкладень й відрізняється від інших рівнин плоскою поверхнею і дуже незначним ухилом у бік Чорного моря. Береги річок порізані балками та ярами, вододіли плоскі [149].

Річки межиріччя Дунай-Дністер беруть початок з Центрально-Молдавської та Тігетської височин, річки межиріччя Дністер-Південний Буг витікають з Подільської височини, а витoki лівобережних приток нижньої течії Південного Буга розміщуються на Придніпровській височині.

В межах Північно-Західного Причорномор'я виділяють кілька геоморфологічних областей. Власне Причорноморська акумулятивна лесова рівнина охоплює території, які прилягають до Причорноморського узбережжя та низов'їв р. Дніпро. Подільська та Придніпровська височини також утворюють окремі геоморфологічні райони [75].

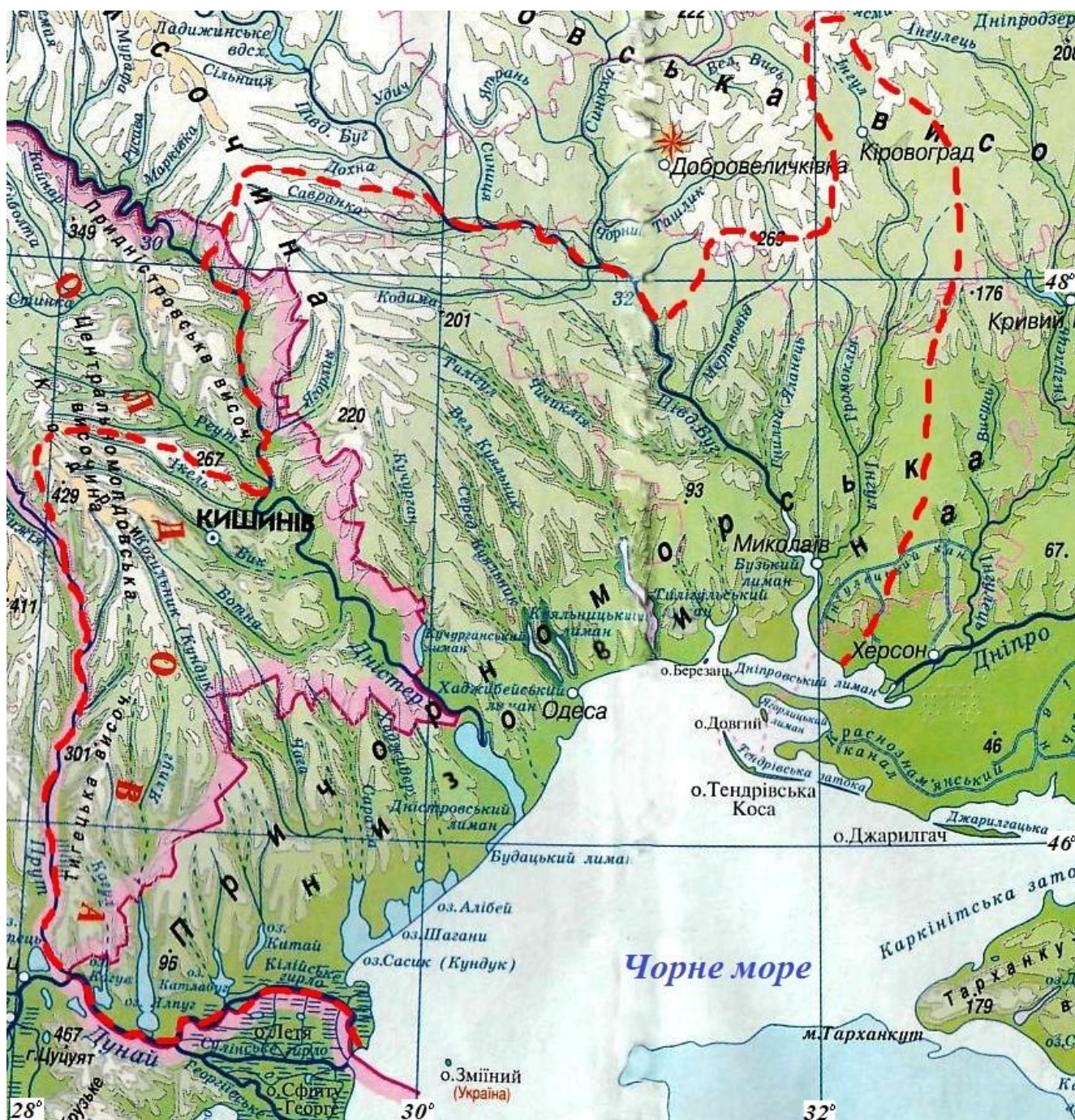


Рис. 1.1. Схема Північно-Західного Причорномор'я (- - - границя досліджуваної території) [2]

Північно-Західне Причорномор'я розташоване в межах стародавніх платформених структур Європи: Східно-Європейської та Скіфської. З великих геоструктур Східно-Європейської платформи на досліджуваній території знаходяться Причорноморська западина, Український щит з його південними схилами, Переддобруджинська западина та складчаста зона Добруджі [77].

У геологічній будові території представлені метаморфічні й осадові породи докембрію, палеозою, мезозою і кайнозою [149].

1.2 Кліматичні умови

Територія Північно-Західного Причорномор'я належить до Північної кліматичної та Південної кліматичної областей. Північна кліматична область відповідає зоні лісостепу, а південна – територіально співпадає зі степовою зоною [78]. Переважає антициклональний тип погоди, клімат помірно-континентальний, теплий з тривалим літом і нестійкою зимою. Вирішальний вплив у формуванні клімату надає радіаційний фактор, роль якого в холодний період року послаблюється адвекцією повітряних мас.

Згідно з агрокліматичним районуванням [75] територія Північно-Західного Причорномор'я відноситься до агрокліматичних районів Центрального і Східного лісостепу, Північного та Південного степу.

Внутрішньорічний хід температури повітря нерозривно пов'язаний з припливом сонячної енергії до земної поверхні. Найхолодніший місяць року на розглянутій території – січень, найтепліший – липень. Середні температури січня коливаються від $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, липня – від $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ до майже $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл.1.1).

За початок зимового сезону приймається стійкий перехід температури повітря через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, який відбувається у другій декаді грудня. Закінчується зимовий сезон в кінці лютого. З квітня збільшується приплив сонячної радіації до земної поверхні.

Таблиця 1.1

Середні багаторічні величини температури повітря на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Метеостанція	Період спостережень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Одеса	1900-2013 рр.	-1,7	-1,3	2,5	8,8	15,2	19,7	22,2	21,7	17,0	11,3	5,6	0,9	10,2
Ізмаїл	1946-2012 рр.	-1,3	0,0	4,1	10,6	16,4	20,5	22,6	22,0	17,1	11,1	5,6	1,0	10,9
Сарата	1960-2012 рр.	-1,7	-0,5	3,6	10,1	16,1	20,2	22,3	21,6	16,5	10,7	5,3	0,5	10,4
Роздільна	1961-2007 рр.	-3,1	-1,9	2,6	9,8	15,9	19,5	21,6	21,1	16,1	10,0	3,9	-0,8	9,6
Затишся	1966-2012 рр.	-3,6	-2,1	2,5	10,0	15,9	19,3	21,4	20,7	15,7	9,7	3,3	-1,4	9,3
Любашівка	1961-2011 рр.	-4,2	-3,0	1,7	9,3	15,4	18,8	20,7	20,1	15,2	8,9	3,0	-1,7	8,7
Баштанка	1936-2012 рр.	-3,9	-2,9	1,7	9,3	15,6	19,7	22,0	21,2	15,7	9,0	3,2	-1,4	9,1

Таблиця 1.2

Середні багаторічні величини сум опадів на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Метеостанція	Період спостережень	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Одеса	1900-2013 рр.	35	32	28	30	37	48	42	36	35	34	39	39	434
Ізмаїл	1946-2012 рр.	31	31	28	33	47	56	47	36	54	43	37	39	478
Сарата	1960-2012 рр.	31	29	27	31	45	74	53	46	45	28	35	39	484
Роздільна	1961-2007 рр.	33	34	30	39	50	75	60	45	46	32	42	40	525
Затишся	1966-2012 рр.	37	38	29	35	48	70	65	43	41	35	37	40	518
Любашівка	1961-2011 рр.	37	34	33	37	51	67	77	53	46	32	43	40	549
Баштанка	1936-2012 рр.	29	29	24	32	42	64	49	44	35	28	35	34	444

Початок теплого періоду визначається по переходу температури повітря через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість літнього сезону обмежується датами переходу середньої добової температури через $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ [150]. В середньому літній сезон триває з травня по вересень. В цей період температурний режим визначається насамперед радіаційними умовами і характеризується малохмарною погодою та слабкими вітрами. З вересня по жовтень проявляється дія відрогів підвищеного тиску, орієнтованих зі сходу [40]. Більш рідкісні вторгнення арктичного повітря приносять сильні морози, навесні та восени – заморозки, суховії.

Взимку на погодні умови впливає Сибірський антициклон, значно менший вплив арктичних антициклонів. У теплий період переважає дія Азорського антициклону. Активна циклонічна діяльність пов'язана із південними циклонами, які надходять до Північно-Західного Причорномор'я від Середземного моря з жовтня до березня.

У сучасності кліматичні умови постійно змінюються, що пов'язується із глобальним потеплінням. Атмосферна циркуляція є головним проявом зміни клімату [78,126]. Азорський антициклон і Ісландський циклон переміщуються на схід відносно їх положення у попередні десятиріччя, обумовлюючи вплив теплих повітряних мас. Зменшилась територія впливу Сибірського антициклону. У теплий період року зростає роль сонячної радіації у формуванні загальної циркуляції атмосфери. Роль Північно-Атлантичного колювання поширилася з Правобережної на Лівобережну Україну [39].

Неоднорідність підстильної поверхні Північно-Західного Причорномор'я призводить до різномірності в температурному полі і полі тиску на близько розташованих територіях. Як відомо, над Чорним морем у холодне півріччя за рахунок термічних і динамічних чинників формується поле зниженого тиску – Чорноморська депресія. У теплий період року великий вплив має Близькосхідна депресія, улоговина якої поширюється з півдня і південного сходу, а також спостерігається місцевий циклогенез в східній частині Чорного моря. Для опису регіональної циркуляції атмосфери на узбережжі Чорного моря І.Г. Семеновою [163] введений індекс Чорноморського колювання BSO, який базується на різниці

тиску Східної Європи (Київ, Україна) та басейну Чорного моря (Синоп, Туреччина).

Характеристикою зволоженості території є середня багаторічна величина річних опадів [45]. Загальною закономірністю просторового розподілу опадів є їх зменшення з північного заходу на південний схід. У минулому сторіччі норма річних опадів змінювалася від 550 до 450 мм у напрямку з північного сходу на південний захід [43]. Ця закономірність порушується впливом рельєфу. В межах Центрально-Молдавської та Тігетської височин, де беруть початок річки Дунай-Дністровського межиріччя, кількість опадів зростає до 650 мм. Близько 96% опадів мають адвективне походження. В середньому за рік випадало 82-84% рідких, 8-11% – змішаних і 6-8% – твердих опадів [149]. Сума опадів теплого періоду перевищувала суму опадів холодного періоду. Випадання рясних опадів холодного періоду пов'язано з виходом в південні області України середземноморських циклонів або вторгненням холодних повітряних мас з півночі. Стійкий сніговий покрив на досліджуваній території утворювався менше ніж у 50% випадків. На території Причорноморської низовини через часті відлиги число зим без стійкого снігового покриву становить близько 90%. Максимальні місячні суми опадів спостерігаються в червні-липні (табл. 1.2). Абсолютний максимум місячної кількості опадів зафіксований у липні на метеостанції Любашівка, а абсолютний мінімум – у серпні на метеорологічних станціях Одеса та Білгород-Дністровський [38].

1.3 Ґрунти та рослинний покрив

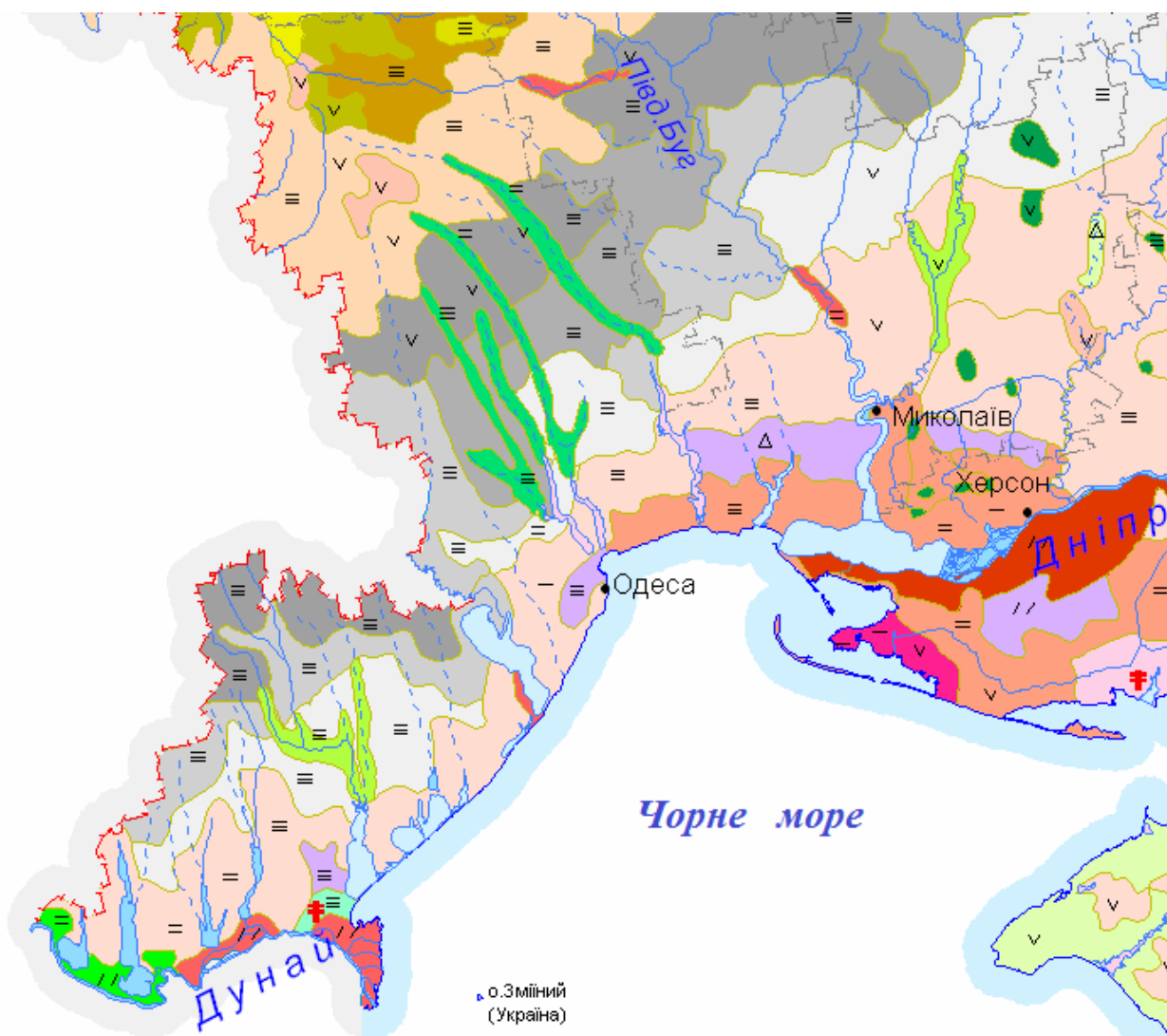
З точки зору фізико-географічного (природного) районування [125] більша частина розглядуваної території входить до складу степової природної зони України, а північно-західна та північна частини - до лісостепової зони. Степова зона розділяється на дві зони: Північний степ та Південний степ. У відповідності

із природною зональністю формується просторовий розподіл ґрунтів та рослинності.

Ґрунтовий покрив Північно-Західного Причорномор'я (рис.1.2) сформувався на лесових породах, ґрунти представлені в основному чорноземами. У степовій зоні поширені малогумусні чорноземи, чорноземи південні й темно-каштанові слабосолонцюваті [61]. В дельтах та долинах річок формуються лучно-чорноземні, лучні, дерново-глеєві, глинисто-піщані ґрунти. В північній лісостеповій частині ґрунтовий шар досить різноманітний, але більшу частину цієї території покривають опідзолені чорноземи та їх деградовані різновиди. В багатьох місцях зустрічаються сірі лесові ґрунти.

Північну частину степової зони займають різнотравно-типчакково-ковилові стеги, де рослинними домінантами виступають злаки (ковила, типчак, кипець) та різнотрав'я (шавлія поникла, вероніка, степові тюльпани, горицвіт) (рис.1.3). Поширені у цих степах і чагарникові зарості (терен, мигдаль, карагана). Далі на південь сформувалися типчаккові-ковилові стеги з абсолютною перевагою високолистих сухолюбних злаків й невеликою домішкою ксерофітного різнотрав'я (кермек, грудниця волохата, маруна). Помітне місце у рослинному покриві типчакково-ковилових степів навесні та на початку літа займають ефемери. Частка лісів становить 4-10%. У невеликих дібровах переважають дуб та сосна [149].

Проте природний рослинний фонд степу зберігся лише на заповідних територіях. Понад 80% загальної території займають сільськогосподарські угіддя, з них більше двох третин знаходяться під ріллею [75]. На посівних площах вирощують зернові та зернобобові, серед яких найбільше розповсюдження має озима пшениця. З технічних культур вирощується соняшник. У тваринництві розвивається поголів'я великої рогатої худоби та овець і кіз [3].



	Чорноземи звичайні глибокі мало й середньогумусні
	Чорноземи звичайні середньогумусні
	Чорноземи звичайні малогуmusні
	Чорноземи звичайні неглибокі малогуmusні
	Чорноземи південні малогуmusні та слабогуmusні
	Чорноземи південні залишково-солонцюваті
	Лучно-чорноземні ґрунти
	Лучно-чорноземні глибокосолонцюваті ґрунти
	Темно-каштанові солонцюваті ґрунти
	Лучні ґрунти
	Лучні солонцюваті ґрунти
	Дернові переважно оглеєні піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти

Рис. 1.2. Карта-схема ґрунтів Північно-Західного Причорномор'я [61]

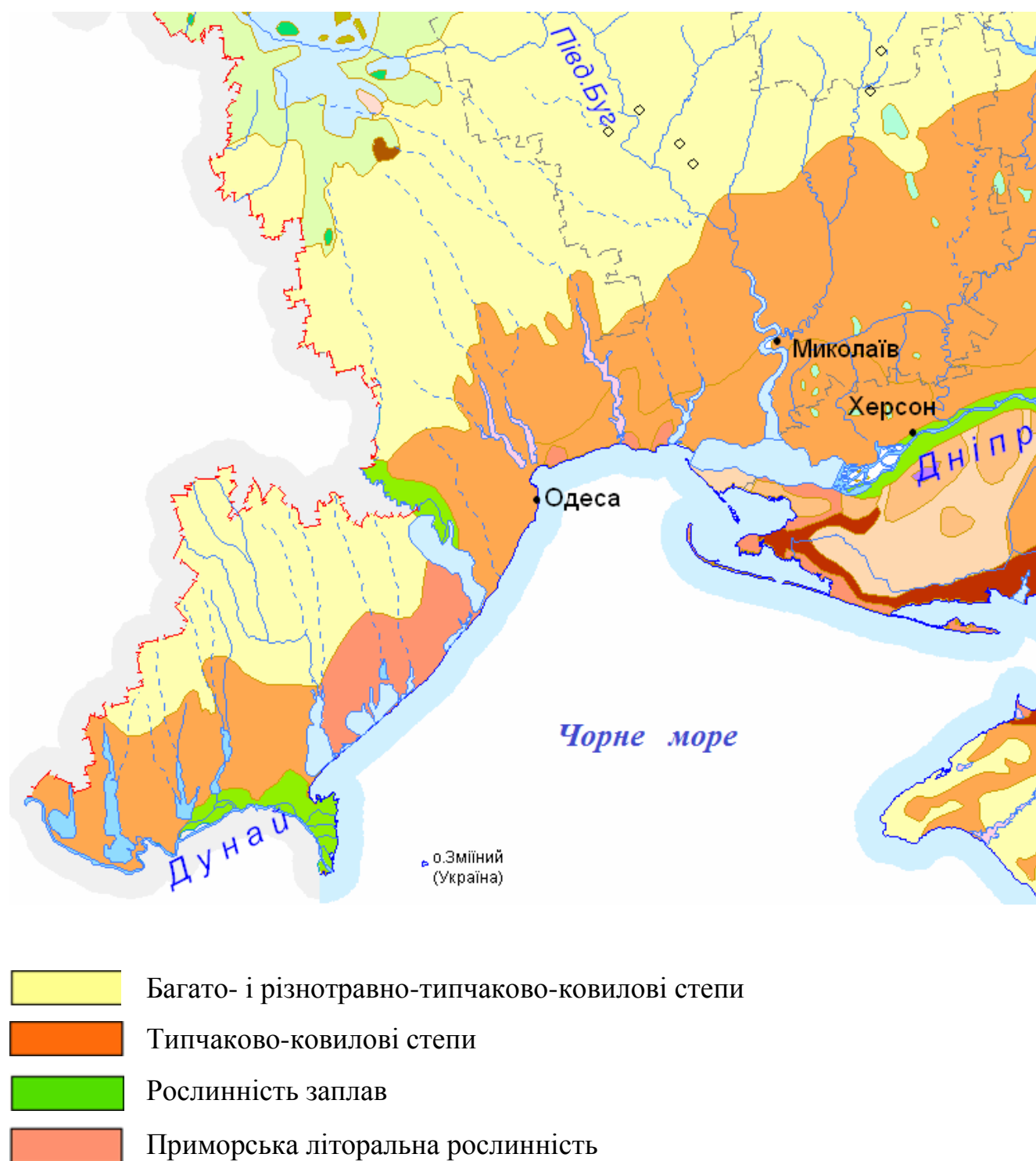


Рис. 1.3. Карта-схема рослинності Північно-Західного Причорномор'я [61]

1.4 Гідрогеологічна характеристика

Гідрогеологічні умови Причорноморської западини, незважаючи на порівняно просту її будову, досить складні, що пояснюється великою різноманітністю та мінливістю літологічного складу її осадових утворень. Невитриманість відкладів у розрізі та часте чергування водовмісних і водонепроникних порід обумовили утворення великої кількості ізольованих водоносних горизонтів. Для підземних вод басейну характерна також мінливість мінералізації вод і широкий розвиток солонуватих та солоних вод [68].

За гідрогеологічним районуванням територія межиріччя Дунай – Південний Буг відноситься до північного крила Причорноморського артезіанського басейну, а північна частина межиріччя Південний Буг – Дніпро розташована у провінції Українського кристалічного щита [3,75]. Водоносні горизонти розкриваються свердловинами на глибині від декількох метрів до 450-500м. Глибина залягання найчастіше розподіляється від 30-170 м на вододілах до 5-50 м у долинах річок [149]. Літологічний склад порід, які містять воду – пісчаники та піски. Серед водоносних горизонтів найбільш поширені водоносні горизонти сарматських відкладень (рис 1.4). За хімічним складом підземні води в основному хлоридно-гідрокарбонатні натрієві та гідрокарбонатно-хлоридні натрієві, зустрічається також гідрокарбонатні натрієві й сульфатно-хлоридні та хлоридно-сульфатні натрієві, натрієво-кальцієві [68].

1.5 Гідрометеорологічна вивченість

В гідрологічному відношенні територія Північно-Західного Причорномор'я вивчена недостатньо (рис. 1.5).



alQ	Водоносний горизонт четвертинних алювіальних відкладень
N _{2l}	Водоносний горизонт левантинських відкладень
N _{1p}	Водоносний горизонт понтичних відкладень
N _{1s}	Водоносний горизонт сарматських відкладень
N _{1t+N_{1s}}	Водоносний горизонт відкладень міоцену: тортонських (N _{1t}) і сарматських (N _{1s})
P _{2kv} ; N _{1s}	Водоносні горизонти київського ярусу палеогену (P _{2kv}) і сарматського ярусу неогену (N _{1s})
PCm	Водоносний горизонт тріщинуватої зони докембрійських кристалічних порід

Рис. 1.4. Карта-схема основних водоносних горизонтів Одеської області [3]



Рис. 1.5. Карта-схема розміщення гідрологічних постів на річках Північно-Західного Причорномор'я

На більшості гідрологічних постів спостереження велися починаючи з 50-х років минулого сторіччя, тобто в період інтенсивного розвитку господарської діяльності (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Перелік гідрологічних постів річок Північно-Західного Причорномор'я

№	Річка – пост	Період спостережень за рівнями	Період спостережень за стоком
1	р.Сарата – с.Філіпени	1914-68,закритий	1959-68, закритий
2	оз.Кагул – с.Гаваноси	1945-58,закритий	1952-68, закритий
3	р.Ялпуг – ст.Комрат	1961- діючий	1962,63,65,66,69-діючий
4	р.Ялпуг – м. Болград	1945-65,закритий	1945-65,закритий
5	р.Велика Сальча – с.Чумай	1945-51,закритий	1977- діючий
6	р.Лунга – с.Чадир-Лунга	1976-діючий	1976-діючий
7	р.Тараклія – смт.Тараклія	1960-діючий	1960-діючий
8	р.Киргиж-Китай – с.Островне	1940-53,закритий	1940-53,закритий
9	р.Аллілґа – с.Холмське	1945-51,закритий	1945-51,закритий
10	р.Когильник – м.Котовськ	1957- діючий	1959- діючий
11	р.Когильник – с.Романівка	1945-56,закритий	1945-56,закритий
12	р.Когильник – с.Новосельське	1949-53,закритий	1949-53,закритий
13	р.Чага – с.Мирнопілля	1940-53, 81-91, закритий	1940-53, 84-91, закритий
14	р.Сарата – м.Сарата	1940-діючий	1984-91,96, закритий
15	р.Хаджидер – с.Сергіївка	1945-55,закритий	1945-55,закритий
16	р.Алкалія-с.Мало-Мар'янівка	1941-55,закритий	1952-55,закритий
17	р.Бик – с.Калараш	1953-69,закритий	1953-69,закритий
18	р.Бик – м.Кишинев	1945-61, 68-діючий	1945-61,68-діючий
19	р.Пожарна – с.Сипотени	1958-65,71-86,	1958-65,71-86,

		закритий	закритий
Продовження табл.1.3			
№	Річка – пост	Період спостережень за рівнями	Період спостережень за стоком
20	р.Ішновець – с.Синжера	1952-65, 52-86, закритий	1952-65, 52-86, закритий
21	р.Ботна – с.Каушани	1949-діючий	1949-діючий
22	стр.Балцата – с.Балцата	1964-76,2000-діючий	1964-76,2000-діючий
23	р.Белочі – с.Белочі	1953-діючий	1959-діючий
24	р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	1949-діючий	1949-діючий
25	р.Рибниця – с.Андріївка	1945- діючий	1945- діючий
26	р.Ягорлик – с.Дойбани	1936-діючий	1949-діючий
27	р.Вел.Куяльник – с.Адамівка	1930-45,закритий	1930-45,закритий
28	р.В.Куяльник-с.Северинівка	1986-діючий	1986-діючий
29	р.Тилігул – с.Новоукраїнка	1948-88,закритий	1948-88, закритий
30	р.Тилігул – с.Березівка	1930-діючий	1953-діючий
31	р.Березань – с.Нечаяне	1932-55,закритий	1932-55,закритий
32	р.Савранка-с.Осички	1936-40,45-діючий	1936-40,45-діючий
33	р.Кодима – с.Обжила	1946-88,закритий	1946-88, закритий
34	р.Кодима – с.Катеринка	1931-діючий	1931-діючий
35	р.Чичиклія – с.Васильівка	1945-88,закритий	1947-88, закритий
36	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	1948-діючий	1948-діючий
37	р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворожжя	1936-88,закритий	1936-41,44-61,63-88, закритий
38	р.Інгул – м.Кіровоград	1944-діючий	1944-діючий
39	р.Інгул – с.Інгуло-Кам'янка	1930-65,закритий	1931-65,закритий
40	р.Інгул – с.Седнівка	1954-діючий	1954-діючий
41	р.Інгул – с.Новогорожене	1925-діючий	1931-41,43-діючий
42	р.Інгул – с.Пересадівка	1930-64,закритий	1930-64,закритий

43	р.Громокля – с.Михайлівка	1932-88,закритий	1946-88,закритий
----	---------------------------	------------------	------------------

Найбільш тривалий період спостережень за стоком (з 1931 по 2012 рр.) спостерігається на р.Кодима – с.Катеринка, найбільш короткий відмічений на р.Алкалія – с.Мало-Мар'янівка (з 1952 по 1955 рр.). Розподіл постів по тривалості спостережень на досліджуваній території наводиться в табл. 1.4., з якої видно, що 72% рядів має тривалість менше 50 років, 26% – менше 20 років, 12% – менше 10 років.

У теперішній час на річках Північно-Західного Причорномор'я діючими залишилися лише 19 гідрологічних постів, 8 з яких знаходиться на території України та 11 на території Молдови. З числа діючих постів 63% мають тривалість спостережень більше 50 років (табл.1.5).

Більша частина постів (79%) має площу водозборів менше 2000 км², тобто відноситься до малих (табл. 1.6). Найбільша площа водозборів з нині діючих постів відмічена на р.Інгул – с.Новогорожене ($F=6670$ км²), найменшу площу має водозбір стр.Балцата – с.Балцата ($F=62$ км²). Розподіл діючих постів по величині площі водозборів наводиться в табл. 1.7.

Метеорологічна мережа Північно-Західного Причорномор'я є розвинутішою, ніж гідрологічна. Зараз на досліджуваній території у межах України діючими є 18 метеорологічних станцій, проте на відміну від гідрологічних даних, більшість із метеорологічних рядів безперервні і мають тривалий період спостережень (більше 50-60 років).

Таблиця 1.4

Розподіл гідрологічних постів (закритих і діючих) за тривалістю спостережень за стоком

Кількість років спостережень								Кількість пунктів спостережень	
≤10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>71		
5	6	9	3	8	6	3	3	43	Всього
12	14	21	7	18	14	7	7	100	%

Таблиця 1.5

**Розподіл діючих гідрологічних постів за тривалістю спостережень
за стоком**

Кількість років спостережень								Кількість пунктів спостережень	
≤10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>71		
0	0	4	0	3	6	3	3	19	Всього
0	0	21	0	16	31	16	16	100	%

Таблиця 1.6

Розподіл гідрологічних постів (закритих та діючих) по величині площі водозбору

Площа водозбору річки, км ²							Кількість пунктів спостережень	
<100	101-500	501-1000	1001-2000	2001-5000	5001-10000	10001-20000		
1	15	9	9	7	2	0	43	Всього
2	35	21	21	16	5	0	100	%

Таблиця 1.7

Розподіл діючих гідрологічних постів по величині площі водозбору

Площа водозбору річки, км ²							Кількість пунктів спостережень	
<100	101-500	501-1000	1001-2000	2001-5000	5001-10000	10001-20000		
1	7	3	4	3	1	0	19	Всього
5	37	16	21	16	5	0	100	%

1.6 Водний режим

За гідрологічним районуванням [61,149], територія Північно-Західного Причорномор'я відноситься до Причорноморської області надзвичайно низької водності, Нижньобузько-Дніпровської області недостатньої водності та Правобережної Дніпровської області достатньої водності (рис. 1.6).

Гідрографічна мережа включає до себе гирла великих річок (рр. Дунай, Дністер, Південний Буг), середні (рр. Кодима, Савранка, Великий Куяльник, Тилігул, Когильник, Інгул та інші), а також малі річки. Тільки на території Одеської області знаходиться 1135 малих річок і струмків, 15 – лиманів, 68 – водосховищ, 45 – озер [173,186].

Річки північно-західної частини Причорномор'я характеризуються широкими долинами, невеликим падінням русел і плавною течією. Велика кількість річок пересихає. Густота річкової мережі не перевищує 0,10-0,20 км/км². Виняток становить Дунай-Дністровське межиріччя, де густота річкової мережі зростає до 0,30-0,50 км/км².

Характер водного режиму річок відноситься до Східно-Європейського [35,149], з короткочасним весняним водопіллям, яке проходить у лютому-березні та дощовими паводками – влітку.

Особливістю більшості річок Північно-Західного Причорномор'я є відсутність у них сталого підземного живлення навіть при площах водозборів більших за 1000 км². Це обумовлено тим, що водоносні горизонти річок при наближенні до узбережжя Чорного моря занурюються все глибше і їх ерозійний вріз у поверхню землі є недостатнім для дренажу водоносних горизонтів. Таким чином, більшість цих річок пересихає у літні та літньо-осінні місяці [155,156].

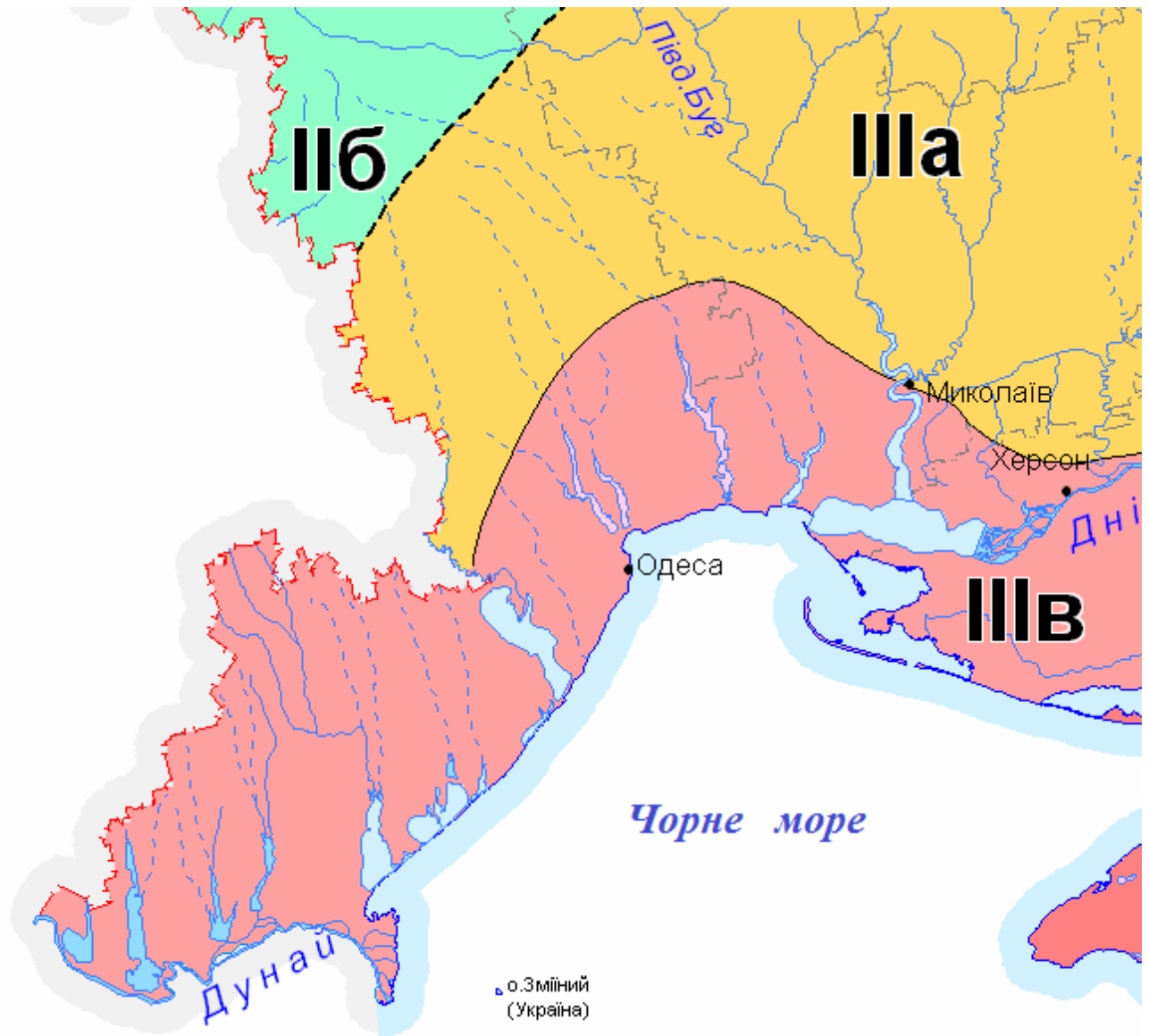


Рис. 1.6. Карта-схема гідрологічного районування [61]

Внаслідок чередування регресій (відступу) та трансгресій (наступу) моря на суходоли в гирлах значної кількості малих та середніх річок, що впадають у Чорне море, сформувалися лимани [159]. Назви лиманів часто співпадають із назвами річок, що живлять їх. Лимани Північно-Західного Причорномор'я поділяються на відкриті, які мають тісний зв'язок з морем, та закриті, відокремлені від моря перешийками та косами без постійно діючих проток. Закриті лимани можуть епізодично сполучатися з морем. В умовах посушливого клімату солоність води у закритих лиманах зазвичай вища за морську.

Розміри закритих лиманів залежать від співвідношення прихідних та витратних складових їх водного балансу [1]. Процеси глобального потепління, які розвиваються в останні два десятиріччя, зменшили надходження прісних річкових вод до лиманів та збільшили втрати на випаровування, через що відбувається їхнє поступове обміління, пересихання окремих ділянок та засолення. Перегрів води викликає інтенсифікацію процесів евтрофікації, посилення заморних явищ гідробіонтів, заростання водоростями, порушення життєдіяльності флори та фауни [162].

Обмежені водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я і значна нерівномірність внутрішньорічного розподілу стоку зумовлюють необхідність проведення різного роду водогосподарських заходів, до числа яких належать регулювання стоку ставками і водосховищами, забори води на зрошення як за рахунок місцевих водних ресурсів, так і при перекиді стоку річок-донорів [33,172].

На території Одеської області нараховується 58 водосховищ об'ємом від 1 до 100 млн. м³, з сумарною площею водного дзеркала майже 59 тис. га та об'ємом води при НПУ 1967 млн. м³. Кількість ставків становить близько 940 од. загальною площею водної поверхні понад 12 тис. га. Половина ставків мають площу водного дзеркала біля одного гектара та незначні глибини [64]. На території Миколаївської області побудовано 45 водосховищ загальним об'ємом 357,6 млн. м³ і 1153 ставки, які на 90% розташовані на малих річках. Використовуються ставки, в основному, з метою рекреації та риборозведення. Переважна більшість ставків збудовано господарським способом на низькому

інженерному рівні за спрощеною проектною документацією, а дуже часто - без неї, що призвело до перевищення зарегульованості річок.

У минулому сторіччі на території Північно-Західного Причорномор'я діяли Дунай-Дністровська, Нижньо-Дністровська, Ялпугська, Татарбунарська, Інгулецька, Південно-Бугська, Явкінська зрошувальні системи [172], по каналах яких перекидався стік з великих річок (рр. Дунай, Дністер) у райони з нестачею води.

Висновки до розділу 1

Північно-Західне Причорномор'я розташоване в південній частині України між річками Дунай та Дніпро. Основним елементом рельєфу є Причорноморська низовина. Клімат помірно-континентальний. Більша частина розглядуваної території входить до складу степової природної зони України. Ґрунти представлені в основному чорноземами. Серед водоносних горизонтів найбільш поширені водоносні горизонти сарматських відкладень.

Установлено, що досліджувана територія недостатньо вивчена у гідрологічному відношенні. Початок спостережень припадає на 50-ті роки минулого сторіччя, коли відбувалася інтенсифікація сільського господарства колишнього СРСР шляхом регулювання, перекиду стоку та його використання для цілей зрошення.

РОЗДІЛ 2

ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕНОГО СТОКУ ПРИ НАЯВНОСТІ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

У першій половині ХХ сторіччя було прийнято розглядати ряди стоку як послідовності випадкових величин, між суміжними членами яких існує кореляційний зв'язок. Статистичні сукупності (ряди) гідрологічних величин вважалися випадковими вибірками обмеженого об'єму із генеральної сукупності [70].

У другій половині минулого сторіччя було доведено, що річковий стік є не простою сукупністю випадкових величин, а ймовірнісним процесом, для описування якого застосовується теорія випадкових функцій [67]. Математичною моделлю коливань стоку на новому теоретичному рівні стає ланцюг Маркова, який використовує математичний апарат закону двовимірного розподілу випадкових величин [153].

Слід зазначити, що задачі гідрологічних розрахунків по визначенню характеристик стоку є ретроспективно-описувальними. На початку досліджень необхідно на матеріалах минулих років виявити закономірності формування явища, побудувати математичну (теоретичну) модель і вже потім за створеною математичною моделлю розраховувати кількісні показники гідрологічного режиму водних об'єктів. Для вирішення практичних задач у гідрологічних розрахунках найчастіше використовується статистична модель стоку, за якою визначаються сталі статистичні характеристики (статистичні параметри) та величини стоку заданої ймовірності їх появи.

Найчастіше використовується така ймовірнісна характеристика як забезпеченість (ймовірність перевищення заданої величини) [158]. Для того, щоб отримати величину стоку заданої забезпеченості, необхідно підібрати теоретичний закон розподілу, який найкраще описує статичні особливості розподілу

емпіричних вибірок величин стоку, та визначити статистичні параметри, необхідні для практичного застосування цього розподілу.

В практиці гідрологічних розрахунків наявні три шляхи визначення характеристик стоку: дані гідрологічних спостережень достатні для здійснення розрахунків (ряд спостережень – репрезентативний), даних недостатньо (ряд – нерепрезентативний) й дані відсутні [35,42,52]. Розрахунки здійснюються по генетично однорідних (фазовооднорідних) рядах стоку, які вибираються для однієї і тієї ж фази його формування: річний стік, максимальний стік весняного водопілля, максимальний стік дощових паводків, мінімальний стік зимової межені, мінімальний стік літньої або літньо-осінньої межені [30]. У дисертації розглядаються характеристики річного та мінімального стоку. Річний стік є інтегральною характеристикою водних ресурсів певної території [184]. Мінімальний стік є показником стоку за відрізок часу, коли стік є найменшим. Виділяються мінімальні місячні та 30-ти добові витрати й мінімальні добові витрати води для періодів зимової та літньо-осінньої межені окремо.

2.1 Методи визначення статистичних параметрів при наявності тривалих рядів спостережень

Для оцінок статистичних параметрів на основі вибірок розроблені спеціальні статистичні методи. Найбільш універсальним є метод статистичних моментів, якій не зв'язаний ні з яким теоретичним законом розподілу [158]. У гідрологічних розрахунках застосовуються також методи визначення статистичних параметрів, які базуються на певних законах розподілу. До таких методів відноситься метод найбільшої правдоподібності, розрахункові формули якого отримані на базі трипараметричного гама-розподілу, та графо-аналітичний метод, у якому використовуються графічні побудовання та теоретичні закони розподілу (найчастіше Пирсона III та логарифмічно-нормальний) [76]. Кожен із

законів розподілу випадкової величини являє собою певний математичний вираз, за яким розраховуються величини стоку заданої забезпеченості при заданих статистичних параметрах розподілу.

До теоретичних законів розподілу, які описують ймовірнісний розподіл величин стоку, висуваються певні вимоги.

Величини стоку завжди додатні, а, отже, верхня границя їх значень не має бути обмеженою. Таким чином, областю визначення теоретичного закону розподілу величин стоку повинна бути область від нуля до нескінченності.

Кількість статистичних параметрів, які використовуються в теоретичному розподілі, не має бути великою. Світовий досвід показує, що при розрахунках стоку найбільш оптимальними для практичного застосування є такі теоретичні розподіли, для описування яких достатньо двох або трьох статистичних параметрів – математичного сподівання, дисперсії та зв'язаних з нею середнього квадратичного відхилення й коефіцієнту варіації C_v , характеристики асиметрії розподілу.

Коефіцієнт асиметрії C_s законів розподілу має бути додатнім, що є особливістю емпіричних розподілів величин стоку.

При наявності даних гідрометричних спостережень достатньої тривалості розрахунок річного стоку здійснюється безпосередньо за даними спостережень, при цьому в розрахунках використовується репрезентативний період із цього ряду або весь ряд, коли його тривалість становить 50-60 років та більше.

Значення статистичних параметрів, установлені за даними спостережень, мають назву оцінок. Для того, щоб по оцінках статистичних параметрів достатньо вірогідно характеризувати параметри генеральної сукупності, ці оцінки повинні задовольняти вимогам незміщеності, ефективності та умотивованості [190]. У методі моментів вимогам незміщеності, ефективності та умотивованості відповідає тільки середнє арифметичне значення.

У зв'язку із установленим зміщенням параметрів C_v та C_s при значній мінливості гідрологічних рядів, метод моментів рекомендовано вживати при $C_s < 0,5$ [147]. Метод найбільшої правдоподібності приводить до більш

обґрунтованих оцінок з незначним зміщенням. Метод базується на трипараметричному гама-розподілі. Є.Г. Блохінов [7] застосував метод найбільшої правдоподібності до трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля. Метод найбільшої правдоподібності рекомендується застосовувати для визначення статистичних параметрів гідрологічних рядів при $C_v > 0,5$. При $C_v \leq 0,5$ методи найбільшої правдоподібності та моментів дають практично однакові результати. Недоліком методу найбільшої правдоподібності є необхідність використання спеціальних номограм, які не завжди охоплюють можливі значення параметрів.

2.2 Методичні підходи до обчислення річного стоку при недостатності даних спостережень

При недостатності даних гідрометричних спостережень параметри кривих розподілу ймовірностей перевищення гідрологічних характеристик необхідно приводити до багаторічного періоду із залученням даних спостережень річок-аналогів [147], які мають тривалі ряди спостережень за стоком і відповідають вимогам репрезентативності.

При виборі річки-аналога необхідно дотримуватись таких вимог:

- розглядувана річка і річка-аналог знаходяться у безпосередній географічній близькості;
- схожість кліматичних умов для водозборів;
- однорідні умови формування стоку;
- синхронність коливань річного стоку на досліджуваних водозборах;
- площі водозборів не повинні відрізнятися більше, ніж в 10 разів, а їх середні висоти (для гірських річок) – більше, ніж на 300 м;
- період спільних спостережень за стоком на досліджуваних річках повинен бути не менше ніж 10 років.

Об'єктивним критерієм правильності вибору річки-аналога є досить тісний зв'язок між характеристиками стоку за період спільних спостережень, який характеризується коефіцієнтом кореляції r (за умови $r \geq 0,7$).

За аналог можуть бути прийняті один або декілька пунктів, які відповідають вищенаведеним умовам.

Ідея методу приведення параметрів до багаторічного періоду базується на існуванні синхронності коливань річного стоку на близько розташованих водозборах, що зумовлено однорідністю умов формування стоку.

Нормативним документом [147] рекомендується виконувати приведення статистичних параметрів коротких рядів до тривалого періоду такими методами: графічним, графо-аналітичним, аналітичним (лінійної парної або множинної регресії) та методом коефіцієнтів [30,46,52].

Короткими вважають всі ряди, які не задовольняють вимогам щодо репрезентативності вихідних рядів та точності оцінок за такими рядами статистичних параметрів. Якщо відносна середня квадратична похибка ε_A визначення статистичного параметру A перевищує критичне значення і гідрологічний ряд не репрезентативний, необхідно здійснити «приведення» самого ряду або його статистичних параметрів до багаторічного періоду за допомогою даних по річкам-аналогам, на яких були організовані довготривалі спостереження за стоком і отримані ряди відповідають вимогам репрезентативності. Найчастіше у сучасних гідрологічних розрахунках використовується метод лінійної парної регресії.

При приведенні коротких рядів до тривалого періоду рівняння лінійної парної регресії вигляду $\tilde{y}(x_i) = ax_i + b$ записується наступним чином:

$$\tilde{q}_i = \bar{q}_{n'} + r \frac{S_{n'}'}{S_{n'}^a} (q_i^a - \bar{q}_n^a), \quad (2.1)$$

де \tilde{q}_i^a - розраховане за рівнянням регресії значення річного стоку; $\bar{q}_{n'}$, $\bar{q}_{n'}^a$ - відповідні середні багаторічні значення стоку за період сумісних спостережень n' на досліджуваній річці та річці-аналогу; $S_{n'}$, $S_{n'}^a$ - середні квадратичні відхилення досліджуваного ряду та ряду річки аналога за період сумісних спостережень n' ; r - коефіцієнт кореляції між стоком двох рядів за період сумісних спостережень n' .

Установлено, що значення стоку, розраховані за рівняннями регресії, систематично зменшують розмах коливань досліджуваної гідрологічної характеристики у порівнянні із фактичними даними. Чим вищий коефіцієнт кореляції, тим менше заниження дисперсій. Систематичне зменшення дисперсій виключається шляхом додаткового розрахунку \tilde{q}_i' за формулою [147]

$$\tilde{q}_i' = \left(\frac{\tilde{q}_i - \bar{q}_{n'}}{r} \right) + \bar{q}_{n'}. \quad (2.2)$$

За відновленими згідно із (2.2) членами ряду разом із спостереженими даними розраховують статистичні параметри стоку досліджуваної річки, які відносяться до приведених до багаторічного періоду.

2.3 Обчислення статистичних параметрів річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень

Тривалість періоду спостережень вважається достатньою для визначення характеристик річного стоку, якщо відносна середня квадратична похибка визначення середньої багаторічної величини стоку ε_q^- не перевищує 10%, а коефіцієнта варіації ε_{CV} – 15% [147].

Для обчислення статистичних параметрів річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я були використані дані від початку спостережень (як правило це післявоєнні роки) до 2012 р. Найбільш тривалий ряд спостережень у створі р.Інгул – с.Новогорожене, найбільш короткий – у створі р.Бик – с.Калараш (табл. 2.1, 2.2). Середні багаторічні значення річного стоку зменшуються у напрямку з північного заходу на південний схід. Найбільші їх значення характерні для території Молдови. Стік річок межиріч Дунай-Дністер, Дністер-Південний Буг зменшується по мірі наближення до Чорного моря. Це обумовлено нестійким підземним живленням річок. Водоносні горизонти Причорномор'я заглиблюються під земну кору поблизу моря. Отже, навіть при відносно великих площах водозборів річки не здатні отримати підземне живлення і можуть пересихати [186]. Притоки Дністра та Південного Бугу на відміну від річок межиріч, при однакових площах водозборів мають більші значення стоку. У багатьох випадках точність визначення статистичних параметрів стоку є незадовільною ($\varepsilon_{\bar{q}}$ перевищує 10%, а ε_{C_V} - 15%), що пояснюється значною мінливістю коливань стоку: коефіцієнт варіації змінюється від 0,21 (р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя) до 1,22 – у створі р.Тилігул – с.Березівка. Середнє відношення C_S/C_V , визначене за методом моментів, дорівнює 2,0, а за методом найбільшої правдоподібності – 2,5.

Значна мінливість річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я обумовлена не тільки кліматичними умовами, але й значним впливом водогосподарської діяльності у вигляді витрат води на майже щорічне заповнення ставків і водосховищ, перекиду стоку, забором води на зрошування сільськогосподарських земель місцевим стоком [100,102].

У сучасності через скорочення площ зрошування та виходу із дії окремих частин зрошувальних систем, основний внесок у антропогенну складову дають втрати стоку на додаткове випаровування з поверхні водного дзеркала штучних водойм та на їх заповнення.

Таблиця 2.1

**Статистичні параметри річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я та прилеглих територій,
визначені за методом моментів**

Річка-пост	Гривалість рядів, n	\bar{q} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}}^-$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s / C_v	σ_{C_s / C_v}
р.Ялпуг – с.Буджак	26	0,546	19,2	0,98	16,9	2,15	2,2	0,49
р.Тараклія – с.Тараклія	45	1,47	12,2	0,82	12,9	2,25	2,7	0,45
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	29	0,431	10,2	0,55	14,4	0,68	1,2	0,83
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	23	0,797	12,0	0,57	16,1	0,18	0,3	0,89
р.Когильник – м.Котовськ	46	1,57	7,7	0,52	11,5	1,96	3,8	0,69
р.Бик – м. Кишинев	51	1,39	8,6	0,61	11,3	0,73	1,9	0,56
р.Бик – с.Калараш	17	1,17	13,4	0,55	18,3	0,74	1,3	1,07
р.Пожарна – с.Синотени	28	1,94	12,5	0,66	15,1	0,92	1,4	0,70
р.Малий Чулук – м.Теленешти	50	1,27	9,6	0,68	11,7	0,57	0,8	0,51
р.Ішновець – с.Синжера	26	0,625	11,0	0,65	13,6	1,09	1,7	0,64
р.Балцата – с.Балцата	20	0,830	11,3	0,50	16,9	0,74	1,5	1,08
р.Ботна – с.Каушани	54	0,712	8,8	0,65	11,1	1,42	2,2	0,52
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	57	0,978	5,5	0,42	10,0	1,21	2,9	0,78

Продовження табл. 2.1

Річка-пост	n	\bar{q} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}}$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s / C_v	σ_{C_s / C_v}
р.Рибниця – с. Андріївка	43	1,08	8,5	0,56	12,0	1,56	2,8	0,67
р.Ягорлик – с.Дойбани	56	0,807	5,8	0,43	10,2	1,74	4,0	0,76
р.Тилигул – смт Березівка	53	0,268	16,7	1,22	13,8	2,26	1,9	0,28
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,861	9,3	0,54	13,5	1,27	2,4	0,79
р.Савранка – с.Осички	59	1,48	4,4	0,34	9,7	0,71	2,1	0,94
р.Кодима – с.Обжила	42	1,09	6,5	0,42	11,6	1,62	3,8	0,90
р.Кодима – с.Катеринка	77	0,760	6,6	0,58	9,2	1,03	1,8	0,48
р.Чичиклія – с.Васильівка	31	0,692	18,6	1,03	16,1	1,50	1,5	0,43
р.Мертвовід – с.Крива Пустош	62	1,40	7,0	0,55	10,0	1,23	2,2	0,56
р.Гнилий Єланець – с.Женево Криворіжжя	45	0,553	18,0	0,21	14,6	1,74	1,4	0,30
р.Інгул – м.Кировоград	68	1,44	7,2	0,60	9,8	1,77	3,0	0,50
р.Інгул – с.Седнівка	59	1,40	6,0	0,46	10,0	1,07	2,3	0,69
р.Інгул – с.Новогорожене	78	1,17	7,7	0,68	9,5	1,34	2,0	0,41
р.Громоклія – с.Михайлівка	41	0,566	12,3	0,81	13,4	1,4	1,7	0,47
р. Чорний Ташлик – с.Тарасівка	68	1,38	6,7	0,55	9,6	1,09	1,9	0,54

Таблиця 2.2

**Статистичні параметри річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я та прилеглих територій,
визначені за методом найбільшої правдоподібності**

Річка-пост	n	\bar{q} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s / C_v	C_s	ε_{C_v} , %	σ_{C_s / C_v}
р.Ялпуг-с.Буджак	26	0,546	19,6	-0,2106	0,1700	1,00	2,4	2,4	13,6	0,5
р.Тараклія – с.Тараклія	45	1,47	12,7	-0,1121	0,1150	0,85	4,0	3,4	13,2	0,55
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	29	0,431	10,6	-0,0644	0,0629	0,57	2,5	1,43	13,1	0,68
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	23	0,797	-	-0,1078	0,0789	-	-	-	-	-
р.Когильник – м.Котовськ	46	1,57	7,7	-0,0486	0,0506	0,52	4,0	2,08	12,5	0,72
р.Бик – м. Кишинев	51	1,39	8,8	-0,0933	0,0806	0,63	1,8	1,13	9,12	0,63
р.Бик-с.Калараш	17	1,17	10,7	-0,0691	0,0646	0,44	2,2	0,97	17,0	0,78
р.Пожарна – с.Синотени	28	1,94	13,0	-0,0962	0,0888	0,69	2,4	1,66	13,0	0,62
р.Малий Чулук –м.Теленешти	50	1,27	9,9	-0,1439	0,1060	0,70	1,4	0,98	8,15	0,61
р.Ішновець – с.Синжера	26	0,625	15,7	-0,1290	0,1164	0,80	2,5	2,00	14,2	0,57
стр.Балцата – с.Балцата	20	0,830	11,6	-0,0607	0,0546	0,52	1,9	0,99	15,0	0,72
р.Ботна – с.Каушани	54	0,712	9,0	-0,0976	0,0862	0,66	2,0	1,32	9,0	0,64
р.Молокіш –с.Вел.Молокіш	57	0,978	7,9	-0,0379	0,0354	0,60	2,3	1,38	8,94	0,67
р.Рибниця – с. Андріївка	43	1,08	8,5	-0,0641	0,0615	0,56	2,5	1,40	8,54	0,69

Продовження табл. 2.2

Річка-пост	n	\bar{q} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s/C_v	C_s	ε_{C_v} , %	σ_{C_s/C_v}
р.Ягорлик – с.Дойбани	56	0,807	6,0	-0,0340	0,0357	0,45	6,0	2,7	13,7	0,78
р.Тилигул – смт Березівка	53	0,268	-	-0,1614	0,2468	-	-	-	-	-
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,861	8,9	-0,0627	0,0585	0,51	2,2	1,12	11,9	0,72
р.Савранка – с.Осички	59	1,48	4,6	-0,0255	0,0247	0,35	2,3	0,81	9,11	1,00
р.Кодима – с.Обжила	42	1,09	6,6	-0,0340	0,0348	0,43	4,0	1,72	12,9	0,82
р.Кодима – с.Катеринка	77	0,760	6,	-0,0475	0,0689	0,58	2,1	1,22	7,64	0,67
р.Чичиклія – с.Васильівка	31	0,692	19,4	-0,3055	0,2077	1,08	1,9	2,05	10,8	0,50
р.Мертвовод-с.Крива Пустош	62	1,40	7,6	-0,0587	0,0610	0,60	4,0	2,40	11,0	0,67
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	45	0,553	-	-0,1485	0,2760	-	-	-	-	-
р.Інгул – м.Кировоград	68	1,44	7,3	-0,0704	0,0681	0,60	2,2	1,32	8,9	0,66
р.Інгул – с.Седнівка	59	1,40	5,9	-0,0615	0,0432	0,42	2,0	0,90	8,9	0,78
р.Інгул – с.Новогорожене	78	1,17	7,8	-0,0960	0,0886	0,69	2,6	1,79	7,8	0,62
р.Громоклія – с.Михайлівка	41	0,566	13,1	-0,1588	0,1317	0,84	2,2	1,85	10,2	0,56
р. Чорний Ташлик – с.Тарасівка	68	1,38	7,0	-0,0643	0,0628	0,58	3,0	1,74	9,1	0,68

Вплив водогосподарської діяльності перетворює ряди стоку і впливає на тісноту кореляційних зв'язків між рядами стоку близько розташованих водозборів або верхніх та нижніх створів однієї і тієї ж річки. Наприклад, тіснота зв'язку між витратами води р.Тилігул у верхньому (р.Тилігул – с.Новоукраїнка) та нижньому (р.Тилігул – смт Березівка) створах за період сумісних спостережень (1955-1987 рр.) характеризується коефіцієнтом кореляції, який дорівнює 0,53 [96] (рис. 2.1).

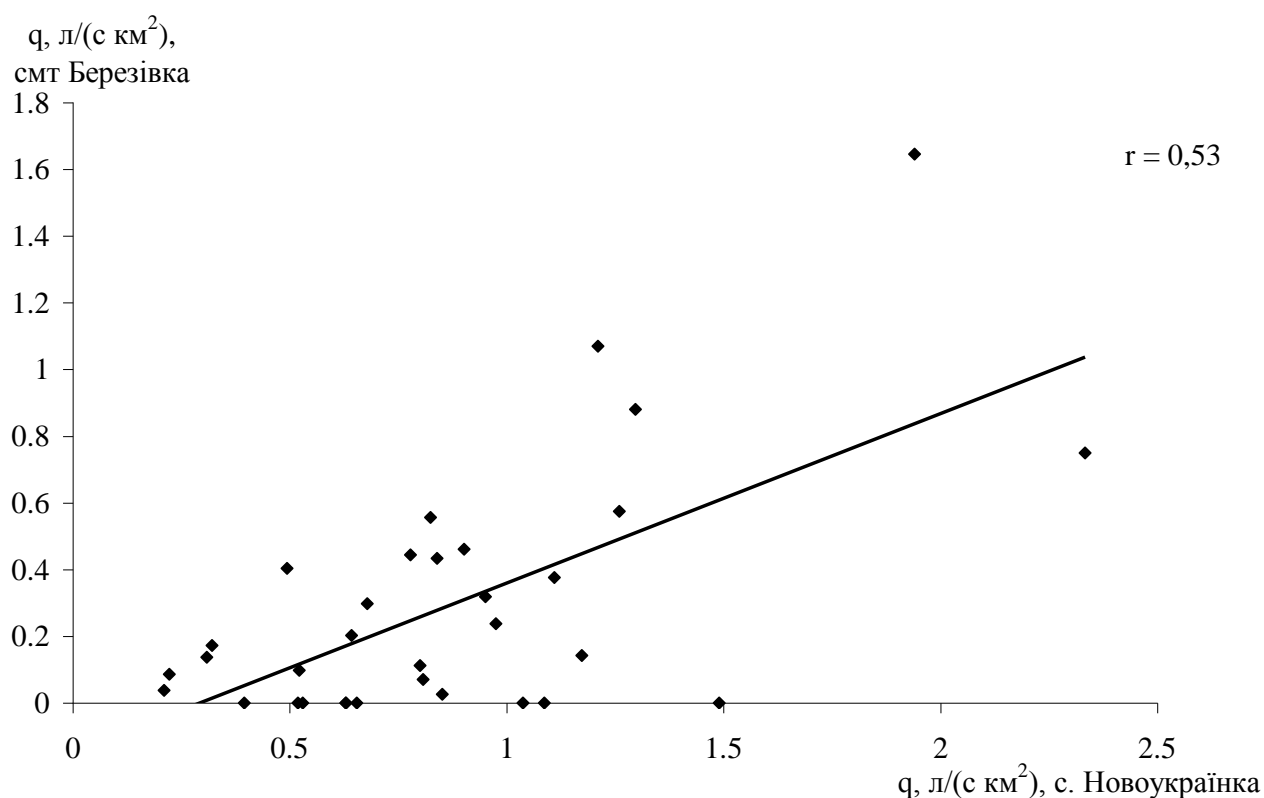


Рис. 2.1. Зв'язок річного стоку q , р.Тилігул – с.Новоукраїнка та р.Тилігул – смт Березівка, 1955-1987 рр.

Пошук зв'язків між річним стоком та опадами за даними метеостанцій Любашівка та Одеса дозволив установити, що тіснота зв'язків значно зменшується по мірі переходу від верхнього створу до нижнього (рис.2.2–2.5) незалежно від того, яка метеостанція розглядається.

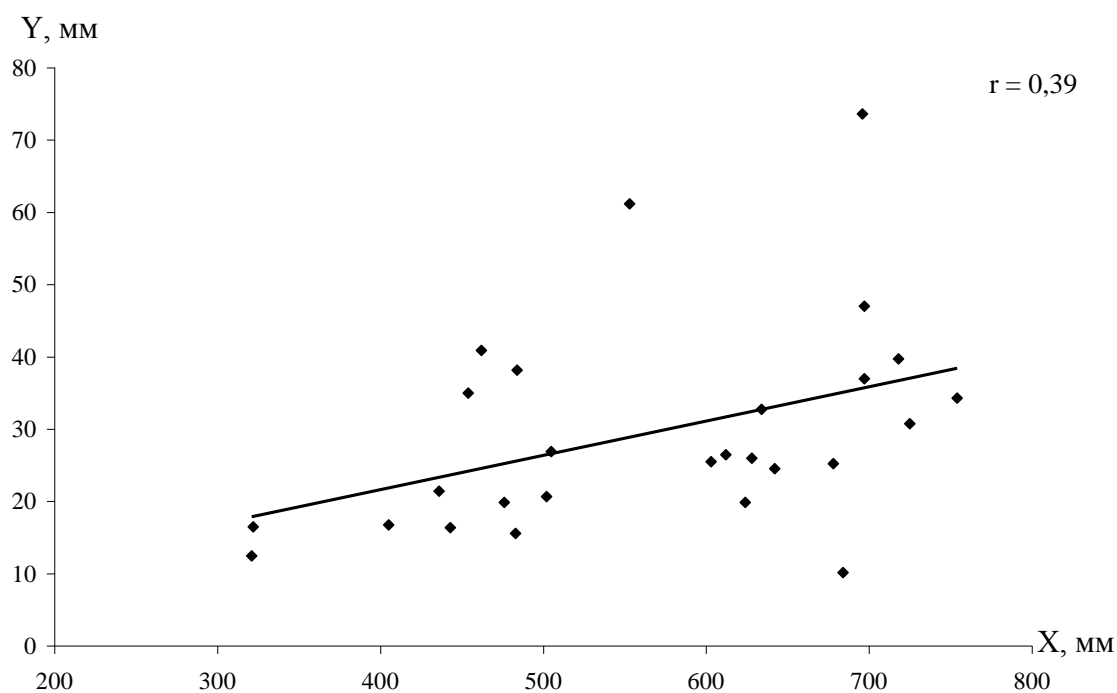


Рис. 2.2. Залежність між шарами стоку Y в створі р.Тилігул – с.Новоукраїнка з річними сумами опадів X на метеостанції Любашівка, 1961-1987 рр.

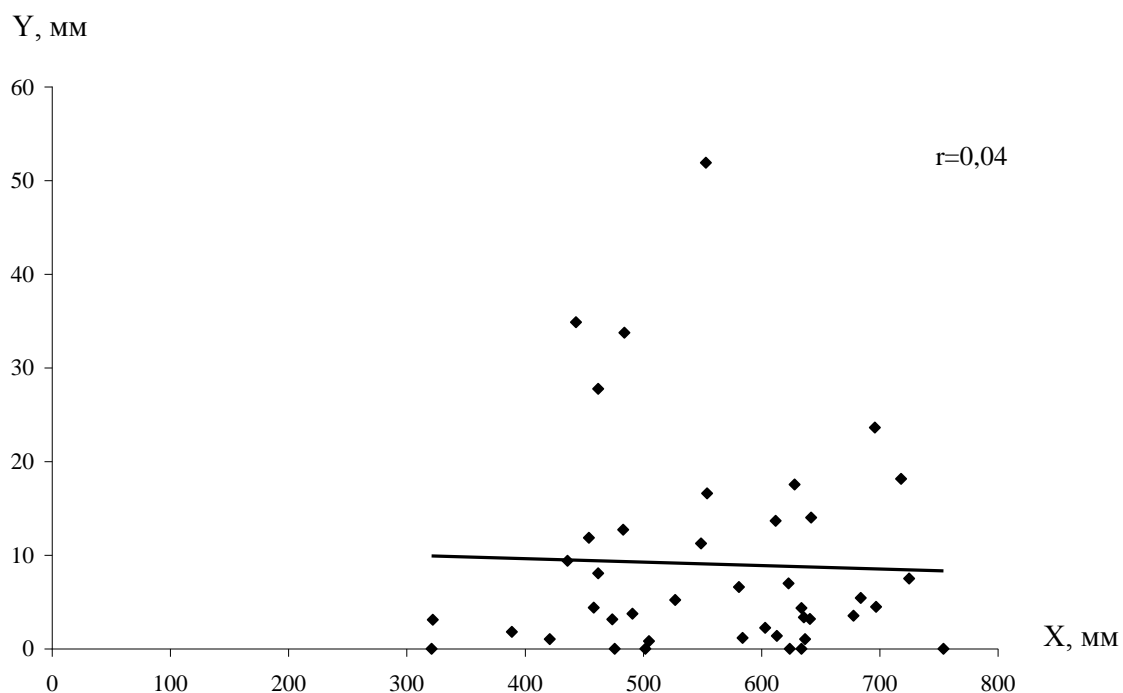


Рис. 2.3. Залежність між шарами стоку Y в створі р.Тилігул – смт Березівка з річними сумами опадів X на метеостанції Любашівка, 1961-2011 рр.

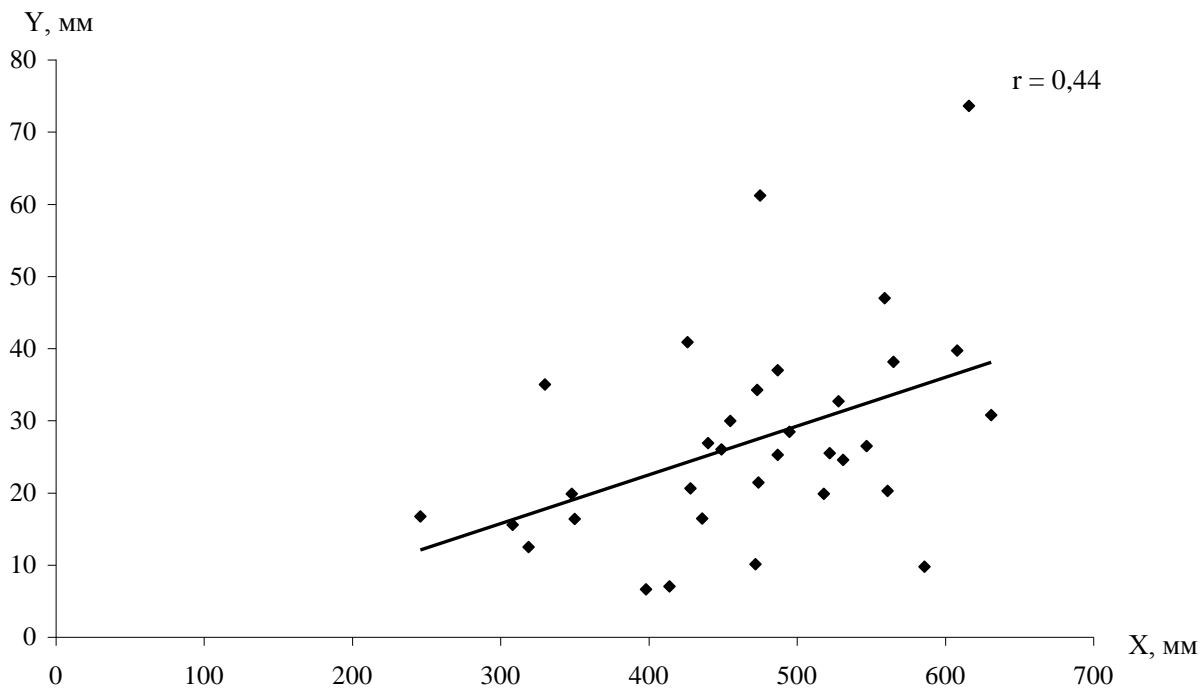


Рис. 2.4. Залежність між шарами стоку Y в створі р.Тилігул – с.Новоукраїнка з річними сумами опадів X на метеостанції Одеса, 1955-1987 рр.

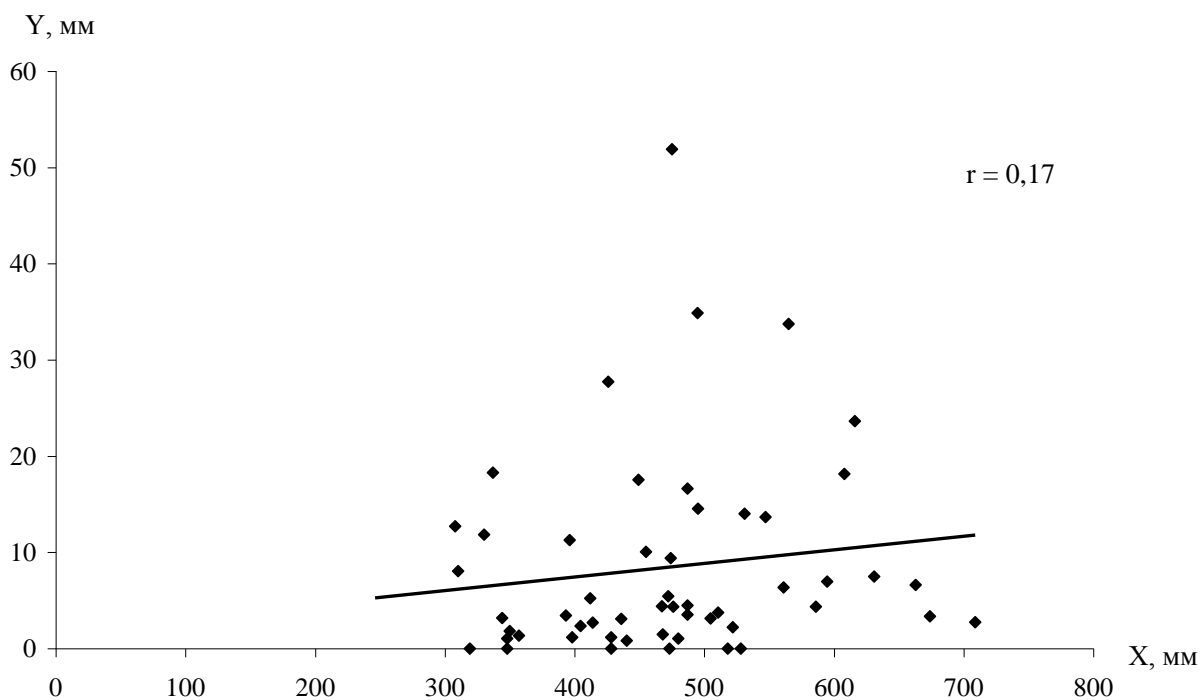


Рис. 2.5. Залежність між шарами стоку Y в створі р.Тилігул – смт Березівка з річними сумами опадів X на метеостанції Одеса, 1953-2011 рр.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про значний вплив чинників антропогенного походження на формування стоку р. Тилігул.

Ряди спостережень за стоком річок Північно-Західного Причорномор'я характеризуються значними пропусками, тому для відновлення відсутніх елементів ряду використовувався метод аналогії. Так, досить тісний зв'язок між річним стоком річки Тилігул у створі смт Березівка та стоком у створі Великий Куяльник – с.Северинівка з коефіцієнтом кореляції 0,98, побудований за 11 років сумісних спостережень, був використаний для відновлення пропущених даних як для одного, так і для другого водозбору (рис. 2.6).

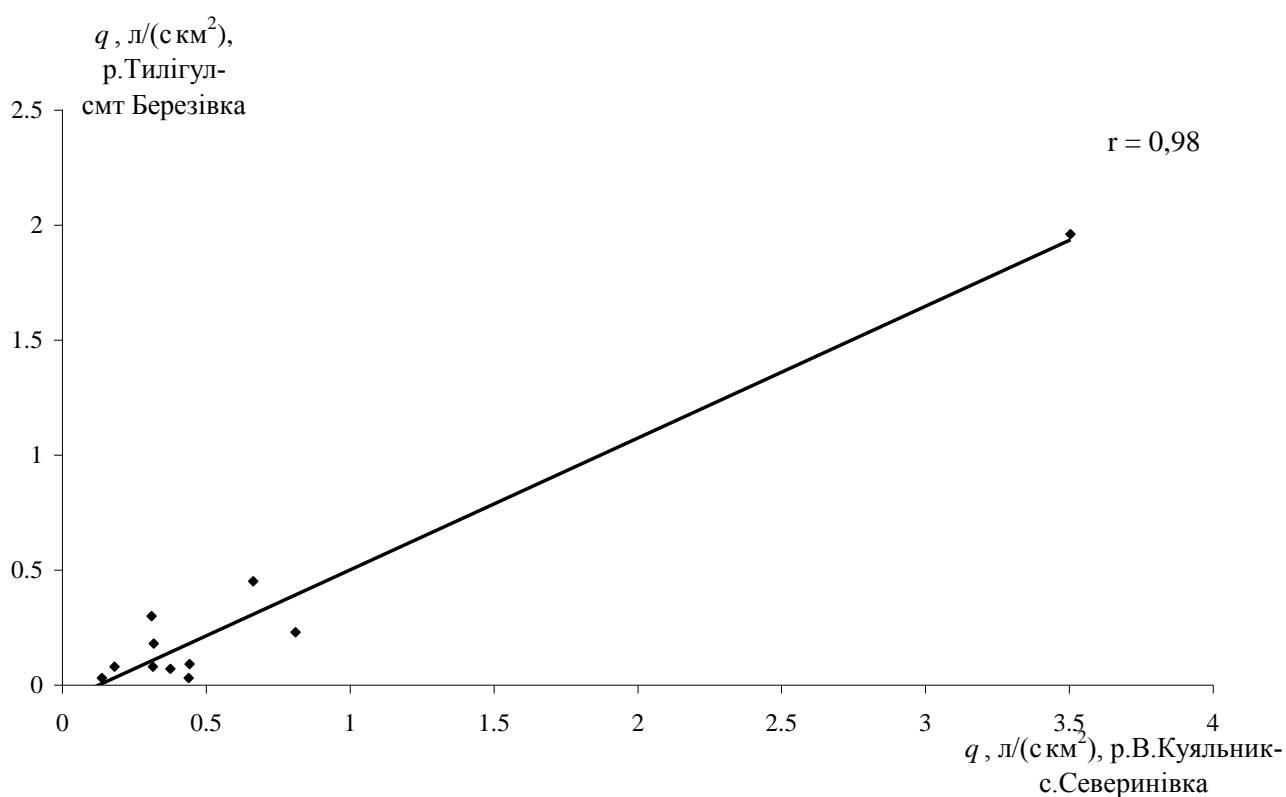


Рис. 2.6. Зв'язок річних модулів стоку q , р.Тилігул – смт Березівка, р.Великий Куяльник – с. Северинівка, 1986-1993, 2001-2003, 2005-2006 рр.

Річки-аналоги також застосовувались для подовження рядів стоку. Так, наприклад, тривалість ряду р.Ялпуг – с.Буджак становить 26 років (спостереження за стоком велися до 1986 р.). Для подовження ряду був використаний зв'язок із стоком річки Ботна у створі с. Каушани (рис. 2.7), який характеризується високим коефіцієнтом кореляції ($r=0,87$).

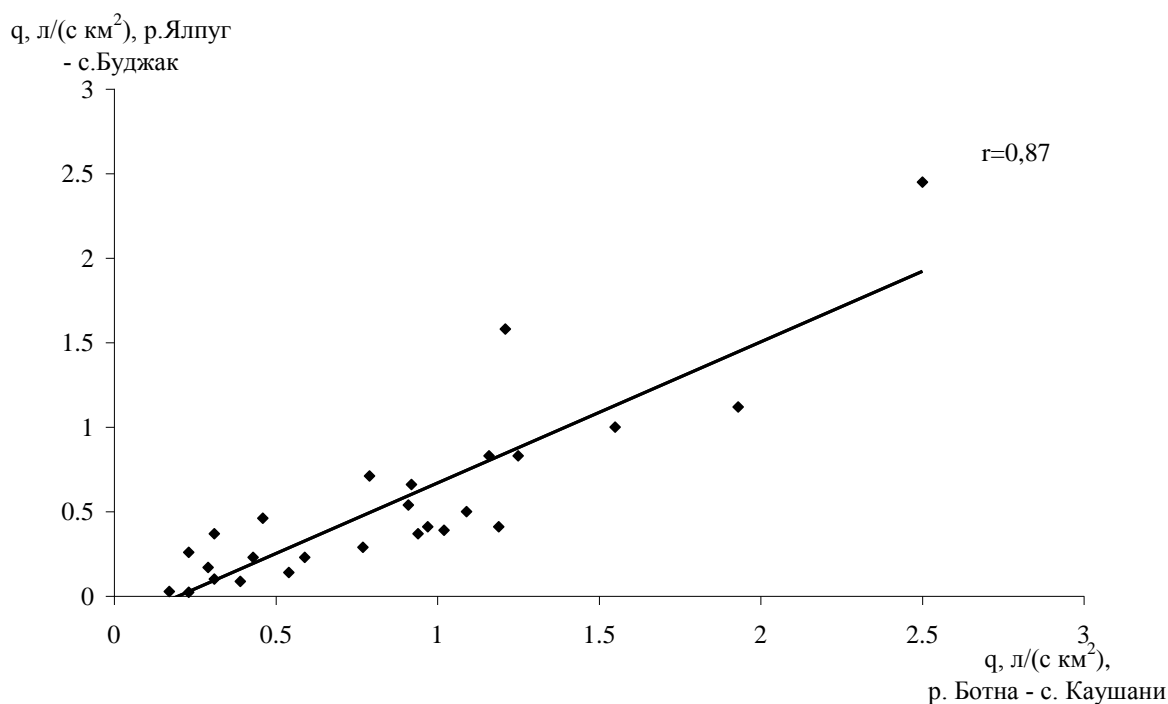


Рис. 2.7. Зв'язок річних модулів стоку q , р.Ялпуг – с.Буджак, р.Ботна – с. Каушани, 1961-1986 рр.

Для подовження ряду річного стоку у створі р.Тилігул – с.Новоукраїнка були використані дані спостережень у створі р.Савранка – с.Осички (коефіцієнт кореляції $r=0,78$) (рис. 2.8). Подовження ряду стоку р.Бик – с.Калараш виконувалось за допомогою даних річки Малий Чулук у створі с. Теленешти (коефіцієнт кореляції $r=0,87$) (рис. 2.9). В усіх випадках після приведення статистичних параметрів стоку до багаторічного періоду відносні похибки визначення середньої багаторічної величини стоку зменшились.

Перевірка рядів річного стоку на однорідність виконувалась за допомогою критеріїв Фішера-Снедекора, Стьюдента та Вілкоксона (табл. А.1). Отримані результати дозволили зробити висновок про статистичну неоднорідність рядів, окрім стоку у створах р.Савранка – с.Осички та р.Інгул – м.Кіровоград.

З метою виявлення тренду, тобто направлених змін стокових величин в бік зростання або зменшення, були побудовані хронологічні графіки характеристик річного стоку (рис. Б.1-Б.10). Аналіз ходу даних показав відсутність однозначної чітко вираженої тенденції до змін у рядах стоку, що пов'язано із

водогосподарськими перетвореннями на річках та умовами дренавання русел річок водоносних горизонтів.

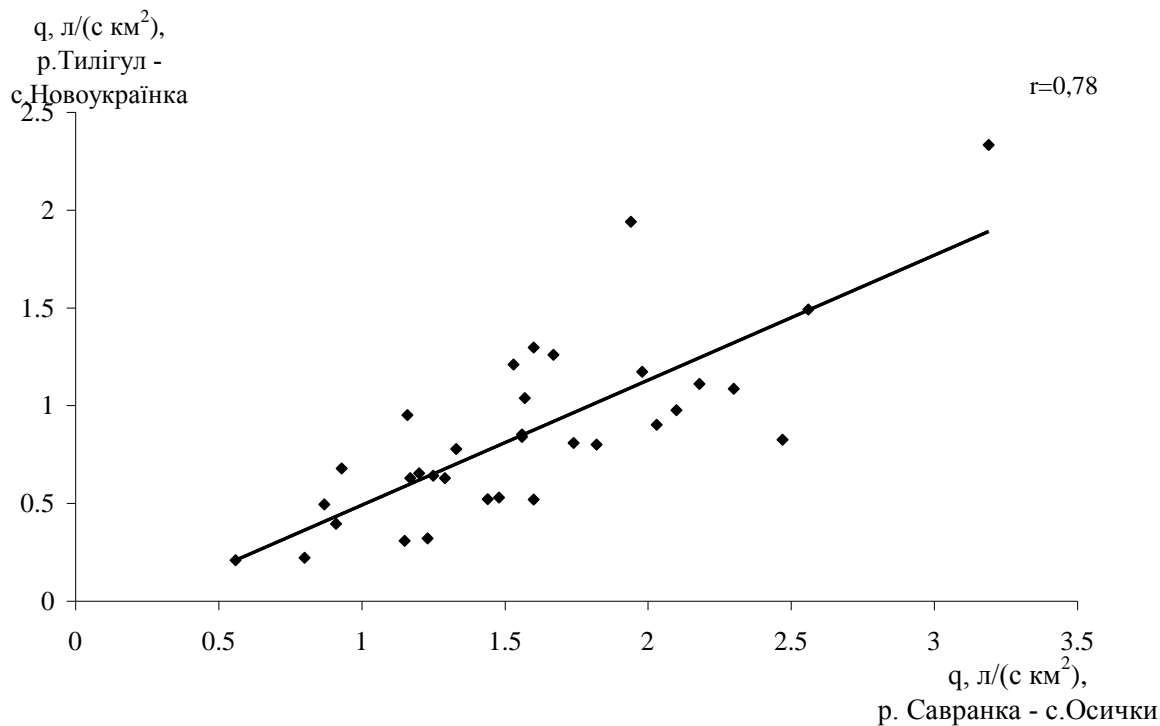


Рис. 2.8. Графік зв'язку річних модулів стоку q , р.Тилігул – с.Новоукраїнка, р.Савранка – с.Осички, 1955-1987 рр.

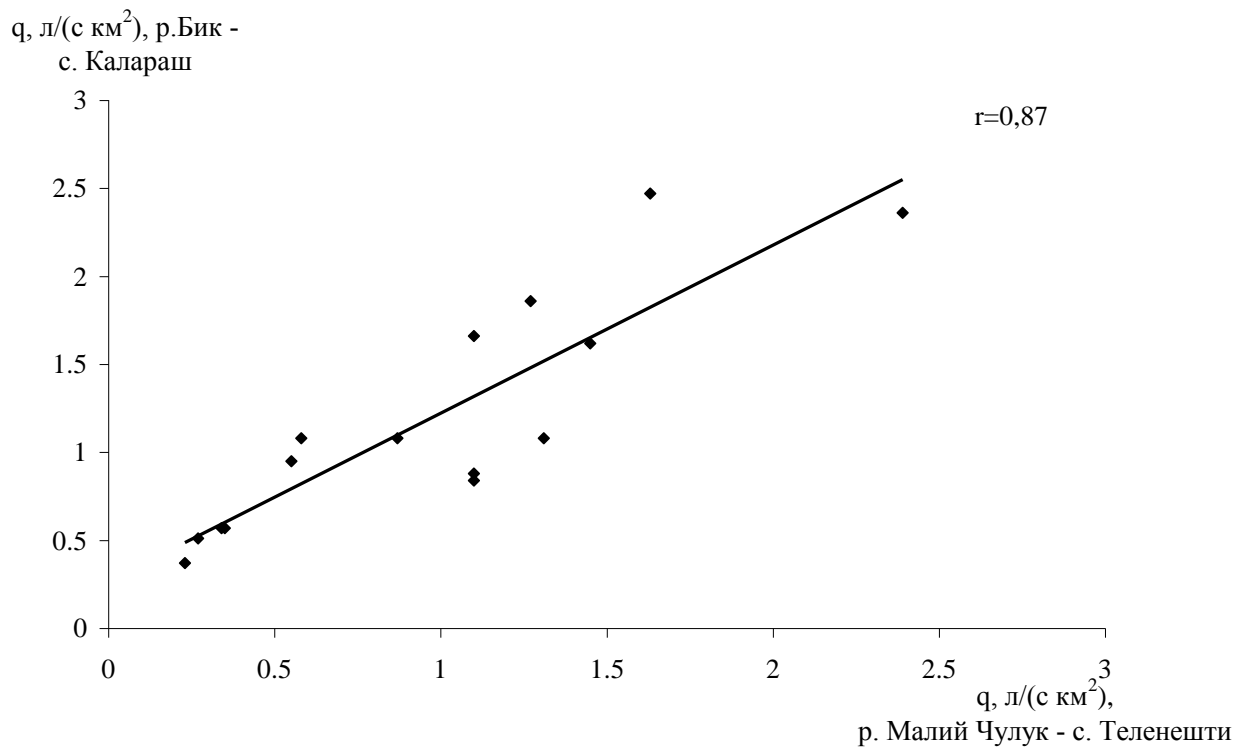


Рис. 2.9. Графік зв'язку річних модулів стоку q , р.Бик – с.Калараш, р. Малий Чулук – с. Теленешти, 1955-1969 рр.

2.4 Визначення статистичних параметрів меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень

Меженний стік формується у маловодний період, який може бути літньо-осіннім або зимовим, коли річка переходить на підземне живлення і коли поверхневий стік повністю припиняється.

За зимовий період приймається час від початку льодових явищ на річках даної території до початку весняної повені, за літньо-осінній період – від кінця повені до початку льодових явищ на річках. При відсутності льодових явищ на річках за кінець літньо-осіннього та початок зимового сезонів приймається середня дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С (в бік від'ємних температур).

Дослідження меженного стоку значно ускладнюється відсутністю узгоджених методів його визначення й аналізу. Це стосується і самого формулювання поняття «межень». На даний момент дослідники погодились тільки з дуже загальним формулюванням: «Основна характеристика межені - зменшення кількості води в певний момент часу на певній території» [195]. Літньо-осіння межень визначається як «період аномально посушливої погоди протягом досить тривалого періоду часу, достатній для того, щоб відсутність опадів спричинила значні гідрологічні порушення і призвела до виникнення дефіциту вологи з точки зору використання води людиною» [19].

У меженному періоді виділяють відрізок часу, коли стік є найменшим. Період найменшого стоку тривалістю до 30 діб (місяць) називають періодом мінімального стоку. У цей період річки живляться лише підземними водами [31,32].

Розрахунок характеристик меженного стоку при наявності даних спостережень здійснюється за допомогою статистичних методів аналогічно розрахункам річного стоку.

Тривалість спостережень вважається достатньою, якщо період, що розглядається, репрезентативний, а відносна середньоквадратична похибка розрахункового значення меженного стоку не перевищує 15 %.

Основними розрахунковими характеристиками меженного стоку є:

- середні багаторічні витрати води осереднені за весь меженний період, за 30 діб (місяць) або добу з найменшим стоком, що спостерігався в даному сезоні;
- мінімальні добові, 30-добові витрати води розрахункової ймовірності щорічного перевищення (забезпеченості), в основному в діапазоні 75-97 %;
- абсолютний мінімум, що є найменшою добовою витратою води за весь період спостережень.

Середньомісячні витрати рекомендується використовувати для розрахунків в тому випадку, коли меженний період тривалий та стійкий (триває не менше двох місяців і протягом цього часу на річці немає паводків), а також якщо вони не перевищують 30-добових більш, ніж на 10 %.

Мінімальні витрати, осереднені за 30 діб з найменшим стоком, використовують при короткотривалій та переривчастій межені. Короткою вважають межень тривалістю менше двох місяців; переривчастою, якщо вона переривається паводками. При частих паводках й коротких міжпаводкових періодах 30-добовий період може бути скорочений до 24 діб для запобігання включення паводкових витрат води в період мінімального стоку. Оскільки на річках Північно-Західного Причорномор'я межень досить стійка, для характеристики мінімального стоку можливо використовувати мінімальний місячний стік.

У межах Північно-Західного Причорномор'я найбільші значення мінімального місячного стоку літньо-осінньої та зимової межені спостерігаються на притоках великих річок, найменші – у межиріччях (табл. 2.3-2.6).

Таблиця 2.3

Статистичні параметри мінімального місячного стоку літньо-осінньої межені річок Північно-Західного Причорномор'я та прилеглих територій, визначені за методом моментів

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}^-$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s/C_v	σ_{C_s/C_v}
р.Ялпуг – с. Буджак	13	0,025	71,3	2,57	17,8	2,93	1,1	0,26
р.Тараклія – с.Тараклія	39	0,347	13,2	0,82	13,7	1,48	1,8	0,48
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	25	0,240	7,5	0,38	14,8	1,47	3,9	1,30
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	19	0,383	16,7	0,73	18,1	0,49	0,7	0,77
р.Когильник – м.Котовськ	42	0,383	10,6	0,69	12,7	0,60	0,9	0,55
р.Бик – м. Кишинев	28	0,641	15,0	0,79	15,6	0,86	1,1	0,58
р.Бик – с. Калараш	19	0,185	34,6	1,51	19,9	2,81	1,9	0,37
р.Пожарна – с.Синотени	23	0,243	27,8	1,34	18,8	1,68	1,3	0,38
р.Ішновець – с.Синжера	28	0,109	18,9	1,00	16,5	1,33	1,3	0,46
р.Балцата – с.Балцата	23	0,264	16,5	0,74	17,7	0,80	1,1	0,74
р.Ботна – с.Каушани	44	0,217	15,6	1,01	14,0	1,01	1,0	0,36
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	48	0,699	12,2	0,84	12,6	5,44	6,5	0,42
р.Рибниця – с. Андріївка	30	0,413	12,8	0,70	14,8	0,24	0,3	0,64

Продовження табл. 2.3

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s/C_v	σ_{C_s/C_v}
р.Ягорлик – с.Дойбани	52	0,310	7,7	0,56	11,0	0,01	0,01	0,61
р.Тилигул – смт Березівка	59	0	-	-	-	-	-	
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,136	18,1	1,04	15,7	0,88	0,9	0,41
р.Савранка – с.Осички	59	0,641	7,7	0,59	10,4	0,16	0,3	0,54
р.Кодима – с.Обжила	35	0,261	13,7	0,81	14,3	0,65	0,8	0,51
р.Кодима – с.Катеринка	68	0,144	14,9	1,23	12,5	1,40	1,1	0,24
р.Чичиклія – с.Васильівка	38	0	-	-	-	-	-	
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	63	0,294	10,6	0,84	11,1	1,10	1,3	0,37
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	49	0,007	54,3	3,8	18,2	4,54	1,2	0,09
р.Інгул – м.Кировоград	69	0,457	12,0	1,00	11,4	1,87	1,9	0,30
р.Інгул – с.Седнівка	59	0,485	6,4	0,50	10,1	0,58	1,2	0,64
р.Інгул – с.Новогорожене	80	0,318	8,6	0,76	9,7	1,12	1,5	0,36
р.Громоклія – с.Михайлівка	43	0,018	24,5	1,61	16,5	1,75	1,1	0,23
р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	48	0,515	11,4	0,79	12,4	1,07	1,4	0,45

Таблиця 2.4

Статистичні параметри мінімального місячного стоку літньо-осінньої межені річок Північно-Західного Причорномор'я та прилеглих територій, визначені за методом найбільшої правдоподібності

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s / C_v	C_s	ε_{C_v} , %	σ_{C_s / C_v}
р.Ялпуг – с. Буджак	13	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Тараклія – с.Тараклія	39	0,347	13,1	-0,1668	0,1317	0,82	1,9	1,56	10,2	0,55
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	25	0,240	7,4	-0,0288	0,0284	0,37	2,3	0,85	14,1	0,93
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	19	0,383	17,4	-0,1651	0,1209	0,76	1,5	1,14	14,1	0,59
р.Когильник – м.Котовськ	42	0,383	10,8	-0,1713	0,1109	0,70	1,0	0,70	9,1	0,61
р.Бик – м. Кишинев	28	0,641	15,5	-0,1848	0,1361	0,82	1,6	1,31	11,5	0,56
р.Бик – с. Калараш	19	0,185	-	-0,3218	0,3150	-	-	-	-	-
р.Пожарна – с.Синотени	23	0,243	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Ішновець – с.Синжера	28	0,109	20,2	-0,2622	0,1968	1,07	2,2	2,35	11,9	0,50
р.Балцата – с.Балцата	23	0,264	14,6	-0,1373	0,1047	0,70	1,5	1,05	13,0	0,61
р.Ботна – с.Каушани	44	0,217	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	48	0,699	-	-0,0726	0,0878	-	-	-	-	-
р.Рибниця – с. Андріївка	30	0,413	13,9	-0,1427	0,1141	0,76	1,9	1,44	11,8	0,58

Продовження табл. 2.4

Річка-пост	n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon \bar{q}_{\min}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s / C_v	C_s	εC_v , %	σ_{C_s / C_v}
р.Ягорлик – с.Дойбани	52	0,310	-	-0,1056	0,0768	-	-	-	-	-
р.Тилигул – смт Березівка	59	0	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,136	-	-0,0828	0,2640	-	-	-	-	-
р.Савранка – с.Осички	59	0,641	-	-0,1428	0,0851	-	-	-	-	-
р.Кодима – с.Обжила	35	0,261	14,4	-0,2236	0,1495	0,85	1,4	1,19	10,1	0,55
р.Кодима – с.Катеринка	68	0,144	18,2	-0,4793	0,3023	1,5	2,2	3,30	6,6	0,50
р.Чичиклія – с.Васильївка	38	0	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	63	0,294	-	-0,1314	0,1573	-	-	-	-	-
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	49	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Інгул – м.Кировоград	69	0,457	13,1	-0,1903	0,1743	1,09	3,3	3,60	9,4	0,850
р.Інгул – с.Седнівка	59	0,485	6,6	-0,0640	0,0544	0,51	1,5	0,77	8,6	0,73
р.Інгул – с.Новогорожене	80	0,318	9,2	-0,1704	0,1238	0,82	1,5	0,23	6,7	0,57
р.Громоклія – с.Михайлівка	43	0,018	-	-	-	-	-	-	-	-
р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	48	0,515	13,0	-0,1218	0,1280	0,9	4,0	3,6	12,7	0,53

Таблиця 2.5

**Статистичні параметри мінімального місячного стоку зимової межени річок Північно-Західного
Причорномор'я та прилеглих територій, визначені за методом моментів**

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}^-$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s/C_v	σ_{C_s/C_v}
р.Ялпуг – с. Буджак	13	0,238	24,7	0,89	21,1	1,15	1,3	0,76
р.Тараклія – с.Тараклія	39	0,479	11,8	0,74	13,3	1,53	2,1	0,53
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	25	0,308	11	0,55	15,4	1,87	3,4	0,89
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	19	0,794	11,1	0,48	18,0	0,60	1,3	0,99
р.Когильник – м.Котовськ	42	0,791	9,5	0,62	12,4	1,75	2,8	0,61
р.Бик – м. Кишинев	28	0,795	19,1	1,01	16,6	1,24	1,2	0,46
р.Бик – с. Калараш	19	0,597	18,4	0,80	18,3	0,59	0,7	0,70
р.Пожарна – с.Синотени	23	0,589	22,7	1,09	18,1	2,22	2,0	0,47
р.Ішновець – с.Синжера	28	0,196	15,5	0,74	16,7	1,27	1,7	0,69
р.Балцата – с.Балцата	23	0,367	13,4	0,58	17,5	0,84	1,4	0,96
р.Ботна – с.Каушани	44	0,248	12,5	0,83	13,0	0,85	1,0	0,45
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	48	0,698	6,7	0,46	11,0	1,24	2,7	0,77
р.Рибниця – с. Андріївка	30	0,527	11,9	0,65	14,6	0,82	1,3	0,70

Продовження табл. 2.5

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	C_s/C_v	σ_{C_s/C_v}
р.Ягорлик – с.Дойбани	52	0,511	5,9	0,42	10,5	0,29	0,7	0,8
р.Тилигул – смт Березівка	59	0,000	-	-	-	-	-	-
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,465	13,3	0,76	14,5	1,67	2,2	0,56
р.Савранка – с.Осички	59	1,03	6,7	0,52	10,2	1,57	3,1	0,63
р.Кодима – с.Обжила	35	0,686	12,8	0,46	12,8	0,14	0,3	0,91
р.Кодима – с.Катеринка	68	0,461	9,9	0,81	10,6	1,05	1,3	0,36
р.Чичиклія – с.Васильівка	38	0,000	-	-	-	-	-	-
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	63	0,858	8,0	0,63	10,3	1,83	2,9	0,49
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	49	0,047	35,2	2,46	18,0	4,38	1,8	0,14
р.Інгул – м.Кировоград	69	0,822	8,4	0,69	10,1	1,06	1,5	0,42
р.Інгул – с.Седнівка	59	0,878	6,5	0,49	10,3	0,42	0,86	0,66
р.Інгул – с.Новогорожене	80	0,476	8,6	0,68	10,4	0,95	1,4	0,45
р.Громоклія – с.Михайлівка	43	0,197	18,8	1,23	15,0	2,87	2,3	0,30
р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	48	0,594	8,9	0,62	11,6	0,66	1,1	0,57

Таблиця 2.6

Статистичні параметри мінімального місячного стоку зимової межени річок Північно-Західного Причорномор'я та прилеглих територій, визначені за методом найбільшої правдоподібності

Річка-пост	Тривалість рядів, n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s / C_v	C_s	ε_{C_v} , %	σ_{C_s / C_v}
р.Ялпуг – с. Буджак	13	0,238	-	-0,3790	0,5564	-	-	-	-	-
р.Тараклія – с.Тараклія	39	0,479	12,0	-0,1044	0,1001	0,75	3,0	2,25	11,9	19,3
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	25	0,308	-	-0,0506	0,0560	-	-	-	-	-
р.Велика Сальча – с.Мусаїт	19	0,794	-	-0,0721	0,0536	-	-	-	-	-
р.Когильник – м.Котовськ	42	0,791	9,4	-0,0821	0,0734	0,61	2,1	1,28	10,3	0,64
р.Бик – м. Кишинев	28	0,795	21,7	-0,2407	0,2004	1,15	2,7	3,10	12,2	0,50
р.Бик – с. Калараш	19	0,597	19,3	-0,2761	0,1550	0,84	1,0	0,84	13,1	0,57
р.Пожарна – с.Синотени	23	0,589	-	-0,2256	0,2158	-	-	-	-	-
р.Ішновець – с.Синжера	28	0,196	16,1	-0,1147	0,1085	0,77	2,6	2,00	14,8	0,58
р.Балцата – с.Балцата	23	0,367	11,5	-0,0687	0,0600	0,55	1,6	0,88	13,5	0,68
р.Ботна – с.Каушани	44	0,248	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	48	0,698	-	-0,0282	0,0471	-	-	-	-	-
р.Рибниця – с. Андріївка	30	0,527	12,4	-0,1020	0,0897	0,68	2,0	1,36	12,0	0,60

Продовження табл. 2.6

Річка-пост	n	\bar{q}_{\min} , л/(с·км ²)	$\varepsilon_{\bar{q}_{\min}}$, %	λ_2	λ_3	C_v	C_s/C_v	C_s	ε_{C_v} , %	σ_{C_s/C_v}
р.Ягорлик – с.Дойбани	52	0,511	-	-0,0492	0,0409	-	-	-	-	-
р.Тилигул – смт Березівка	59	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	33	0,465	13,4	-0,1201	0,1089	0,77	2,5	1,93	12,4	0,58
р.Савранка – с.Осички	59	1,03	-	-0,0706	0,0542	-	-	-	-	-
р.Кодима – с.Обжила	35	0,686	-	-0,0681	0,0504	-	-	-	-	-
р.Кодима – с.Катеринка	68	0,461	-	-0,3331	0,1476	-	-	-	-	-
р.Чичиклія – с.Васильївка	38	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	63	0,858	-	-0,1618	0,0779	-	-	-	-	-
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	49	0,047	-	-	-	-	-	-	-	-
р.Інгул – м.Кировоград	69	0,822	8,8	-0,1318	0,1037	0,73	1,9	1,39	7,8	0,58
р.Інгул – с.Седнівка	59	0,878	7,0	-0,0699	0,0548	0,53	3,0	1,59	9,9	0,72
р.Інгул – с.Новогорожене	80	0,476	8,5	-0,1201	0,0948	0,68	1,5	1,02	7,8	0,62
р.Громоклія – с.Михайлівка	43	0,197	-	-0,2226	0,0853	-	-	-	-	-
р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	48	0,594	9,7	-0,0913	0,0853	0,67	2,5	1,68	10,2	0,65

У зв'язку з глибоким заляганням водоносних горизонтів на деяких річках мінімальний місячний стік дорівнює нулю протягом всього періоду спостережень (р.Тилігул – смт Березівка, р.Чичиклія – с.Васильївка) або окремих років (р.Ботна – с.Каушани, р.Ялпуг – с.Буджак, р.Пожарна – с.Синотени, р.Тилігул – с.Новоукраїнка, р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя, р.Громоклія – с.Михайлівка). Це ускладнює використання методу найбільшої правдоподібності для визначення статистичних параметрів.

У багатьох випадках точність розрахунку статистичних параметрів мінімального стоку є незадовільною: $\varepsilon_{q_{\min}}^-$ перевищує 15%. Через значну мінливість його коливань: в період літньо-осінньої межени коефіцієнт варіації, визначений за методом моментів, змінюється від 0,50 (р.Інгул – с.Седнівка) до 3,80 у створі р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя, в період зимової межени – від 0,42 (р.Ягорлик – м.Дойбани) до 2,46 (р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя). Середнє відношення C_s / C_v дорівнює 1,5.

При недостатності даних спостережень характеристики мінімального стоку визначаються за даними річок-аналогів.

Так, наприклад, відносна середньоквадратична похибка розрахункового значення меженного стоку $\varepsilon_{q_{\min}}^-$ на р. Бик у створі с.Калараш, який має тривалість 19 років, дорівнює 34,6%, а коефіцієнта варіації ε_{C_v} - 19,9%. Подовження ряду меженного стоку проводилося за річкою-аналогом р.Ягорлик – с.Дойбани (тривалість ряду 52 роки). Зв'язок між річками можна охарактеризувати як тісний (коефіцієнт кореляції $r=0,84$) (рис. 2.10). Після приведення до багаторічного періоду за формулою (2.3) статистичні параметри меженного стоку р.Бик – с.Калараш задовольняють вимогам точності розрахунків $\varepsilon_{q_{\min}}^-$ ($\varepsilon_{q_{\min}}^- = 9,9\%$ та $\varepsilon_{C_v} = 11,6\%$).

При відсутності річки-аналога і відносній середньоквадратичній похибці визначення середньої багаторічної величини мінімального стоку $\varepsilon_{q_{\min}}^- > 15\%$

розрахунок проводиться за тими ж методами, що і при відсутності даних спостережень.

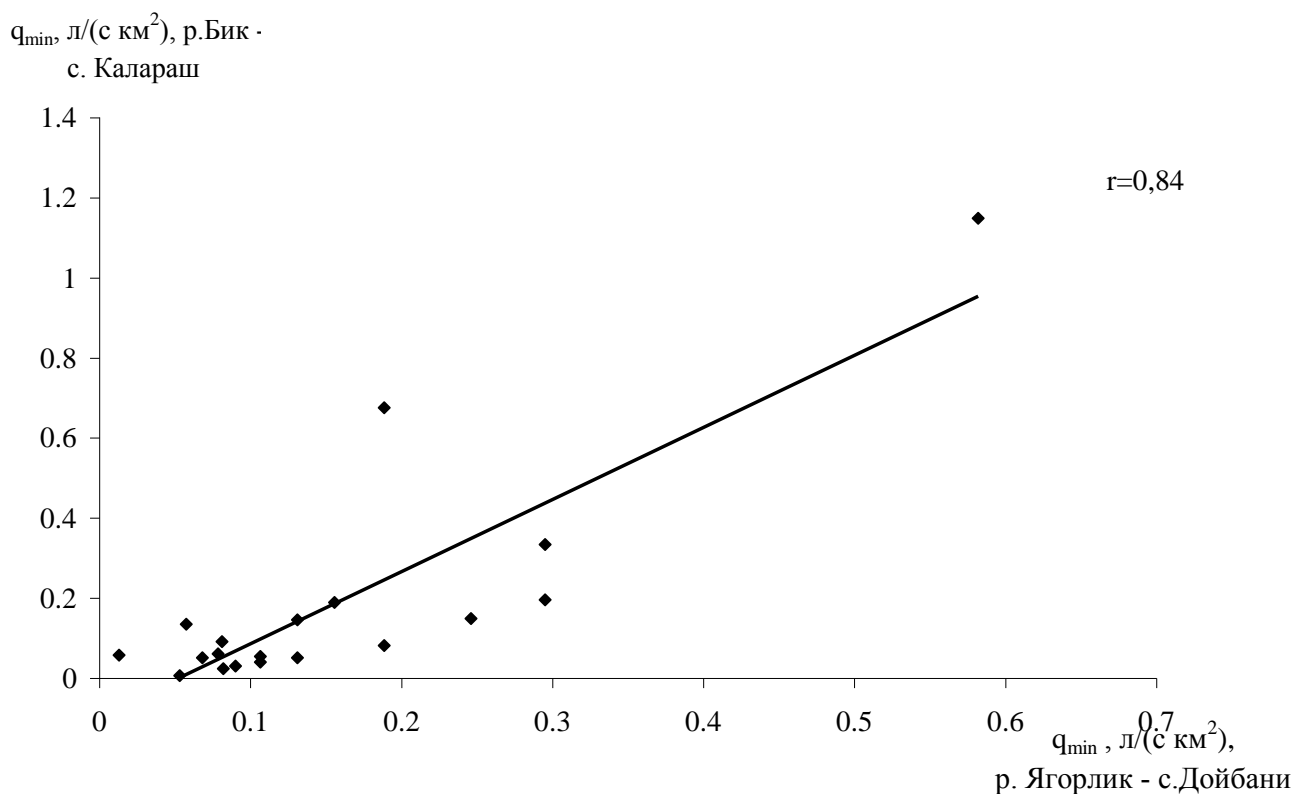


Рис. 2.10. Графік зв'язку річних модулів стоку q , р.Бик – с.Калараш, р.Ягорлик – с.Дойбани, 1950-1969 рр.

Висновки до розділу 2

На базі даних про 28 гідрологічних постів установлені оцінки статистичних параметрів річного й мінімального місячного стоку літньо-осінньої та зимової межені. Показано, що визначені оцінки не можна визнати достовірними через нетривалість рядів, їх високу мінливість та вплив антропогенної діяльності.

Перевірка стоку на однорідність показала ознаки нестационарності у спостережених рядах.

РОЗДІЛ 3

ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕНОГО СТОКУ ПРИ ВІДСУТНОСТІ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

3.1 Просторово-часові узагальнення гідрологічних характеристик на базі даних спостережень для території України

Обмеженість у часі наявних спостережень по більшості рядів стоку річок Північно-Західного Причорномор'я породжує нестійкість оцінок статистичних параметрів, що може бути ефективно компенсоване за рахунок додаткової інформації про просторові закономірності розподілу розглядуваних характеристик річкового стоку. Для підвищення надійності оцінок статистичних параметрів за вибірковими даними рекомендується виконувати їхнє просторове узагальнення [80]. До просторового узагальнення звертаються у тих випадках, коли похибка визначення індивідуальної характеристики перевищує похибку визначення узагальненої [183]. Обґрунтування способу узагальнення гідрометеорологічної інформації (картування або районування) може бути виконане на основі «методу сумісного аналізу даних», запропонованого С.М. Крицьким та М.Ф. Менкелем [76]. Сутність методу зводиться до визначення географічної й випадкової складових загальної просторової дисперсії розглядуваних статистичних параметрів. Географічна складова обумовлюється зональними чинниками формування стоку, випадкова – проявом особливостей коливань стоку, пов'язаних як із азональними й інтразональними чинниками формування стоку, так і неоднаковою тривалістю рядів спостережень, впливом водогосподарської діяльності. Проте, статистичному аналізу просторово-часового розподілу досліджуваної гідрометеорологічної характеристики передують географо-гідрологічний аналіз. Характерною рисою географо-гідрологічних досліджень є визначення просторових і просторово-часових закономірностей кругообігу води,

гідрологічного циклу й окремих їх складових [53]. Підходи до аналізу річкового географічного басейну з комплексних географічних позицій започатковані ще В.В. Докучаєвим [60] та О.І. Войєковим і були розвинуті М.А. Велікановим [25] та М.І. Львовичем [123,124]. Географо-гідрологічний метод як такий, що установлює причинний зв'язок формування поверхневих і підземних вод із географічним ландшафтом, включаючи клімат, геологію, геоморфологію, ґрунти і рослинність та встановлює на основі цього зв'язку гідрологічні характеристики вод, був запропонований у 1933 р. на Першому Всесоюзному з'їзді Географічного товариства В.В. Глушковим [37]. Генетичний підхід до вивчення й узагальнення характеристик стоку є основою географо-аналітичного методу. Свого розвитку він набув у роботах Л.К. Давидова [58], В.Б. Полякова [146], А.А. Владимірова [30]

В Одеському державному екологічному університеті генетичний комплексний напрямок у розвитку гідрологічних розрахунків та прогнозів започаткував проф. А.М. Бефані [4] та його послідовники: проф. Є.Д. Гопченко [48,50], проф. О.Г. Іваненко [65] проф. О.М. Мельничук [131], проф. Н.Ф. Бефані [6], проф. Г.І. Швєбс [79,149].

У 1963 р. В.Б. Сочавою в географію був введений термін «геосистема» як «земний простір усіх розмірностей, де окремі компоненти природи знаходяться у системному зв'язку один з одним і як певна цілісність взаємодіють з космічною сферою та людським суспільством» [171]. Перші роботи по виділенню ландшафтних територіальних структур для України в єдину систему належать Г.І. Швєбсу, П.Г. Шищенку та М.Д. Гродзинському [187]. Геосистемно-гідрологічний та особливо басейновий підходи у гідроекології та гідрохімії розвинені у наукових працях В.І. Пелешенка [145], Л.М. Горева [51], В.К. Хільчевського та інших вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка [36,178,179], В.І. Осадчого та Н.М. Осадчої [140,141]. У гідроморфологічних дослідженнях до такого роду робіт належать наукові праці О.Г. Ободовського [136] та Ю.С. Ющенка [191], І.П. Ковальчука [73]. Впровадження басейнового принципу в управління та узгодження меж

водогосподарських ділянок з межами басейнів та суббасейнів знайшло своє відображення у роботах А.В. Яцика [192], В.В. Гребіня, О.В. Чунарьова [55]. У останні роки набули значущості просторово-часові узагальнення пов'язані із наслідками техногенного втручання у гідрологічні та гідрохімічні процеси, про які йдеться у роботах В.М. Самойленка [160,161] Я.О. Мольчака, [132,133], В.М. Тимченка [175], Т.В. Соловей [169].

Поєднання гідролого-географічних узагальнень із методами багатовимірної статистичного аналізу знайшло свою реалізацію у роботах Н.С. Лободи [81], С.І. Сніжка [165,166].

Найбільш докладною з точки зору розвитку гідролого-географічних узагальнень на території України у останні десятиріччя є робота В.В. Гребіня, в якій обґрунтовано та реалізовано територіальну й функціональну структуру ландшафтно-гідрологічної організації простору України [53]. Ландшафтно-гідрологічний підхід розглядає ландшафт як природну систему з подібними морфологічними та функціональними зв'язками, а водна компонента у цьому підході є чинником, що обумовлює зв'язок елементів ландшафту, масо- та енергообмін в системі. Згідно із ландшафтно-гідрологічним районуванням територія Північно-Західного Причорномор'я віднесена до степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони, яка складається з Нижньобузько-Дніпровської та Причорноморсько-Приазовської ландшафтно-гідрологічних провінцій (у межах Причорноморського ландшафтно-гідрологічного району).

3.2 Просторово-часові узагальнення характеристик річного стоку на території Північно-Західного Причорномор'я

Можливість картування норм річного стоку \bar{Y} ґрунтується на рівнянні водного балансу водозбору за багаторічний період [35]

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}, \quad (3.1)$$

де \bar{X} – річна норма опадів у межах водозбору, мм; \bar{E} – річна норма випаровування з поверхні суші у межах водозбору, мм.

Норма річного стоку, розрахована за рівнянням водного балансу, відображає зональність розподілу кліматичних чинників і може бути представленою у вигляді карти ізоліній. Норми річного стоку малих та середніх водозборів підлягають впливу чинників підстильної поверхні. Дані по таких водозборах не ураховуються при побудові карт ізоліній. При використанні вже побудованої карти до визначених за картою значень норм стоку малих та середніх водозборів вводяться поправочні коефіцієнти.

На рівнинних територіях карти норм стоку мають будуватися з урахуванням просторового розподілу кліматичних чинників. Якщо ізогіети та ізотерми мають приблизно однаковий напрям, то у тому ж напрямі проводяться карти ізоліній стоку. Якщо ізогіети та ізотерми утворюють кут, то ізолінія стоку має проходити у межах цього кута, але ближче до напрямку ізогіет [5].

За нормативним документом СНиП 2.01.14-83 [147], який діяв до 2015 р., норма річного стоку рівнинних річок має визначатися за картою середнього багаторічного стоку річок СРСР, що була виконана в масштабі 1:10000000.

Кarti ізоліній середніх багаторічних величин річного стоку річок України розробили Л.Г. Онуфрієнко та І.І. Волошин [138]. Запропонована карта була побудована на матеріалах 615 пунктів із площею водозборів від 100 до 50000 км². Не враховувались водозбори площею менше 100 км² рівнинних районів лісостепової зони, а також Донецького Кряжу, Приазовської та Подільської височин, де стік значно відрізняється від зонального внаслідок впливу особливостей геологічної будови, дії карсту та інших місцевих чинників, серед яких значне місце можуть займати чинники антропогенного походження. При цьому були використані ряди річного стоку від початку спостережень до 1978 р. Крок між ізолініями змінний: на півдні 0,5 л/(с·км²), на іншій частині рівнинної території - 1,0 л/(с·км²). Пізніше ця карта була уточнена А.І. Шерешевським та П.Ф. Вишневецьким з використанням даних 1975-1992 рр. минулого сторіччя [188].

Відносна середня квадратична похибка визначення середніх багаторічних величин стоку для рівнинних територій становить 10-25%, для гірських –20%.

При визначенні норми річного стоку невивченого у гідрологічному відношенні водозбору за картою ізоліній користуються наступною формулою

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_1 f_1 + \bar{Y}_2 f_2 + \dots + \bar{Y}_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (3.2)$$

де \bar{Y} – середньозважене значення норми стоку для досліджуваного водозбору; $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_n$ – середні значення норми стоку між суміжними ізолініями; f_1, f_2, \dots, f_n – площі між відповідними ізолініями стоку. Якщо досліджуваний водозбір розміщується між двома ізолініями, то норма стоку визначається шляхом інтерполяції між значеннями двох ізоліній [42].

Можливе використання регіональних методик, в яких норма стоку розраховується за рівнянням парної або множинної регресії, де в якості аргументів виступають показники стокоформуєчих чинників (координати центру тяжіння водозбору, площа водозбору, залісеність, заболоченість, середня висота водозбору та ін.).

На картах, наведених у сучасних літературних джерелах [147,172,188] ізолінії норм річного стоку на території Північно-Західного Причорномор'я проведені пунктиром через відсутність або нестачу даних або в результаті суттєвого перетворення стоку водогосподарською діяльністю. За картами, наведеними у цих роботах, середня багаторічна величина річного стоку змінюється від 0,2 до 1,0 л/(с·км²). Коефіцієнти переходу від значень норм річного стоку, знятих з карти до стоку малих водозборів (з площею меншою 200 км²) рекомендовано визначати в залежності від площі водозбору (табл.3.1). З табл. 3.1 витікає, що норма річного стоку малих водозборів вище зональної лише при площах, менших 200 км².

Коефіцієнти переходу від значень норм річного стоку, визначених за картою, до норм стоку малих водозборів

Район	Площа водозбору, км ²				
	10	25	50	100	200
Межиріччя Дунай-Дністер, Дністер-Південний Буг [172]	2,3	1,9	1,6	1,3	1,0
Південь України [147]	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0

Коефіцієнт варіації C_V є оберненим по відношенню до середньої багаторічної величини стоку: чим більша величина стоку, тим менша його мінливість. У зоні надлишкового і достатнього зволоження значення коефіцієнтів варіації малі, при переході до зони недостатньої зволоженості вони зростають. Таким чином, коефіцієнт варіації у певній мірі підлягає закону географічної зональності і може бути представленим картою ізоліній. В роботі [172] для території Північно-Західного Причорномор'я C_V , визначений за картою, знаходиться в межах від 0,6 до 1. На малих річках вплив чинників підстильної поверхні нівелює вплив клімату, тому коефіцієнт варіації може залежати від площі водозбору, заболоченості, озерності [35,42]. Із зростанням площі водозбору коефіцієнт варіації, як правило, зменшується, тому що стабілізується підземне живлення, згладжуються коливання стоку у різних частинах водозбору, обумовлені нерівномірністю залягання снігового покриву або випадіння опадів.

У роботі Л.Г. Онуфрієнка та І.І. Волошина [138] наведена карта коефіцієнтів варіації річного стоку рівнинних водозборів. Пізніше ця карта була уточненою А.І. Шерешевським та П.Ф. Вишневським. Ізолінії проведені з кроком 0,1. Ця карта побудована для річок із площами від 1000 до 50000 км², на яких озерність не перевищувала 3%.

У СНІП 2.01.14-83 [147] для розрахунків коефіцієнтів варіації при відсутності даних спостережень для усієї території колишнього СРСР рекомендовано формулу узагальненого вигляду

$$C_V = \frac{A_3}{\bar{q}^{0.4} (F + 1000)}, \quad (3.3)$$

де A_3 – параметр, який визначається за даними річок-аналогів; \bar{q} – норма річного стоку; F – площа водозбору.

При розробці розрахункових залежностей за моделлю регресії бажано використовувати як можливі предиктори середню багаторічну величину річного стоку \bar{q} , площу водозбору F , озерність $f_{оз}$, заболоченість $f_{б}$.

Згідно із районуванням, представленим у СНІП 2.01.14-83 [147] відношення C_S/C_V на території Північно-Західного Причорномор'я рекомендується приймати рівним двом.

Проф. Н.С. Лободою були виконані просторово-часові узагальнення статистичних параметрів річного стоку за даними до 1989 р. на основі методів факторного аналізу, методу головних компонент та сумісного аналізу даних [81]. Установлено, що річки межиріч Дунай-Дністер, Дністер-Південний Буг та притоки Дністра (у нижній течії) й притоки Південного Бугу (у його середній та нижній течії) відносяться до району із синхронними коливаннями стоку. Згідно із результатами методу сумісного аналізу просторової дисперсії статистичних параметрів, які визначаються по даним спостережень із малою достовірністю, були рекомендовані для гідрологічних розрахунків такі осереднені статистичні параметри як коефіцієнт автокореляції $r(1)$, відношення C_S/C_V , коефіцієнт варіації C_V для річок із сталим підземним живленням (табл.3.2).

Таблиця 3.2

**Результати застосування методу сумісного аналізу даних щодо
обґрунтування способу узагальнення статистичних параметрів річного стоку
річок Північно-Західного Причорномор'я за даними до 1989 р. [81]**

Статистичний параметр	Осереднене значення параметру	Внесок випадкової складової у просторову дисперсію, %	Середня квадратична похибка визначення осередненого параметру
$r(1)$	0,10	100	0,096
C_S / C_V	1,7	52	0,391
C_V	1,01	61	0,151

Автором дисертаційної роботи метод сумісного аналіз був застосований для вибору методу узагальнення статистичних параметрів річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я спостережень до 2012 р., включно (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Результати застосування методу сумісного аналізу даних щодо
обґрунтування способу узагальнення статистичних параметрів річного стоку
річок Північно-Західного Причорномор'я на матеріалах від початку
спостережень до 2012 р.**

Статистичний параметр	Осереднене значення параметру	Внесок випадкової складової у просторову дисперсію, %	Середня квадратична похибка визначення осередненого параметру
$r(1)$	0,26	99	0,041
C_S / C_V	1,8	65	0,490
C_V	0,80	32	0,218

Як видно із табл. 3.3, осереднений коефіцієнт автокореляції дещо збільшився від 0,1 до 0,26, що пояснюється збільшенням підземного та мінімального стоку річок у період глобального потепління (див. розділ 5). Проте це збільшення характерне лише для річок, які мають стійке підземне живлення. На річках, що пересихають, зростання підземного живлення не відбувається, а, отже, коефіцієнти автокореляції навпаки наближаються до нуля. Залежність коефіцієнта автокореляції від норми річного стоку як загальної характеристики водності ілюструє (рис. 3.1), що із зростанням водності збільшуються і коефіцієнти автокореляції.

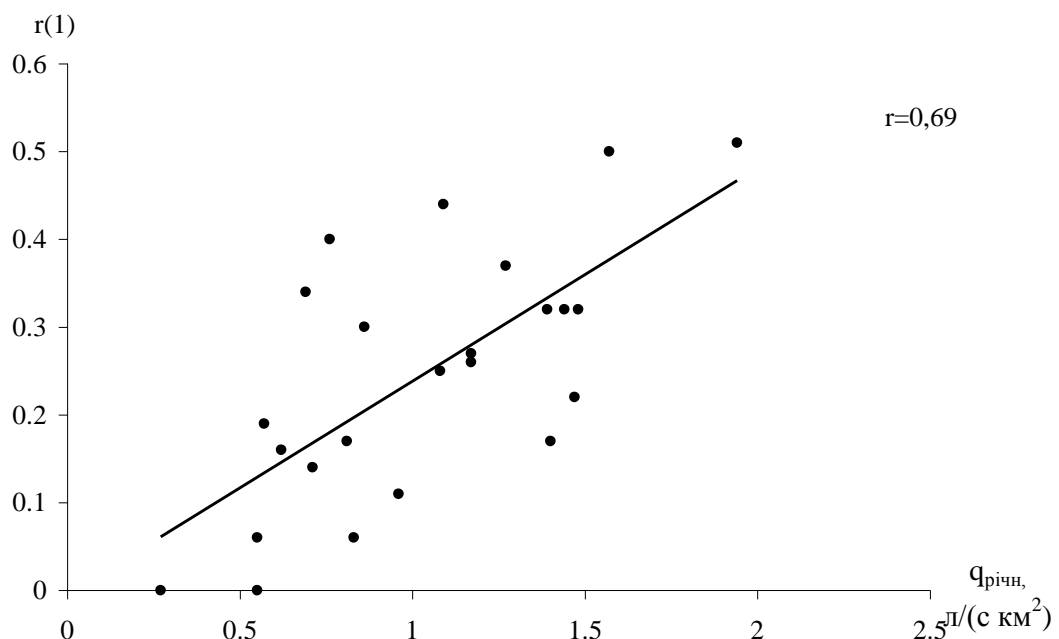


Рис. 3.1. Залежність коефіцієнта автокореляції від норми річного стоку

Для прийняття рішення щодо способу узагальнення статистичних параметрів необхідно, щоб одна із складових просторової дисперсії (географічна або випадкова) була більше 70% [80]. З табл. 3.2, 3.3 видно, що така умова виконується тільки для параметру $r(1)$. Таким чином, у подальших розрахунках можна застосовувати індивідуальні уточнені оцінки C_S/C_V згідно із рекомендаціями С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля. Що ж стосується коефіцієнту варіації, то у його просторовому розподілі переважає географічна складова і

використовувати його осереднені у межах розглянутої території оцінки недопустимо.

3.3 Просторово-часові узагальнення річного стоку за генетичним підходом А.М. Бефані

Генетичний метод розглядає процес формування річного стоку за його генезисом, тобто виділяються поверхнева та підземна складові. Метод був запропонований д.геогр.н., проф. Одеського гідрометеорологічного інституту А.М. Бефані [4]. Згідно з його вченням, інтразональні чинники формування стоку по різному впливають на поверхневий та підземний стік [46]. Озерність і заболоченість регулюють поверхневу складову. Залісеність впливає як на формування поверхневого, так і підземного стоку. Для річок із стійким підземним живленням під впливом дії лісу поверхневий стік зменшується, а підземний – зростає. Поверхневий стік у зоні надлишкового та достатнього зволоження від площі водозбору не залежить і лише у зоні недостатнього зволоження може зменшуватись за рахунок втрат на поверхневе затримання.

Підземна складова річного стоку пов'язана із дренаванням руслом річки водоносних горизонтів, а отже, стає залежною від площі водозбору. Площа водозбору служить показником повноти підземного живлення.

Норма річного стоку представляється у такому вигляді [4]

$$\bar{Y} = \bar{Y}_{\text{пов}} \gamma_{\text{л}}' \gamma_{\text{оз}}' \gamma_{\text{б}}' + \varphi U_0 \gamma_{\text{л}} \gamma_{\text{k}}, \quad (3.4)$$

де $\bar{Y}_{\text{пов}}$ – середня багаторічна поверхнева складова норми річного стоку;
 $\gamma_{\text{л}}', \gamma_{\text{оз}}', \gamma_{\text{б}}'$ – коефіцієнти впливу лісу, озер, боліт на поверхневий стік, відповідно; φ – коефіцієнт, який показує, яка частина з норми фільтрації опадів

U_0 у підстильну поверхню, приймає участь у формуванні стоку; γ_l, γ_k – коефіцієнт впливу лісистості та карсту на підземний стік, відповідно.

Коефіцієнт φ представлений А.М. Бефані апроксимуючим рівнянням багаторівневого підземного живлення, яке має наступний вигляд

$$\varphi = th \left(a_{\Gamma} n_3 \sqrt{\frac{F}{F_{1KP}} - 1} \right), \quad (3.5)$$

де th – гіперболічний тангенс; a_{Γ} – гідрогеологічний параметр, рівний відношенню потужності усіх потоків підземних вод зони дренування по вертикалі до максимальної глибини дренування; n_3 – показник інтенсивності наростання підземного припливу; F – площа водозбору, км²; F_{1KP} – перша критична площа (км²) або площа, при якій гіперболічний тангенс дорівнює нулю, отже $\bar{Y}_{nidz} = 0$.

Зростання підземного живлення із збільшенням площі басейну відбувається до певної межі, обумовленої місцевим базисом ерозії. Якщо відношення $\frac{F}{F_{1KP}}$ необмежено зростає, то гіперболічний тангенс наближається до одиниці, тобто підземне живлення дорівнює нормі інфільтрації U_0 .

Площа, при якій підземне живлення річок стабілізується має назву другої критичної F_{2KP} .

Якщо за розрахунками коефіцієнт φ наближається до одиниці ($\varphi > 0,99$), то водозбір з площею F може розглядатися як такий, що має стабільну норму підземного живлення, і норма річного стоку для нього встановлюється на основі карти ізоліній норм річного стоку.

Таким чином, зв'язки середніх багаторічних значень підземної складової річного стоку з площею водозбору можна описати наступними рівняннями:

- при $F \leq F_{1KP}$

$$\bar{Y}_{nidz} = 0 ; \quad (3.6)$$

- при $F_{1KP} < F < F_{2KP}$

$$\bar{Y}_{nidз} = U_0 th \left(a_{\Gamma} n_3 \sqrt{\frac{F}{F_{1KP}} - 1} \right); \quad (3.7)$$

- при $F \geq F_{2KP}$

$$\bar{Y}_{nidз} = U_0 . \quad (3.8)$$

Річки з площами водозборів $F \leq F_{1KP}$ розглядаються, за А.М. Бефані, як малі. Значення F_{1KP} можна визначити шляхом планіметрування витоків річок та інших виходів підземних вод, які є в басейні. Результати представляються у вигляді карти районів, у межах яких осереднене значення F_{1KP} .

При відсутності будь-яких даних про першу критичну площу використовується емпірична формула

$$F_{1KP} \cong \frac{1}{\rho^2}, \quad (3.9)$$

де ρ – коефіцієнт густоти річкової мережі (км/км²).

Пошук параметра a_{Γ} відбувається методом послідовних наближень і районується, а середні багаторічні величини поверхневої складової річного стоку та фільтрації річних опадів у підземні водоносні горизонти представляються у вигляді карт ізоліній.

Генетичний підхід до розрахунків річного стоку при відсутності даних спостережень, запропонований А.М. Бефані, був використаний для узагальнень поверхневого й підземного стоку для південної і центральної України В.Г. Сорокіним [170].

Згідно із цією роботою перша критична площа у межиріччі Дунай – Дністер може досягати 70 км², а у межиріччі Дністер-Південний Буг – 100 км². Гідрогеологічний параметр a_{Γ} рекомендується приймати рівним 0,3 для північних частин водозборів річок, та 0,20-0,25 – для річок півдня Молдови та України.

За цією методикою була визначена частка підземних вод у формуванні стоку річок Північно-Західного Причорномор'я (табл.3.4). Із табл. 3.4 видно, що по мірі наближення до Чорного моря умови дронування підземних вод погіршуються і внесок підземної складової у формуванні стоку річок зменшується.

Сумарний стік, визначений за підходом А.М. Бефані, відображає норму природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку для кліматичних умов минулого сторіччя, які існували до початку змін глобального клімату.

3.4 Просторово-часові узагальнення характеристик мінімального стоку на території Північно-Західного Причорномор'я

При коротких рядах спостережень за стоком або за їх відсутності витрати води за період межені $Q_{80\%}$ для великих і середніх річок слід визначати по річках-аналогах або інтерполяцією (окремо за літньо-осінній і зимовий періоди). При виборі річки-аналога насамперед звертається увага на гідрогеологічні умови у басейнах річок, для чого використовуються гідрогеологічні описи та карти досліджуваного району, а також карти районів для визначення мінімального стоку річок, наведені у СНиП 2.01.14-83.

До малих відносяться річки, площі водозборів яких не перевищують їх значення, вказані в табл. 3.5. Територія Північно-Західного Причорномор'я знаходиться у районі А.

Розрахунок річного стоку за генетичним підходом А.М. Бефані [170]

Річка-пункт	F , км ²	U_0 , мм	F_{1KP} , км ²	a_{Γ}	φ	$\bar{Y}_{\text{підз}}$, мм	$\bar{Y}_{\text{нов}}$, мм	\bar{Y} , мм
р.Ялпуг – ст.Комрат	241	4	20	0,20	0,35	1,4	17	18
р.Тараклія – с.Тараклія	103	3	20	0,20	0,28	0,8	15	16
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	370	3	20	0,20	0,39	1,2	14	15
р.Вел.Сальча – с.Мусаїт	414	4	20	0,20	0,40	1,6	16	18
р.Когильник –м.Котовськ	179	6	10	0,30	0,54	3,3	35	38
р.Бик – м.Кишинев	882	9	7	0,30	0,76	6,9	37	44
р.Бик – м. Калараш	296	10	5	0,30	0,68	6,8	41	48
р.Пожарна–с.Синотени	122	10	5	0,30	0,58	5,8	43	49
р.Ішновець – с.Синжера	343	4	15	0,30	0,57	2,0	29	31
стр.Балцата – с.Балцата	62,4	10	4	0,30	0,53	5,3	20	25
р.Ботна – с.Каушани	1210	3	18	0,30	0,69	2,1	23	25
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	184	18	20	0,30	0,47	8,4	27	35
р.Рибниця – с.Андріївка	152	17	20	0,30	0,45	7,6	25	33
р.Ягорлик – с.Дойбани	1220	14	20	0,30	0,68	9,6	20	30
р.Тилигул – смт Березівка	3170	2	60	0,20	0,49	0,7	13	14
р.Тилигул – с.Новоукраїнка	810	3	50	0,25	0,46	1,4	21	22
р.Савранка – с.Осички	1740	10	20	0,30	0,72	7,2	40	47
р.Кодима – с.Обжила	145	14	20	0,30	0,44	6,2	32	38
р.Кодима – с.Катеринка	2390	8	50	0,30	0,66	5,2	26	31
р.Чичиклія – с.Васильївка	436	2	50	0,25	0,39	0,8	22	23
р.Мертвовід– с.Крива Пустош	252	9	10	0,25	0,50	4,5	41	46

Продовження табл. 3.4

Річка-пункт	F , км ²	U_0 , мм	F_{1KP} , км ²	a_{Γ}	φ	$\bar{Y}_{\text{підз}}$, мм	$\bar{Y}_{\text{пов}}$, мм	\bar{Y} , мм
р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя	1190	4	40	0,25	0,52	1,8	29	31
р.Інгул – м.Кіровоград	840	11	13	0,30	0,69	7,6	51	59
р.Інгул – с.Седнівка	4770	7	30	0,30	0,79	5,5	39	45
р.Інгул –с.Новогорожене	6670	5	35	0,30	0,81	3,6	33	37
р.Громоклія – с.Михайлівка	1410	3	40	0,25	0,54	1,4	27	28

Таблиця 3.5

Найбільші площі водозборів малих річок, км²

Район за картою [147]	Період	
	літньо-осінній	зимовий
А	1200	1200
Б	1500	1500
В	2000	1800
Г	2500	2000
Д	5000	2500
Е	10000	5000

Річки, площі водозборів яких перевищують вказані у табл. 3.5 межі, але становлять не більше 7500 км², відносяться до середніх.

Короткими вважаються всі ряди, які не задовольняють принцип репрезентативності та точності ($\pm 15\%$).

За відсутності систематичних вимірювань стоку і відповідно часових рядів норма мінімального стоку визначається непрямими методами. Найпоширеніші - карти норм мінімального стоку (модуля або шару). Будуються карти за даними

вивчених річок з вимогами точності обчислювання норми стоку. Враховуючи суттєвий вплив на річковий стік місцевих та антропогенних чинників, при складанні карт використовуються тільки ті матеріали, які відносяться до середніх за розмірами водозборів.

Відповідно до СНиП 2.01.14-83 [147], значення мінімальних 30-добових модулів стоку $Q_{80\%}$ щорічної ймовірності перевищення ($P=80\%$) знімаються з карт ізоліній мінімального 30-добового зимового або ізоліній літньо-осіннього стоку річок для геометричних центрів басейнів шляхом інтерполяції між ізолініями стоку. Якщо водозбір перетинає декілька ізоліній, то значення мінімального стоку визначаються як середні зважені за площею з використанням формули (3.2).

Перехідні коефіцієнти (табл. 3.6) від 30-добових (середньомісячних) мінімальних витрат води щорічної ймовірності перевищення $P=80\%$ до мінімальних витрат інших ймовірностей перевищення визначаються за даними річок-аналогів [147].

Таблиця 3.6

Перехідні коефіцієнти λ_p для визначення мінімальних 30-добових витрат води різної ймовірності перевищення річок Північно-Західного Причорномор'я

Район за картою СНиП [147]	Ймовірність перевищення, $P\%$				
	75	80	90	95	97
2	1,05	1,00	0,87	0,80	0,75
3	1,06	1,00	0,86	0,78	0,70

Для невивчених річок Північно-Західного Причорномор'я із площею водозборів не менше 50 км^2 і не більше 1200 км^2 [147] для характеристики

мінімального стоку мінімальний 30-добовий стік 80%-ої забезпеченості визначався за формулою (табл. 3.7)

$$Q_{80\%} = 10^{-3} a \cdot (F + f_0)^n, \quad (3.10)$$

де F – площа водозбору річки, км²; f_0 , a та n – параметри, які характеризують зволоженість даного району й інтенсивність змін стоку із зростанням площі водозборів. Значення параметрів розрахункової формули наведені в таблицях СНиП 2.01.14.83.

Відображення кліматичних умов у розрахунковій формулі (3.10) міститься у параметрі a , який змінюється в залежності від географічного положення річки. Таким чином, рівняння (3.10) не може бути використане для розрахунків або прогнозу характеристик мінімального стоку за метеорологічними даними, оскільки не може врахувати зміни метеорологічних характеристик у часі. Формулу (3.10) неможливо також використовувати для розрахунку мінімального стоку річок зі значним озерним регулюванням або у районах локального впливу карсту, а також при виражених впливах господарської діяльності на стік річок.

Тривалість періодів перемерзання й пересихання визначається за емпіричними зв'язками з мінімальною 30-добовою (середньомісячною) витратою води. Для визначення площі водозбору, при якій може відбуватися щорічне пересихання та перемерзання може використовуватись формула (3.10). У зв'язку з цим виконується розрахунок $Q_{80\%}$ для різних значень площ, і та з них, для якої витрата води, обчислена за формулою (3.10) буде не вище 0,001 м³/с, береться за площу, при якій відбуватиметься пересихання або перемерзання. Для районів із від'ємним значенням f_0 розрахунки починають із площі, яка дорівнює f_0 . Якщо використати такий підхід для Північно-Західного Причорномор'я, то площа, при якій відбуватиметься пересихання має дорівнювати або бути меншою 30 км². Проте, на досліджуваній території багато річок, які пересихають і при площах більше 1000 км². Перемерзання на водозборах, які знаходяться в межах Причорноморської низовини, спостерігатиметься на річках з площею меншою 151 км², а на річках, які протікають на території Молдови, – з площею меншою 101 км².

Таблиця 3.7

Значення мінімальних 30-добових витрат води 80%-ої забезпеченості, визначених за формулою (3.10)

Річка-пост	Зимова межень					Літньо-осіння межень				
	F, км ²	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>f</i> ₀	Q _{80%} , м ³ /с	F, км ²	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>f</i> ₀	Q _{80%} , м ³ /с
р.Ялпуг – с.Буджак	241	1,36	0,55	-150	0,016	241	0,011	1,31	0	0,015
р.Тараклія – с.Тараклія	103	1,36	0,55	-150	0,000	103	0,011	1,31	0	0,005
р.Лунга – с.Чадир-Лунга	370	1,36	0,55	-150	0,026	370	0,011	1,31	0	0,026
р.В.Сальча – с.Мусаїт	414	1,36	0,55	-150	0,029	414	0,011	1,31	0	0,030
р.Когильник – м.Котовськ	179	5,90	0,50	-100	0,052	179	0,011	1,31	0	0,010
р.Сарата – с.Сарата	580	1,36	0,55	-150	0,038	580	0,011	1,31	0	0,046
р.Бик – м.Кишинев	882	5,90	0,50	-100	0,165	882	0,008	1,37	0	0,087
р.Бик – м.Калараш	296	5,90	0,50	-100	0,083	296	0,008	1,37	0	0,019
р.Пожарна –с.Синотени	122	5,90	0,50	-100	0,028	122	0,008	1,37	0	0,006
р.Малий Чулук – м.Теленешти	566	5,90	0,50	-100	0,127	566	0,008	1,37	0	0,047
р.Ішновець – с.Синжера	343	5,90	0,50	-100	0,092	343	0,011	1,31	0	0,023
стр.Балцата – с.Балцата	62,4	5,90	0,50	-100	0,000	62,4	0,011	1,31	0	0,002

Продовження табл. 3.7

Річка-пост	Зимова межень					Літньо-осіння межень				
	F, км ²	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>f</i> ₀	Q _{80%} , м ³ /с	F, км ²	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>f</i> ₀	Q _{80%} , м ³ /с
р.Ботна – с.Каушани	1210	1,36	0,55	-150	0,063	1210	0,011	1,31	0	0,120
р.Молокіш – с.Вел.Молокіш	184	5,90	0,50	-100	0,054	184	0,011	1,31	0	0,010
р.Рибниця – с.Андріївка	152	5,90	0,50	-100	0,043	152	0,011	1,31	0	0,008
р.Ягорлик – с.Дойбани	1220	5,90	0,50	-100	0,198	1220	0,011	1,31	0	0,121
р.Тилігул – с.Новоукраїнка	810	1,36	0,55	-150	0,048	810	0,011	1,31	0	0,071
р.Царега – с.Ташине	657	1,36	0,55	-150	0,042	657	0,011	1,31	0	0,054
р.Балайчук – с. Каїри	586	1,36	0,55	-150	0,038	586	0,011	1,31	0	0,046
б.Хуторська – с. Анатоліївка	108	1,36	0,55	-150	0,000	108	0,011	1,31	0	0,006
р.Кодима – с.Обжила	145	1,36	0,55	-150	0,000	145	0,011	1,31	0	0,007
р.Чичиклія – с.Васильївка	436	1,36	0,55	-150	0,031	436	0,011	1,31	0	0,031
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	252	1,36	0,55	-150	0,017	252	0,011	1,31	0	0,015
р.Гн. Єланець – с.Женево-Криворіжжя	1190	1,36	0,55	-150	0,062	1190	0,011	1,31	0	0,118
р.Інгул – м.Кировоград	840	0,15	1,08	0	0,216	840	0,011	1,31	0	0,075

Якщо потрібно оцінити мінімальну середньодобову витрату води $P\%$ -ї забезпеченості, то її визначають за залежністю від 30-добових (середньомісячних) витрат води:

$$Q_{p,c} = K_c Q_p = K_c \lambda_p Q_{80\%}, \quad (3.11)$$

де $Q_{p,c}$ - мінімальна середньодобова витрата води забезпеченістю $P\%$.

Висновки до розділу 3

Існуючі просторово-часові узагальнення для території Північно-Західного Причорномор'я дозволяють отримати лише наближені характеристики річного та меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я, оскільки вони побудовані за обмеженими у часі й перетвореними водогосподарською діяльністю даними спостережень. Саме через це на багатьох картах України ізолінії характеристик стоку на території Північно-Західного Причорномор'я проведені пунктиром, а визначені за картами або таблицями осереднених параметрів характеристики стоку не збігаються із спостереженими.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕНОГО СТОКУ
НА БАЗІ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
(МОДЕЛЬ «КЛІМАТ-СТІК»)

При відсутності даних гідрометричних спостережень або їх трансформації водогосподарською діяльністю доцільно використовувати просторово-часові узагальнення у вигляді карт ізоліній, порайонних залежностей. Як вже зазначалось, на території України практично не лишилось річок, стік яких не був би перетворений антропогенним впливом. Особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку за даними спостережень є південь України, для території якого ізолінії характеристик стоку проводилися пунктиром [147,155,189]. Ураховуючи, що метеорологічна вивченість півдня України набагато краща ніж гідрологічна, в Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена математична модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [45].

Ця математична модель розглядає кліматичні чинники формування стоку та вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарську діяльність. Модель складається з двох частин. Перша частина дозволяє виконувати оцінку природного річного стоку на основі метеорологічних даних, друга – оцінку побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. На вході у першу частину моделі використовуються метеорологічні дані, у другу – природний або непорушений водогосподарською діяльністю річний стік та кількісні показники водогосподарських перетворень [204]. Теоретичною базою першої частини є рівняння водно-теплового балансу водозбору, другої – рівняння водогосподарського балансу водозбору, представлене у стохастичній (ймовірнісній) формі. Модель розглядає ланцюг послідовностей формування стоку: «клімат → кліматичний стік → підстильна поверхня → природний стік → водогосподарські перетворення → побутовий стік». Таким чином, вивчається та моделюється робота водогосподарської системи, яка підлягає зовнішнім

(кліматичним) та внутрішнім (водогосподарським) впливам й певним чином реагує на ці впливи [83]. У моделі використовується поняття «кліматичний стік», тобто стік, обумовлений кліматичними чинниками й розрахований за метеорологічними даними.

4.1 Теоретичні основи визначення природного річного стоку за моделлю «клімат-стік»

Базисом моделі «клімат-стік» при розрахунках природного стоку є рівняння водно-теплового балансу у модифікації, запропонованій В.С. Мезенцевим [129]. Рівняння водно-теплового балансу представлено ним у такій диференціальній формі

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1, \quad (4.1)$$

де H – характеристика ресурсів зволоження, під якою розуміють суму опадів X , які випадають за розрахунковий період, та зміни $(w_1 - w_2)$ запасів вологи в ґрунті, тобто $H = X + w_1 - w_2$; $\beta_E, \beta_H, \beta_Y$ – складові рівняння водного балансу (3.1) представлені у відносних одиницях; E – випаровування з поверхні суші; Y – стік води.

Використовуючи позначення

$$\beta_H = \frac{H}{E_m}; \beta_E = \frac{E}{E_m}; \beta_Y = \frac{Y}{E_m}, \quad (4.2)$$

рівняння водного балансу (3.1) можна записати наступним чином

$$\beta_Y = \beta_H - \beta_E, \quad (4.3)$$

у якому $\beta_X = \beta_H$ для $(w_1 - w_2) = 0$.

Складові рівняння (4.3) підлягають таким граничним умовам

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty. \quad (4.4)$$

Частинні похідні $\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H}$ та $\frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H}$ представляються через допоміжні функції,

які характеризують співвідношення вологи та тепла, що визначають нестачу насичення приземного повітря вологою [154]:

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} = (1 - \beta_E^n)^{\frac{n+1}{n}}, \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1 - (1 - \beta_H^n)^{\frac{n+1}{n}}, \quad (4.6)$$

де n – параметр, який інтегрує фізико-географічні умови формування стоку.

Після інтегрування та перетворень було отримане наступне рішення

$$\beta_Y = \beta_H - (1 - \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}}, \quad (4.7)$$

яке відносно величини стоку записується у вигляді

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (4.8)$$

Рівняння (4.8) містить складову, яка входить у тепловий баланс земної поверхні і водний баланс водозбору. Цією складовою є випаровування з поверхні суші E

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (4.9)$$

Усі наведені рівняння вміщують у собі характеристику E_m – максимально можливе випаровування або теплоенергетичний еквівалент. Теплоенергетичний еквівалент E_m є величиною, яка за своїм фізичним змістом близька до поняття випаровуваності (E_0). Останнє різними авторами визначалося як верхня межа випаровування, але інтерпретувалося по-різному: «випаровування зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико) [22]; «випаровування з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею» (М.А. Багров); «випаровування для полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологоємності» (А.Р. Константинов); «максимально можливе випаровування з оголеного ґрунту» (Л. Тюрк).

В.С. Мезенцев [127] запропонував новий підхід для оцінки, розділивши приходні та витратні складові рівняння теплового балансу підстильної поверхні. Рівняння теплового балансу підстильної поверхні в загальному вигляді записується таким чином [128]

$$R = LE + P + \Delta B - LC, \quad (4.10)$$

де R – радіаційний баланс підстильної поверхні; L – прихована теплота пароутворення; P – турбулентний теплообмін ґрунту з атмосферою; ΔB – теплообмін з нижчерозташованими шарами ґрунту; LE – витрата тепла на випаровування E , яке складається із транспірації E_T та випаровування з ґрунту E_D , затіненого рослинами; LC – тепло конденсації водяної пари повітря на елементах земної поверхні.

Процес теплообміну в будь-якій точці простору і за будь-який проміжок часу В.С. Мезенцев представив у вигляді надходження й витрат енергії, розклавши окремі доданки рівняння (4.10) на складові

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_H - LC, \quad (4.11)$$

де R^+ – додатна (прихідна) частина радіаційного балансу підстильної поверхні; P^+ – додатна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло; $(B_1 - B_2)$ – зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB), яка для року береться рівною нулю; L – приховане тепло пароутворення; LE – витрата тепла на випаровування; P^- - витрати тепла на нагрівання повітря (від'ємна частина турбулентного теплообміну); I_H - довгохвильове випромінювання земної поверхні в нічні години доби; LC - тепло конденсації водяної пари повітря на елементах земної поверхні, яке зазвичай не враховується, зважаючи на його незначущість в порівнянні з іншими складовими.

Величина E_m (максимально можливе випаровування) входить до прихідної частини теплового балансу підстильної поверхні й добуток LE_m розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування у визначених кліматичних умовах

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2). \quad (4.12)$$

Величина E_m отримала назву «теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування» і є шаром води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}. \quad (4.13)$$

Таким чином, у рівняння водного балансу була введена характеристика E_m , яка є теплоенергетичним еквівалентом приходних складових теплового балансу підстильної поверхні LE_m , внаслідок чого рівняння (4.8) отримало назву «рівняння водно-теплового» балансу. Рівняння водно-теплового балансу склало основу моделі «клімат-стік».

Різниця $(w_1 - w_2)$, яка характеризує зміни вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення за короткі інтервали в межах року (місяців, декад) і в окремі роки або групи років. У середньому ж, для багаторічного періоду, виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0. \quad (4.14)$$

У зв'язку з цим балансове співвідношення (4.8) для багаторічного періоду набуває вигляду

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (4.15)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ – багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквівалента, відповідно.

Результати досліджень показали, що при розрахунках норм річного стоку достатньо використовувати $n = 3$.

Норма річного стоку, розрахована за (4.18), визначається кліматичними чинниками – нормою річних опадів і максимально можливого випаровування, які підлягають географічній зональності та можуть бути представлені у вигляді карт ізоліній або залежностей від висоти місцевості. Розраховані при постійному n величини стоку \bar{Y}_K залежать від співвідношення ресурсів тепла \bar{E}_m і вологи \bar{X} та відображують їхню взаємодію, через що й отримали назву «кліматичний стік», який позначається у подальшому як \bar{Y}_K .

На відміну від норм річного стоку, розрахованих за даними вимірювань, норми кліматичного стоку є точковими характеристиками, які відносяться до географічної точки на площині з координатами географічного положення метеостанції.

Для розрахунків характеристик річного стоку на базі метеорологічних даних території проф. Є.Д. Гопченко та проф. Н.С. Лобода обґрунтували можливість використання водно-балансового підходу, запропонованого В.С. Мезенцевим, в Україні.

Максимально можливе випаровування визначалося за даними актинометричних станцій, яких у середині минулого сторіччя на території України та Молдови було 19. По результатах розрахунків E_m за (4.13) проф. Є.Д. Гопченком та проф. Н.С. Лободою були проведені узагальнення максимально можливого випаровування на території України і Молдови та розроблені емпіричні залежності, які зв'язують максимально можливе випаровування E_m з температурами повітря і можуть бути використані для визначення E_m за даними метеорологічних станцій [98]

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum T_{>10} + 226, r = 0,91; \quad (4.16)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum T_{>0} + 179, r = 0,87; \quad (4.17)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum \frac{IX}{V} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (4.18)$$

де \bar{E}_m – середня багаторічна величина максимально можливого випаровування; $\sum \frac{IX}{V} \bar{T}_M$ – сума норм середньомісячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно); $\sum T_{>10}$ – сума температур повітря більше $10^\circ C$; $\sum T_{>0}$ – сума температур повітря більше $0^\circ C$; r – коефіцієнт кореляції.

Просторово-часові узагальнення кліматичних чинників формування річного стоку та характеристик річного кліматичного стоку для території усієї України [81] і Північно-Західного Причорномор'я [43], які відповідають гідрометеорологічному стану до початку впливу глобального потепління (до 1989 року), представлені у вигляді карт ізоліній річних норм максимально можливого випаровування, сум опадів та кліматичного стоку.

Кarti ізоліній побудовані на топографічній основі 1:500000 і призначені для визначення гідрометеорологічних характеристик водозборів. Побудова карти ізоліній норм річного кліматичного стоку була особливо важливою для степової частини України, де річок із стоком в природних умовах його формування практично не збереглося, а початок стаціонарних спостережень збігався із інтенсифікацією водогосподарських перетворень.

Норма теплоенергетичного еквіваленту \bar{E}_m встановлювалася за (4.16). При розрахунках теплоенергетичних ресурсів \bar{E}_m та ресурсів зволоження \bar{X} використані дані про місячні норми температур повітря та опадів по більш ніж 900 метеорологічних станціях і постах. Таким чином, вперше для всієї території рівнинної України Є.Д. Голченком та Н.С. Лободою було реалізовано програму розрахунків та просторового узагальнення таких складових рівняння водно-теплового балансу як норми теплоенергетичного еквіваленту та норми кліматичного стоку. Норма річного кліматичного стоку відображає зональний характер розподілу стоку, зумовлений кліматичними чинниками й, отже, вилучає з свого змісту вплив чинників підстильної поверхні та водогосподарської діяльності. Співставлення норм річного кліматичного та природного стоку різних водозборів виконане для всієї території України, дозволило отримати принципово новий результат. Установлено, що для великих водозборів рівнинної частини України із стійким підземним живленням норма кліматичного стоку ототожненою з нормою природного стоку. Порівнювальний аналіз норм річного природного та кліматичного стоку показав, що у зоні достатнього зволоження для великих водозборів відносне відхилення цих величин знаходиться у межах $\pm 5\%$, а у зоні недостатнього зволоження – у межах $\pm 10\%$ [81].

Методики розрахунків природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) та побутового річного стоку при відсутності даних гідрологічних спостережень, розроблені за моделлю «клімат-стік», увійшли до нової редакції нормативних документів ДБН України В.2.4-Х:201Х «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» та ДБН «Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012» [59,139].

4.2 Визначення характеристик природного річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я на основі моделі «клімат-стік»

Норма річного стоку, розрахована за рівнянням водно-теплогового балансу, виключає вплив чинників підстильної поверхні (азональних та інтразональних), у тому числі й обумовлених водогосподарськими заходами, які здійснюються в межах водозборів. Таким чином, величини норм кліматичного стоку можна розглядати як характеристики природних (непорушених господарською діяльністю) водних ресурсів території. Докладне обґрунтування цього положення приведено в роботах Є.Д. Гопченка і Н.С. Лободи [43,81] в яких виконана оцінка і подальше просторове узагальнення (у вигляді карт ізоліній) норм річних опадів, максимально можливого випаровування і кліматичного стоку, а також проведено порівняння розрахункових і фактичних норм природного річного стоку для різних регіонів України, включаючи північне і північно-західне Причорномор'я.

Згідно з картами ізоліній, наведеними у роботі [43], зменшення річних сум опадів у Північно-Західному Причорномор'ї відбувається з північного заходу на південний схід від 550 до 450 мм. Просторова зміна максимально можливого випаровування підкоряється широтній географічній зональності. Величина \bar{E}_m зростає від 900 мм – на півночі, до 1000 мм – на півдні. Зменшення загальної кількості опадів та зростання максимально можливого випаровування у напрямку до узбережжя Чорного моря обумовлює відповідне зменшення норм річного

кліматичного стоку від 50 мм на відрогах Подільської височини до 10 мм на узбережжі Чорного моря. Як приклад, показана зміна річного кліматичного стоку річок басейну Тилігульського лиману (рис. 4.1) [91].

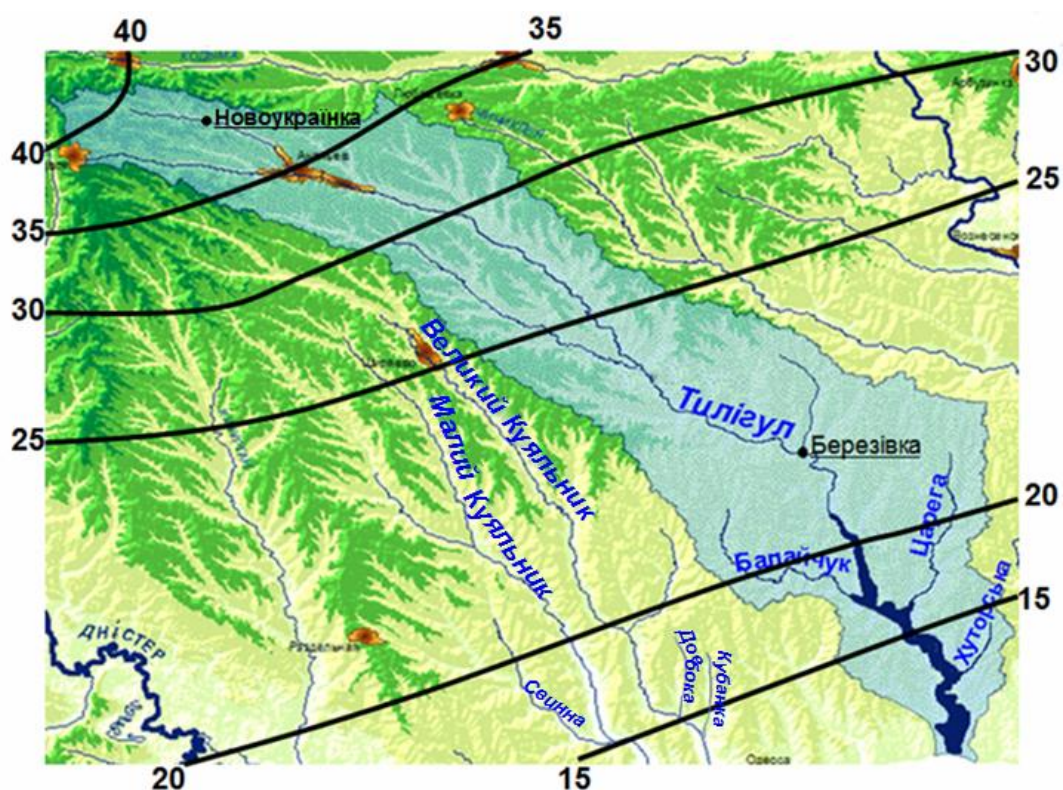


Рис. 4.1. Карта-схема ізолій норм річного кліматичного стоку (мм) річок басейн Тилігульського лиману до початку глобального потепління

Оскільки більшість річок Північно-Західного Причорномор'я має нестійке підземне живлення [170], їх природний стік може суттєво відрізнятись від зонального. Для таких випадків модель «клімат-стік» передбачає використання коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку до природного. Ці коефіцієнти відображають роль чинників підстильної поверхні у процесі формування річного стоку [45].

По характеру співвідношення між нормами кліматичного та природного стоку досліджувану територію можна розділити на області додатних та від'ємних поправок до норм кліматичного стоку. Границя поділу відповідає межі зим із стійким сніговим покривом, який спостерігається менше, ніж в 50% випадків. Установлено, що на території із стійким сніговим покривом основна частина

річного стоку проходить у період весняного водопілля. Під впливом вітру сніговий покрив перерозподіляється і накопичується в балках та ярах, що призводить до збільшенню річного стоку малих річок.

Для розрахунку коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного до норм природного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в області додатних поправок $K_{ПЕР,1}$ розроблені емпіричні рівняння, які ураховують нерівномірність випадіння дощів та розподілу снігового покриву по площі водозбору [43]

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1) - \text{при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (4.19)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1 - \text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (4.20)$$

де F – площа водозбору, км².

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

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (4.21)$$

$$K_{ПЕР,2} = 1, \text{ при } H_{СЕР} \geq 280 \text{ м}, \quad (4.22)$$

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

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

За моделлю «клімат-стік» норма природного стоку \bar{Y}_{PP} водозбору визначається як добуток норми кліматичного стоку, що визначається за картою ізоліній, на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{PP} = K_{PEP} \bar{Y}_K. \quad (4.23)$$

На базі аналізу статистичних параметрів рядів кліматичного річного стоку 30-річної тривалості (1951-1980 рр.) були установлені зв'язки між багаторічною мінливістю річного стоку (коефіцієнтом варіації C_V) та нормою річного кліматичного стоку \bar{Y}_K [101]:

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_K}{10}\right)^{0,62}}, \quad (4.24)$$

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

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

$$C_S = 1,7C_V, \quad (4.25)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Приймається, що закономірності, описані рівняннями (4.24) та (4.25) справедливі як для кліматичного, так і для природного стоку.

На основі методу сумісного аналізу складових просторової дисперсії статистичних параметрів стоку [98] було установлено, що коефіцієнт

автокореляції природного річного стоку $r(1)$ для річок Північно-Західного Причорномор'я приймається рівним нулю.

Апробація моделі «клімат-стік» для визначення характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я показала задовільний збіг розрахункових і фактичних даних [47,86,91,104,107,108]. Авторами цих робіт встановлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за моделлю «клімат-стік» знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень.

Визначення статистичних параметрів річного природного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я (табл.4.1) дозволило зробити висновки про низьку водність річок (норма природного річного стоку не перевищує 50 мм) та значну мінливість – коефіцієнти варіації змінюються від 0,57 до 2,25, коефіцієнти асиметрії – від 0,96 до 3,82.

Таблиця 4.1

Статистичні параметри природного річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я, визначені за моделлю «клімат-стік»

№	Водозбори річок до гирла	F , км ²	$H_{сер}$, м	\bar{Y}_K , мм	$k_{ПЕР,1;2}$	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$C_{V ПР}$	$C_S ПР$
1	р.Кагул	605	120	24	0,52	13	1,31	2,22
2	р.Ялпуг	3280	120	26	0,52	14	1,24	2,12
3	р.Лунга	1105	120	20	0,52	10	1,46	2,49
4	р.В.Сальча	597	140	22	0,58	13	1,29	2,19
5	р.Киргизж-Китай	725	100	13	0,46	6	2,06	3,51
6	р.Аліяга	443	80	13	0,40	5	2,25	3,82
7	р.Когильник	3910	140	23	0,58	13	1,25	2,13
8	р.Чага	1270	140	20	0,58	12	1,37	2,33
9	р.Сарата	1250	100	14	0,46	6	1,97	3,35

Продовження табл. 4.1

№	Водозбори річок до гирла	F , км ²	$H_{сер}$, м	\bar{Y}_K , мм	$k_{ПЕР,1;2}$	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$C_{V ПР}$	$C_{S ПР}$
10	р.Хаджидер	894	80	16	0,40	6	1,98	3,36
11	р.Алкалія	631	70	19	0,37	7	1,87	3,17
12	р.Пожарна	140	250	53	0,91	48	0,57	0,96
13	р.Бик	2150	190	42	0,73	31	0,75	1,27
14	р.Ішновець	371	140	32	0,58	19	1,02	1,74
15	р.Ботна	1540	170	28	0,67	19	1,02	1,73
16	р.Кучурган	2420	122	25	0,53	13	1,27	2,15
17	р.Ягорлик	1220	170	40	0,67	27	0,81	1,38
18	р.Молокіш	268	180	42	0,70	29	0,77	1,31
19	р.Белочі	268	180	43	0,70	30	0,76	1,29
20	р.Вел.Куяльник	1860	120	22	0,52	12	1,38	2,35
21	р.Довбока	68	68	18	0,36	6	2,04	3,47
22	р.Кубанка	129	63	17	0,35	6	2,04	3,47
23	р.Мал.Куяльник	1540	110	22	0,49	11	1,43	2,43
24	р.Свинна	871	85	20	0,42	8	1,68	2,86
25	р.Тилігул	3550	120	23	0,52	12	1,34	2,28
26	р.Балайчук	586	60	20	0,34	7	1,67	2,84
27	р.Царега	657	50	20	0,31	6	2,02	3,43
28	р.Березань	890	70	18	0,37	7	1,93	3,28
29	р.Чичиклія	523	130	27	0,55	15	1,17	2,00
30	р.Кодима	1920	180	29	0,70	20	0,97	1,64
31	р.Савранка	1740	210	47	1,00	47	0,57	0,98
32	р.Інгул	9890	160	35	1,00	35	0,69	1,17
33	р.Громоклія	1610	110	27	0,49	13	1,26	2,14
34	р.Гнилой Єланець	1240	110	27	1,00	27	0,81	1,38
35	р.Мертвовід	1766	180	32	1,00	32	0,73	1,24

Порівняння норм природного річного стоку, розрахованих за моделлю «клімат-стік» та сумарним стоком, визначеним за генетичним методом А.М. Бефані (рис. 4.2), показали задовільну узгодженість, яка знаходиться у межах $\pm 10\%$.

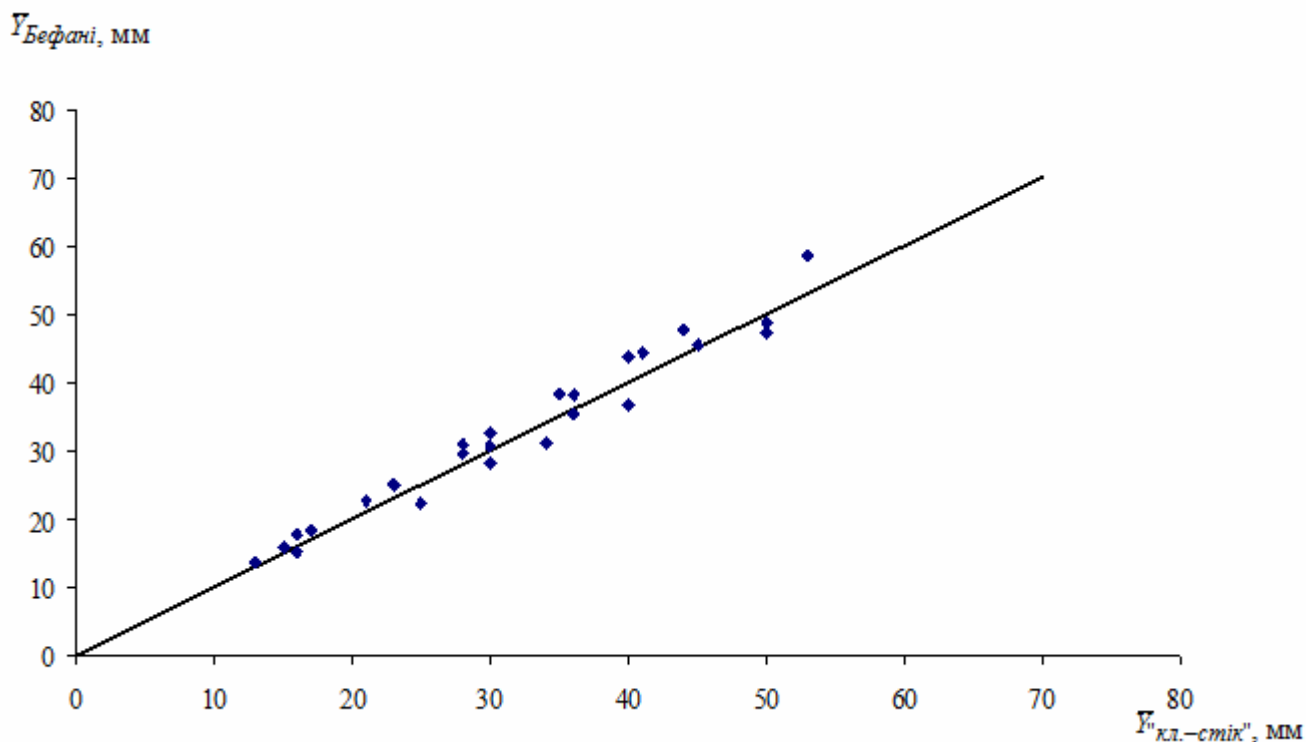


Рис. 4.2. Порівняння природного річного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік» та методом А.М. Бефані (— лінія рівних значень)

4.3 Теоретичні основи визначення побутового річного стоку за моделлю «клімат-стік»

Як вже зазначалось, розрахунки річного стоку в умовах водогосподарської діяльності входять у другий блок моделі «клімат-стік» і базуються на стохастичному моделюванні річного стоку [97], при якому рівняння водогосподарського балансу представляються у ймовірнісному виді.

Зміна поверхневих водних ресурсів річок, які підлягають впливу змін клімату та водогосподарських перетворень у межах водозбору, описується таким диференціальним рівнянням [72]

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + L(\Lambda, Y) = \varepsilon, \quad (4.26)$$

де Y – характеристика водних ресурсів; $L(\Lambda, Y)$ – характеристика внутрішніх впливів (насамперед, водогосподарської діяльності), яка має назву оператора перетворення; ε – характеристика зовнішніх впливів на водозбір (кліматичних змін); Λ – функції та коефіцієнти, які характеризують фізичні, геометричні, морфологічні та інші параметри системи; t – час.

Після інтегрування (4.27) результуюче рівняння отримує такий вигляд

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y)dt + \int \varepsilon dt, \quad (4.27)$$

де $Y(t_0)$ – початковий стан системи, тобто стан водних ресурсів до початку змін глобального клімату при відсутності водогосподарської діяльності (так званий природний стік); $Y(t)$ – стан системи на час t , який є результатом впливу водогосподарської діяльності та кліматичних змін.

За умови відсутності зовнішніх впливів на стік величина $Y(t)$ буде результатом лише водогосподарських перетворень (так званий побутовий стік).

Початковий стан водогосподарської системи $Y(t_0)$ відповідає природному стоку $Y_{ПР}$, який має стохастичну природу [158]. Водоспоживання у багатьох випадках також має стохастичний характер [153], що дозволяє припустити збереження стохастичної природи побутового $Y_{ПОБ}$ (порушеного водогосподарською діяльністю) стоку. Ця обставина дозволила представити загальний запис рівняння водогосподарського балансу у стохастичному вигляді

$$Y_{ПОВ, P} = Y_{ПР, P} \pm \Delta Y_P(U_{P1}, f), \quad (4.28)$$

де $Y_{ПОВ, P}$ – шар побутового (трансформованого водогосподарською діяльністю) річного стоку заданої забезпеченості $P\%$; $Y_{ПР, P}$ – шар природного річного стоку заданої забезпеченості $P\%$; ΔY_P – зміни водності річки у роки забезпеченості $P\%$ в залежності від характеристик водогосподарської діяльності; U_{P1} – характеризує ту частину складової водогосподарського балансу, яка залежить від кліматичних умов та має стохастичну природу, але забезпеченість цієї складової може відрізнитись від забезпеченості водності року (наприклад, втрати на випаровування з водної поверхні, дефіцит споживання води рослинами та ін.); f – характеризує невідповідності складові водогосподарських балансів (площу зрошування, осушування, водної поверхні штучних водойм та інше).

Реалізації природного річний стік моделювалися за трипараметричного гама-розподілу із використанням лінійної кореляції між забезпеченостями суміжних років з подальшим переходом до величин стоку [20].

Рівняння водогосподарських балансів були представлені у ймовірнісній формі для різних споживачів води [99,114,118]. У межах Північно-Західного Причорномор'я головними чинниками водогосподарської діяльності є штучні водойми та меліоративні системи. Рівняння водогосподарських балансів при їх наявності на водозборах представляються у такому вигляді:

а) при заборах води з місцевого стоку на зрошування сільськогосподарських угідь [84,119].

$$Y_{ПОВ, P} = Y_{ПР, P} - \frac{M_{0,100-P}}{\eta} f_{3P}; \quad (4.29)$$

б) за наявності на водозборі штучних водойм, з водної поверхні яких формуються втрати на додаткове випаровування [110]

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P}(1 - f_B) - (E_B - X)f_B; \quad (4.30)$$

в) за наявності скидних вод із сільськогосподарських масивів, які зрошуються за рахунок річок-донорів [120]

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P} + \xi \frac{M_{0,100-P}}{\eta} (1 - \eta) f_{3P}, \quad (4.31)$$

де $Y_{\text{ПОБ},P}, Y_{\text{ПР},P}$ – відповідно побутовий та природний річний стік із заданою забезпеченістю $P\%$, мм; f_{3P}, f_B – відповідно сумарна площа зрошуваних масивів та водної поверхні штучних водойм, виражена в частках від загальної площі водозбору F ; η – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи; ξ – коефіцієнт зворотних вод, що утворилися за рахунок втрат стоку на інфільтрацію при зрошуванні сільськогосподарських масивів й надходять до русла річки підземним шляхом; X – опади, які випали на загальну водну поверхню ставків і водосховищ; E_B – сумарне випаровування з водної поверхні ставків і водосховищ; $M_{0,100-P}$ – зрошувальна норма-нетто з ймовірністю перевищення $(100 - P)\%$.

На кожному кроці імітаційного стохастичного моделювання масштаби водогосподарських перетворень (площа зрошування, площа водної поверхні) задавалися постійними, що дозволяло зберегти стаціонарність отриманих рядів [97]. На виході моделі були отримані статистичні параметри річного побутового стоку при заданих кліматичних умовах, які можуть бути охарактеризовані величиною \bar{Y}_K , та масштабах водогосподарської діяльності (f_{3P}, f_B). Результати стохастичного моделювання були узагальнені у вигляді аналітичних функцій, які є «функціями відгуку» статистичних параметрів річного стоку на

водогосподарські перетворення. Оскільки в межах однієї і тієї ж річки кількісний склад чинників може змінюватися, з метою урахування сумісного впливу водогосподарських чинників запропоновано використовувати «коефіцієнти антропогенного впливу» [83]

$$k_A = \frac{A_f}{A_0}, \quad (4.32)$$

де A_0 – значення того або іншого статистичного параметра річного стоку в природних умовах; A_f – значення параметра побутового стоку при заданих показниках антропогенного впливу.

Встановлено, що вплив антропогенних чинників посилюється у міру збільшення масштабів водогосподарських перетворень, до яких відносяться площі осушування, площі зрошування, кількість населення, площі водної поверхні штучних водойм та зменшення загального зволоження території. Непрямим показником загального зволоження території може служити норма кліматичного річного стоку.

Сумісна дія m водогосподарських чинників може бути врахована за наступним рівнянням [59]

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m - 1)], \quad (4.33)$$

де $k_1, k_2, k_3, \dots, k_m$ – коефіцієнти, які кількісно ураховують зміни статистичних параметрів річного стоку.

Представлена методика оцінок природного та побутового стоку увійшла до складу нормативних документів по розрахунках характеристик стоку України та Молдови [59,139].

4.4 Застосування моделі «клімат-стік» до визначення побутового річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я

За розрахунковими методиками, розробленими Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою для визначення статистичних параметрів побутового стоку оцінювався приплив прісних вод від невивчених у гідрологічному відношенні водотоків до водних об'єктів Одеської області, серед яких особливе місце займають Тилігульський та Куяльницький лимани [74,144].

4.4.1 Оцінка впливу штучних водойм на стік річок

Основним чинником водогосподарської діяльності на розглядуваній території є штучні водойми (ставки, водосховища, копані), які в умовах недостатнього зволоження виступають в ролі штучних накопичувачів та випарників. Штучні водойми здійснюють регулювання стоку у межах року. Необхідність їх майже щорічного наповнення разом із втратами на додаткове випаровування з водної поверхні суттєво зменшує стік річок.

Для кількісної оцінки впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік використані функції антропогенного впливу наступного вигляду [59]

$$k_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (4.34)$$

$$k_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}; \quad (4.35)$$

$$k_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (4.36)$$

де $k_{\bar{Y}}$, k_{C_V} , k_{C_S} – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з

поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного побутового стоку \bar{Y}, C_V, C_S ; α_A – коефіцієнти антропогенного впливу на параметр A , які залежать від норми кліматичного стоку \bar{Y}_K як інтегрального показника зволоженості водозбору.

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається на основі таких рівнянь [59,81]

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767\bar{Y}_K^{(-0,49)}; \quad (4.37)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247e^{(-0,0274\bar{Y}_K)}; \quad (4.38)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179e^{(-0,0246\bar{Y}_K)}. \quad (4.39)$$

В умовах Північно-Західного Причорномор'я через зменшення водності річок та значна кількість штучних водойм (80%) почала пересихати, через що до втрат на додаткове випаровування додалися втрати на заповнення штучних водойм [74]. Антропогенний коефіцієнт, який характеризує втрати на заповнення штучних водойм водою, визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{ПП} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{ПП}} = \frac{W_{ПОВ}}{W_{ПП}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (4.40)$$

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

Детальний збір інформації про штучні водойми був зроблений у межах НДР, у яких досліджувалися річки водозборів Куяльницького та Тилігульського лиманів.

Згідно із різними літературними джерелами, відносна площа, яку займає водне дзеркало штучних водойм f_B у межах усієї водозбірної площі р. Великий Куяльник змінюється від 0,22 % до 0,35 %. Розрахунки статистичних параметрів річного стоку при цих значеннях показали, що норма річного стоку зменшується за рахунок втрат на додаткове випаровування із водної поверхні у границях точності її розрахунку ($\pm 10\%$) (табл. 4.2) [144].

Загальна ємність штучних водойм на водозборі також оцінюється у широких межах: від 4,13 млн. м³ до 15,5 млн. м³. Коефіцієнт втрат k_3 , визначений за (4.43), варіює від 0,91 до 0,32. В середньому (при об'ємі заповнення $W_3=7$ млн. м³) коефіцієнт втрат на заповнення штучних водойм дорівнює 0,69 (табл.4.3). Встановлено, що середня багаторічна величина річного побутового стоку за рахунок втрат на заповнення буде зменшуватися на 31% у порівнянні з природним [144].

Таблиця 4.2

Статистичні параметри побутового річного стоку р.Великий Куяльник, визначені при різних площах водного дзеркала штучних водойм

Показники рівня водогосподарської діяльності	Параметри природного річного стоку				Коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового річного стоку			
	\bar{Y}_{PP} , мм	\bar{W}_{PP} , млн. м ³	C_V	C_S	$k_{\bar{Y}}$	k_{C_V}	k_{C_S}	\bar{Y}_{POB} , мм	\bar{W}_{POB} , млн. м ³	C_V	C_S
0,20	12	22,3	1,24	2,0	0,96	1,035	1,030	11,5	21,4	1,28	2,06
0,30	12	22,3	1,24	2,0	0,93	1,050	1,040	11,0	20,5	1,30	2,08
0,35	12	22,3	1,24	2,0	0,92	1,060	1,045	11,0	20,5	1,31	2,09
0,40	12	22,3	1,24	2,0	0,91	1,070	1,050	10,9	20,3	1,33	2,10

Таблиця 4.3

**Статистичні параметри побутового річного стоку р. Великий Куяльник
при різних об'ємах заповнення штучних водойм**

Показники рівня водогосподарської діяльності		Параметри природного річного стоку				Параметри побутового річного стоку				
W_3 , млн. м ³	k_3	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, млн. м ³	C_V	C_S	$\bar{Y}_{ПОБ}$, мм	$\bar{W}_{ПОБ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОБ}$, м ³ /с	C_V	C_S
2	0,91	12	22,3	1,24	2,0	10,9	20,3	0,64	1,27	2,16
7	0,69	12	22,3	1,24	2,0	8,3	15,4	0,49	1,50	2,57
15	0,32	12	22,3	1,24	2,0	3,8	7,14	0,23	2,43	4,13

Втрати на заповнення штучних водойм та додаткове випаровування з водної поверхні посилюють дію одне одного (табл. 4.4).

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу $k_{СУМ}$ для осереднених масштабів водогосподарської діяльності ($f_B = 0,30\%$ та $W_3 = 7$ млн. м³) дорівнює 0,62. При цих масштабах відбуватиметься пересихання річки не тільки у дуже маловодні, а й у маловодні роки (табл. 4.5).

Таблиця 4.4

**Статистичні параметри побутового річного стоку р. Великий Куяльник
з урахуванням втрат на додаткове випаровування та заповнення штучних
 водойм**

Показники рівня водогосподарської діяльності					Параметри побутового річного стоку				
W_3 , млн. м ³	k_3	f_B , %	$k_{\bar{Y}}$	$k_{СУМ}$	$\bar{Y}_{ПОБ}$, мм	$\bar{W}_{ПОБ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОБ}$, м ³ /с	C_V	C_S
7	0,69	0,30	0,93	0,62	7,4	13,8	0,44	1,61	2,74

**Ординати кривої забезпеченості побутового річного стоку р.Великий
Куяльник з урахуванням втрат на додаткове випаровування ($f_B = 0,30\%$) та
заповнення штучних водойм ($W_3 = 7$ млн. м³)**

Розрахункова величина стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості, P , %							
	0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Шар стоку, мм	135	93,0	30,0	9,0	3,0	0,47	0,01	0,00
Об'єм стоку, млн. м ³	251	172	55,0	17,0	4,90	0,83	0,014	0,000
Витрата стоку, м ³ /с	7,98	5,84	1,76	0,54	0,16	0,026	0,000	0,000

На водозборі Тилігульського лиману загальна кількість штучних водойм за уточненими даними Одеського обласного управління по водному господарству (нині – Одеське обласне управління водних ресурсів) та Миколаївського обласного виробничого управління меліорації і водного господарства на 2012 р. становить 140 [93]. З них на території водозбору річки Тилігул знаходиться 105 водойм (табл. 4.6), на притоках – 35 (р. Царега – 12, р. Балайчук – 13, б. Хуторська – 4, інших балках – 6).

З аналізу виконаних розрахунків (табл. 4.7) витікає, що додаткове випаровування з площі водної поверхні зменшує середню багаторічну величину річного стоку менше ніж на 10% на всіх річках, виключаючи балку Хуторську, де відносне значення водної поверхні досягає 0,5%. Набагато більшими є втрати на заповнення штучних водойм, які здатні поглинути увесь стік річки, наприклад, для балки Хуторської. Найгірша ситуація характерна для річки Царега та балки Хуторська, де зафіксовані ставки із значним об'ємом (табл. 4.8).

Таблиця 4.6

Узагальнені дані по штучних ставках у басейні Тилігульського лиману [74]

Річка	Загальна кількість ставків	Загальний об'єм ставків W , тис. м ³	Загальна площа водної поверхні ставків F_B , га	f_B , %
р.Тилігул	105	10245,4	739,1	0,22
р.Царега	12	1658,9	156,3	0,24
р.Балайчук	13	1161,9	94,8	0,16
б.Хуторська	4	575,7	62,5	0,58
Територія бокового припливу	6	495,9	30,0	0,09

Таблиця 4.7

Кількісна оцінка впливу штучних водойм на водні ресурси річок басейну Тилігульського лиману

Річка	\bar{Y}_K , мм	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках		
						k_3	$k_{\bar{Y}}$	$k_{СУМ}$
р.Тилігул	23	13,0	46,0	10,2	0,22	0,77	0,95	0,72
р.Царега	20	6,0	3,90	1,66	0,24	0,57	0,92	0,49
р.Балайчук	20	7,0	4,10	1,16	0,16	0,72	0,95	0,67
б.Хуторська	13	4,3	0,46	0,58	0,58	0,00	0,80	0,00
Боковий приплив	15	4,5	1,60	0,50	0,09	0,69	0,97	0,66

**Статистичні параметри побутового річного стоку річок басейну
Тилігульського лиману з урахуванням втрат на додаткове випаровування та
заповнення штучних водойм [74]**

Річка	Показники рівня водогосподарської діяльності					Параметри побутового річного стоку				
	W_3 , млн. м ³	k_3	f_B , %	$k_{\bar{Y}}$	k_{SUM}	$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	$\bar{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	C_V	C_S
р.Тилігул	10,2	0,77	0,22	0,95	0,72	9,4	33,2	1,05	1,56	2,65
р.Царега	1,66	0,57	0,24	0,92	0,49	2,9	1,93	0,061	3,12	5,3
р.Балайчук	1,16	0,72	0,16	0,95	0,67	4,7	2,75	0,087	2,36	4,01
б.Хуторська	0,58	0,00	0,58	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

4.4.2 Оцінка впливу зрошування на стік річок

У роботі проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи [43] надавались оцінки змін характеристик річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в результаті проведення меліорацій, серед яких значне місце посідав перекид стоку великих річок (Дунаю та Дністра) на водозбори межиріч Дунай-Дністер та Дністер-Південний Буг. Відносна площа зрошувальних земель при використанні вод річки-донора змінювалися у межах від 27% до 1%. Зворотні води, що надходили до русел річок із зрошувальних масивів сприяли збільшенню середнього багаторічного стоку у 1,5 – 2,5 рази. У останні десятиріччя площі зрошування суттєво зменшилися і для поливу сільськогосподарських земель використовуються місцеві водні ресурси.

Для кількісної оцінки впливу зрошування розраховуються коефіцієнти антропогенного впливу за такими виразами [139]:

- за рахунок місцевих водних ресурсів

$$k'_{\bar{Y}} = 1,00 - a_{\bar{Y}} \lg(f_{3P} + 1) - b_{\bar{Y}} v_0 + m_{\bar{Y}} \eta, \quad (4.41)$$

$$k'_{C_v} = 1,00 + a_{C_v} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_v} v_0 - m_{C_v} \eta, \quad (4.42)$$

$$k'_{C_s} = 1,00 + a_{C_s} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_s} v_0 - m_{C_s} \eta, \quad (4.43)$$

- за рахунок річки-донора

$$k''_{\bar{Y}} = 1,00 + a_{\bar{Y}} f_{3P} + b_{\bar{Y}} v_0 + d_{\bar{Y}} \xi - m_{\bar{Y}} \eta, \quad (4.44)$$

$$k''_{C_v} = 1,00 - a_{C_v} f_{3P} - b_{C_v} v_0 - d_{C_v} \xi + m_{C_v} \eta, \quad (4.45)$$

$$k''_{C_s} = 1,00 + a_{C_s} f_{3P} + b_{C_s} v_0 + d_{C_s} \xi - m_{C_s} \eta, \quad (4.46)$$

де $k'_{\bar{Y}}$, k'_{C_v} , k'_{C_s} – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок місцевих водних ресурсів на середню багаторічну величину стоку \bar{Y} та на коефіцієнти варіації C_v й асиметрії C_s , відповідно; $k''_{\bar{Y}}$, k''_{C_v} , k''_{C_s} – коефіцієнти впливу зрошування із річки-донора на середню багаторічну величину стоку \bar{Y} та на коефіцієнти варіації C_v й асиметрії C_s , відповідно; f_{3P} – відносна площа зрошуваних земель; v_0 – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідної сільськогосподарської культури є оптимальним [129]; ξ – коефіцієнт зворотних вод; η – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи; a_A, b_A, d_A, m_A – коефіцієнти рівнянь множинної регресії для різних статистичних параметрів стоку A .

У табл. 4.9, 4.10 наведені розрахунки характеристик річного побутового стоку р. Сарата.

**Параметри побутового стоку р. Сарата при зрошуванні за рахунок
місцевого стоку ($f_{3P} = 1 \%$, $v_0 = 0,9$, $\eta = 0,75$)**

Коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового стоку			Величина побутового стоку у роки різної забезпеченості, мм				
k'_Y	k'_{Cv}	k'_{Cs}	$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	C_v	C_s	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$
0,74	1,69	1,10	4,4	3,33	3,69	33,0	5,1	0,0	0,0	0,0

Таблиця 4.10

**Параметри побутового стоку р. Сарата при зрошуванні за рахунок
річок-донорів ($f_{3P} = 1 \%$, $v_0 = 0,9$, $\eta = 0,75$, $\xi=1,0$)**

Коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри побутового стоку			Величина побутового стоку у роки різної забезпеченості, мм				
k''_Y	k''_{Cv}	k''_{Cs}	$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	C_v	C_s	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$
1,49	0,73	1,16	8,9	1,44	3,89	33,2	9,2	3,6	2,4	2,3

Розрахунки сумарного коефіцієнту антропогенного впливу показали, що при $f_{3P}=1\%$ будуть переважати втрати місцевого стоку, які сприятимуть зменшенню середньої багаторічної величини стоку і зростанню його мінливості та асиметрії.

4.5. Визначення характеристик меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я

В ОДЕКУ [43] розроблено методику визначення характеристик мінімального стоку невивчених у гідрологічному відношенні малих та середніх

річок Північно-Західного Причорномор'я, яка базується на використанні просторово-часових узагальнень моделі «клімат-стік».

Розрахунок норм мінімального 30-добового стоку зводиться до визначення коефіцієнтів k_L та k_Z , які являють собою частку від середньої багаторічної величини річного стоку, а при відсутності даних – від норми природного стоку, визначеної за моделлю «клімат-стік»

$$k_L = \frac{(\bar{Q}_{30})_L}{\bar{Q}}; \quad (4.47)$$

$$k_Z = \frac{(\bar{Q}_{30})_Z}{\bar{Q}}, \quad (4.48)$$

де k_L – перехідний коефіцієнт від норми річного стоку до 30-ти добового мінімуму стоку у літню або літньо-осінню межень, представлений у вигляді карта-схеми ізоліній; k_Z – перехідний коефіцієнт від норми річного стоку до 30-ти добового мінімуму стоку у зимову межень, також представлений у вигляді карта-схеми ізоліній; $(\bar{Q}_{30})_L$ – норма 30-ти добового мінімуму у літню (літньо-осінню) межінь; $(\bar{Q}_{30})_Z$ – норма 30-ти добового мінімуму у зимову межінь; \bar{Q} – норма річного стоку.

Хід ізоліній на карта-схемах, наведених в [43] відображає просторовий розподіл внеску стоку межені у формування річного стоку Північно-Західного Причорномор'я.

Визначення середньої багаторічної величини 30-ти добового мінімального стоку літньо-осінньої та зимової межені на основі моделі «клімат-стік» з використанням метеорологічних даних відбувається наступним чином. На першому етапі визначається норма кліматичного річного стоку \bar{Y}_K розглядуваного водозбору та встановлюється вплив на неї підстильної поверхні. На другому етапі розраховується значення норми природного річного стоку за (4.23) та

встановлюються коефіцієнти k_L та k_3 . Визначення $(\bar{Q}_{30})_L$ та $(\bar{Q}_{30})_3$ відбувається за формулами

$$(\bar{Q}_{30})_L = k_L \bar{Q}_{PP}; \quad (4.49)$$

$$(\bar{Q}_{30})_3 = k_3 \bar{Q}_{PP}, \quad (4.50)$$

де \bar{Q}_{PP} – витрата річного природного стоку, визначена за моделлю «клімат-стік».

Для більшості малих річок встановлено, що у період літньо-осінньої межени коефіцієнт k_L дорівнює нулю. Нульова ізолінія проходить вздовж Чорного моря, де річки практично не отримують підземного живлення, а кількість опадів в літній сезон суттєво не впливає на стік.

Внаслідок цього відбувається пересихання, тобто середня багаторічна величина 30-ти добового мінімуму стоку дорівнює нулю. На досліджуваній території перехідний коефіцієнт k_L змінюється від 0 до 0,52. Його величина зростає з південного сходу на північний захід. У цьому ж напрямі зростають і середні багаторічні значення 30-добового мінімального стоку літньо-осінньої межени (табл. 4.11).

У порівнянні з k_L значення перехідного коефіцієнту k_3 відрізняються від нуля, оскільки в зимовий період спостерігається збільшення підземного припливу до русла річки за рахунок попереднього осіннього зволоження і додаткового надходження талих або дощових вод з періодів відлиг.

На території Північно-Західного Причорномор'я перехідний коефіцієнт k_3 варіюється у межах від 0,02 до 0,58. Значення розрахованих норм 30-ти добового мінімального стоку зимової межени збільшуються у напрямку від моря.

Таблиця 4.11

Середні багаторічні значення 30-добового мінімального стоку літньо-осінньої та зимової межні, визначені для природних умов за моделлю «клімат-стік»

Річка	Середні багаторічні величини природного річного стоку		Літньо-осіння межень			Зимова межень		
			Коефіцієнт k_l	Норма 30-ти добового мінімального стоку		Коефіцієнт k_z	Норма 30-ти добового мінімального стоку	
	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{Q}_{ПР}$, м ³ /с		$(\bar{Q}_{30})_л$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_л$, л/(с·км ²)		$(\bar{Q}_{30})_з$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_з$, л/(с·км ²)
р.Кагул	13	0,25	0,00	0,000	0,000	0,18	0,0449	0,074
р.Ялпуг	14	1,46	0,14	0,20	0,006	0,42	0,612	0,19
р.Лунга	10	0,35	0,12	0,042	0,004	0,42	0,147	0,13
р.В.Сальча	13	0,25	0,17	0,042	0,007	0,28	0,0689	0,12
р.Киргиж-Китай	6	0,14	0,00	0,000	0,000	0,20	0,0276	0,038
р.Аліяга	5	0,070	0,00	0,000	0,000	0,22	0,015	0,035
р.Когильник	13	1,61	0,20	0,32	0,008	0,34	0,548	0,14
р.Чага	12	0,48	0,10	0,048	0,004	0,30	0,145	0,11
р.Сарата	6	0,24	0,09	0,021	0,002	0,16	0,0381	0,03
р.Хаджидер	6	0,17	0,00	0,000	0,000	0,04	0,00680	0,008

Продовження табл. 4.11

Річка	Середні багаторічні величини природного річного стоку		Літньо-осіння межень			Зимова межень		
			Коефі- цієнт k_L	Норма 30-ти добового мінімального стоку		Коефі- цієнт k_3	Норма 30-ти добового мінімального стоку	
	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{Q}_{ПР}$, м ³ /с		$(\bar{Q}_{30})_L$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_L$, л/(с·км ²)		$(\bar{Q}_{30})_3$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_3$, л/(с·км ²)
р.Алкалія	7	0,14	0,00	0,000	0,000	0,03	0,004	0,007
р.Пожарна	48	0,21	0,20	0,043	0,030	0,33	0,070	0,50
р.Бик	31	2,11	0,20	0,42	0,020	0,36	0,76	0,35
р.Ішновець	19	0,22	0,19	0,043	0,011	0,40	0,090	0,24
р.Ботна	19	0,93	0,17	0,16	0,010	0,35	0,33	0,21
р.Кучурган	13	1,00	0,11	0,11	0,005	0,15	0,15	0,062
р.Вел.Куяльник	12	0,71	0,00	0,000	0,000	0,06	0,043	0,023
р.Довбока	6	0,012	0,00	0,000	0,000	0,02	0,000	0,004
р.Кубанка	6	0,025	0,00	0,000	0,000	0,02	0,000	0,004
р.Мал.Куяльник	11	0,54	0,00	0,000	0,000	0,03	0,016	0,011
р.Свинна	8	0,22	0,00	0,000	0,000	0,02	0,004	0,005
р.Тилігул	12	1,35	0,00	0,000	0,000	0,04	0,054	0,015
р.Балайчук	7	0,13	0,00	0,000	0,000	0,02	0,003	0,004

Продовження табл. 4.11

Річка	Середні багаторічні величини природного річного стоку		Літньо-осіння межень			Зимова межень		
			Коефі- цієнт k_L	Норма 30-ти добового мінімального стоку		Коефі- цієнт k_Z	Норма 30-ти добового мінімального стоку	
	\bar{Y}_{PR} , мм	\bar{Q}_{PR} , м ³ /с		$(\bar{Q}_{30})_L$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_L$, л/(с·км ²)		$(\bar{Q}_{30})_Z$, м ³ /с	$(\bar{q}_{30})_Z$, л/(с·км ²)
р.Царега	6	0,13	0,00	0,000	0,000	0,02	0,003	0,004
р.Березань	7	0,20	0,00	0,000	0,000	0,02	0,00395	0,004
р.Мертвовід	22	1,23	0,09	0,11	0,006	0,02	0,025	0,014
р.Кодима	20	1,22	0,17	0,21	0,011	0,4	0,49	0,25
р.Савранка	37	2,04	0,33	0,67	0,039	0,58	1,18	0,68
р.Чичиклія	15	0,25	0,00	0,000	0,000	0,03	0,007	0,014
р.Гнилий Єланець	13	0,51	0,05	0,026	0,002	0,19	0,097	0,078
р.Інгул	22	6,90	0,09	0,62	0,006	0,34	2,35	0,24
р.Громоклія	13	0,66	0,03	0,020	0,001	0,31	0,21	0,13
р.Ягорлик	27	1,05	0,30	0,31	0,026	0,47	0,49	0,40
р.Молокіш	29	0,25	0,47	0,12	0,043	0,56	0,14	0,52
р.Белочі	30	0,26	0,52	0,13	0,050	0,58	0,15	0,55

Узагальнення даних по 30-добових мінімальних витратах води здійснено з урахуванням норм річного природного стоку. Відповідні залежності наводяться на рис. 4.3, 4.4, окремо для літньої (літньо-осінньої) та зимової межени. Описуються вони рівняннями:

- для літньої межени

$$(Q_{30})_л = a_л(\bar{Q}_{np} - (Q_0)_л); \quad (4.51)$$

- для зимової межени

$$(Q_{30})_з = a_з(\bar{Q}_{np} - (Q_0)_з), \quad (4.52)$$

де $a_л$, $a_з$ - коефіцієнти регресійних залежностей для зимової та літньої межени, відповідно; $(Q_0)_л$, $(Q_0)_з$ - мінімальне значення норми річного стоку \bar{Q}_{np} , при якому 30-добовий стік дорівнює нулю у період літньої та зимової межени, відповідно.

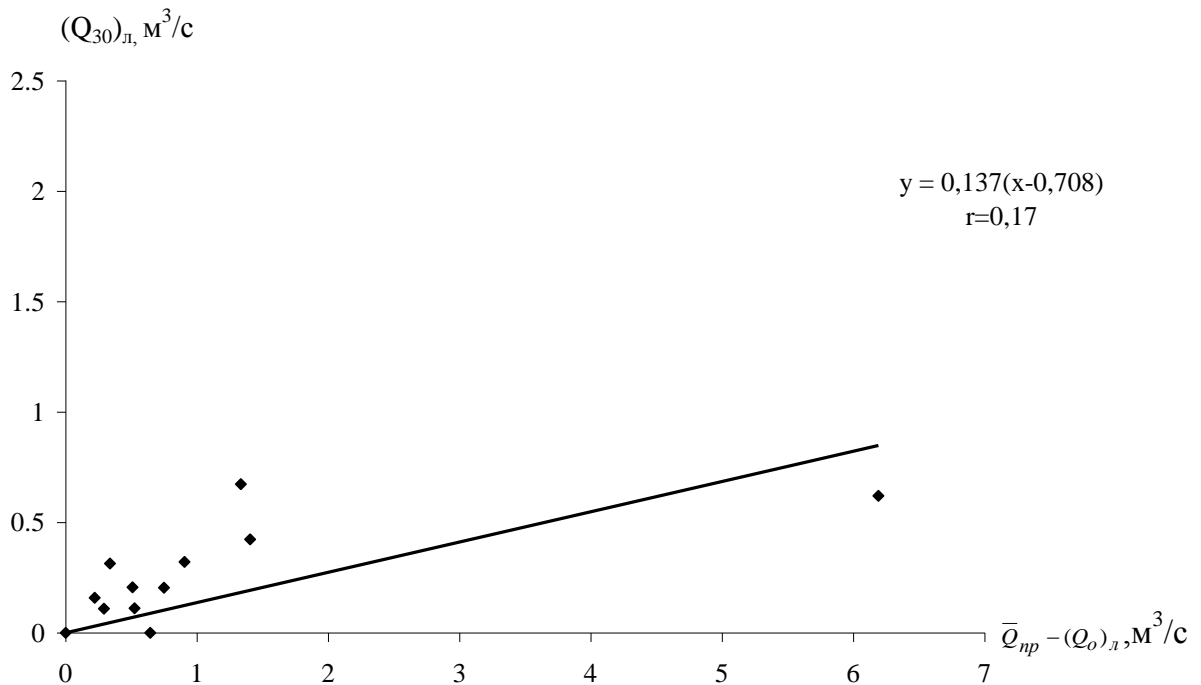


Рис. 4.3. Залежність 30-добових мінімальних витрат води літньої межени від норми природного річного стоку

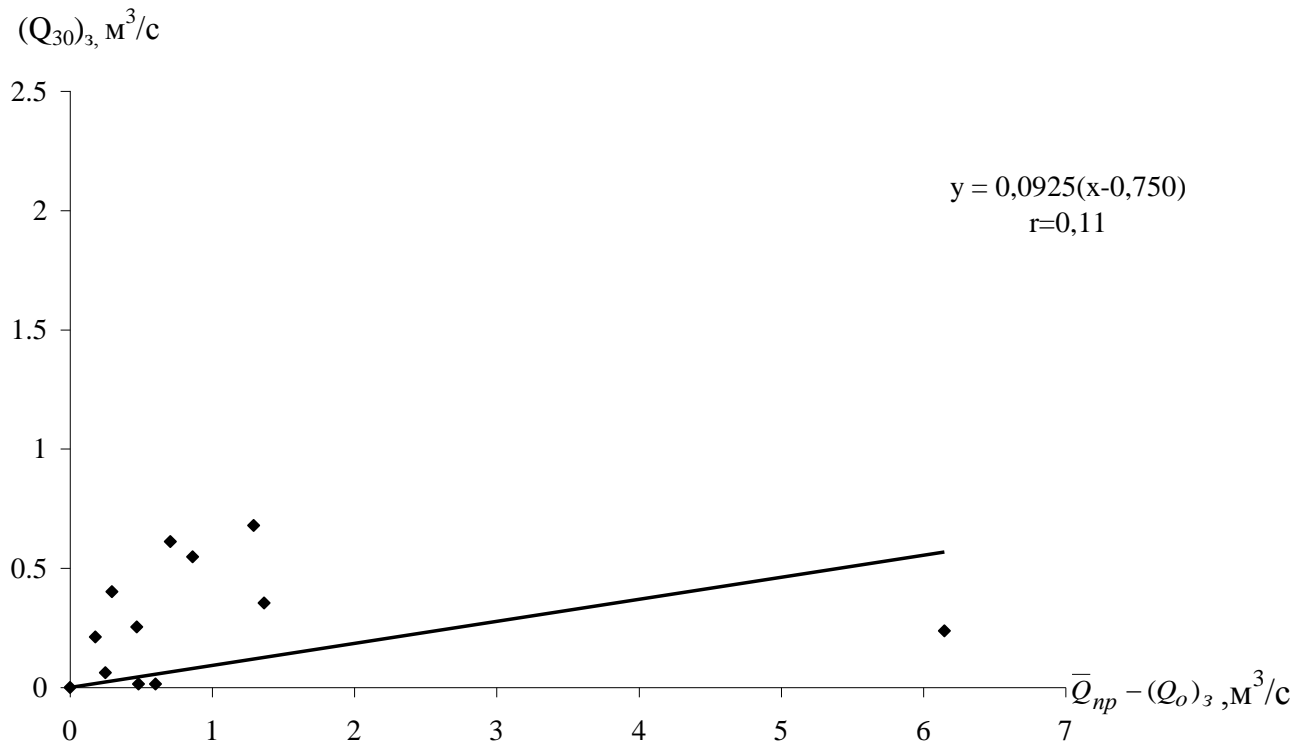


Рис. 4.4. Залежність 30-добових мінімальних витрат води зимової межені від норми природного річного стоку

Для літньої межені параметри рівняння (4.51) дорівнюють $a_l=0,137$, $(Q_0)_l=0,708$, для зимової межені (4.52) – $a_z=0,093$, $(Q_0)_z=0,750$.

У випадку, коли величина \bar{Q}_{np} є меншою, ніж $(Q_0)_l$ або $(Q_0)_z$, 30-добовий стік приймається рівним нулю.

Висновки до розділу 4

Розрахунки характеристик природного та побутового стоку річок при відсутності даних спостережень або при значній трансформації цих даних водогосподарською діяльністю проводилися за допомогою моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ. Модель базується на використанні метеорологічних даних.

Розрахунок статистичних параметрів річного природного стоку, виконаний за моделлю «клімат-стік», дозволив зробити висновок про низьку водність річок та значну мінливість стоку.

При визначенні побутового річного стоку модель може враховувати різні види водогосподарської діяльності та різні масштаби водогосподарських перетворень.

На базі просторово-часових узагальнень моделі «клімат-стік» визначені характеристики мінімального стоку невивчених у гідрологічному відношенні малих та середніх річок Північно-Західного Причорномор'я. Для більшості малих річок межиріч встановлено, що у період літньо-осінньої межені середня багаторічна величина 30-ти добового мінімуму стоку дорівнює нулю, тобто відбувається пересихання річок. У період зимової межені за рахунок попереднього осіннього зволоження і додаткового надходження талих або дощових вод на період відлиги характеристики 30-ти добового мінімального стоку більші нуля і зростають у напрямку з південного сходу на північний захід (у напрямку від моря).

РОЗДІЛ 5

ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО ТА МЕЖЕННОГО СТОКУ РІЧОК
ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я В ОСТАННІ ДЕСЯТИРІЧЧЯ

5.1 Основні тенденції змін кліматичних чинників та стоку у межах України

Зміни глобального клімату, які спостерігаються на протязі останніх десятиріч [142], впливають на кліматичні умови формування стоку річок України, а, отже, обумовлюють зміни її поверхневих водних ресурсів [82]. У нових кліматичних умовах, особливо при зростанні посушливості, збільшується потреба у прісній воді різними споживачами, що обумовлює необхідність розроблення нової стратегії подальшого розвитку водного господарства та усієї економіки України. Дослідження наслідків змін клімату у зв'язку зі станом поверхневих водних ресурсів України проводилися у кінці минулого та початку нового сторіччя українськими науковцями, серед яких слід відзначити роботи В.І. Вишневського [27,29], який установив основні тенденції щодо змін кліматичних характеристик та характеристик стоку на початку ХХІ сторіччя; А.І. Шерешевського та Л.К. Синицької [189], у роботах яких відмічається збільшення випаровування з водної поверхні, особливо у східних та південних територіях України. Дослідження сучасних змін максимального стоку річок проводилися В.О. Войцеховичем та Л.І. Лузан [34], Є.Д. Гопченком, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзановою [49,137,187]. Показано, що зменшення максимального стоку весняного водопілля може впливати на режим наносів, величина яких відповідно зменшується [130]. Зміни річного, внутрішньорічного та мінімального стоку р. Дніпро, що відбувалися на протязі останніх десятиріч, детально проаналізовані у монографії вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка [179]. Разом із водним режимом у результаті глобального потепління установлені зміни льодового

режиму річок: скорочується тривалість стійкого льодового покриву, змінюються на більш пізні строки настання осінніх льодових явищ [113], а скресання річок відбувається раніше [174], зростає ймовірність відсутності льодових явищ у зимові місяці [28].

Просторово-часове узагальнення змін кліматичних характеристик та характеристик водного режиму річок у межах усїєї України виконане В.В. Гребінем [53] на основі проведеного ним ландшафтно-гідрологічного районування. У роботі цього автора 1989 рік виділений як граничний, починаючи з якого почали відбуватися статистично значущі зміни у коливаннях температур повітря на території усїєї України. В.В. Гребінь виконав оцінку змін кліматичних чинників та характеристик стоку за період до 1989 р. та за часовий інтервал з 1989 по 2008 рр. для різних ландшафтно-гідрологічних зон України. Ним встановлено, що впродовж останніх двадцяти років середня річна температура повітря у межах рівнинної частини України зросла на 0,8°C. Найбільший внесок у зміну річної температури повітря належить зимовому та весняному сезонам. При несуттєвих змінах річних опадів (у межах 10%) відбувся перерозподіл їх сезонних та місячних значень. Кількість опадів зросла в усї сезони (крім зимового), а найбільше – у перехідні сезони (восени та навесні). Зміна ресурсів тепла та вологи обумовила зменшення снігового та збільшення підземного живлення річок. Частка весняного водопілля у внутрішньорічному розподілі стоку річок зменшилася з 42-53% до 35-37%. За період 1989-2008 рр. зростання річних витрат стоку відбулося у Дніпровсько-Сіверськодонецькій (+22%), Прут-Дністровській (+9%), Бузько-Дністровській (+5%), Деснянській (+1%) ландшафтно-гідрологічних провінціях. Зменшення річних витрат за цей же період встановлене для Лівобережно-Дніпровської (-11%), Причорноморсько-Приазовської (-8%), Нижньобузько-Дніпровської (-4%), Дністровсько-Дніпровської провінцій (-4%). Для окремих річок Причорноморсько-Приазовської провінцій зменшення річного стоку за 1989-2008 рр. досягло 40% .

5.2 Тенденції у змінах кліматичних чинників Північно-Західного Причорномор'я

Дослідження змін кліматичних характеристик проводилося за даними метеорологічних станцій Ізмаїл (період спостережень 1946-2012 рр.), Сарата (1960-2012 рр.), Одеса (1900-2013 рр.), Роздільна (1946-2010 рр.), Затишшя (1951-2012 рр.), Любашівка (1961-2011 рр.), Баштанка (1936-2012 рр.).

Аналіз різницевої інтегральної кривої річних значень температур повітря (рис. 5.1) показав, що ця метеорологічна характеристика знаходиться у додатній фазі своїх коливань, починаючи з 1989 року на усіх розглянутих метеостанціях.

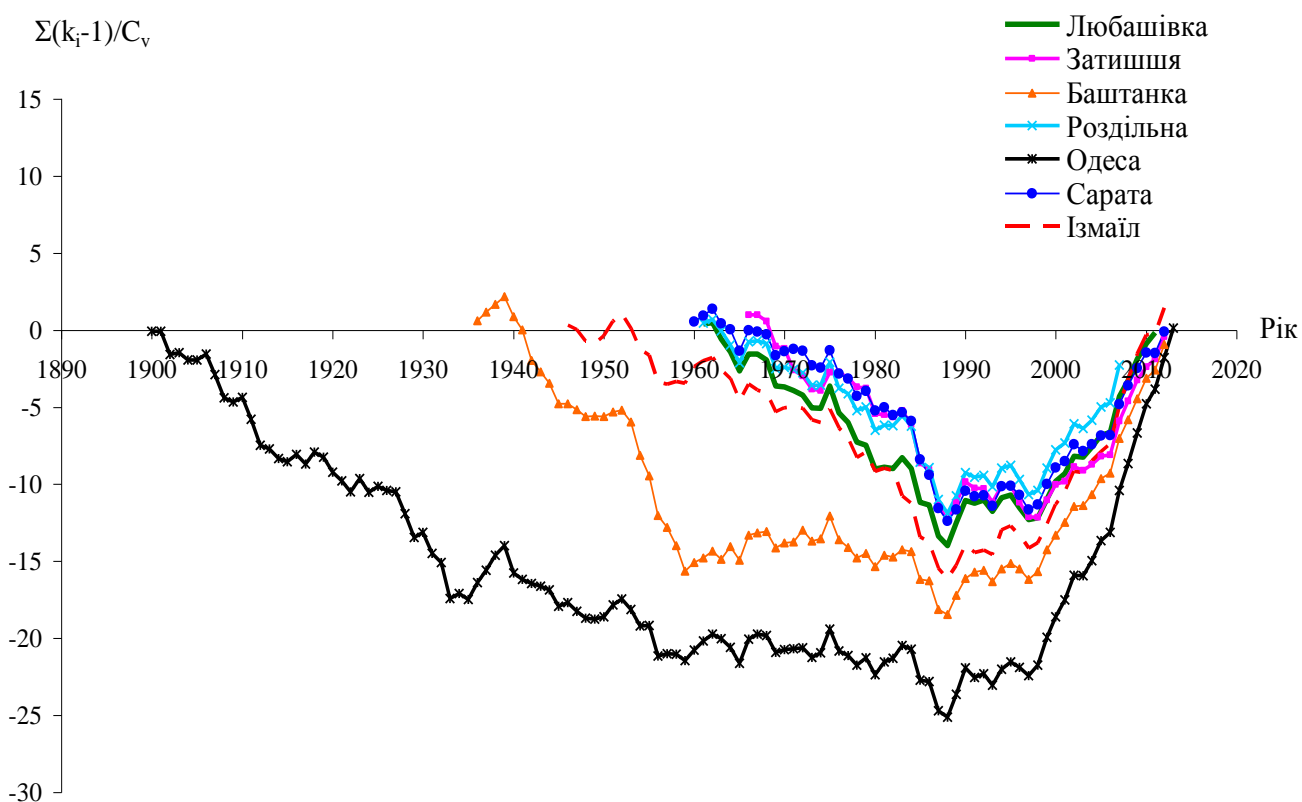


Рис. 5.1. Різницеві інтегральні криві річних значень температур повітря на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Установлено, що середня річна температура повітря на розглянутій території за період після 1989 р. зросла на 0,8-1,1 °С. В зимовий сезон виявлено збільшення середньомісячних температур повітря січня та лютого на 1,8-2,1 °С (в межах від'ємних значень) в північній частині Північно-Західного Причорномор'я та на 1,2-1,6 °С – у південній. Температури повітря за грудень в середньому залишилися незмінними. У весняний сезон найбільше зростання температур повітря припадає на березень (на 1,9 °С). У літні місяці (VII-VIII) середня місячна температура повітря збільшилася на 1,2-1,6 °С.

Установлена загальна тенденція до зростання температур повітря за рік, теплий (IV-X) та холодний (XI-III) періоди (рис. 5.2-5.4). Починаючи з 1989р., зростання температур повітря стало більш інтенсивним. При цьому виявлене збільшення кількості випадків перевищення значеннями температур повітря від їхнього середнього квадратичного відхилення. Зростання температур повітря більш інтенсивно проходить у теплий період року. Установлені тенденції є характерними для усіх метеорологічних станцій розглядуваної території (рис. В.1-В.18) [96].

Коливання опадів на території Північно-Західного Причорномор'я відбуваються синфазно (табл. 5.1). Волога (додатна) фаза коливань річних сум опадів спостерігалася з 60-х років минулого сторіччя до середини 80-х (рис. 5.5). Після чого на більшості метеостанцій установлений перехід до сухої (від'ємної) фази коливань, хоча на близьких до моря станціях (Одеса) продовжується додатна фаза. Аналіз хронологічного ходу річних сум опадів за рік, теплий та холодний періоди дозволив установити існування статистично значущої тенденції до їх збільшення на метеостанціях Одеса, Баштанка (рис. 5.6-5.8, рис. В.19-В.21, табл. Д.1). На інших метеостанціях суми опадів за рік та теплий період практично не змінюються (рис. 5.9-5.11, рис. В.22-В.33) [205].

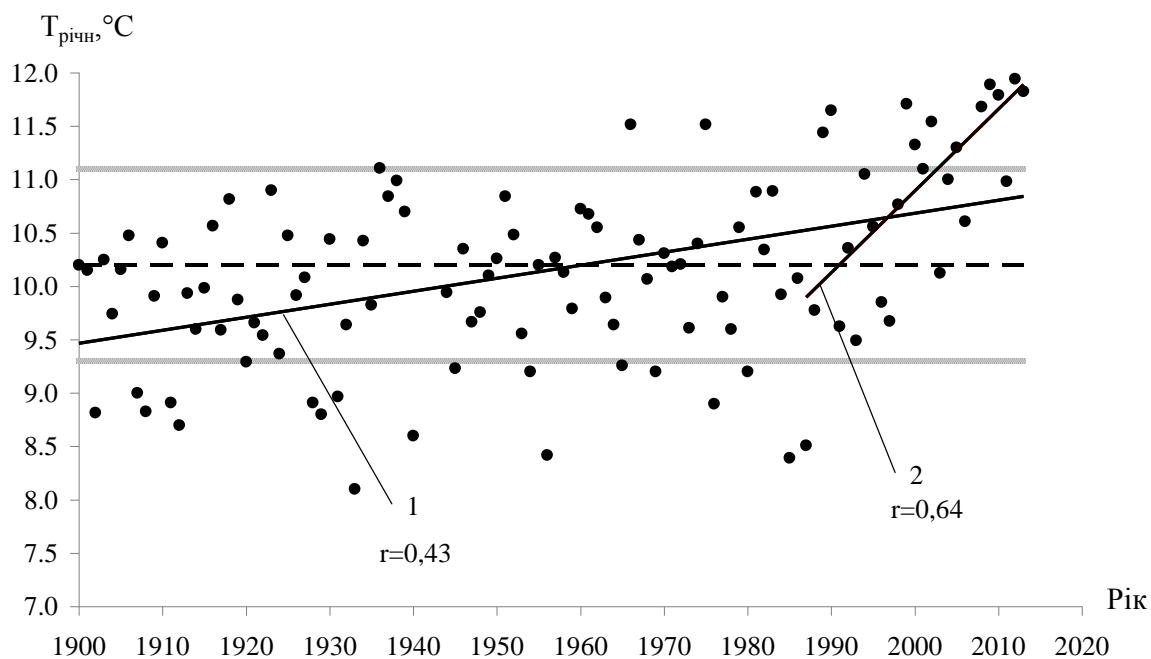


Рис. 5.2. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Одеса (---- середнє багаторічне значення, двома горизонтальними лініями показане середньоквадратичне відхилення; — лінія тренду, 1 – лінія тренду за 1900-2013 рр., 2 – лінія тренду за 1989-2013 рр.)

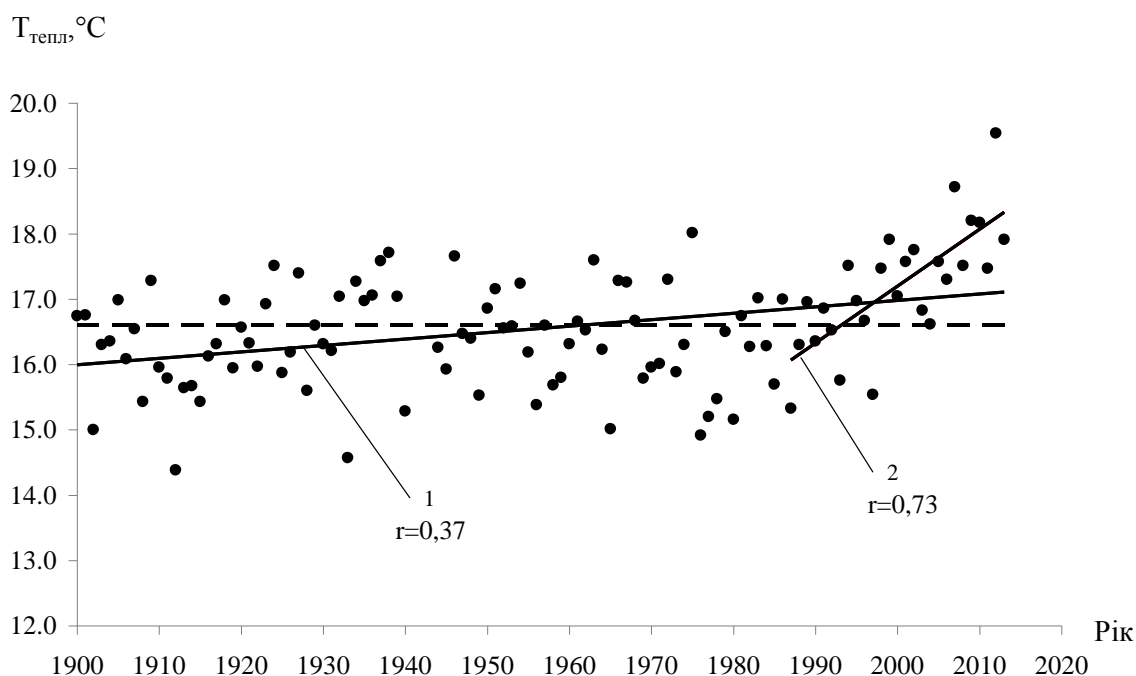


Рис. 5.3. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Одеса (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1900-2013рр., 2 – лінія тренду за 1989-2013 рр.)

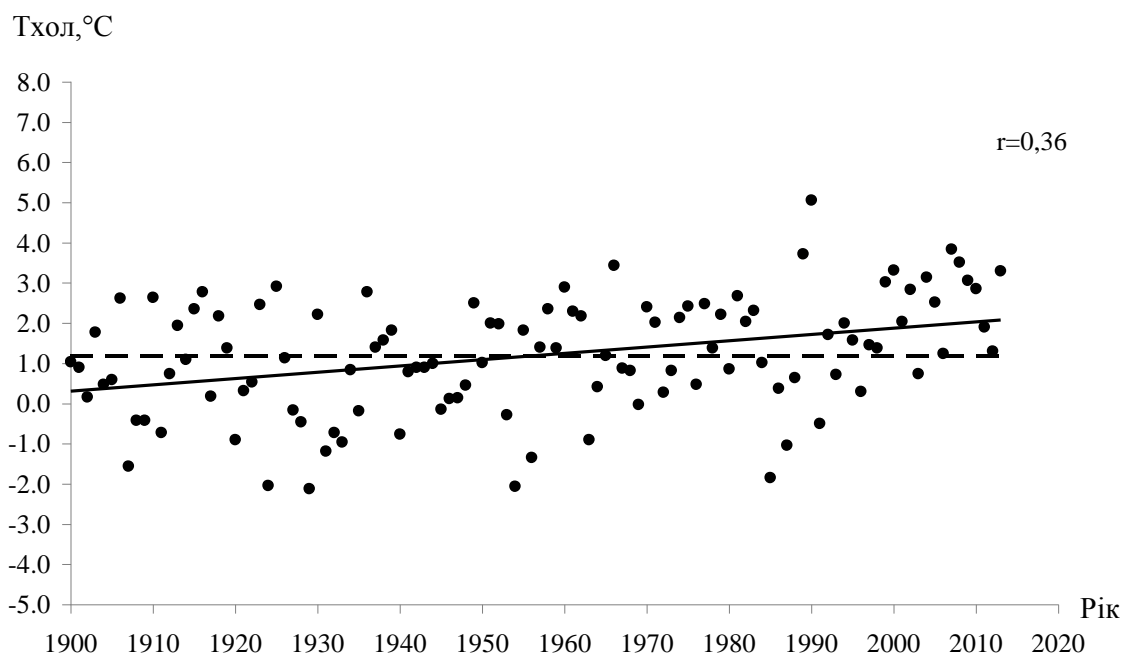


Рис. 5.4. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Одеса, 1900-2013 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

Таблиця 5.1

Матриця коефіцієнтів кореляції опадів на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Метео-станція	Люба-шівка	Затиш-ся	Баштан-ка	Розді-льна	Одеса	Сарата	Ізмаїл
Любашів-ка	1,00	0,68	0,51	0,74	0,59	0,54	0,40
Затишся	0,68	1,00	0,43	0,68	0,61	0,55	0,46
Баштанка	0,51	0,43	1,00	0,48	0,60	0,54	0,37
Роздільна	0,74	0,68	0,48	1,00	0,69	0,61	0,56
Одеса	0,59	0,61	0,60	0,69	1,00	0,70	0,59
Сарата	0,54	0,55	0,54	0,61	0,70	1,00	0,60
Ізмаїл	0,40	0,46	0,37	0,56	0,59	0,60	1,00

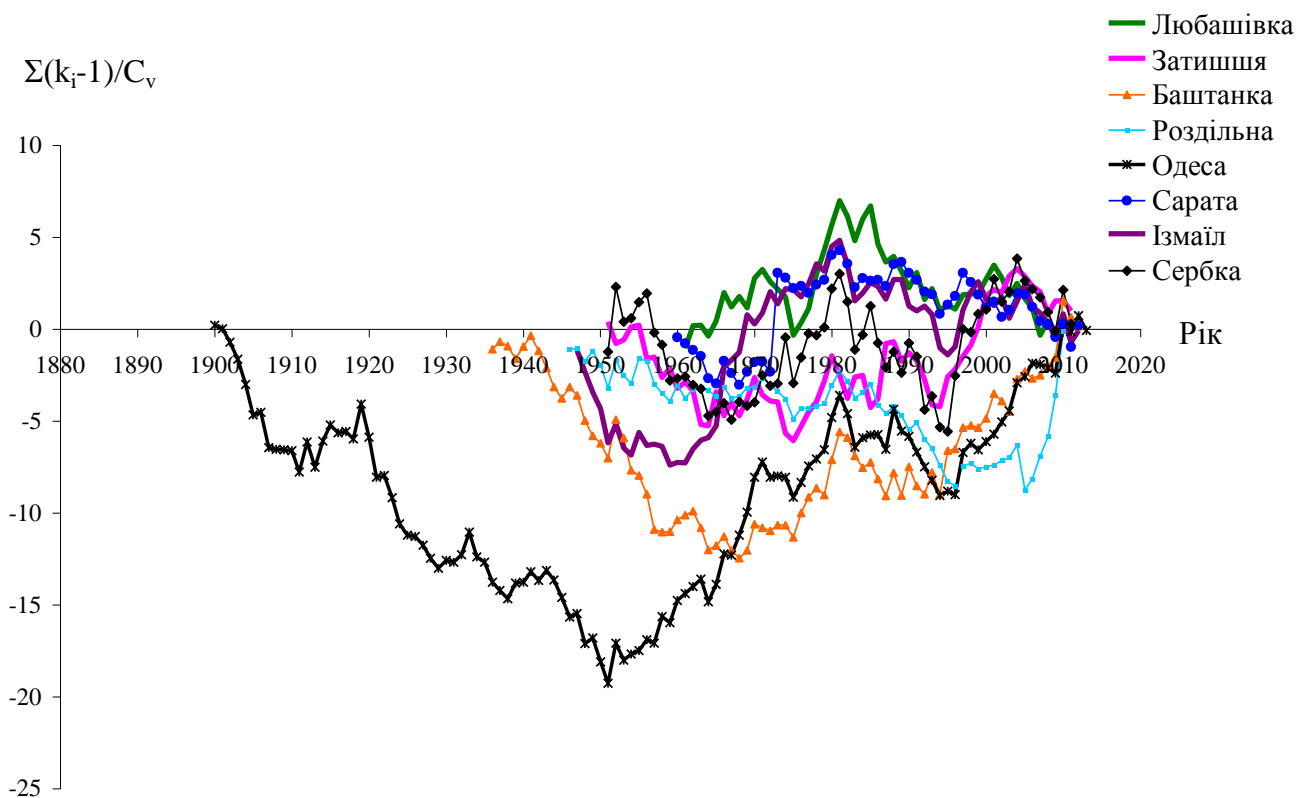


Рис. 5.5. Різницеві інтегральні криві річних сум опадів на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

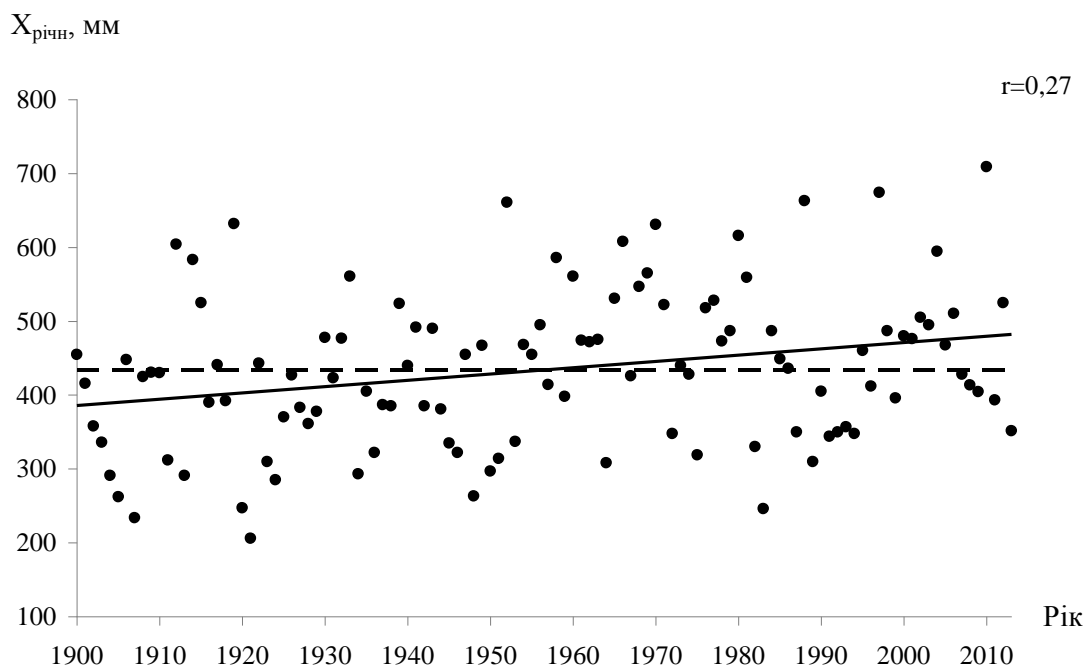


Рис. 5.6. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Одеса, 1900-2013 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

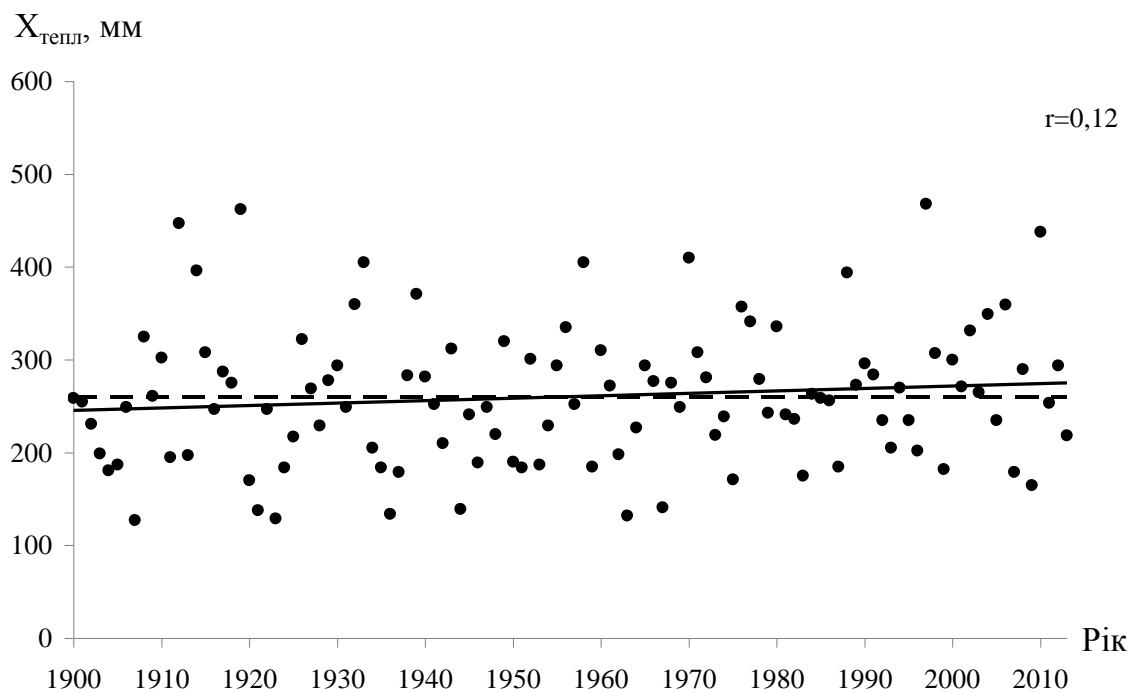


Рис. 5.7. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Одеса, 1900-2013 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

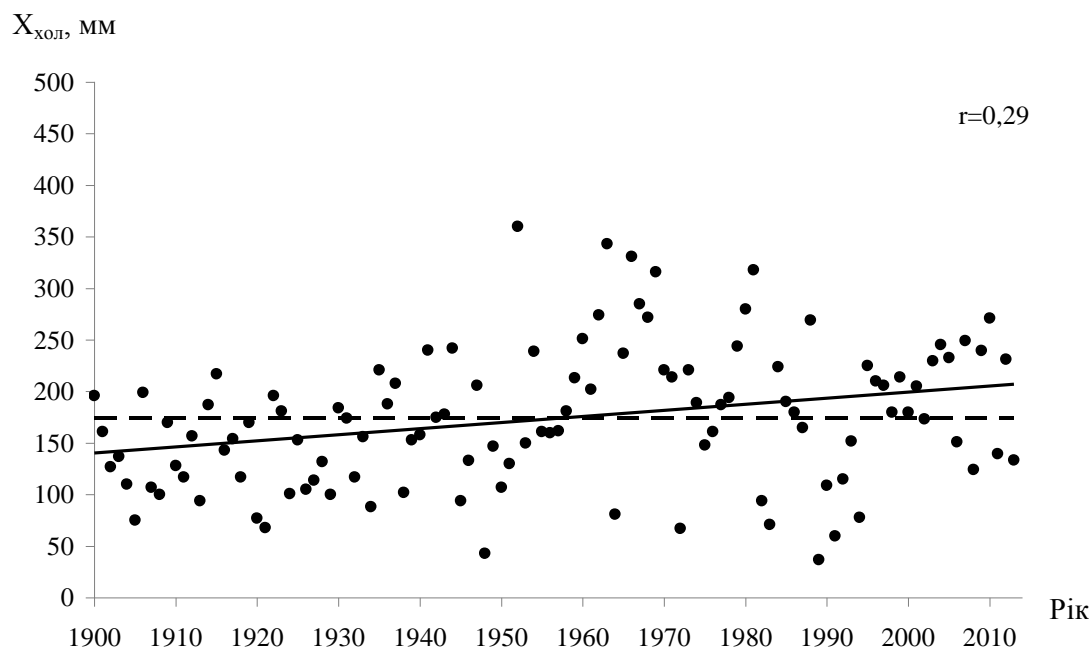


Рис. 5.8. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI- III) за даними метеорологічної станції Одеса, 1900-2013 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

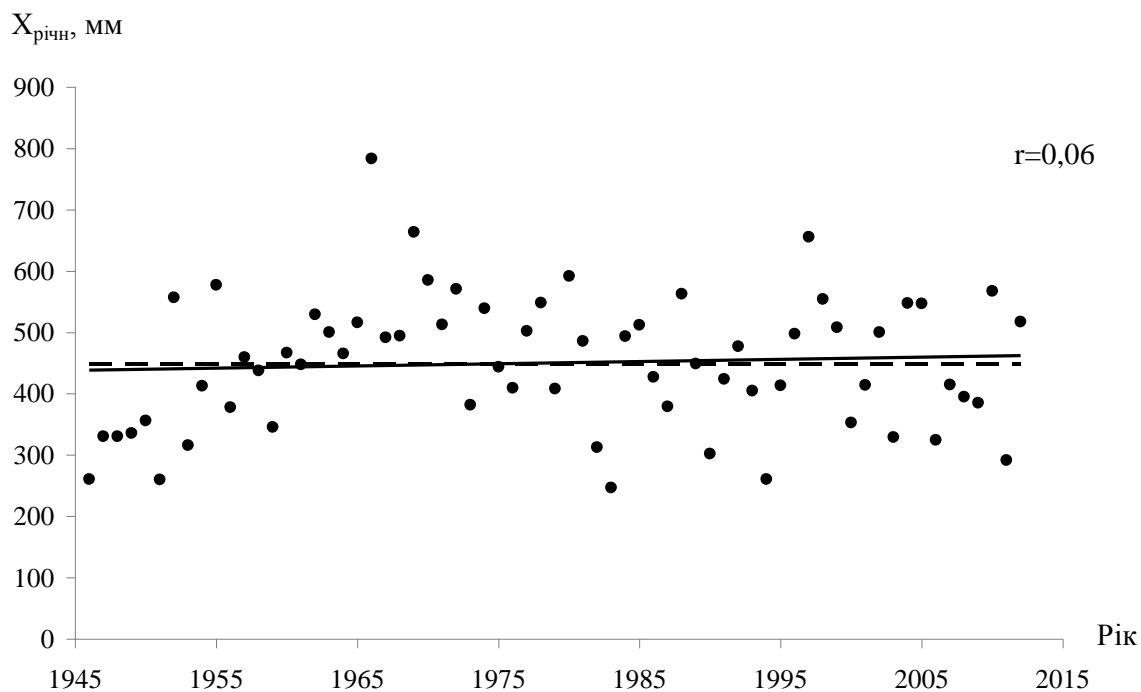


Рис. 5.9. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Ізмаїл, 1946-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

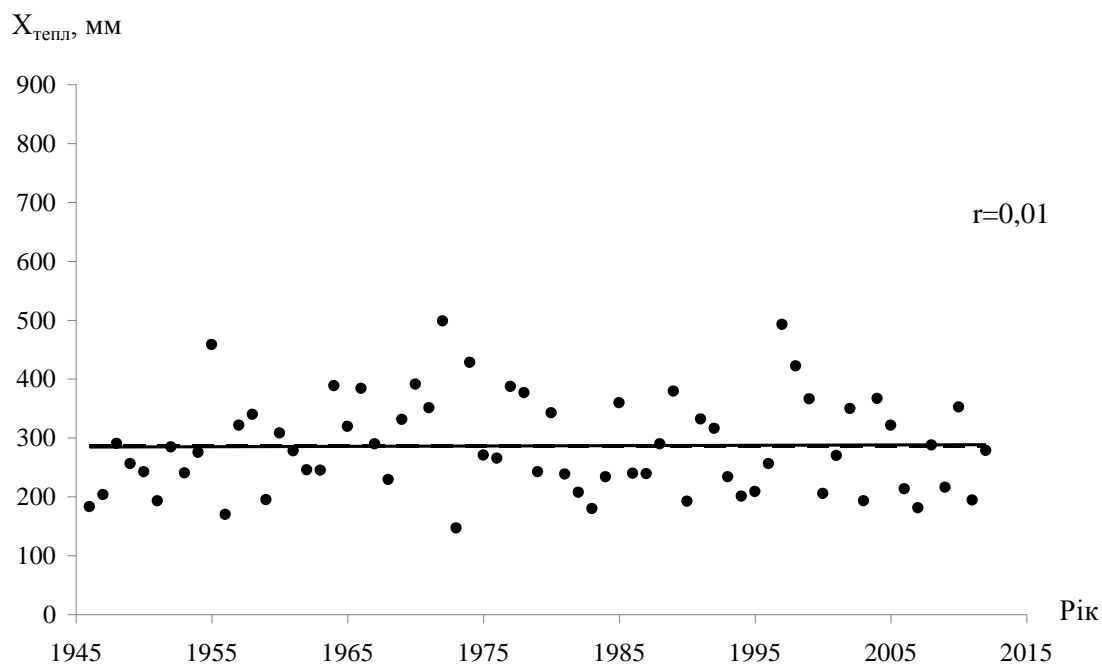


Рис. 5.10. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Ізмаїл, 1946-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

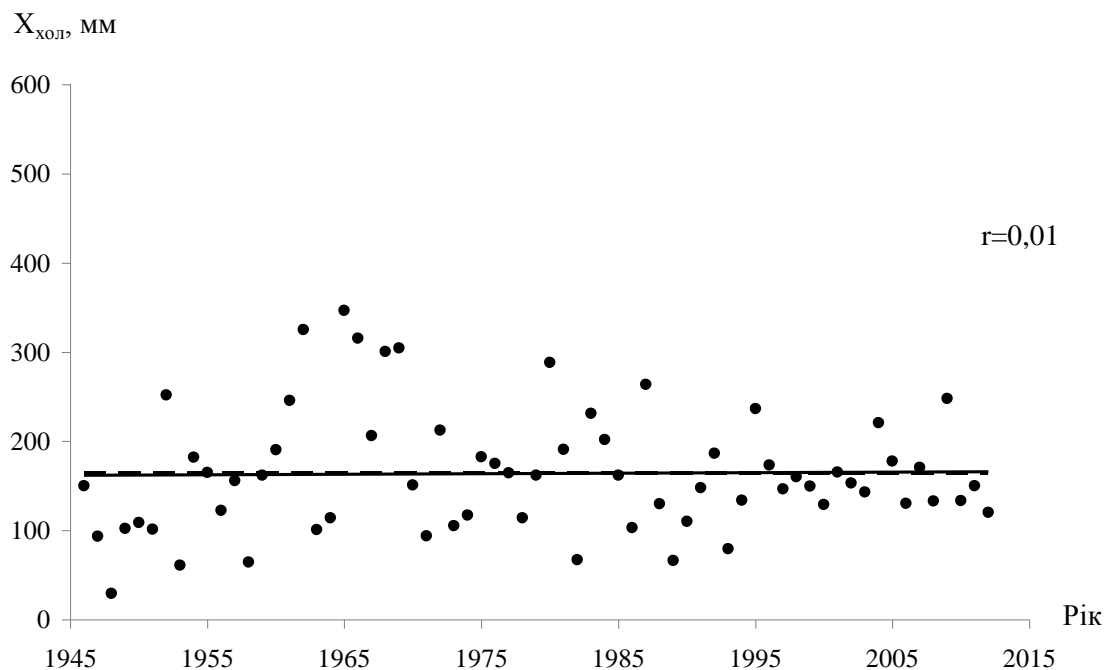


Рис. 5.11. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Ізмаїл, 1946-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

5.3 Тенденції у змінах характеристик річного та меженного стоку

Зміни кліматичних характеристик викликають зміни характеристик водного режиму річок Північно-Західного Причорномор'я [12].

У ХХ ст. значна роль у формуванні річного стоку (понад 70 %) належала опадам зимового сезону, коли закладалися умови для розвитку весняного водопілля. Збільшення температур повітря в зимовий сезон сприяє зменшенню глибини промерзання ґрунту, формуванню відлиг й зростанню інфільтрації талих та дощових вод у підстильні ґрунти та водоносні горизонти при незначному випаровуванні з поверхні ґрунту. Відлиги перешкоджають накопиченню снігу на водозборах. Зменшення або відсутність запасу води в сніговому покриві у зимовий сезон забезпечує зниження максимальних витрат води у період весняного водопілля. Збільшення фільтрації талих вод у підстильну поверхню

сприяє підсиленню підземного живлення, що викликає збільшенню величини меженного стоку для річок із площею більшою другої критичної [170]. У свою чергу, зростання температур повітря теплого періоду збільшує випаровування з водної поверхні та приводить до зростання втрат на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм. Зменшення річного стоку відбувається за рахунок зростання випаровування з поверхні суші на фоні мало змінних річних опадів [115].

Для оцінки змін річного стоку на річках Північно-Західного Причорномор'я розглядалися ряди річного стоку у створах, на яких тривалість спостережень перевищувала 40 років (табл. 5.2). Установлено, що на більшості розглянутих річок з середини 80-х років коливання стоку знаходяться у маловодній фазі. Незначне зростання річного стоку виявлене у створі р.Кодима-с.Катеринка, яке пояснюється впливом скидних вод [180].

Особливістю змін річного стоку річок межиріччя Дунай – Дністер та Дністер-Південний Буг є недостатньо інтенсивне зростання підземного живлення із збільшенням площ водозборів. Рух вод у цих річках відбувається у напрямі північний захід – південний схід. У цьому ж напрямі зростають температури повітря, а разом з ними й випаровування з суші та з водної поверхні за період без льодоставу, зменшуються опади. Водоносні горизонти підземних вод при наближенні до моря заглиблюються. Усі чинники призводять до зменшення підземного живлення річки навіть при зростанні площі водозбору. Значно сприяє зменшенню водних ресурсів водогосподарська діяльність у виді зарегулювання стоку ставками та малими водосховищами [10].

Аналіз змін характеристик мінімального стоку (мінімальних середньомісячних величин стоку літньо-осінньої та зимової межені) показав тенденцію до їх збільшення (рис. 5.12-5.15), за умови існування стійкого підземного живлення. На річках із площею меншою другої критичної відбувається зменшення мінімального стоку, що пояснюється недостатністю або відсутністю дренажу руслом річок підземних водоносних горизонтів (табл. 5.3, 5.4).

Зміни річного стоку на річках Північно-Західного Причорномор'я

Річка-пост	Період спостережень	F, км ²	Середнє багаторічне значення модулів стоку, л/(с·км ²)		Зміна стоку, %
			до 1989 р.	після 1989 р.	
р.Ботна - с.Каушани	1949-2002	1210	0,71	0,73	+3,7
р.Малий Чулук - с.Теленешти	1955-2004	266	1,26	1,31	+4,6
р.Ягорлик - с.Дойбани	1949-2004	1220	0,80	0,83	+4,7
р.Молокіш - с.Вел.Молокіш	1950-2004	184	1,12	0,60	-46,3
р.Когильник - м.Котовськ	1959-2004	179	1,72	1,27	-26,4
р. Тилігул - смт Березівка	1953-2011	3170	0,31	0,19	-39,4
р.Савранка - с.Осички	1953-2011	1740	1,52	1,40	-8,7
р.Кодима - с.Катеринка	1945-2012	2390	0,74	0,79	+6,2
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	1949-2011	252	1,54	1,17	-23,7
р.Інгул - с.Новогорожене	1945-2012	6670	1,29	0,82	-36,9
р.Інгул - с.Седнівка	1954-2012	4770	1,42	1,36	-4,6
р.Інгул - м.Кіровоград	1945-2012	840	1,40	1,52	+8,8

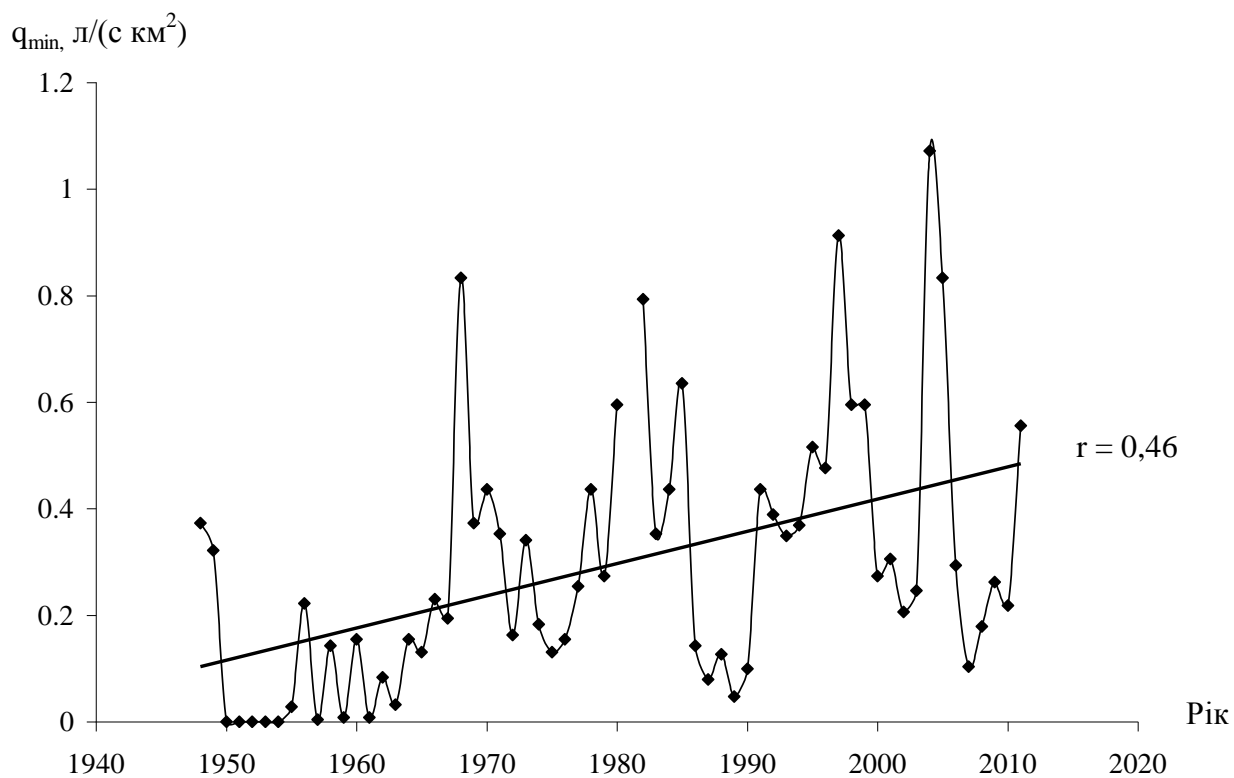


Рис. 5.12. Зміна у часі характеристик мінімального місячного стоку літньо-осінньої межені, р. Мертвовід – с. Крива Пустош, 1948-2011 рр.

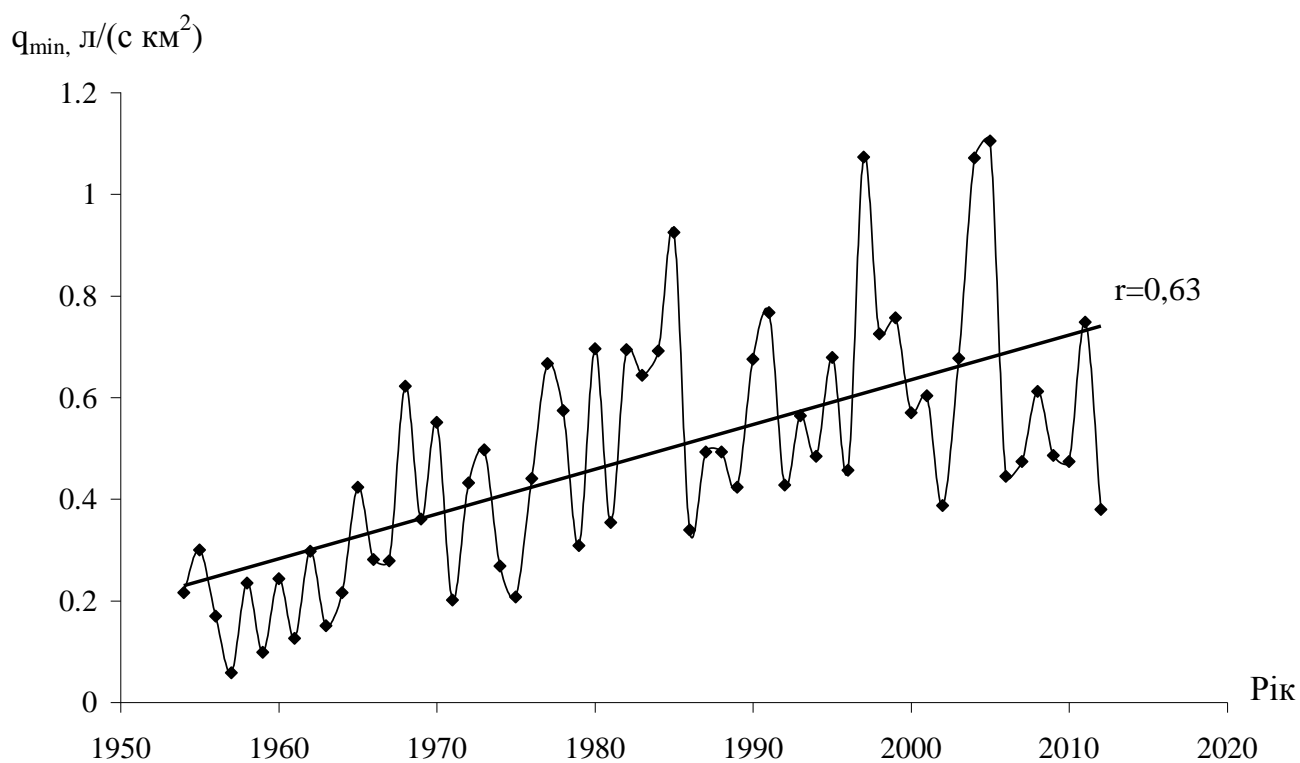


Рис. 5.13. Зміна у часі характеристик мінімального місячного стоку літньо-осінньої межені, р. Інгул – с.Седнівка, 1954-2012 рр.

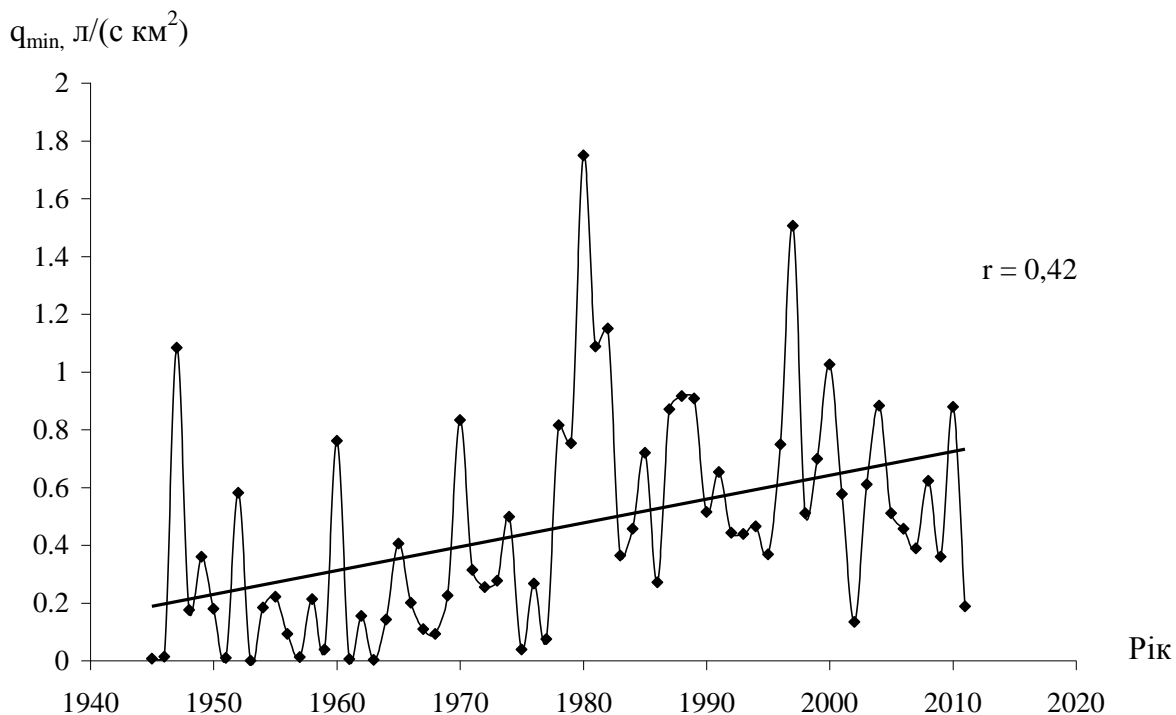


Рис. 5.14. Зміна у часі характеристик мінімального місячного стоку зимової межені, р. Кодима – с.Катеринка , 1945-2011 рр.

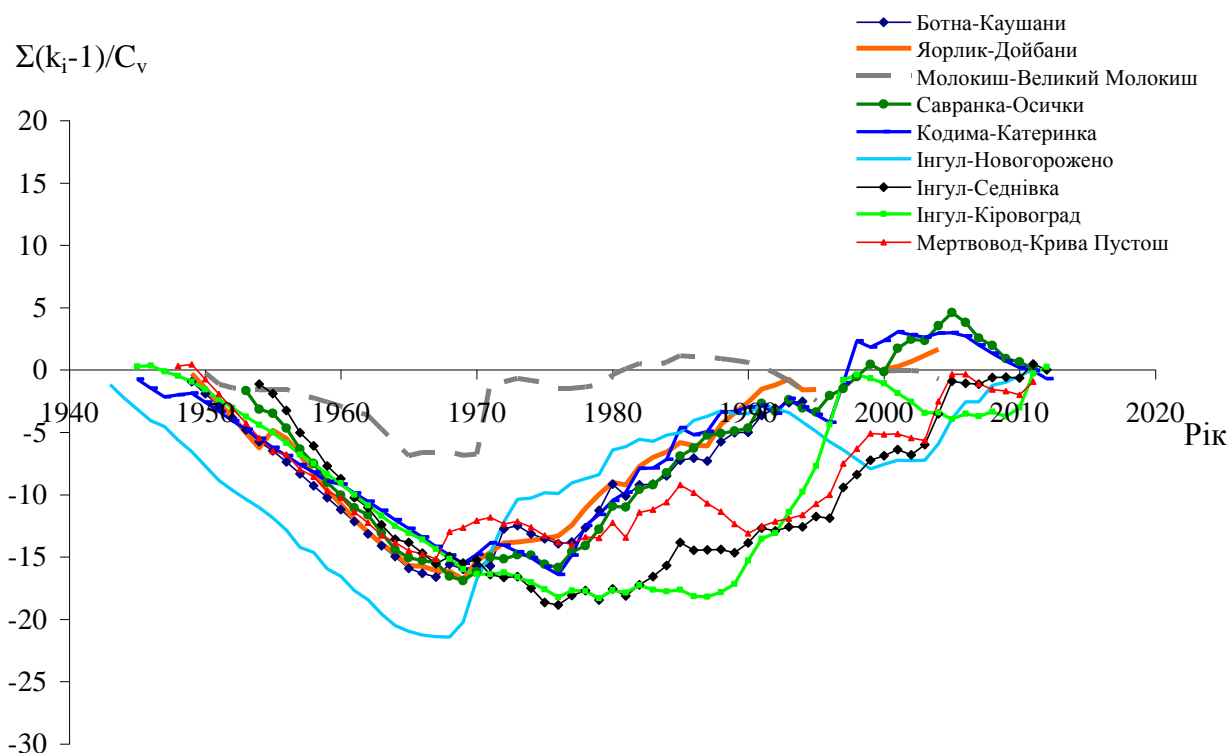


Рис. 5.15. Різницеві інтегральні криві річних величин мінімального місячного стоку у період літньо-осінньої межені на річках Північно-Західного Причорномор'я

**Зміни мінімального середньомісячного стоку на річках Північно-Західного
Причорномор'я у період літньо-осінньої межени**

Річка-пост	Період спостережень	F, км ²	Середнє багаторічне значення модулів стоку, л/(с·км ²)		Зміна стоку, %
			до 1989 р.	після 1989 р.	
р.Ботна - с.Каушани	1949-2002	1210	0,20	0,34	+74,2
р.Малий Чулук - с.Теленешти	1955-2004	266	0,39	0,17	-56,7
р.Ягорлик - с.Дойбани	1949-2004	1220	0,29	0,38	+31,9
р.Молокіш - с.Вел.Молокіш	1950-2004	184	0,77	0,47	-38,8
р.Когильник - м.Котовськ	1959-2004	179	0,40	0,33	-17,5
р. Тилігул - смт Березівка	1953-2011	3170	Пересих.	Пересих.	0
р.Савранка - с.Осички	1953-2011	1740	0,59	0,73	+23,7
р.Кодима - с.Катеринка	1945-2012	2390	0,14	0,18	+25,2
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	1949-2011	252	0,23	0,41	+76,8
р.Інгул – с.Новогорожене	1945-2012	6670	0,33	0,38	+15,3
р.Інгул - с.Седнівка	1954-2012	4770	0,39	0,63	+62,1
р.Інгул - м.Кіровоград	1945-2012	840	0,28	0,80	+191,2

**Зміни мінімального середньомісячного стоку на річках Північно-Західного
Причорномор'я у період зимової межени**

Річка-пост	Період спостережень	F , км ²	Середнє багаторічне значення модулів стоку, л/(с·км ²)		Зміна стоку, %
			до 1989 р.	після 1989 р.	
р.Ботна - с.Каушани	1949-2002	1210	0,23	0,36	+54,1
р.Малий Чулук - с.Теленешти	1955-2004	266	0,32	0,35	+8,0
р.Ягорлик - с.Дойбани	1949-2004	1220	0,48	0,61	+26,8
р.Молокіш - с.Вел.Молокіш	1950-2004	184	0,78	0,50	-36,5
р.Когильник - м.Котовськ	1959-2004	179	0,88	0,56	-36,5
р. Тилігул - смт Березівка	1953-2011	3170	Пересих.	Пересих.	0
р.Савранка - с.Осички	1953-2011	1740	0,97	1,13	+17,9
р.Кодима – с.Катеринка	1945-2012	2390	0,35	0,60	+70,5
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	1949-2011	252	0,81	0,94	+15,1
р.Інгул – с.Новогорожене	1945-2012	6670	0,47	0,48	+1,9
р.Інгул - с.Седнівка	1954-2012	4770	0,72	1,12	+55,9
р.Інгул - м.Кіровоград	1945-2012	840	0,64	1,17	+83,5

Висновки до розділу 5

Дослідження кліматичних чинників формування стоку дозволили установити, що на території Північно-Західного Причорномор'я в останні два десятиріччя відбувається зростання температур повітря за рік, теплий та холодний періоди. Оподи зростають на метеорологічних станціях, розташованих близько до моря і практично не змінюються на інших метеостанціях.

Зростання температур повітря на фоні практично незмінних опадів, які приймають участь у формуванні стоку річок, призводить до зменшення річного стоку через зростання випаровування з поверхні суші та водної поверхні штучних водойм.

Збільшення температур повітря холодного сезону, яке супроводжується переходом від від'ємних температур до додатних, викликає зростання кількості та тривалості відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунту і сприяє інфільтрації талих вод у водоносні горизонти. Збільшення запасів підземних вод спричиняє зростання характеристик мінімального стоку літньо-осінньої та зимової межени за умови дренажу річкою підземних вод. У випадку глибокого їх розташування, мінімальний стік річок не зростатиме, а самі річки схильні до пересихання.

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ЗМІН КЛІМАТУ ТА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЗА СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

6.1 Огляд методів розрахунку стоку річок в умовах глобального потепління

Для оцінки впливу змін клімату на річковий стік у майбутньому використовують дві стратегії. Згідно із першою, розглядаються коливання кліматичних чинників формування стоку, за якими формуються висновки про коливання водності річок, тобто здійснюється оцінка змін водних ресурсів за виявленою тенденцією на майбутнє. Згідно із другою стратегією дані кліматичних сценаріїв використовуються у моделях формування стоку.

Прикладом першої стратегії є введення поправок та поправкових коефіцієнтів, які відображають вплив змін клімату на стік, у існуючі розрахункові формули стоку. При дослідженнях характеристик максимального стоку Лівобережного Дніпра (рр. Сейм, Десна, Псел, Ворскла), виконаних Ж.Р. Шакірзановою [185], виявлені статистично значущі убутні тренди у коливаннях максимальних глибин промерзання ґрунту, максимальних запасів води у сніговому покриві, шарів стоку весняного водопілля та максимальних витрат води. Виявлено, що дати початку весняного водопілля зсуваються з кінця березня (30-ті роки минулого сторіччя) на середину лютого (початок ХХІ сторіччя). При цьому у багаторічних коливаннях середніх місячних температур повітря відмічається додатній тренд (1945-2010 рр.). Для урахування змін кліматичних чинників формування весняного водопілля приток лівобережного Дніпра Ж.Р. Шакірзановою рекомендовані спеціальні поправкові коефіцієнти, які відображають зміни водності весняного водопілля. Останні рекомендується вводити до середньобаторічних величин шарів стоку та максимальних витрат води, які є базовими характеристиками в методі територіальних довгострокових

прогнозів стокових величин весняного водопілля рівнинних річок України. Відповідні поправкові коефіцієнти пропонується уточнювати, наприклад, кожне наступне десятиріччя, оскільки тенденція може у майбутньому змінити свій напрямок. Подібний підхід був застосований О.І. Лук'янець та В.О. Балабух для оцінки характеристик річного стоку Закарпаття [122]. Авторами використовувались установлені за даними минулих років статистичні залежності між характеристиками стоку та метеорологічними показниками. Насамперед, був зроблений акцент на чутливість стоку до змін температури повітря й опадів. Найбільш тісні зв'язки установлені для теплого періоду. У холодний період коефіцієнти кореляції між характеристиками стоку та опадами зменшуються. На основі регіональної моделі REMO-ECHAMS для сценарію A1B було отримано, що зменшення середнього річного стоку у 2021-2050 рр. становитиме 2-3% у порівнянні із періодом 1961-1990 рр. Стік у теплий період зменшиться на 20-25% за рахунок зростання температур повітря. Стік холодного періоду, навпаки, збільшиться на 10-18% у зв'язку із зростанням опадів. Отримані результати підтверджуються дослідженнями змін гідрометеорологічних характеристик Закарпаття у сучасності [54]. При порівнянні даних по стоку до та після 1989 року, установлено, що зміни стоку річок Закарпаття залежать від режиму опадів. Виявлено, що влітку стік річок Закарпаття зменшився на 18% за рахунок зменшення опадів (10%) та зростання температури повітря на $1,4^{\circ}\text{C}$. Збільшення стоку восени на 13-24% відповідає збільшенню опадів у цей сезон на 20%. Річний стік при цьому змінився несуттєво.

На теперішній час до розрахунків стоку річок в умовах глобального потепління залучаються математичні моделі стоку, на вході яких використовується метеорологічна інформація. Саме такі моделі застосовуються для розрахунків і прогнозів змін водних ресурсів за даними сценаріїв глобального потепління. Певну проблему використання сучасних математичних моделей формування стоку становить недостатня роздільна здатність моделей. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океану, які в більшості своїх реалізацій мають роздільну здатність $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$, не можуть бути використані для досліджень

регіональних особливостей кліматичних змін в Україні, оскільки у такому випадку на її територію припадає приблизно 15 вузлів координатної сітки. Тому моделі повинні мати роздільну здатність на порядок вищу, тобто горизонтальні кроки сітки для розрахунків із задовільною точністю мають бути 20-50 км. Так, роздільна здатність є характерною для сучасних моделей прогнозу погоди та клімату. Ще однією вимогою до математичних моделей є можливість розрахунків з різними початковими та граничними даними, а також наявність відносно вільного доступу до цих даних, бажано в мережі Інтернет.

Найбільш сучасними є гідрологічні моделі із розподіленими параметрами, які включають до себе метеорологічні характеристики та характеристики водозбору [26]. Ці моделі дозволяють отримувати ряди поверхневого, підземного стоку, показників якості вод. Основними вхідними даними є матеріали по дощових опадах або запасах води у сніговому покриві. Європейська гідрологічна система є прикладом гідродинамічної системи з розподіленими параметрами. Вона являє собою систему диференціальних рівнянь, представлених у частинних похідних, які описують процеси, що відбуваються на басейні [216].

На протязі 2012-2014 рр. в Одеському державному екологічному університеті виконувалась науково-дослідна робота, в якій об'єктом досліджень був Тилігульський лиман: проект 7-ої Рамкової Програми ЄС «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах змін клімату» (FP7-ENV-2011 № 283157 «Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – Lagoons»). В цьому проекті використовувалась еко-гідрологічна модель SWIM, яка описує взаємодію води й підстильної поверхні [200]. Вона була розроблена на основі двох моделей: SWAT [194] і MATSALU [201]. Модель підходить для розрахунків гідрологічних процесів, ерозії і надходження поживних речовин у межах мезо- та макромасштабних річкових басейнах з площею від 100 км² до 200000 км². SWIM є напів-розподіленою еко-гідрологічною моделлю, яка включає до себе математичний опис фізичних, біохімічних і гідрохімічних процесів та спирається на деякі концептуальні та напівемпіричні елементи [202]. SWIM має

трьохрівневу схему поділу: басейн – суббасейн – гідротоп (гідротоп - набір одиниць в одному суббасейні, які характеризуються однаковим землекористуванням та типом ґрунту). Передбачається, що гідротопи характеризуються рівномірною поведінкою процесів, пов'язаних із гідрологією, розвитком рослинності і поживних речовин. Перш ніж ці процеси агрегуються на рівні суббасейна, вони розраховуються на рівні гідротопів із добовим кроком. Кліматичні параметри приймаються однаковими на рівні суббасейна. Як і дані про управління, вони є зовнішніми драйверами для моделі.

Гідрологічні процеси в SWIM засновані на рівнянні водного балансу та враховують вологовміст в ґрунті, опади, поверхневий стік, випаровування, фільтрацію, підземні води [200]. Поверхневий стік розраховується як нелінійна функція опадів і коефіцієнта утримання, який залежить від землекористування, типу ґрунту, вологовмісту в ґрунті. Підземні води та фільтрація визначаються одночасно й окремо для кожного шару ґрунту. SWIM може врахувати до десяти різних шарів ґрунту. Процеси сніготанення моделюються в залежності від глибини снігового покриву, вмісту льоду і рідкої води в ньому та щільності снігу. Потенційне випаровування визначається на основі даних про сонячне випромінювання, середньодобову температуру та її підвищення. Фактичне випаровування розраховується окремо для ґрунту і рослин як функція від потенційного випаровування та транспірації.

Модель SWIM була розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Здатність моделі адекватно моделювати гідрологічні процеси, динаміку поживних речовин, урожайність та ерозію була ретельно протестована та підтверджена на багатьох річкових басейнах протягом останніх 15 років. SWIM все ще розробляється далі. Нові модулі вводяться в модель (наприклад, модуль «льодовик»), інші модулі посилюються в цілях покращення якості моделювання (наприклад, модуль зростання сільськогосподарських культур або модуль динаміки водно-болотних угідь). Розробляються модулі управління водними ресурсами (зрошення, наявність ставків або штучних резервуарів) відповідно до конкретної мети дослідження. SWIM був застосований

до водозборів різних розмірів, по-перше, в Німеччині, а потім й у інших європейських країнах, а також для річкових басейнів в Африці, Азії і Південній Америці. Більшість результатів в плані продуктивності моделювання були задовільними.

Кліматичні параметри в моделі є важливими чинниками. Вони визначаються за даними реальних кліматичних станцій, розташованих у межах та навколо області дослідження. Ці реальні виміри кліматичних чинників інтерполуються до геометричних центрів всіх суббасейнів досліджуваного району. Для кожного суббасейну надається щоденна інформація про мінімальну, максимальну і середню температури ($^{\circ}\text{C}$), кількість опадів (мм), сонячну радіацію ($\text{Дж}/\text{см}^2$) та відносну вологість повітря (%), припускаючи сталість кліматичних параметрів у межах одного суббасейну.

Недоліком такої моделі є вимога до значної щільності розташування кліматичних станцій: не нижче, ніж одна станція на 100 км^2 . Навряд чи можна домогтися досить задовільних результатів моделювання в областях з малою кількістю доступних кліматичних станцій. У разі відсутності інформації про кількість опадів на водозборі, важко передати їх динаміку у вихідній інформації.

В Інституті проблем математичних машин і систем НАН України (м.Київ) для розрахунків стоку використовувались методи динамічної та статистичної деталізації (даунскелінга) даних моделей загальної циркуляції (МЗЦ). Завдяки статистичному даунскелінгу полів опадів, виникає можливість використання розподілених гідрологічних моделей до прогнозування стоку за сценаріями глобального потепління [18]. У цьому методі статистично оброблюються добові суми опадів, які спостерігались на метеорологічній станції, та які приводяться в МЗЦ [208], надалі отримується функція переходу, за якою коректуються дані, отримані за кліматичною моделлю. Саме цим шляхом були визначені дані про опади по Карпатських станціях для періоду 2011-2040 рр. для сценарію А2 (модель RСА3). Було показано, що частота появи 100-літніх (екстремальних) опадів в Українських Карпатах зросте у зазначений період у два рази. При застосуванні методів даунскелінга до полів опадів при розрахунках рівнів та

витрат води р.Уж поля опадів були представлені із роздільною здатністю в 1 км [177].

Найчастіше при оцінці впливу змін клімату на водні ресурси використовуються балансові моделі, а саме моделі водного та водно-теплого балансу, у яких сумісно розглядаються складові як водного балансу водозбору, так і теплового балансу підстильної поверхні. Справа у тому, що рівняння водного балансу містить у собі спільну складову – випаровування з поверхні суші, яке визначається, насамперед, температурами повітря. Підхід до визначення випаровування, запропонований французьким вченим L. Turk (1954), був успішно розвинутий польським гідрологом Z. Kaszmarek (1993), та запроваджений до розрахунків змін водних ресурсів України проф. Київського національного університету імені Тараса Шевченка Сніжком С.І. [167] за сценарієм А1В (модель REMO). Для досліджень було обрано 18 репрезентативних водних об'єктів (водозборів), розташованих у межах однієї географічної зони. Слід зазначити, що при цьому річки Північно-Західного Причорномор'я не розглядались. Автори отримали, що до 2020 р. очікується збільшення водності особливо на півдні та сході. З 2020 по 2040 рр. зменшення стоку можливе на річках Південний Буг (-27,2%), Рось (-23,4%), Самара (-98,8%). У наступний період (2041-2080рр.) водність більшості річок прогнозується значно менше «базової», а у 2081-2100рр. – відбудеться руйнація водних ресурсів у лісостепу та безповоротна руйнація річок у зоні степу. Найменші зміни будуть характерні для річок Карпат та лісової зони [168]. Пізніше за цією ж моделлю була представлена карта ізоліній шарів стоку для різних часових періодів ХХІ сторіччя.

6.2 Сценарії глобального потепління

Дослідження майбутніх змін клімату на території України є дуже важливим для національного планування економічних та соціальних аспектів життя країни у ХХІ ст.

Для оцінки наслідків зміни клімату необхідна інформація про те, як кліматичні характеристики, соціально-економічний розвиток й інші фактори навколишнього середовища будуть поводитися в майбутньому. Це викликає потребу у розробці сценаріїв (правдоподібних і в багатьох випадках спрощених описів можливого майбутнього, заснованих на низці взаємно узгоджених припущень; система робочих гіпотез щодо можливого розвитку суспільства і наслідків цього розвитку для клімату [71]).

Серед прогресивних методів дослідження можливих сценаріїв розвитку кліматичної системи на передній план виступає глобальне та регіональне моделювання. У розробках моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) протягом останніх десятиріч відмічається значний прогрес, який пов'язаний із збільшенням обчислювальних ресурсів, що забезпечують кращу деталізацію та повноту модельних описів кліматичних процесів і дозволяють проводити розрахунки тенденцій кліматичних змін на багато десятків років вперед.

В кінці минулого сторіччя використовувалися кліматичні сценарії, в яких наведені можливі зміни атмосферних опадів ($\Delta\bar{X}$) та температур повітря ($\Delta\bar{T}$). До таких сценаріїв належать:

GISS - модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння CO_2 - 4,2 °С, рік розрахунків – 1982;

GFDL - модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO_2 - 4 °С, рік розрахунків – 1989;

CCCМ - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989;

UKMO - модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO_2 - 3,5°С, рік розрахунків – 1989.

За вказаними моделями виконувалися оцінки водних ресурсів України, наведені в [23,44,109]. Нами були виконані розрахунки можливих водних ресурсів Закарпаття на період 2011-2025рр. [85]. Проте такі моделі в більшості своїх

реалізацій мають недостатню роздільну здатність, тому вони не придатні для досліджень регіональних особливостей кліматичних змін в Україні.

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опубліковано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [198]. Описані в доповіді сценарії відображають різні варіанти розвитку подій. Вони враховують демографічні, економічні та науково-технічні фактори, а також зумовлені цими факторами викиди парникових газів. Сценарії СДСВ згруповані (рис. 6.1) у чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [199].

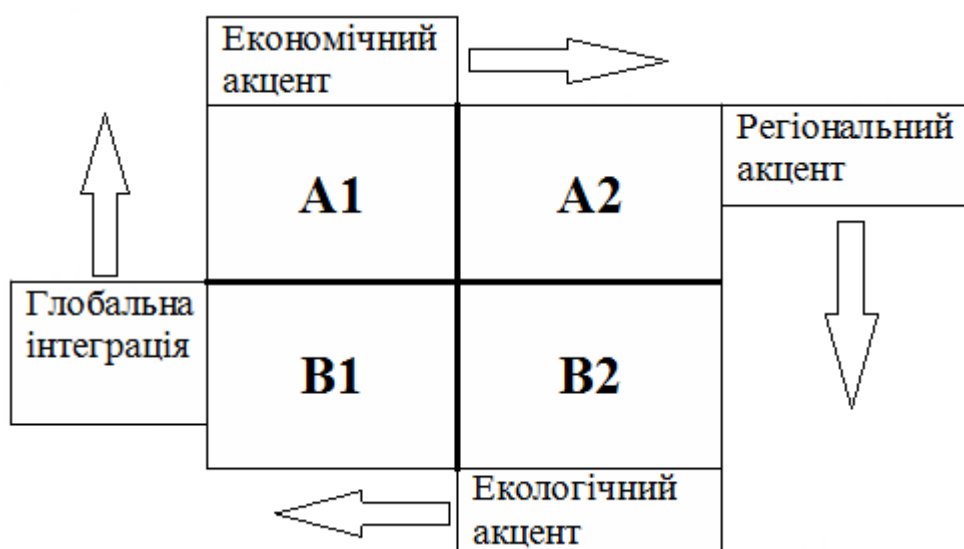


Рис. 6.1. Сюжетні ліній СДСВ

Сюжетна лінія і сценарна родина A1 описує орієнтований на ринок світ, який характеризується найбільш швидким економічним ростом. Пік кількості населення досягне в 2060 р., яке потім піде на спад. Основними темами є поступове зближення різних регіонів, зміцнення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків при значному зменшенні регіональних відмінностей в доході на душу населення. Лінія A1 поділяється на три групи, які описують альтернативні напрямки технологічного прогресу: інтенсивне використання викопних видів палива (A1FI), енергетичні ресурси без викопних видів палива (A1T) та рівновага за усіма джерелами (A1B).

Сюжетна лінія і сценарна родина A2 описує диференційований світ. Економіка є регіонально орієнтованою. Зростання економіки в розрахунку на душу населення і технологічні зміни є найбільш фрагментарними й найповільнішими в порівнянні з іншими сюжетними лініями. Населення постійно збільшується. Головною темою сценарію є самозабезпечення із збереженням місцевої самобутності.

Сюжетна лінія і сценарна родина B1 описує світ, який рухається в одному напрямку, з тим же самим глобальним населенням, яке досягає максимальної чисельності в середині століття, а потім зменшується, як і в сюжетній лінії A1, однак при більш швидких змінах в економічних структурах у напрямку сервісної та інформаційної економіки. Головна увага приділяється глобальним вирішенням економічної, соціальної й екологічної стабільності, але без додаткових ініціатив, пов'язаних з кліматом. Впроваджуються чисті та ресурсозберігаючі технології.

Сюжетна лінія і сценарна родина B2 характеризується світом, у якому головна увага приділяється локальним рішенням проблеми економічної, соціальної та екологічної стійкості. Це світ з постійно зростаючим глобальним населенням при темпах нижче, ніж в A2, проміжними рівнями економічного розвитку і менш швидкими й більш різноманітними технологічними змінами в порівнянні з сюжетними лініями A1 і B1. Хоча даний сценарій також орієнтований на охорону навколишнього середовища і соціальну справедливість, головна увага в ньому приділяється місцевим і регіональним рівнями.

Сценарій зміни клімату A1B реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, яка розроблена в Інституті метеорології імені Макса Планка в Гамбурзі, Німеччина. REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODEL для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [209].

В основі сценарію A2 лежить регіональна модель RCA, яка розробляється в Центрі Росбі (Швеція) з 1997 року. Базовою моделлю для неї була модель

прогнозу погоди HIRLAM. У новій версії моделі RCA3 було значно поліпшено представлення підстильної поверхні [210].

В сучасних сценаріях A1B та A2 горизонтальний розмір координатної сітки становить 255*170 вузлів. Кроком розрахунків є 15 хвилин або 25 км.

Великою перевагою цих сценаріїв є вільний доступ до результатів модельних розрахунків в мережі Інтернет [63].

6.3 Теоретичні основи моделювання водних ресурсів за сценаріями глобального потепління на основі моделі «клімат-стік»

Модель «клімат-стік» дозволяє розраховувати характеристики річного кліматичного стоку, внутрішньорічний розподіл та характеристики мінімального стоку на основі використання даних сценаріїв глобального потепління [203].

Кліматичний стік, який залежить від співвідношення ресурсів вологи та тепла, відображає зміни клімату. Визначення середнього багаторічного значення кліматичного річного стоку \bar{Y}_K відбувається за (4.19). Складовими рівняння є середні багаторічні опади та максимально можливе випаровування, які розраховуються за даними кліматичних сценаріїв. Рівняння водно-теплового балансу за багаторічний період в умовах змін клімату записується у такому виді

$$\bar{Y}'_K = (\bar{X} \pm \Delta\bar{X}) - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X} \pm \Delta\bar{X}}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (6.1)$$

де \bar{Y}'_K – середня багаторічна величина кліматичного річного стоку в умовах змін клімату, мм; \bar{E}'_m – середня багаторічна величина максимально можливого

випаровування в умовах змін клімату, мм; \bar{X} – вихідна норма річних опадів, мм; $\Delta\bar{X}$ – зміни опадів за сценаріями, мм.

Як вже зазначалося, матеріали сценаріїв змін глобального клімату у наукових розробках кінця минулого сторіччя представлялися у вигляді поправкових коефіцієнтів k_X до сум середніх багаторічних опадів, при цьому зміна опадів оцінювалась як $\Delta\bar{X} = k_X \bar{X}$, та поправок ΔT до величин середніх багаторічних температур повітря за календарні місяці [24]. Величина максимально можливого випаровування розраховувалася за (4.17) з використанням сценарних даних про зміни температур повітря $\bar{E}'_m = f(T + \Delta T)$.

Числові експерименти, виконані на основі рівняння водно-теплого балансу (4.19), показали, що зміна середніх багаторічних величин кліматичного стоку стає значущою, тобто перевищує точність розрахунку даної величини, при зміні річних опадів на $\pm 3,5\%$ або при зміні сум середніх місячних температур повітря за період червень-серпень на $\pm 2,5^\circ C$ [44].

Передбачувані сценаріями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) зміни метеорологічних характеристик, як правило, перевищують зазначені межі й, отже, модель «клімат-стік» може успішно застосовуватись для прогнозування стану водних ресурсів України за різними сценаріями змін глобального клімату [103].

За сценаріями прогноз стоку стало можливим виконувати за короткі інтервали часу, використовуючи рівняння вигляду (4.8). Рівняння водно-теплого балансу для розрахунків кліматичного стоку по місяцях та сезонах за даними кліматичних сценаріїв має вигляд

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (6.2)$$

де Y_K' – значення кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; E_m' – значення максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; X' – сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм; $(w_1 - w_2)'$ – зміна запасів води у діяльному шарі ґрунту за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм.

Для розрахунків за (6.2) необхідні дані не тільки про річну величину $E_{m,pik}'$, а й про її розподіл по місяцях та сезонах. Величина максимально можливого випаровування $E_{m,pik}'$ визначалася для кожного року за сценарними даними про середні місячні температури повітря на базі рівняння (4.17). Значення максимально можливого випаровування за кожен розрахунковий місяць представлені у відсотках від величини $E_{m,pik}'$, яка розподілялась у межах року пропорційно внутрішньорічному розподілу дефіциту вологи у повітрі [154]

$$E_{m,i}' = E_{m,pik}' \frac{d_i}{\sum_1^{12} d_i}, \quad (6.3)$$

де $E_{m,i}'$ – максимально можливе випаровування для кожного розрахункового місяця або сезону, мм; $E_{m,pik}'$ – річне значення максимально можливого випаровування, мм; d_i – значення дефіциту вологи повітря за кожен місяць, гПа.

У випадку, коли у сценаріях глобального потепління були відсутні матеріали про дефіцит вологи у повітрі, для кожного пункту спостережень або вузлів сітки розроблялись емпіричні залежності d_i від температури повітря (табл.6.1) [112,74].

Розрахункові залежності $d_i = f(T_i)$, отримані для метеорологічних станцій Північно-Західного Причорномор'я

№	Назва метеостанції	Координати		Вид рівняння $d_i = f(T_i)$
		широта	довгота	
1	Ізмаїл	45°21'	28°50'	$d_i = 1,432e^{0,095T}$
2	Миколаїв	46°54'	32°09'	$d_i = 1,107e^{0,096T}$
3	Сарата	46°01'	29°40'	$d_i = 1,343e^{0,098T}$
4	Херсон	46°38'	32°36'	$d_i = 1,084e^{0,102T}$
5	Вознесенськ	47°34'	31°18'	$d_i = 1,097e^{0,10T}$

Головна проблема розрахунків кліматичного стоку по внутрішньорічних інтервалах за даними сценаріїв полягає у визначенні внеску твердих опадів зимового сезону у формування весняного водопілля. У загальному випадку певна частина опадів зимового сезону накопичується на водозборі і при стійкому переході температури повітря через 0 °С утворює поверхневий талий стік. Таким чином, при розрахунках за методом водно-теплогового балансу виникає необхідність перенесення частини опадів зимового сезону на весняний. З метою установлення цієї частки виконувалось співставлення розрахункових значень кліматичного та фактичного стоку по сезонах та місяцях у різні за водністю роки та проводились оптимізаційні розрахунки. Визначення кліматичного стоку відбувалося на базі даних метеорологічних станцій, розташованих поблизу від вузлів сітки із сценарними даними. Таким же чином підбирався водозбір із стійким підземним живленням та практично непорушеним водогосподарською діяльністю водним режимом.

Особливого значення проблема установлення ролі твердих опадів у формуванні стоку весняного водопілля набуває у зоні степу, де сніговий покрив нестійкий й спостерігається менше, ніж у 50% випадків. До періодів, коли

спостерігалися тверді опади, що накопичувалися у виді запасів снігу на водозборі, можна віднести лише ті, на протязі яких спостерігалася від'ємна температура повітря. Загальна кількість опадів зимового сезону у зоні степу може значно відрізнятись від кількості опадів, які приймають участь у формуванні весняного водопілля.

Шляхом оптимізаційних розрахунків за даними минулих років для території України визначалися частки опадів зимового сезону, які мають бути перенесеними на весняний сезон при визначенні кліматичного стоку за водно-тепловим балансом у багатоводні, маловодні та середні за водністю роки. Виявлено, що на території Північно-Західного Причорномор'я у багатоводний рік лише 30% твердих опадів зимового сезону приймає участь у формуванні весняної повені [94]. У середній та маловодний роки перенос опадів зимового сезону на весняний не має сенсу, оскільки накопичені у короткий період існування від'ємних температур повітря запаси снігу витрачаються під час відлиг, утворюючи поверхневий стік у межах зимового сезону.

Перевірні розрахунки кліматичного та фактичного стоку за місяці і сезони, виконані на основі рівняння (6.2), показали, що відносне середнє відхилення розрахованого кліматичного стоку від спостереженого у зоні достатнього зволоження при розрахунках по місяцях становить $\pm 10\%$, по сезонах - $\pm 6,7\%$. Проте, у зоні недостатнього зволоження похибки розрахунків у окремі роки можуть бути високими і досягати 50%. У зв'язку із цим було прийняте рішення про застосування внутрішньорічного розподілу за моделлю характерних років [116]. Тобто, для кожного розрахункового періоду визначається розподіл стоку у відсотках для багатоводного, середнього за водністю та маловодного року, окремо [94]. Водність року встановлюється в залежності від статистичної забезпеченості (ймовірності перевищення) [147]. Щоб установити забезпеченість водності у розрахункові періоди, наведені у сценаріях змін клімату, було використано

співвідношення між ресурсами вологи та тепла $\left(\beta_H = \frac{H}{E_m} \right)$. Як показник ресурсів вологи, прийнята сума опадів X та змін вологи $(w_1 - w_2)$ у ґрунті

($H = X + w_1 - w_2$). Як характеристика ресурсів тепла, використана величина максимально можливого випаровування або теплоенергетичний еквівалент E_m . Забезпеченість річного стоку P приймалася рівною забезпеченості величини β_H . Справедливість такого підходу проілюстрована на рис. 6.2, де на прикладі річки Савранка, яка розташована на території Північно-Західного Причорномор'я показане існування статистично значущого зв'язку між забезпеченістю величин річного стоку q та значень β_H [112].

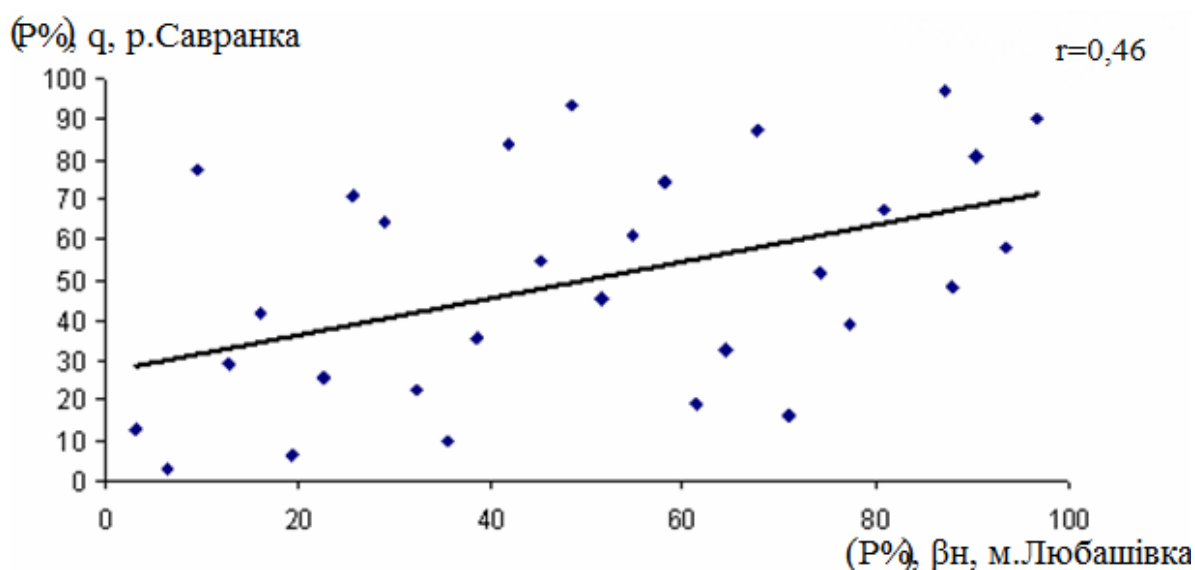


Рис. 6.2. Зв'язок між значеннями забезпеченості $P\%$ річного стоку q та метеорологічного показника β_H

Після установлення забезпеченості кожного розрахункового року, узагальнювалися особливості внутрішньорічного розподілу по місяцях та сезонах для багатоводного, маловодного та середнього за водністю років [74].

При проведенні розрахунків по роках спочатку встановлюється водність року, а надалі визначаються сезонні та місячні величини стоку в залежності від прийнятого внутрішньорічного розподілу.

Розрахунок кліматичного стоку за багаторічний період з використанням даних сценаріїв глобального потепління проводять за формулою

$$\bar{Y}'_K = \bar{X}' - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (6.4)$$

Характеристики мінімального стоку мають визначатися на основі даних про середню багаторічну величину кліматичного річного стоку \bar{Y}'_K за схемою, наведеною у розділі 4, де використовуються перехідні коефіцієнти k_L і k_3 (4.49) і (4.50).

6.4 Оцінка змін кліматичних чинників та річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я за сценаріями глобального потепління

Для оцінки наслідків впливу глобального потепління на формування водних ресурсів України в цілому та Північно-Західного Причорномор'я окремо були використані дані сценаріїв глобального потепління А1В та А2. Середні багаторічні величини суми річних опадів, максимально можливого випаровування, річного кліматичного стоку для 28 метеорологічних станцій України були визначені за періоди 2011-2030 рр., 2031-2050 рр. за сценарієм А1В [111]. Виконано порівняння із даними про норми річного кліматичного стоку до 1989 р., починаючи з якого зміни температур повітря набули значущості на всій території України. Установлено, що за сценарієм А1В до 2050 р. напіваридна зона розшириться на північ. У період 2031-2050 рр. зменшення водних ресурсів на півдні України досягне 60-70%. Зростання стоку відбуватиметься у межах водозборів річок Прип'ять та Десна, а також у межах Українських Карпат. При цьому Закарпаття та Західний Буг, лівобережні притоки Дністра увійдуть у область зменшення річного стоку (рис. 6.3). Зроблені оцінки водних ресурсів на майбутнє знаходяться у відповідності із результатами розрахунків, отриманими С.І. Сніжком та І.В. Купріковим [167,168], які виконували оцінку водних ресурсів

України за балансовим методом, запропонованим французьким вченим L. Turk (1954) та розвинутим польським гідрологом Z. Kaszmarek (1993).

Згідно із результатами розрахунків у Північно-Західному Причорномор'ї, у період 2031-2050 рр. за сценарієм А1В очікується зменшення природних водних ресурсів від мінус 40% на півночі досліджуваної території до мінус 70% - на півдні.

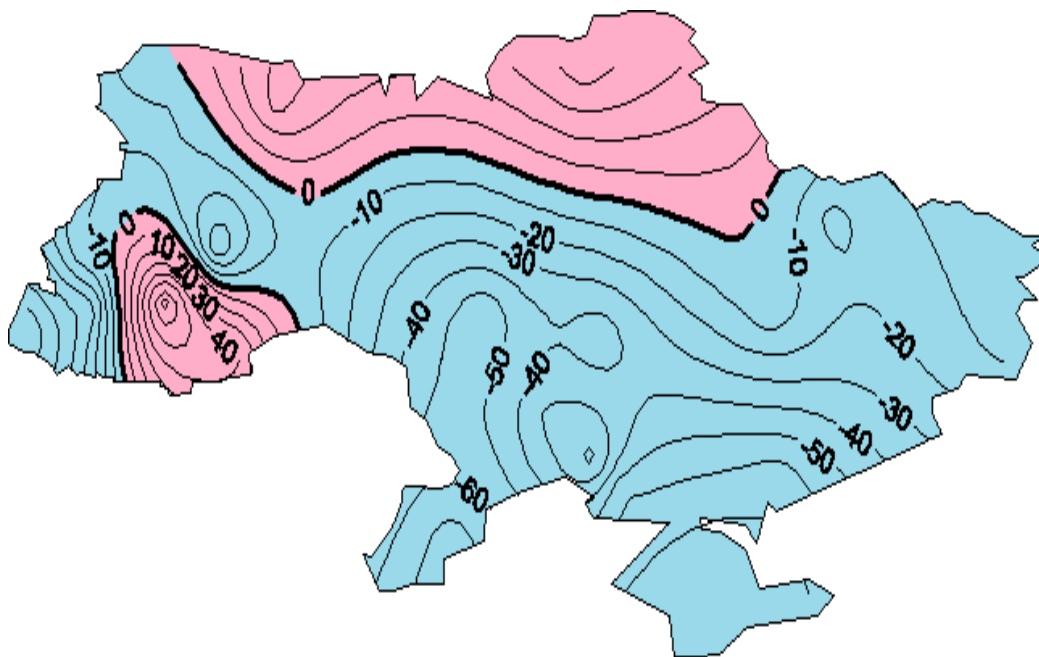


Рис. 6.3. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. у порівнянні із даними до 1989 р. (сценарій А1В)

Розподіл природних водних ресурсів України, які визначалися за тими ж даними, але на базі сценарію змін клімату А2, показав, що на більшій частині України водні ресурси будуть зростати через збільшення опадів, і лише південна частина України та Закарпаття опиняться в зоні їх зменшення (рис. 6.4). У межиріччі Дунай-Дністер це зменшення водних ресурсів становитиме мінус 60%.

Ступінь змін водних ресурсів визначається за рекомендаціями ООН, згідно з якими зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10% пов'язується із наявністю значущих змін водних ресурсів; на 50% – з руйнацією

водних ресурсів; на 70% – безповоротною руйнацією. Таким чином, водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я підлягатимуть у майбутньому як за сценарієм А1В, так і за сценарієм А2 руйнації та безповоротній руйнації.

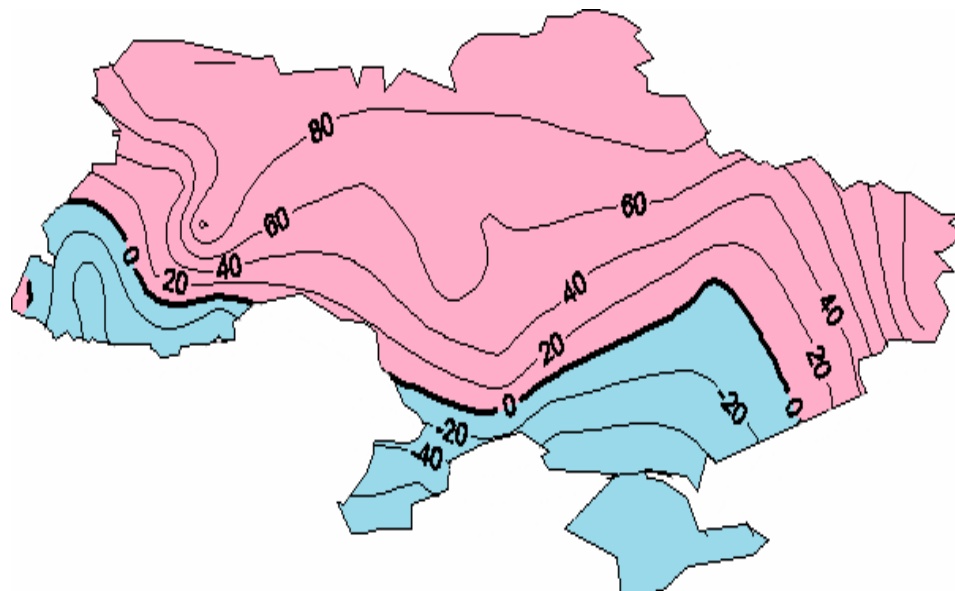


Рис. 6.4. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2031-2050 рр. у порівнянні із даними до 1989 р. (сценарій А2)

Для здійснення аналізу змін основних кліматичних чинників формування стоку на основі сценаріїв змін клімату А1В та А2 у межах території Північно-Західного Причорномор'я розглядалися 7 точок координатної сітки, які відповідають географічному положенню метеорологічних станцій Любашівка, Затишшя, Баштанка, Роздільна, Одеса, Сарата, Ізмаїл і для яких були установлені зміни гідрометеорологічних характеристик для сценаріїв А1В та А2 до 2050 рр. Окрім того, у рамках науково-дослідних тем, які виконувалися на кафедрі гідроекології та водних досліджень, було досліджено наслідки впливу змін глобального клімату на водозбори Тилігульського [89,92,96] та Куяльницького [95] лиманів, річки Свинної, що впадає у Паліївську затоку Хаджибейського лиману [86].

Дослідження, виконані за сценарієм А1В, показали існування статистично значущих додатних трендів у ході річних значень температури повітря (рис. 6.5), а також температур теплого та холодного періодів (рис. 6.6, 6.7) на усіх метеостанціях. Температури теплого періоду будуть зростати інтенсивніше, ніж холодного. Зростання температур повітря обумовлює збільшення річних величин максимально можливого випаровування (рис. 6.8).

При аналізі можливого хронологічного ходу сум опадів за рік, теплий та холодний періоди для більшості метеорологічних станцій статистично значущих тенденцій не виявлено ні по окремо розглянутих часових інтервалах, ні за весь розрахунковий період у цілому (1971-2050 рр.) (рис. 6.9-6.11). Винятком є метеостанція Одеса, де встановлене статистично значуще зменшення річних сум опадів та опадів теплого періоду (рис. 6.12, 6.13, табл. Д.2).

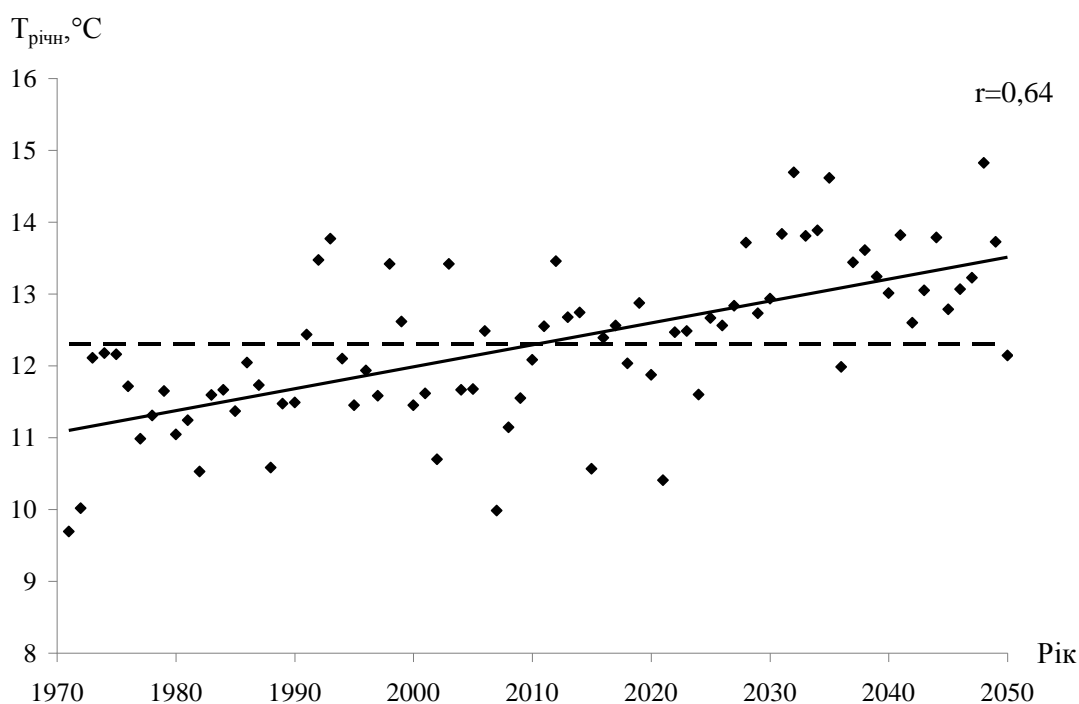


Рис. 6.5. Хронологічний хід середніх річних температур повітря за сценарієм А1В, м/ст. Сарата, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

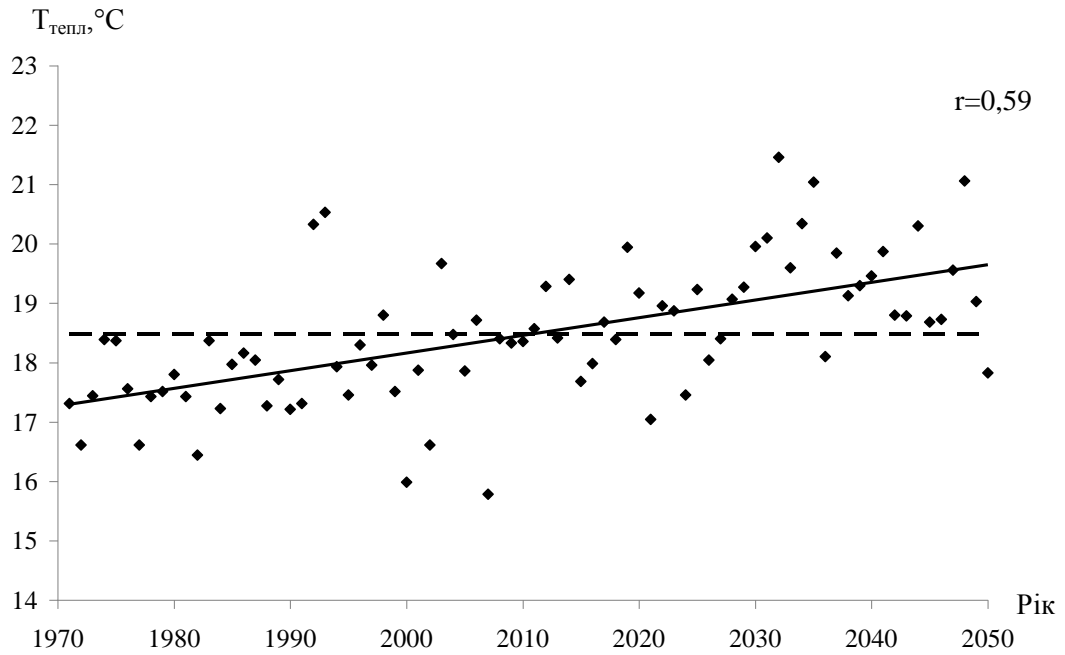


Рис. 6.6. Хронологічний хід температур повітря теплого періоду (IV-X міс.) за сценарієм А1В, м/ст. Сарата, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

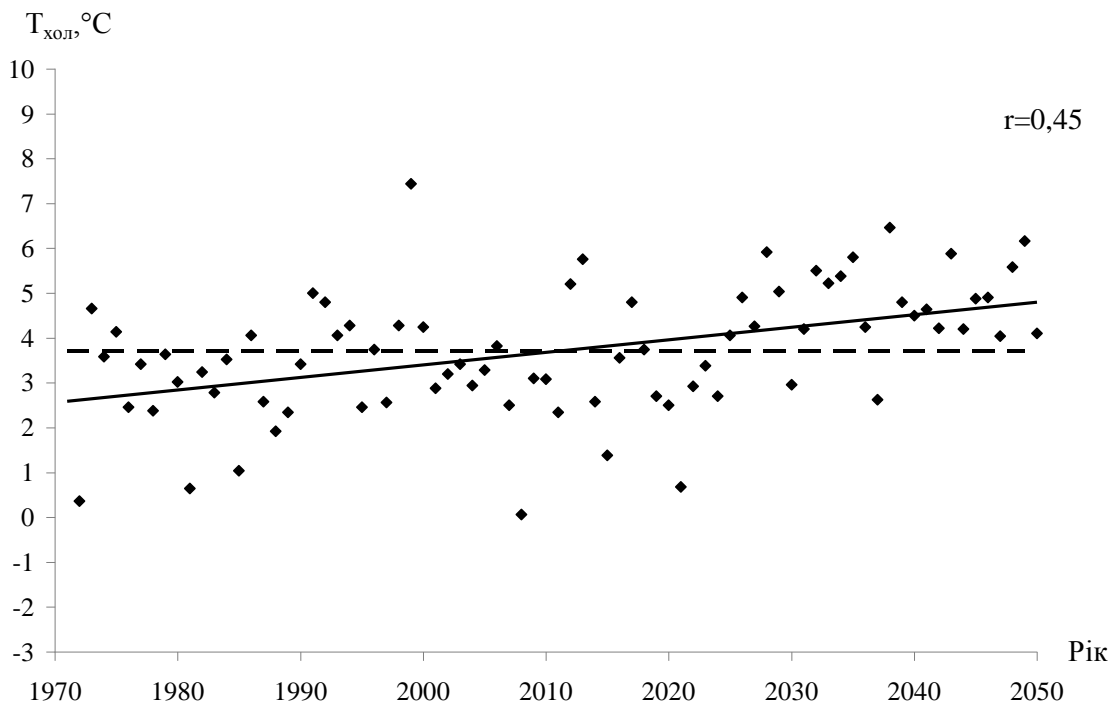


Рис. 6.7. Хронологічний хід температур повітря холодного періоду (XI-III міс.) за сценарієм А1В, м/ст. Сарата, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

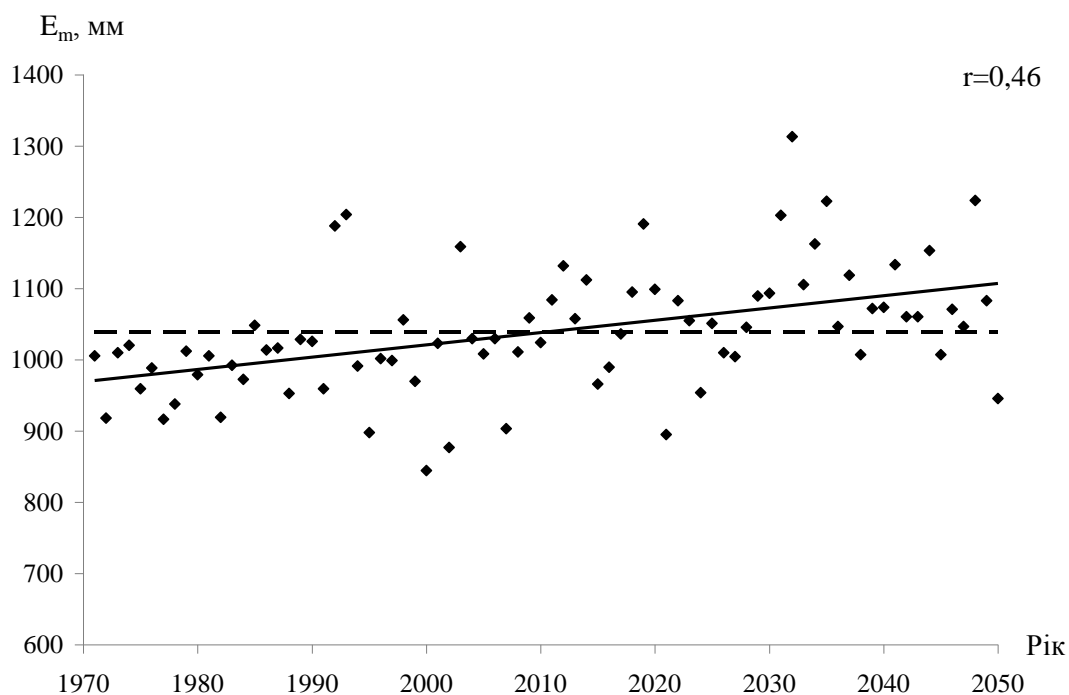


Рис. 6.8. Хронологічний хід середніх річних значень максимально можливого випаровування за сценарієм А1В, м/ст. Роздільна, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

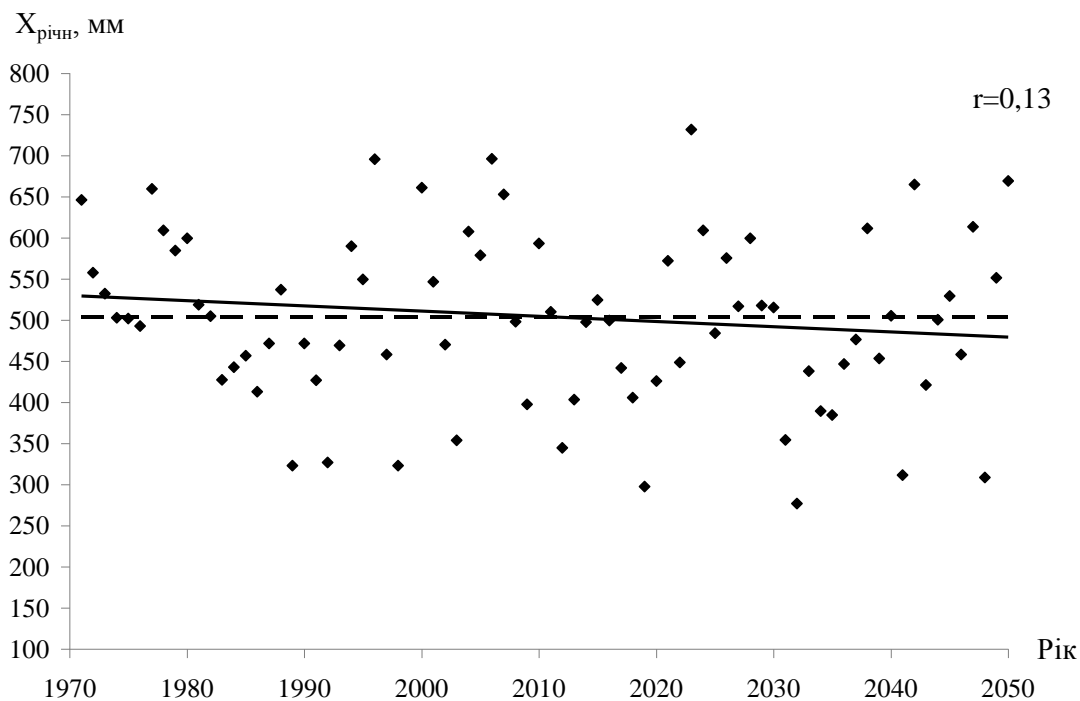


Рис. 6.9. Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В, м/ст. Затишся, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

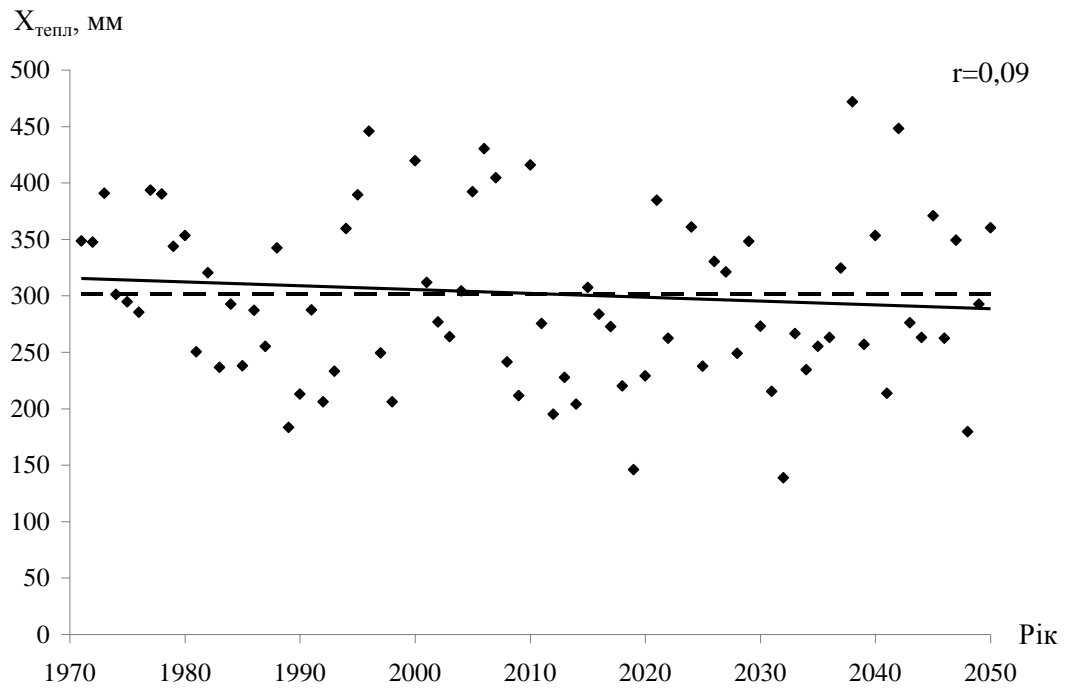


Рис. 6.10. Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В, м/ст. Затишшя, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

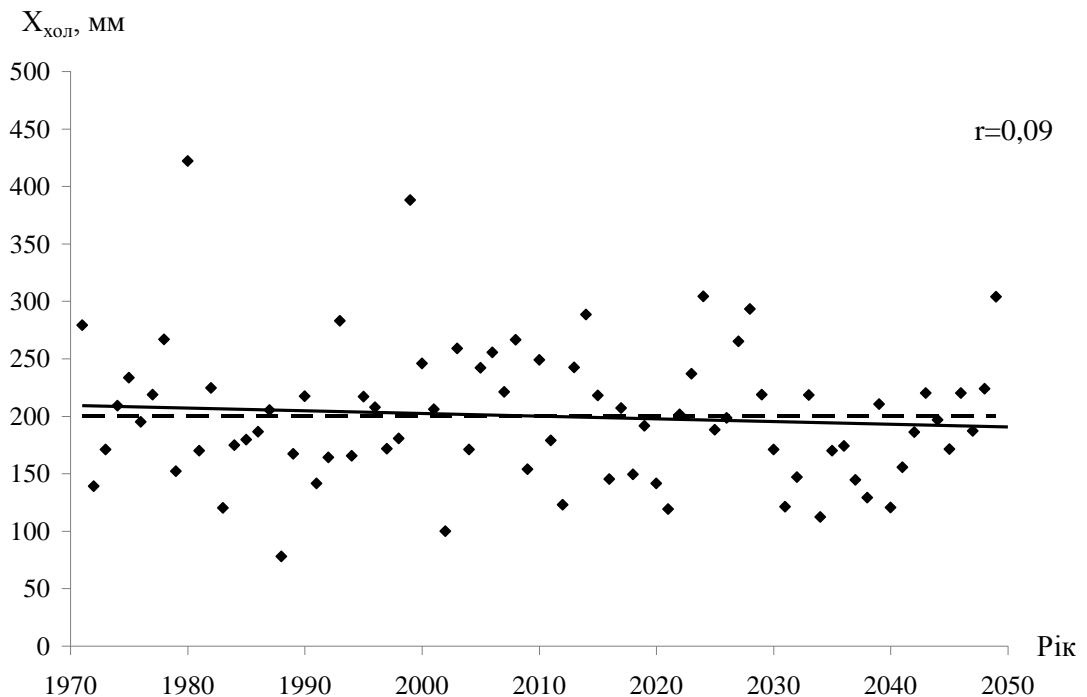


Рис. 6.11. Хронологічний хід сум опадів холодного (XI-III міс.) періоду за сценарієм А1В, м/ст. Затишшя, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

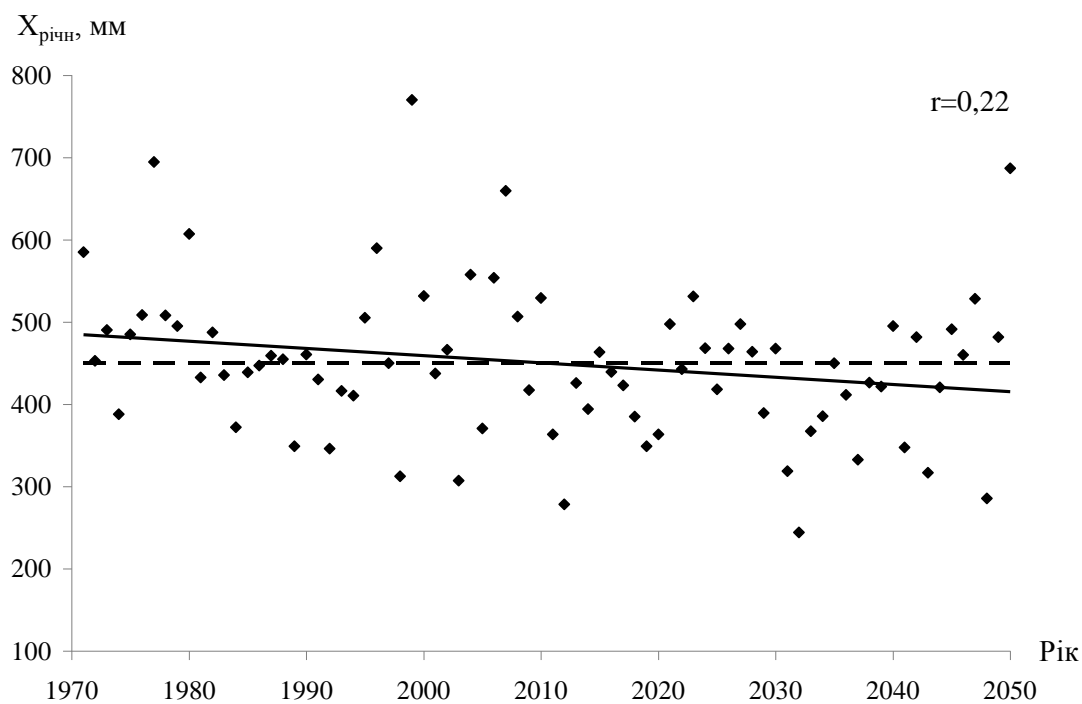


Рис. 6.12. Хронологічний хід середніх річних сум опадів за сценарієм А1В, м/ст. Одеса, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

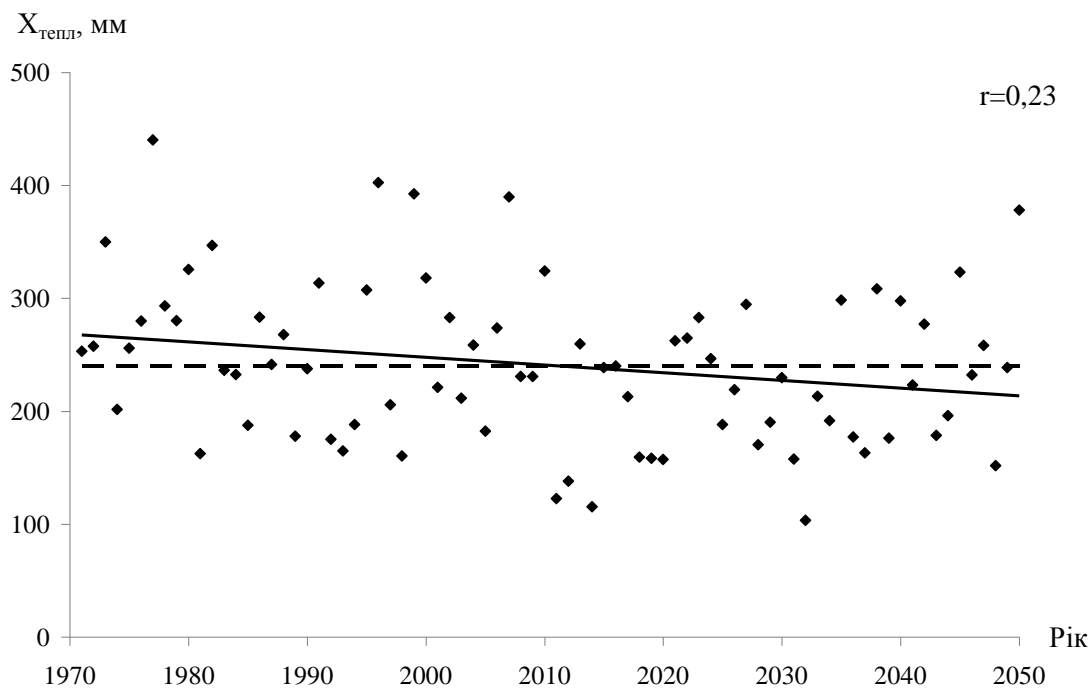


Рис. 6.13. Хронологічний хід сум опадів теплого (IV-X міс.) періоду за сценарієм А1В, м/ст. Одеса, 1971-2050 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Згідно сценарію А2, на всій території Північно-Західного Причорномор'я прогнозується зростання річних значень температури повітря, а також температур теплого періоду. Можливі зміни температури повітря холодного періоду за сценарієм А2 на метеостанціях Затишшя, Баштанка та Роздільна визнані статистично незначущими. Зміна річних сум опадів, сум опадів теплого та холодного періоду для всіх метеостанцій є незначущою (табл. Д.3). Отже, на території Північно-Західного Причорномор'я як для сценарію А1В, так і для сценарію А2 очікуватимуться несприятливі для формування стоку річок кліматичні умови, при яких опади будуть зменшуватися, а температури повітря й максимально можливе випаровування – зростати.

Більш детально дослідити зміни клімату та стоку за обраними сценаріями можливо при аналізі їх характеристик за послідовними часовими інтервалами: до 1989р., двадцятирічними періодами 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. Із табл.6.2, де наведена інформація про зміни річних сум опадів, витікає, що на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А1В очікуватиметься їх зменшення, яке досягне -14,3% у 2031-2050 рр. Максимально можливе випаровування зростатиме до 19,6% (табл. 6.3). Внаслідок зростання теплоенергетичних ресурсів клімату на фоні зменшення зволоження території водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я будуть також зменшуватись і у період 2031-2050 рр. це зменшення перевищить 60% (табл. 6.4). Зменшення водних ресурсів досягне найбільших величин (-73%) на півдні Одеської області.

За сценарієм А2 у XXI сторіччі на півночі розглядуваної території опади будуть змінюватися неоднаково: на півночі території вони зростатимуть, а на півдні – зменшуватись (табл. 6.5). І це зменшення буде посилюватись до 2050р. Максимально можливе випаровування також зростатиме, але не так інтенсивно, як у сценарії А1В (табл. 6.6). Просторовий розподіл норм кліматичного стоку визначатиметься розподілом опадів: у 2011-2030 рр. на півночі розглядуваної території водні ресурси будуть зростати, а на півдні – зменшуватись (табл. 6.7). У 2031-2050 рр. зона зменшення водних ресурсів розшириться на північ, а на півдні Одеської області досягне -72% (метеостанція Ізмаїл).

Таблиця 6.2

Зміни опадів \bar{X} на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А1В у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	\bar{X} , мм (сценарій А1В)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	540	538	-0,4	500	-7,4
Затишшя	516	494	-4,3	468	-9,3
Баштанка	513	483	-5,8	459	-10,5
Роздільна	509	433	-14,9	412	-19,1
Одеса	476	430	-9,7	418	-12,2
Сарата	482	409	-15,1	385	-20,1
Ізмаїл	495	407	-17,8	389	-21,4
Середнє	504	456	-9,7	433	-14,3

Таблиця 6.3

Зміни максимально можливого випаровування \bar{E}_m на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А1В у порівнянні із даними до 1989 р.

Метеостанція	\bar{E}_m , мм (сценарій А1В)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	869	1001	15,2	1050	20,8
Затишшя	896	1027	14,6	1078	20,3
Баштанка	926	1053	13,7	1097	18,5
Роздільна	929	1052	13,2	1105	18,9
Одеса	946	1067	12,8	1121	18,5
Сарата	955	1091	14,2	1151	20,5
Ізмаїл	981	1114	13,6	1176	19,9
Середнє	929	1058	13,9	1111	19,6

Таблиця 6.4

Зміни кліматичного стоку $\overline{Y_K}$ на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А1В у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	$\overline{Y_K}$, мм (сценарій А1В)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	37	25	-32,4	17	-54,1
Затишшя	29	17	-41,4	12	-58,6
Баштанка	26	15	-42,3	11	-57,7
Роздільна	25	10	-60,0	7	-72,0
Одеса	19	9	-52,6	7	-63,2
Сарата	19	7	-63,2	5	-73,7
Ізмаїл	18	6	-66,7	5	-72,2
Середнє	25	13	-51,2	9	-64,5

Таблиця 6.5

Зміни опадів \overline{X} на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А2 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	\overline{X} , мм (сценарій А2)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	540	604	11,9	574	6,3
Затишшя	516	594	15,1	552	7,0
Баштанка	513	533	3,9	512	-0,2
Роздільна	509	540	6,1	494	-2,9
Одеса	476	482	1,3	436	-8,4
Сарата	482	477	-1,0	437	-9,3
Ізмаїл	495	410	-17,2	368	-25,7
Середнє	504	520	2,9	482	-4,8

Таблиця 6.6

Зміни максимально можливого випаровування \bar{E}_m на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А2 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	\bar{E}_m , мм (сценарій А2)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	869	869	0,0	912	4,9
Затишшя	896	898	0,2	944	5,4
Баштанка	926	939	1,4	976	5,4
Роздільна	929	929	0,0	979	5,4
Одеса	946	946	0,0	996	5,3
Сарата	955	985	3,1	1035	8,4
Ізмаїл	981	994	1,3	1053	7,3
Середнє	929	937	0,9	985	6,0

Таблиця 6.7

Зміни кліматичного стоку \bar{Y}_K на території Північно-Західного Причорномор'я за сценарієм А2 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	\bar{Y}_K , мм (сценарій А2)				
	до 1989 р.	2011-2030 рр.	δ , %	2031-2050 рр.	δ , %
Любашівка	37	56	51,4	41	10,8
Затишшя	29	48	65,5	33	13,8
Баштанка	26	29	11,5	23	-11,5
Роздільна	25	31	24,0	20	-20,0
Одеса	19	20	5,3	12	-36,8
Сарата	19	17	-10,5	10	-47,4
Ізмаїл	18	9	-50,0	5	-72,2
Середнє	25	30	13,9	21	-23,3

Розрахунки кліматичного стоку у роки різної забезпеченості дозволили установити, що за сценарієм A1B у період 2011-2030 рр. на всій території Північно-Західного Причорномор'я річки пересихатимуть у дуже маловодні роки (95- та 99-відсоткової забезпеченості). У південній частині можливе пересихання у маловодні роки 75-відсоткової забезпеченості (табл. 6.8). У період 2031-2050 рр. відсутність стоку можливе навіть у середні за водністю роки (крайній південь) (табл. 6.9).

За сценарієм A2 у період 2011-2030 рр. в дуже маловодні роки можливе пересихання річок, які знаходяться у південній частині вивчаємої території. У маловодні роки будуть наближатися до нуля величини річного стоку на крайньому півдні (метеостанція Ізмаїл) (табл. 6.8). У період 2031-2050 рр. лінія відсутності стоку у роки різної забезпеченості переміститься у напрямку на північ. Так, у дуже маловодні роки (99-відсоткової забезпеченості) стік буде відсутнім на всій території, окрім крайньої півночі. У маловодні роки пересихання річок буде можливим в південній частині (метеостанції Сарата та Ізмаїл). У середні за водністю роки (50-відсоткової забезпеченості) річки пересихатимуть на крайньому півдні (табл. 6.9).

6.5. Застосування моделі «клімат-стік» до оцінки змін водних ресурсів окремих водних об'єктів в умовах глобального потепління та їх впливу на оточуюче середовище

Для аналізу змін основних кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів на основі обраного сценарію глобального потепління у межах водозбору виділяються точки, розташовані у вузлах сітки з наведеними сценарними даними із кроком 25 км. Прикладом виділення точок є водозбір Тилігульського лиману (рис. 6.9), для яких виконувався аналіз змін кліматичних характеристик та кліматичного стоку [33,74].

**Визначення статистичних параметрів річного кліматичного стоку у
нових кліматичних умовах за моделлю «клімат-стік» (у період 2011-2030 рр.)**

Сцена- рій	Метеостанція	Статистичні параметри кліматичного стоку			Кліматичний стік заданої забезпеченості, мм						
		$\overline{Y_K}$, мм	C_v	C_s	$Y_{1\%}$	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$	$Y_{99\%}$
A1B	Любашівка	25	0,85	1,44	95	66	35	20	9	0	0
	Затишшя	17	1,08	1,84	82	54	25	12	4	0	0
	Баштанка	15	1,17	1,98	77	50	22	10	2	0	0
	Роздільна	10	1,50	2,55	68	40	14	5	0	0	0
	Одеса	9	1,60	2,72	71	37	10	3	0	0	0
	Сарата	7	1,87	3,18	61	33	9	2	0	0	0
	Ізмаїл	6	2,06	3,50	58	30	7	1	0	0	0
	Середнє	13	1,45	2,46	73	44	17	7	2	0	0
A2	Любашівка	56	0,52	0,88	141	110	72	52	35	23	8
	Затишшя	48	0,57	0,96	129	99	63	44	28	12	8
	Баштанка	29	0,78	1,32	101	73	40	24	12	2	0
	Роздільна	31	0,74	1,26	104	76	43	26	14	3	0
	Одеса	20	0,98	1,66	87	59	29	15	6	0	0
	Сарата	17	1,08	1,84	82	54	25	12	4	0	0
	Ізмаїл	9	1,60	2,72	71	37	10	3	0	0	0
	Середнє	30	0,89	1,52	102	72	40	25	14	8	2

Визначення статистичних параметрів річного кліматичного стоку у нових кліматичних умовах за моделлю «клімат-стік» (у період 2031-2050 рр.)

Сценарій	Метеостанція	Статистичні параметри кліматичного стоку			Кліматичний стік заданої забезпеченості, мм						
		$\overline{Y_K}$, мм	C_v	C_s	$Y_{1\%}$	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$	$Y_{99\%}$
A1B	Любашівка	17	1,08	1,84	82	54	25	12	4	0	0
	Затишшя	12	1,34	2,28	72	44	17	7	1	0	0
	Баштанка	11	1,41	2,40	70	42	16	6	1	0	0
	Роздільна	7	1,87	3,18	61	33	9	2	0	0	0
	Одеса	7	1,87	3,18	61	33	9	2	0	0	0
	Сарата	5	2,31	3,92	55	27	5	0	0	0	0
	Ізмаїл	5	2,31	3,92	55	27	5	0	0	0	0
	Середнє	9	1,74	2,96	65	37	12	4	1	0	0
A2	Любашівка	41	0,63	1,06	119	89	55	37	22	8	1
	Затишшя	33	0,72	1,22	108	79	45	28	16	4	0
	Баштанка	23	0,89	1,52	92	63	33	18	8	0	0
	Роздільна	20	0,98	1,66	87	59	29	15	6	0	0
	Одеса	12	1,34	2,28	72	44	17	7	1	0	0
	Сарата	10	1,50	2,55	68	40	14	5	0	0	0
	Ізмаїл	5	2,31	3,92	55	27	5	0	0	0	0
	Середнє	21	1,19	2,03	86	57	28	16	8	2	0

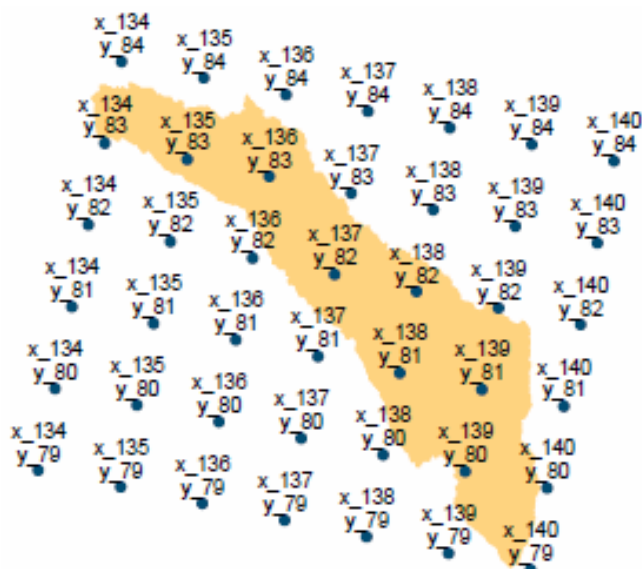


Рис. 6.9. Карта-схема розташування вузлових точок на території водозбору Тилігульського лиману

За даними про норми кліматичного стоку у нових умовах будується карта ізоліній. На основі цієї карти визначаються норми річного стоку окремих річок та тимчасових водотоків, що входять до вивчаємого водозбору. На базі даних про середню висоту водозборів установлюються коефіцієнти переходу від норм кліматичного стоку до природного (дивись розділ 4). За залежностями між нормою стоку та коефіцієнтами варіації і асиметрії визначаються відповідні статистичні параметри природного стоку [92] та розраховуються величини стоку у різні за водністю роки [93].

За необхідності на основі установлених функцій відгуку на водогосподарські перетворення визначаються коефіцієнти антропогенного впливу, які показують ступінь впливу того чи іншого водогосподарського чинника на статистичні параметри річного стоку (дивись розділ 4). Для території Північно-Західного Причорномор'я найбільш впливовим чинником є штучні водосховища та ставки, які відіграють роль акумуляторів поверхневих вод і штучних випарників. Втрати на додаткове випаровування з поверхні водойм ураховуються за допомогою функцій антропогенного впливу [59,120,139].

Збільшення температур повітря, води, а разом із тим зростання випаровування з поверхні суші та водного дзеркала Тилігульського лиману на фоні незначної зміни або навіть зменшення річних опадів теплого періоду будуть сприяти зменшенню припливу поверхневого стоку від річок до лиману та його поступовому обмілінню й збільшенню солоності, яка почала інтенсивно зростати, починаючи з 1989 р. (рис. 6.10).

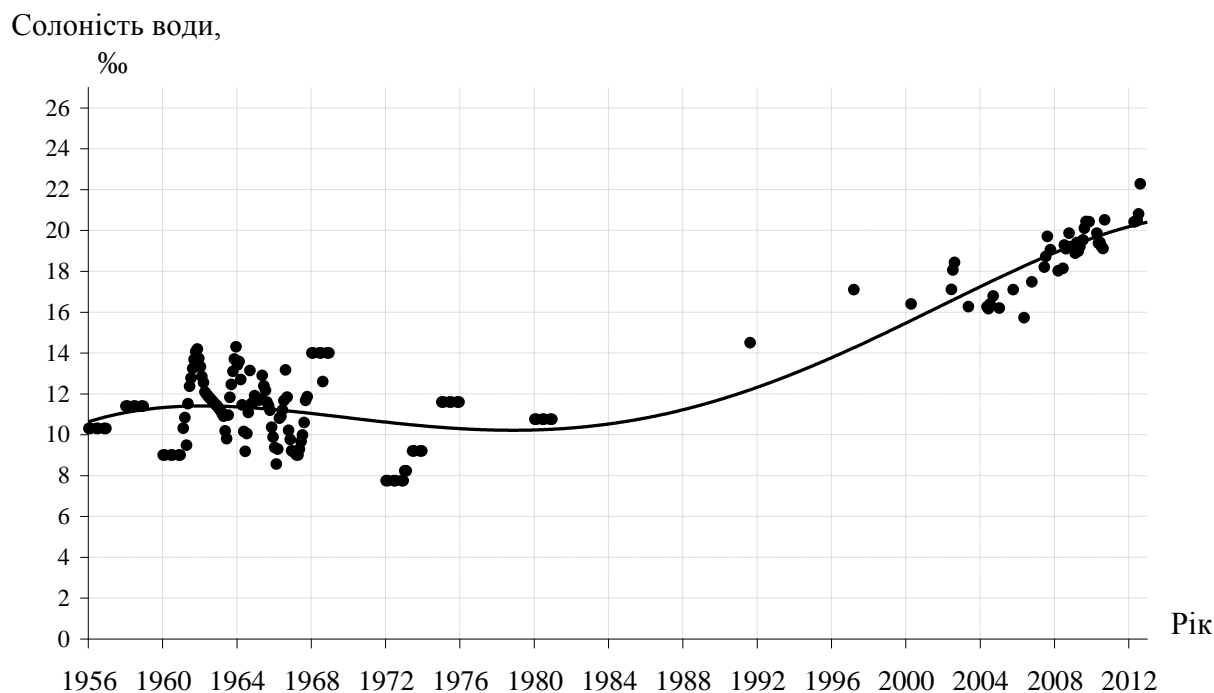


Рис. 6.10. Мінливість солоності вод Тилігульського лиману (1956-2012 рр.)

Наслідком багаторічної тенденції збільшення солоності вод в лимані є зміна домінування у видовому складі водної флори і фауни прісноводно-солонуватоводних і солонуватоводних комплексів на морські і солонуватоводні-морські. Порівняно з початком 80-х років минулого сторіччя кількість морських видів фітопланктону збільшилася з 14 до 64 %, морського та солонуватоводно-морського макрофітобентосу – з 40 до 83 %, морського зоопланктону – з 40 до 90 %. Якщо в 60-80 роки ХХ сторіччя в лимані зустрічалось від 12 до 25 видів прісноводних риб, то у 2013 р. їх кількість скоротилася до 4 видів. Таким чином, утворилася реальна небезпека перетворення у ХХІ сторіччі Тилігульського лиману в гіпергалінну водойму

зі значно меншим біорізноманіттям водної флори і фауни, ніж в теперішній час [74]. Зменшення об'єму вод лиману через інтенсивне випарування, при збереженні маси солей і біогенних речовин, призводить до підвищення їх концентрацій [56,57]. Крім того, при низькому рівні води в лимані, внаслідок осушування і зникнення прибережних мілководь, зменшується площа кормових ділянок для деяких видів птахів, які охороняються, зростає доступність гніздівель для наземних хижаків та місцевого населення і рекреантів [176]. Реалізація моделі «клімат-стік» до установлення наслідків дії глобального потепління на водні, гідрохімічні та гідроекологічні показники стану вод Тилігульського лиману була виконана у науково-дослідній темі «Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін» [74], а результати досліджень представлені у монографії «Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману» [33].

Як приклад, розглянемо результати застосування моделі «клімат-стік» до визначення водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману [43,81], до отримання яких застосовувалися більш ранні моделі загальної циркуляції атмосфери та океану, що в більшості своїх реалізацій мали роздільну здатність $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. За моделлю «клімат-стік» були установлені об'єми надходження річкових вод у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах від річок Великий Куяльник, Довбока, Кубанка до Куяльницького лиману та визначений боковий приплив. Розрахунки виконані для умов минулого сторіччя (до 1989 р.), коли наслідки глобального потепління ще не впливали значуще на водні ресурси (В.В. Гребінь, 2010), за десятиріччя після 1989 р. та на період 2011-2025 рр. за сценаріями A1B, B1, A2 [144,151].

Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману на основі моделі «клімат-стік» показала, що основна їх частина надходить від р. В. Куяльник. Загальний об'єм припливу вод річок у природних умовах становить 24,0 млн. м³, з цієї величини на р. В.Куяльник припадає 22,3 млн.м³, тобто 92,9 %. Водний режим р. В.Куяльник значно трансформований водогосподарською діяльністю, головними чинниками якої є додаткове випаровування з поверхні штучних

водойм та втрати на майже щорічне наповнення ставків через їх пересихання. Вплив водогосподарської діяльності посилюється в умовах глобального потепління, оскільки зростання температур повітря посилює втрати стоку. Згідно із різними літературними джерелами у межах водозбору р. В. Куяльник головним чинником водогосподарської діяльності є штучні водойми – ставки, копані, водосховища, шлюзи в спрямленому руслі тощо. Відповідно сучасній паспортизації, сумарна площа водної поверхні штучних водойм дорівнює 4,15 км², а загальний об'єм – 7,76 млн. м³. За даними, отриманими при експедиційних дослідженнях, які проводилися в ОДЕКУ у 2010 р. [107], площа водного дзеркала штучних водойм становила 6 км², а їх загальна ємність – 15 млн. м³. Згідно з уточненими даними 2011 р., сумарна площа водного дзеркала усіх штучних водойм становить 6,5 км², а загальна ємність – 15,5 млн.м³. Таким чином, відносна площа, яку займає водне дзеркало штучних водойм у межах усієї водозбірної площі р. В. Куяльник змінюється за різними даними від 0,22 % до 0,35 % . Загальна ємність штучних водойм також оцінюється у широких межах: від 4,13 млн. м³ до 15,5 млн. м³, а середня приймається рівною 7,00 млн. м³. Сумісне урахування додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм та втрат на їх заповнення для кожного із наведених сценаріїв при осереднених розмірах водогосподарської діяльності ($f_B=0,30\%$ та $W_3=7,00$ млн. м³) показало, що за рахунок антропогенного впливу річний стік р. В. Куяльник за період 2011-2025 рр. може зменшитися від 30 до 57% в залежності від обраного сценарію (табл.6.10).

Надходження води від водотоків впливає на мінералізацію Куяльницького лиману, а, отже, визначає його гідроекологічний стан та перспективи подальшого розвитку рекреаційного напрямку його використання [105]. Відомо, що у теперішній час стан цього водного об'єкту знаходиться під загрозою руйнування. Ропа гіперсолонного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого, за даними ОДЕКУ в серпні 2009 р., сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 266 до 365 ‰, «опріснюючись»

тільки в періоди весняного водопілля та при короткочасних інтенсивних зливових опадах. Наприклад, в кінці травня 2012 р. солоність ропи лиману зменшилась до 206 ‰ [95,105].

Таблиця 6.10

Характеристики річного побутового стоку р. В. Куяльник за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30$ %;

$$W_3 = 7,00 \text{ млн. м}^3 \text{ [144]}$$

Сценарії	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, млн. м ³	$k_{\bar{Y},3}$	$k_{\bar{Y}}$	$k_{\bar{Y},СУМ}$	Параметри побутового річного стоку				
						$\bar{Y}_{ПОБ}$, мм	$\bar{W}_{ПОБ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОБ}$, м ³ /с	C_V	C_S
Вихідний стан (до 1989 р.)	12,0	22,3	0,67	0,93	0,60	7	13,0	0,413	1,86	3,16
A1B	15,0	27,9	0,74	0,94	0,68	10	18,6	0,59	1,50	2,55
B1	7,7	14,3	0,51	0,92	0,43	3	5,6	0,18	3,09	5,25
A2	18,0	33,5	0,79	0,95	0,74	13	24,2	0,77	1,28	2,18

Для розрахунків можливої мінералізації лиману у найближчі роки (2011-2025 рр.) використовувався метод водного балансу, за яким установлювався об'єм води на кінець кожного розрахункового періоду (місяця, сезону). Приходними складовими рівняння слугували опади, які випадали на поверхню лиману, приплив води від водотоків та накопичення води у лимані на початок розрахункового періоду. Витратними складовими водного балансу є втрати на додаткове випаровування з водної поверхні лиману. Для установлення мінералізації використовувалась робота О.М. Гриба [41], де наведена залежність солоності води від рівня води у лимані. Рівень води визначався за кривою об'ємів в залежності від наповнення лиману за розрахунковий період.

Показано, що найбільш критичними для гідроекологічного стану Куяльницького лиману будуть посушливі роки. Як показали результати розрахунків, у маловодні роки солоність води у лимані буде відповідати 390‰ у всі сезони року для усіх розглянутих сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. Рівень наповнення водойми до мінус 8,46 м БС відповідає стану пересихання лиману. Навіть у весняний сезон рівень води в лимані у такі роки становитиме мінус 6,90 м БС. Лише при розвитку подій за сценарієм А2 можлива перевага приходних складових водного балансу над витратними. При такому водно-сольовому режимі забезпечується підвищення мінералізації у лимані у маловодні роки до межі, за якою існування біоти (крім бактеріальної) стає неможливим [106].

Висновки до розділу 6

Виконана оцінка можливих змін водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я у ХХІ сторіччі на базі моделі «клімат-стік» із застосуванням сценарних метеорологічних даних до 2050 р. (сценарії А1В та А2). За сценарієм А1В до середини ХХІ сторіччя передбачається поступове, рівномірне по території зменшення ресурсів зволоження, яке в середньому досягне 14%, збільшення теплоенергетичних ресурсів на 20%, що призведе до зменшення водних ресурсів більш ніж на 60%. Згідно сценарію А2 максимально можливе випаровування буде зростати, але у межах 6%. Середня багаторічна величина опадів буде зростати на півночі розглядуваної території, а на півдні, навпаки, буде зменшуватися. Проте різниця у характері змін кліматичних чинників на півночі та півдні буде стиратися по мірі наближення до 2050 р. Як за сценарієм А1В, так і за сценарієм А2 на території Північно-Західного Причорномор'я до середини ХХІ сторіччя прогнозується руйнування місцевих водних ресурсів. Проте за сценарієм А2

процес руйнування буде більш повільним і почнеться з півдня Одеської області, розширюючись на північ.

Розрахунки характеристик природного та побутового річного стоку за моделлю «клімат-стік» в умовах змін глобального клімату згідно із різними кліматичними сценаріями річок водозборів Тилігульського та Куяльницького лиманів, використані у рамках науково-дослідних тем «Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін» (науковий керівник: Ю.С. Тучковенко) та «Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін» (науковий керівник: Н.С. Лобода), показали погіршення їх гідроекологічного стану в умовах змін клімату.

РОЗДІЛ 7

ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПОСУХ НА ФОРМУВАННЯ СТОКУ МЕЖЕНІ У СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ТА ЗА СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

7.1 Види посух

В останні роки істотно збільшилась кількість екстремальних явищ погоди, в тому числі й таких небезпечних як посухи. Наслідки впливу посух на стан водних ресурсів посилюються за рахунок зростання попиту на воду та через збільшення мінливості характеристик стоку в результаті змін клімату [142]. Посуха є однією з головних природних причин соціальних, економічних та екологічних збитків [78,148].

Існують різні підходи до класифікації посух. Залежно від середовища, в якому спостерігаються ознаки дефіциту вологи, розрізняють атмосферні та ґрунтові посухи. У іноземній літературі, орієнтованій на моніторинг посух, поширена більш детальна класифікація, яка ураховує умови формування та наслідки від їх дії. Посухи, які розглядаються як прояв кліматичної мінливості, поділяються на такі категорії: метеорологічна, сільськогосподарська, гідрологічна, соціально-економічна. У роботах закордонних вчених [196,215] виділяються чотири категорії посух:

- метеорологічна, яка супроводжується відхиленням кількості опадів від норми на протязі тривалого проміжку часу і є головною причиною межени річок;
- гідрологічна посуха відображає вплив метеорологічної посухи, її основною рисою є формування вираженого дефіциту поверхневого і підповерхневого запасу води;
- сільськогосподарська посуха полягає у формуванні дефіциту вологи у ґрунті, необхідної для розвитку рослин у певний момент часу;

- соціально-економічна посуха пов'язується із співвідношенням запасу води у регіоні та попитом на неї.

Дефіцит запасу води для різних цілей виникає у період межені. Низький стік є елементом межені. Індексом (кількісним показником) низького стоку є мінімальний стік [19,21].

7.2 Передумови виникнення посух та особливості їх просторово-часового розподілу на території України

Одним із головних чинників збільшення кількості посух, їх тривалості та інтенсивності більшість вчених вважають зміни клімату, які спостерігаються в останні декілька десятиріч, що підтверджують результати дослідження Міжурядової групи експертів по змінах клімату [199].

Протягом посухи спостерігається тривала (багатоденна, багатомісячна, багаторічна) суха погода, часто при підвищеній температурі повітря, з відсутністю чи вкрай незначною кількістю опадів, яка призводить до виснаження запасів води (вологи) у ґрунті та різкого зниження відносної вологості повітря. У результаті посух створюються несприятливі умови для розвитку рослин, формування стоку у річках, внаслідок чого виникає дефіцит водоспоживання. З екологічної точки зору, наслідками посух є неврожаї сільськогосподарських культур, деградація луків, зниження приросту деревини, загибель худоби та різкі коливання чисельності мікроорганізмів [134].

Посуха супроводжується посушливими явищами, такими як тривале бездощів'я, висока температура повітря, суховії, атмосферна та ґрунтова посухи.

Бездощовий період (бездощів'я) є інтервалом часу, в який протягом десяти та більше днів не спостерігаються опади або їх добова кількість не перевищує 1 мм. Тривале бездощів'я є передвісником посухи. Часто у ці періоди спостерігаються суховії. Бездощовий період тривалістю понад 10 діб вважається посушливим.

Суховій розглядається як стан атмосфери, за якого простежується повільне, зі швидкістю 3-5 м/с, перенесення сухого, надмірно теплого повітря (відносна вологість 30% та нижче, а температура 25 °С – та вища). Поєднання суховію з бездошовим періодом протягом декількох діб зумовлює атмосферну посуху.

Атмосферною посухою у місцевості з помірним кліматом є стан атмосфери з тривалим бездощів'ям, істотним зменшенням опадів, що супроводжується підвищеною інсоляцією та високою температурою повітря. Атмосферна посуха певної тривалості зумовлює ґрунтову посуху.

Ґрунтова посуха може спостерігатись на полях, які неадаптовані до посушливого клімату як без рослин, так і з рослинним покриттям. Внаслідок недостатньої вологості ґрунту, надлишкової інсоляції та надходження тепла відбувається істотне зниження транспірації і продуктивності порівняно із сприятливими умовами.

Поєднання атмосферної та ґрунтової посух в окремих випадках визначають як загальну посуху.

Бездошові періоди пов'язані, головним чином, зі сталими антициклонами та їх відрогами, які поширюються на центральну та південну частини України. Тривалі бездошові періоди зумовлені антициклонами та ядрами високого тиску у масах арктичного повітря, що переміщуються з півночі. Менш тривалі бездошові періоди пов'язані з антициклонами, що рухаються із заходу й формуються у повітрі помірних широт, охоплюючи всю країну.

Атмосферні посухи (близько 30%) виникають під час зональної циркуляції атмосфери. У цих випадках над південною частиною північно-східної Європи розташована зона високого атмосферного тиску, яка зумовлена відрогами Азорського й Середньоазіатського максимумів або декількома малорухливими антициклонами [78]. Найчастіше (до 70%) розвиток атмосферної посухи відбувається внаслідок порушення зонального переносу, що блокується високими малорухливими антициклонами та гребенями. Західне перенесення повітряних мас набуває меридіональної складової у результаті впливу інтенсивного східного струменю по південній периферії смуги високого тиску, що витягнута у

широтному напрямі. Із південного сходу та із півдня континентальне полярне повітря, інколи тропічне, просувається до півночі. Переміщення гребенів відбувається у західному напрямі та перешкоджає зворотному руху повітряних мас й баричних утворень. Прикладом формування блокуючої синоптичної ситуації є посуха 2010 р. [135].

Аналіз просторово-часового розподілу посух різних категорій (помірні, інтенсивні, екстремальні) для території України, виконаний в ОДЕКУ [182] показав, що в період 1951–1980 рр. посухи в основному формувались в північно-східних областях України (Харківській, Чернігівській, Сумській), а протягом 1981–2010 рр. осередки максимальних значень знаходились в південних та південно-західних районах, а саме Чернівецькій та Миколаївській областях. У 2011 році через довготривалу антициклонічну циркуляцію над Східною Європою сильна та середня посухи спостерігалася як у центральних, так і західних областях України [164], проте Одеса та Сімферополь знаходилися в умовах «м'якої» посухи, що свідчить про регіональний характер формування посух [181].

7.3 Огляд методів визначення індексів метеорологічних посух

Один з найпоширеніших підходів до аналізу посушливості заснований на застосуванні спеціальних індексів, які повинні відображати метеорологічні явища й умови, передуючі виникненню сільськогосподарської або гідрологічної посухи. Практично усі існуючі індекси посух базуються на порівнянні наявних запасів води (причому основною складовою є опади) з втратами води на випаровування, яке визначається припливом радіації, температурою повітря або іншими кліматичними змінними. Один з перших і, ймовірно, найпростіших індексів був запропонований Мартонні [157]. Індекс α визначається за великий період спостережень і розраховується таким чином:

$$\alpha = \frac{X}{10 + T}, \quad (7.1)$$

де X – середнє багаторічне значення опадів, мм; T – середнє багаторічне значення температури повітря, °С.

Значення $\alpha < 15$ характерні для аридних зон.

У сучасних оцінках показників посушливості частіше використовуються дані про опади та максимально можливе випаровування, яке також називають потенційним випаровуванням або потенційною евапотранспірацією (PET). Під цією величиною розуміється максимальна кількість води, яка могла б випаруватися в даних кліматичних умовах з поверхні суші, покритої рослинністю, при наявності достатнього запасу вологи. За формулою Торнтвайта, PET виражається як функція сум температур за 12 місяців. Якщо кількість середньорічних опадів менша PET , то розглянутий район класифікується, як щонайменше, напіваридний [157].

За рекомендаціями ЮНЕСКО [213], ступінь аридності визначається наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} X/PET < 0,03 & \text{ – гіпераридна зона;} \\ 0,03 < X/PET < 0,20 & \text{ – аридная зона;} \\ 0,20 < X/PET < 0,50 & \text{ – напіваридна зона,} \end{aligned} \quad (7.2)$$

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

Неважко провести аналогію між величиною PET та максимально можливим випаровуванням або теплоенергетичним еквівалентом E_m , який розраховується за даними про додатні складові теплового балансу підстильної поверхні і трактується як максимально можливе випаровування з поверхні суші, яке мало б місце, якщо на процес випаровування були б витрачені всі теплоенергетичні ресурси клімату (дивись розділ 4). За величиною $\beta_X = \frac{\bar{X}}{E_m}$, згідно з

рекомендаціями В.С. Мезенцева, також може бути визначено ступінь посушливості (зволоженості) території

$$\begin{aligned} \beta_X &\geq 1,0 - \text{зона надмірного зволоження;} \\ 0,8 < \beta_X < 1,0 &- \text{зона достатнього зволоження;} \\ 0,5 \leq \beta_X < 0,8 &- \text{недостатнього зволоження.} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Властивості атмосферної посухи у період активної вегетації рослин описуються гідротермічним коефіцієнтом Г.Т. Селянинова (ГТК) :

$$ГТК = \frac{10 \sum X}{\sum T}, \quad (7.4)$$

де $\sum X$ – кількість опадів за період активної вегетації, мм; $\sum T$ – сума додатних температур повітря за період активної вегетації між датами переходу її через 10°C навесні та восени.

При значеннях $ГТК = 0,7 \div 1,0$ розрахунковий період відносять до категорії помірної посухи, $ГТК = 0,5 \div 0,7$ - до суворої посухи, $ГТК = 0,3 \div 0,5$ - до дуже суворої посухи [78].

Згідно із коефіцієнтом ГТК на території Північно-Західного Причорномор'я найбільш часто спостерігаються помірні посухи, частота появи посух зростає у напрямку з північного заходу на південний схід (табл.7.1).

Таблиця 7.1

Частота появи (%) посух різної суворості, згідно ГТК

Метеостанція	Категорія посухи		
	помірна	сувора	дуже сувора
Любашівка	40	25	9
Баштанка	45	22	11
Одеса	45	30	12
Ізмаїл	33	35	14

Філдхаус і Палмер [197] відзначають, що ШПП може бути використаний для визначення проблем водопостачання. Аналіз просторового розподілу індексу Палмера був виконаний під керівництвом д.геогр.н., проф. В.М. Хохлова [181]. Згідно цього дослідженню, найбільша кількість екстремальних посух за індексом Палмера у період 1971-2002 рр. на території Північно-Західного Причорномор'я спостерігалась на півдні Одеської області.

За його розрахунками ШПП є більш придатним для визначення впливу посух на сільське господарство і менш – на різноманітні гідрологічні об'єкти. Припущення, що всі опади є дощовими (рідкими), не є справедливим для зимових місяців, коли відбувається накопичення твердих опадів на водозборах. Припускається, що стік формується після того, як будуть насичені усі шари ґрунту, а це призводить до недооцінки стоку. Нарешті, встановлено, що ШПП повільно відкликається на розвиток та послаблення посухи [148].

У останні десятиріччя широко використовується стандартизований індекс опадів (CIO) або (SPI), який може бути розрахований для будь-якого пункту за допомогою тривалого ряду спостережень за опадами і ґрунтується на понятті стандартизованих опадів [206]. Під стандартизованими опадами розуміють відхилення їх величини для певного періоду часу від середньої багаторічної величини, поділене на середньоквадратичне відхилення, тобто використовуються нормовані величини. Далі цей індекс було модифіковано залученням поняття про потенціальне сумарне випаровування PE [214], після чого розрахований індекс дістав назву стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (CIOCB) або (SPEI).

Проте розрахунок PE є складним і потребує багатьох параметрів, таких як температура поверхні ґрунту, вологість повітря, радіація, яка надходить до ґрунту, тиск водяної пари, потоки прихованого та відчутного тепла між ґрунтом та атмосферою тощо. Але було показано, що з метою залучення PE до визначення індексів посухи можна використовувати простіший підхід і це не позначиться істотно на розрахованих індексах. В роботі [214] було запропоновано для розрахунку потенційного випаровування, яке позначене як PE (у мм), застосувати

метод Торнвейта [212], за яким PE представляється в залежності від середньомісячної температури повітря, а саме

$$PE = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m, \quad (7.5)$$

де T – середньомісячна температура повітря, °С; I – індекс теплоти, який розраховується як сума 12 середньомісячних величин індексу i , а останній одержується з середньомісячних температур повітря наступним чином

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}, \quad (7.6)$$

де m – коефіцієнт, $m = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,492$; K – поправочний коефіцієнт, що визначається як функція широти та календарного місяця

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right), \quad (7.7)$$

де NDM – кількість днів у місяці; N – максимальна кількість сонячних годин, яка визначається за такою формулою

$$N = \frac{24}{\pi} \varpi_s, \quad (7.8)$$

ϖ_s – годинний кут сходу сонця, який обчислюється за виразом

$$\varpi_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta), \quad (7.9)$$

φ – широта у радіанах; δ – сонячне схилення у радіанах, розраховане, як

$$\delta = 0,4093 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1,405\right), \quad (7.10)$$

J – середній юліанський день місяця.

Після того, як одержані дані про потенційне сумарне випаровування, для кожного i -го місяця розраховуються різниці (D_i) між опадами та PE

$$D_i = P_i - PE_i, \quad (7.11)$$

які характеризують надлишок або дефіцит вологи для певного місяця.

Розраховані величини D_i для визначення SPEI підсумовуються на різних часових масштабах за такою процедурою. Різниця $D_{i,j}^k$ для даного місяця j та року i залежить від обраного часового масштабу k . Наприклад, накопичена різниця для одного місяця у певний рік i з 12-місячним часовим масштабом розраховується за допомогою виразу

$$\begin{aligned} X_{i,j}^k &= \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l}, & j < k; \\ X_{i,j}^k &= \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l} & j \geq k, \end{aligned} \quad (7.12)$$

де $D_{i,l}$ – різниця $P - PE$ у перший місяць року i , виражена у міліметрах.

Для ймовірнісного опису SPEI в різних часових масштабах використовується трьохпараметричний гама-розподіл ймовірностей. У трьохпараметричному розподілі досліджувана величина x може приймати значення в діапазоні ($\gamma > x < \infty$), де γ є параметром вихідного розподілу, отже, x може приймати мінусові значення, що характерно для ряду D [214]. Для стандартизації рядів D використовують лог-логістичний розподіл.

Функція щільності ймовірностей трьохпараметричного лог-логістичного розподілу представляється як

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2}, \quad (7.13)$$

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

Параметри лог-логістичного розподілу можуть бути отримані за допомогою різних підходів. У зарубіжній практиці широко використовується метод L-моментів. L-моменти аналогічні звичайним центральним моментам, але вони можуть характеризувати широкий спектр функцій розподілу і є більш надійними по відношенню до обліку викидів в даних [214].

Вибіркові оцінки L-моментів по ряду D отримують, використовуючи формули [211]

$$\lambda_1 = \omega_0; \quad (7.14)$$

$$\lambda_2 = \omega_0 - 2\omega_1; \quad (7.15)$$

$$\lambda_3 = \omega_0 - 6\omega_1 + 6\omega_2; \quad (7.16)$$

$$\lambda_4 = \omega_0 - 12\omega_1 + 30\omega_2 - 20\omega_3. \quad (7.17)$$

Ймовірностно-зважені моменти порядку S розраховуються як

$$\omega_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^s D_i, \quad (7.18)$$

де F_i – оцінка частоти, знайдена методом Хоскінга:

$$F_i = \frac{i - 0,35}{N}, \quad (7.19)$$

де i – номер елемента D_i в ряді спостережень, розташованого в зростаючому порядку; N – число точок даних.

Коли L-моменти розраховані, параметри розподілу можуть бути отримані таким чином

$$\beta = \frac{2\omega_1 - \omega_0}{6\omega_1 - \omega_0 - 6\omega_2}; \quad (7.20)$$

$$\alpha = \frac{(\omega_0 - 2\omega_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}; \quad (7.21)$$

$$\gamma = \omega_0 - \alpha\Gamma\left(\frac{1+1}{\beta}\right)\Gamma\left(\frac{1-1}{\beta}\right), \quad (7.22)$$

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

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

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}. \quad (7.23)$$

Індекси SPEI розраховуються з використанням методу, який представлено в роботі [193]

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (7.24)$$

де

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)}, \text{ при } P \leq 0,5, \quad (7.25)$$

P – забезпеченість значень ряду D , де $P = 1 - F(x)$.

Якщо $P > 0,5$, то цей параметр замінюють на $(1-P)$ і знак результуючого SPEI змінюється на зворотний. Константи мають такі значення: $C_0=2,515517$, $C_1=0,802853$, $C_2=0,010328$, $d_1=1,432788$, $d_2=0,189269$, $d_3=0,001308$.

Середнє значення SPEI дорівнює нулю, а стандартне відхилення - 1. SPEI є стандартизованою змінною, і він може порівнюватися з іншими значеннями SPEI у часі і просторі.

Установлена класифікація посух в залежності від значення, яке прийняла величина SPEI (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Класифікація значень SPEI [206]

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

Процедура визначення SPEI базується на обчисленні середньомісячних різниць між опадами та потенціальним сумарним випаровуванням і впроваджена у міжнародну практику з 2009 року. Наявність та інтенсивність посухи визначаються відповідно до значень SPEI, представлених в табл. 7.2 [152].

В ході дослідження просторово-часової мінливості різних категорій посух в періоди глобального похолодання та потепління, виконаних В.М. Хохловим, виявлено, що максимальна кількість загального числа посух та посух, що відповідають критеріям помірних, інтенсивних та екстремальних, зафіксована протягом проміжку часу 1980–2010 рр., коли мало місце досить інтенсивне підвищення глобальної температури повітря по всій земній кулі [182]. Аналіз просторового розподілу по території дослідження показує, що в період 1951–1980 рр. посухи в основному формувались в північно-східних областях України (Харківській, Чернігівській, Сумській), а протягом

1981–2010 рр. – в південних та південно-західних, а саме: Чернівецькій, Одеській та Миколаївській.

Виявлено, що найбільш тривалі та суворі посухи спостерігались протягом 1981–2010 рр. Зосереджені вони в основному над південно-західними та західними регіонами України. Тривалість і суворість посух протягом 1951–1980 рр. була дещо меншою й розташовувались вони на півночі та північному сході країни. При цьому зі збільшенням масштабу часу спостерігалось істотне зростання значень максимальних величин вказаних характеристик всіх категорій посух.

7.4 Характеристики метеорологічних посух на основі використання стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування (SPEI) для території Північно-Західного Причорномор'я

Розрахунок індексів SPEI проводився за допомогою спеціального комп'ютерного забезпечення [62] для метеостанцій, розташованих на території Північно-Західного Причорномор'я. У вхідному файлі містилася інформація про середньомісячні температури повітря, суми опадів та координати метеостанцій [88].

Аналіз динаміки посух у часі виконувався за інтенсивністю посух та їх тривалістю. Розглядалися посухи усіх категорій (при $SPEI \leq 0,00$). На метеостанції Любашівка за період 1962-2011 рр. було зареєстровано 17 випадків посух різної тривалості та інтенсивності, на м/ст. Баштанка (1937-2012 рр.) – 23, на м/ст. Одеса (1901-2013 рр.) – 38, на м/ст. Ізмаїл (1947-2012 рр.) - 21. Установлено, що на півночі розглядуваної території переважали помірні посухи, а на півдні – слабкі. Після 1989 р. на всій території відбувається зменшення частоти появи слабких посух, на метеостанціях Баштанка та Ізмаїл зростає частота появи екстремальних посух (табл.7.3).

Таблиця 7.3

Частота появи (%) посух різної суворості згідно значень індексу SPEI

Метео-станції	Період спостережень	Категорія посухи			
		близька до нормальної (слабка)	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка	1962-2011 рр.	6	65	18	12
	до 1989 р.	13	50	25	13
	після 1989 р.	0	78	11	11
Баштанка	1937-2012 рр.	17	30	39	13
	до 1989 р.	20	33	40	7
	після 1989 р.	13	25	38	25
Одеса	1901-2013 рр.	32	29	26	13
	до 1989 р.	34	24	28	14
	після 1989 р.	22	44	22	11
Ізмаїл	1947-2012 рр.	33	29	14	24
	до 1989 р.	38	31	15	15
	після 1989 р.	25	25	13	38

Для аналізу тривалості посух різних категорій була визначена загальна кількість місяців, коли спостерігалась посуха ($SPEI \leq 0,00$), та кількість місяців, яка припадала на кожну категорію (табл.7.4). При розгляді усього періоду спостережень виявлено, що слабкі посухи тривають найдовше, проте після 1989р. зростає тривалість екстремальних посух. Відношення кількості місяців із $SPEI \leq 0,00$ до загального числа місяців в досліджуваному періоді показало, що після 1989 р. кількість місяців із посухою зросла в середньому на 20%.

Оцінка внеску тривалості посух кожної категорії у загальну їх тривалість (табл. 7.5) також показала зростання частки помірних та екстремальних посух.

**Тривалість посух різних категорій (по даним метеостанцій
Північно-Західного Причорномор'я), у місяцях**

Метео-станція	Період спостережень	Загальна кількість місяців з посухою	Категорія посухи			
			слабка	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка	1962-2011 рр.(600 міс.)	300	195	67	24	14
	до 1989 р. (324 міс.)	130	86	21	20	3
	після 1989 р. (276 міс.)	170	109	46	4	11
Баштанка	1937-2012 рр.(912 міс.)	468	302	111	44	11
	до 1989 р.(624 міс.)	324	220	66	33	5
	після 1989 р.(288 міс.)	144	82	45	11	6
Одеса	1901-2013 рр.(1326 міс.)	682	431	158	67	26
	до 1989 р.(1026 міс.)	497	303	117	56	21
	після 1989 р.(300 міс.)	185	128	41	11	5
Ізмаїл	1947-2012 рр.(792 міс.)	397	217	91	72	17
	до 1989 р.(504 міс.)	205	142	41	18	4
	після 1989 р.(288 міс.)	192	75	50	54	13

Таблиця 7.5

Внесок посухи кожної категорії у загальну їх тривалість, %

Метео-станція	Період спостережень	Категорія посухи			
		близька до нормального (слабка)	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка	1962-2011 рр.	65	22	8	5
	до 1989 р.	66	16	15	2
	після 1989 р.	64	27	2	7

Продовження табл. 7.5

Метео-станція	Період спостережень	Категорія посухи			
		близька до нормального (слабка)	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Баштанка	1937-2012 рр.	65	24	9	2
	до 1989 р.	68	20	10	2
	після 1989 р.	57	31	8	4
Одеса	1901-2013 рр.	63	23	10	4
	до 1989 р.	61	24	11	4
	після 1989 р.	69	22	6	3
Ізмаїл	1947-2012 рр.	55	23	18	4
	до 1989 р.	69	20	9	2
	після 1989 р.	39	26	28	7

З хронологічного ходу індексу SPEI (рис. 7.1-7.4) видно, що метеорологічні посухи переривалися помірно вологими періодами та періодами близькими до нормального зволоження. На метеостанції Любашівка найбільш тривала посуха спостерігалася з липня 2005 р. по червень 2008 р., яка з травня 2007 р. по квітень 2008 р. набула категорії «екстремальна посуха» із $SPEI \leq -2,00$ (рис. 7.1). Формуванню цієї метеорологічної посухи передувало найбільш тривале бездощів'я (з 06.04.2007 р. по 22.06.2007 р. - 78 діб), визначене за період з 1989 р. по 2011 р. (табл. К.1).

Довготривалий посушливий період за даними метеостанції Одеса спостерігався з липня 1989 р. до червня 1995р., причому з квітня по липень 1994 р. посуха перейшла з категорії інтенсивної до екстремальної (рис.7.3). В цей час у 1994 р. зареєстрований найдовший бездощовий період тривалістю 85 діб (почався 11.03 і закінчився 03.06) (табл. К.1) [16].

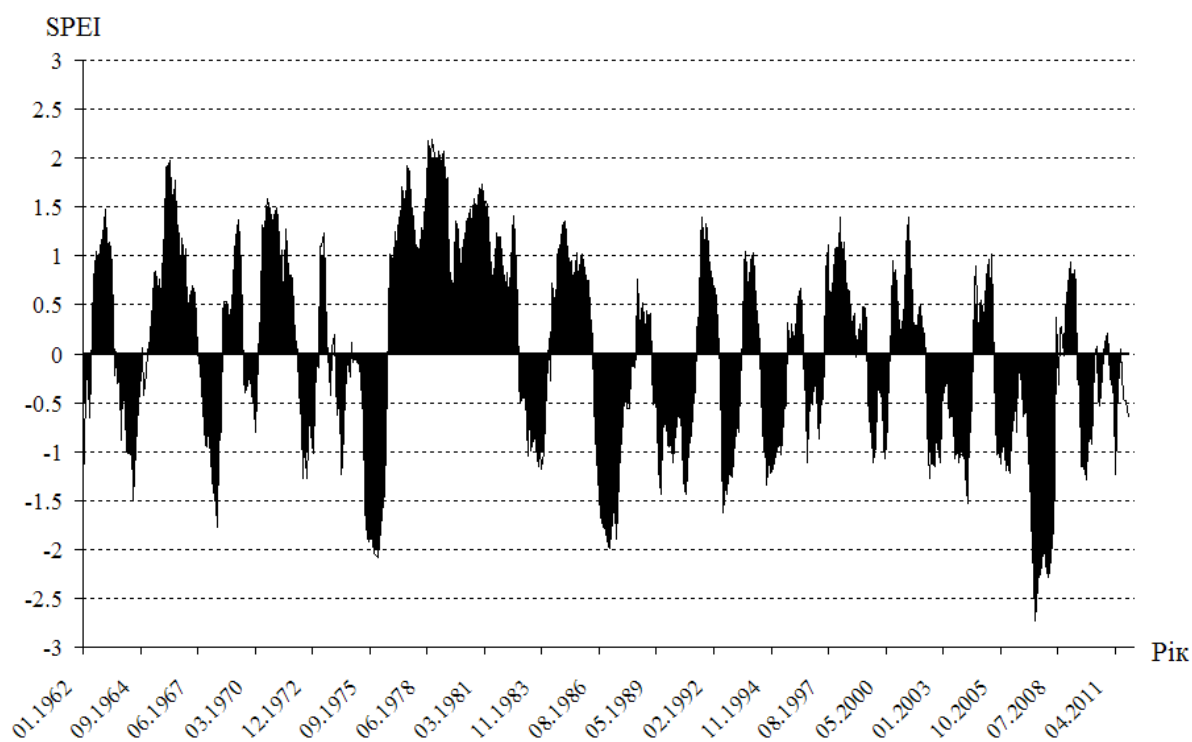


Рис. 7.1. Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Любашівка, 1962-2011 рр.

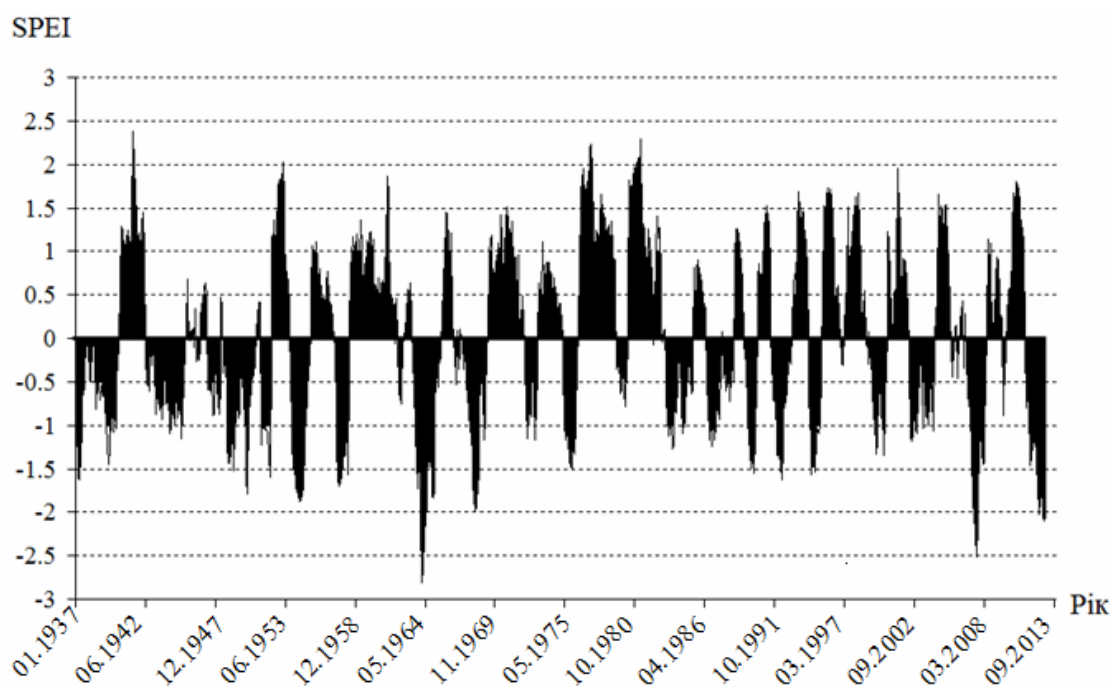


Рис. 7.2. Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Баштанка, 1937-2012 рр.

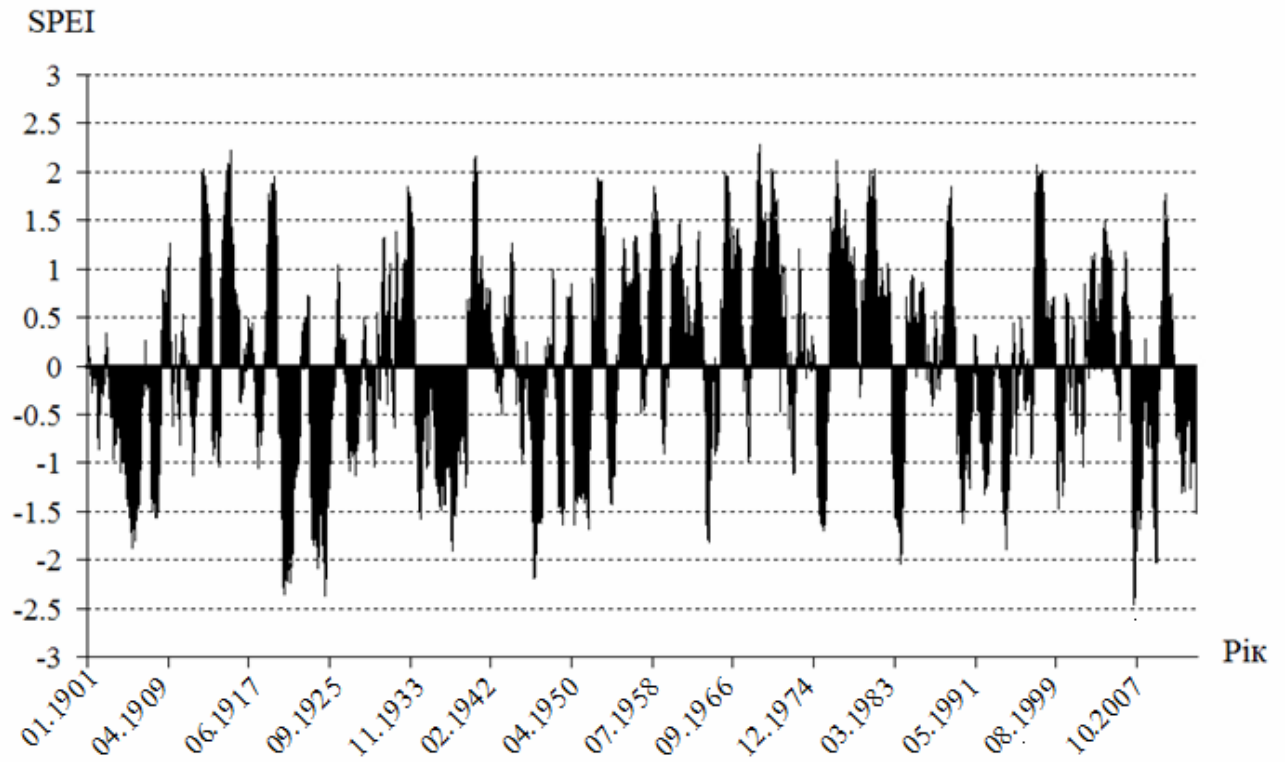


Рис. 7.3. Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Одеса, 1901-2013 рр.

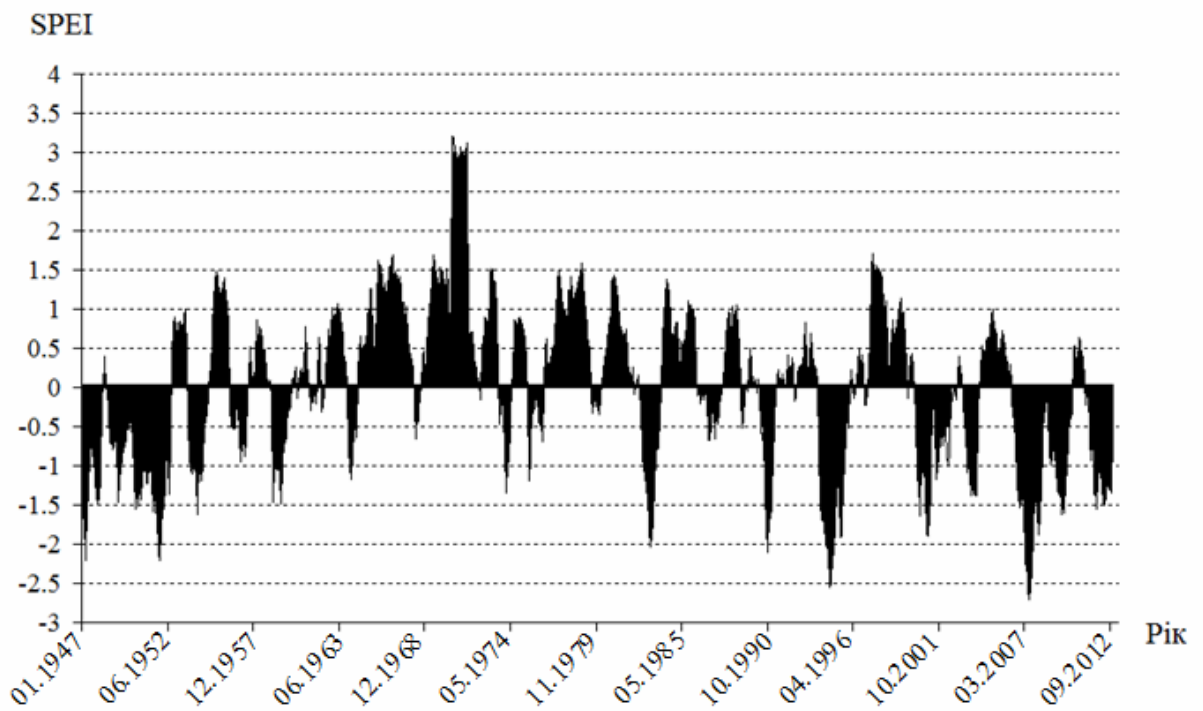


Рис. 7.4. Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Ізмаїл, 1947-2012 рр.

На метеостанції Ізмаїл була відмічена посуха тривалістю 47 місяців (з липня 2006 р. по травень 2010 р.), причому з травня по жовтень 2007 р. вона набула екстремальних значень ($SPEI \leq -2,00$) (рис 7.4). Причиною такої посухи були дуже високі температури повітря (середньорічні значення коливалися в межах 12,2-12,9 °С при середньому багаторічному значенню 10,8 °С) та невелика кількість опадів.

Порівняння індексів SPEI на території Північно-Західного Причорномор'я із територією Закарпаття показало схожість умов посушливості. Так, на метеостанції Ужгород у період з 1947 по 2001 рр. було зареєстровано близько 15 випадків посух, із них 2 – слабких, 5 – помірних, 7 – інтенсивних та 1 – екстремальна (рис. 7.5). Найбільша тривалість відмічена у слабких посух. Розподіл внеску посух кожної категорії у загальну їх тривалість на метеостанції Ужгород такий самий, як і на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я. Явище посух в Закарпатті не є переважаючою особливістю, оскільки досить часто спостерігаються і вологі періоди [117].

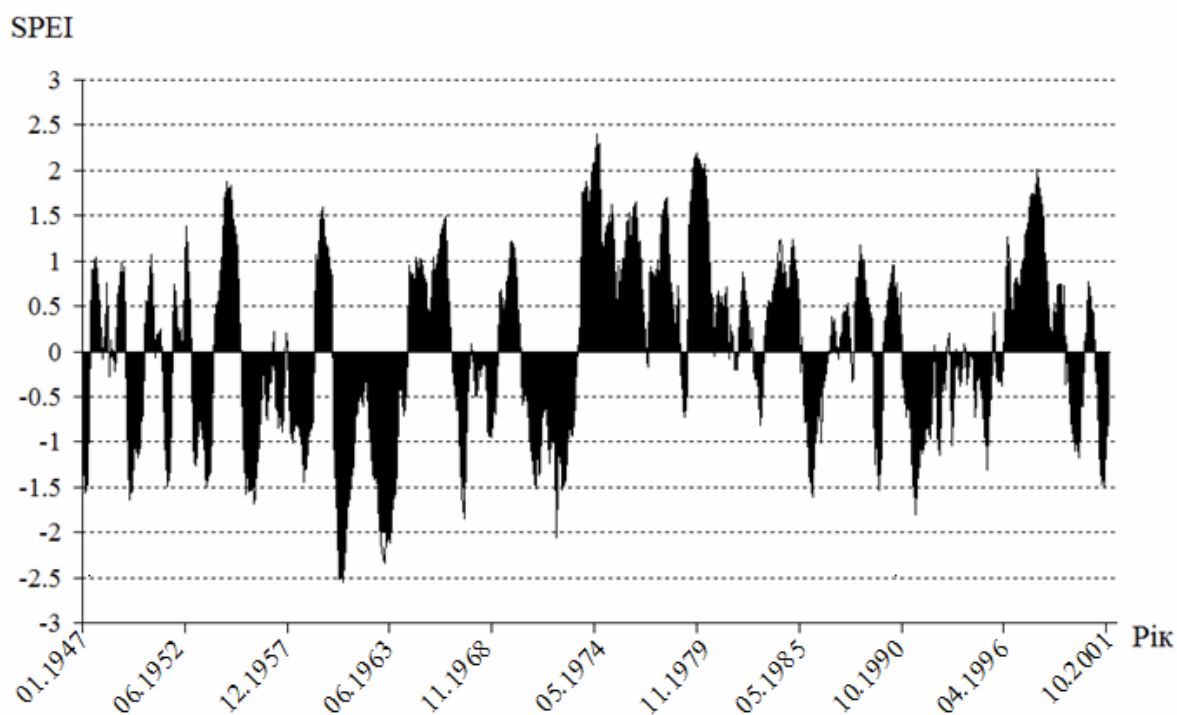


Рис. 7.5. Хронологічний хід індексів посушливості SPEI, метеостанція Ужгород, 1947-2001 рр.

Аналіз найбільшої тривалості бездошових періодів на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я (табл. К.1, К.2) до та після 1989 р. показав, що ця характеристика в останні десятиріччя збільшується (табл.7.7).

Таблиця 7.7

Найбільша тривалість (діб) бездошових періодів різної забезпеченості на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я

Метеостанція	Період	Забезпеченість (%)						Найбільша тривалість	Дати початку та кінця бездошового періоду найбільшої тривалості
		5	10	25	50	75	90		
Любашівка	До 1989 р.	50	47	42	36	26	18	59	15.08-12.10.1983 р.
	Після 1989 р.	75	56	47	39	29	25	78	06.04-22.06.2007 р.
Баштанка	До 1989 р.	83	70	57	43	31	27	92	06.07-05.10.1954 р.
	Після 1989 р.	91	68	51	45	32	25	96	12.10-15.01.1989 р.
Одеса	До 1989 р.	88	71	55	43	37	26	90	15.08-12.11.1983 р.
	Після 1989 р.	85	72	57	43	36	33	85	11.03-03.04.1994 р.
Ізмаїл	До 1989 р.	119	96	69	46	36	27	126	26.08-29.12.1953 р.
	Після 1989 р.	120	75	61	46	39	32	135	20.01-03.06.1994 р.

Гідрологічна посуха настає із запізненням по відношенню до метеорологічної та сільськогосподарської посух [87]. Наслідками формування гідрологічних посух є зміни в складових водного та водно-сольового балансу лиманів Північно-Західного Причорномор'я, які обумовлені зменшенням опадів та зростанням випаровування з поверхні водозборів й водного дзеркала лиманів, а також через зменшення припливу поверхневих вод до лиманів від річок та тимчасових водотоків [88]. Так, наприклад, у 1994 річка Тилігул у створі Березівка пересохла відразу після закінчення весняного водопілля. Відсутність стоку спостерігалася з травня і до початку водопілля 1996 року. У 2007 році

довготривале пересихання почалося з червня. Як правило, роки з наявністю екстремальних посух характеризуються малою водністю навіть за умови формування поверхневого талого стоку у весняні місяці [90]. Забезпеченість річного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я у ці роки перевищує 80%.

7.5 Характеристики посух та маловодних періодів стоку за сценаріями глобального потепління

Для передбачення можливостей формування посух у майбутньому нами були розглянуті сценарії змін глобального клімату A2 та A1B [209].

Аналізуючи хронологічний хід індексу β_X по роках можна зробити висновок, що у період 1900-1988 рр. посушливі роки чередувалися із роками достатнього зволоження (рис. 7.6), у той час як за сценарієм A1B у 2015-2050 рр. практично на всьому інтервалі будуть спостерігатися $\beta_X < 0,5$ (рис. 7.7), які відповідають проявам напіваридного клімату. За сценарієм A2, істотних змін індексу β_X не відбудеться (рис. 7.8).

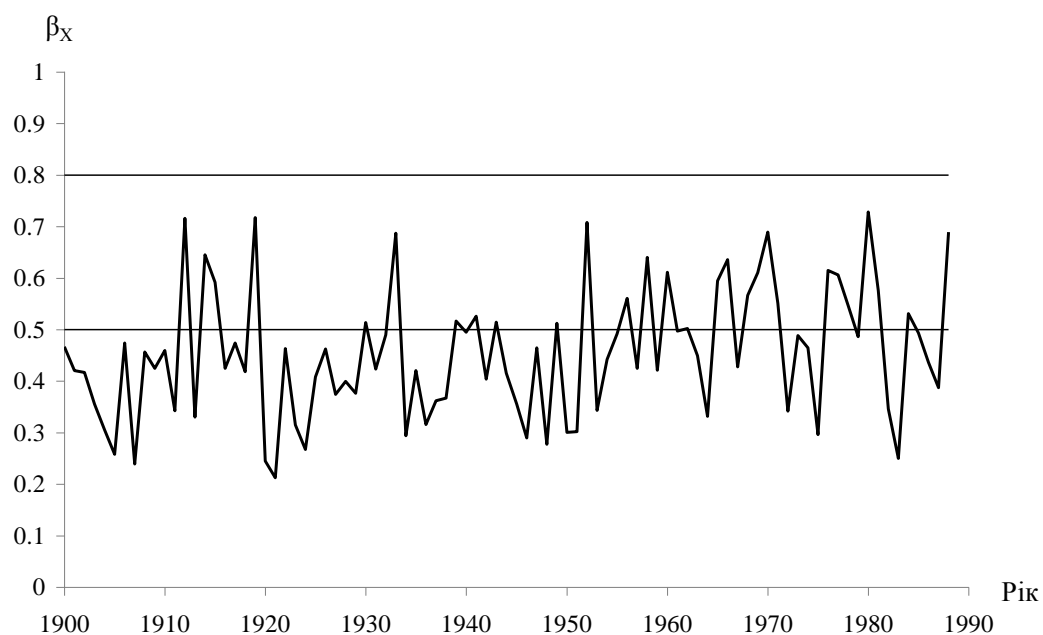


Рис. 7.6. Хронологічний хід індекса β_X , метеостанція Одеса, 1900-1988 рр.

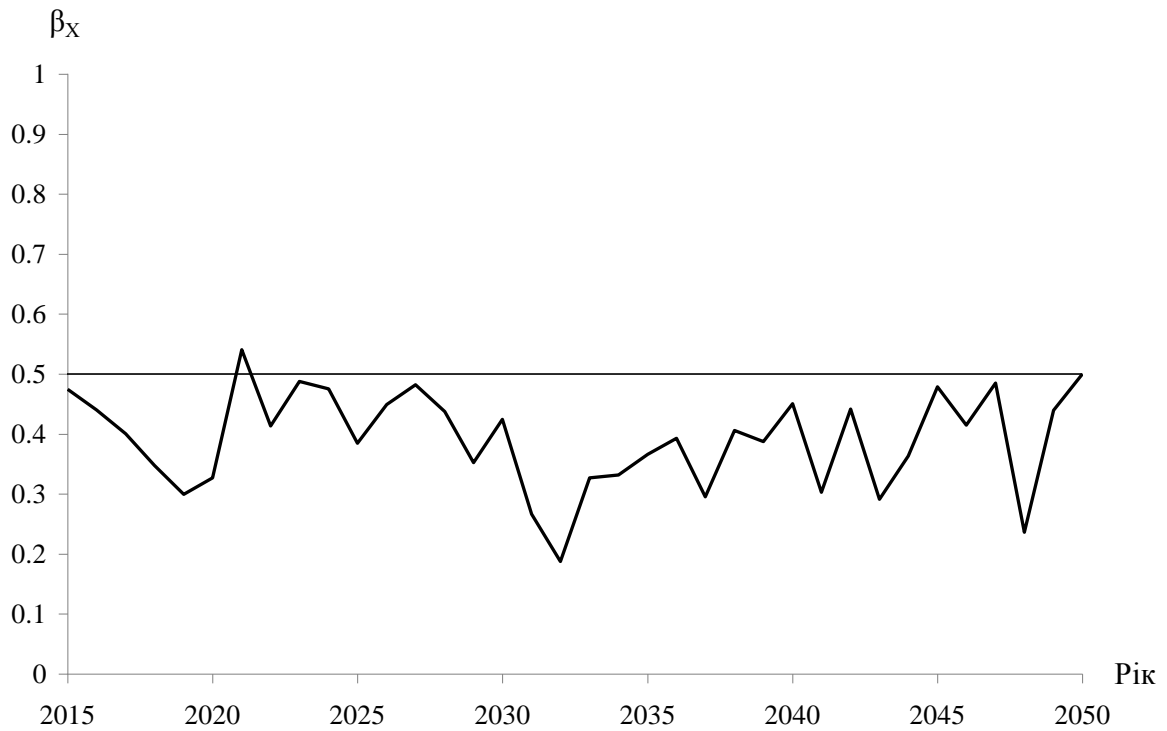


Рис. 7.7. Хронологічний хід індекса β_X за сценарієм А1В, метеостанція Одеса, 2015-2050 рр.

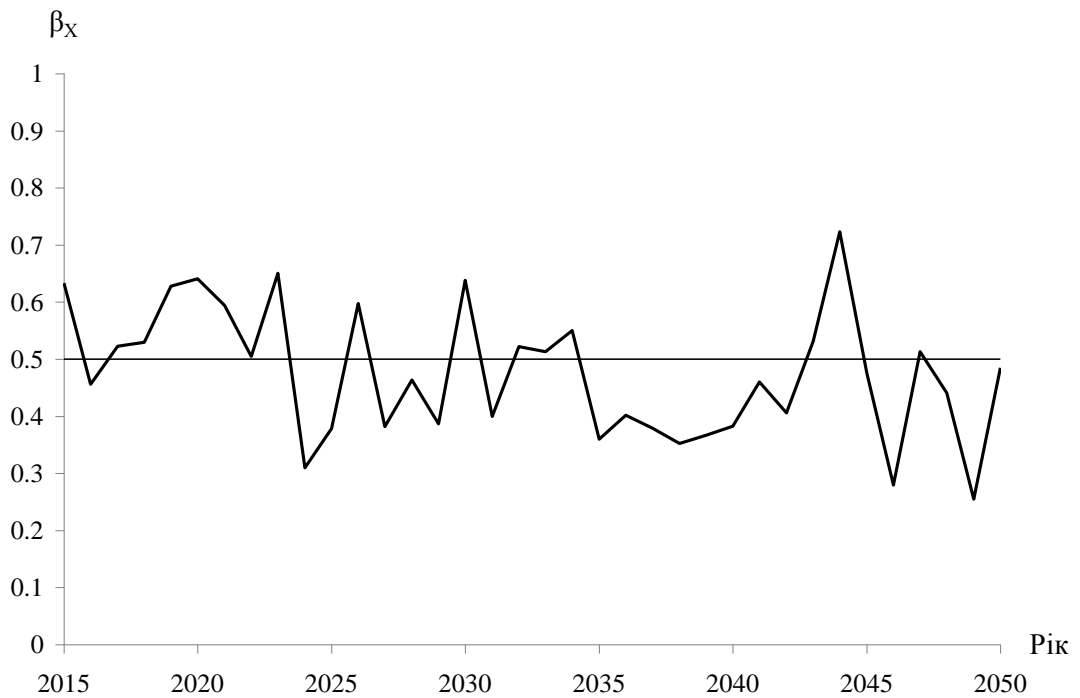


Рис. 7.8. Хронологічний хід індекса β_X за сценарієм А2, метеостанція Одеса, 2015-2050 рр.

Великою перевагою індексу SPEI є можливість його розрахунку за даними сценаріїв [8,11,13,14].

Фактичні й розраховані за сценаріями А1В та А2 коливання SPEI на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я представлені на рис. 7.9, 7.10, Л1-Л6.

На розглядуваній території до середини ХХІ сторіччя за сценарієм А1В прогнозується від 11 (в південній частині) до 15 (в північній частині) випадків посух різної інтенсивності та тривалості, за сценарієм А2 – дещо менше (від 8 до 12). Найчастіше будуть спостерігатися слабкі посухи – частота їх появи за сценаріями в середньому по території становить 40% (табл. 7.8). Інтенсивних та екстремальних посух в порівнянні із фактичними даними побільшає.

По тривалості також переважають слабкі посухи за обома сценаріями (табл. 7.9). У порівнянні із спостереженими даними за сценарієм А1В кількість місяців із інтенсивною посухою зменшиться, а із екстремальною – збільшиться. За сценарієм А2, навпаки.

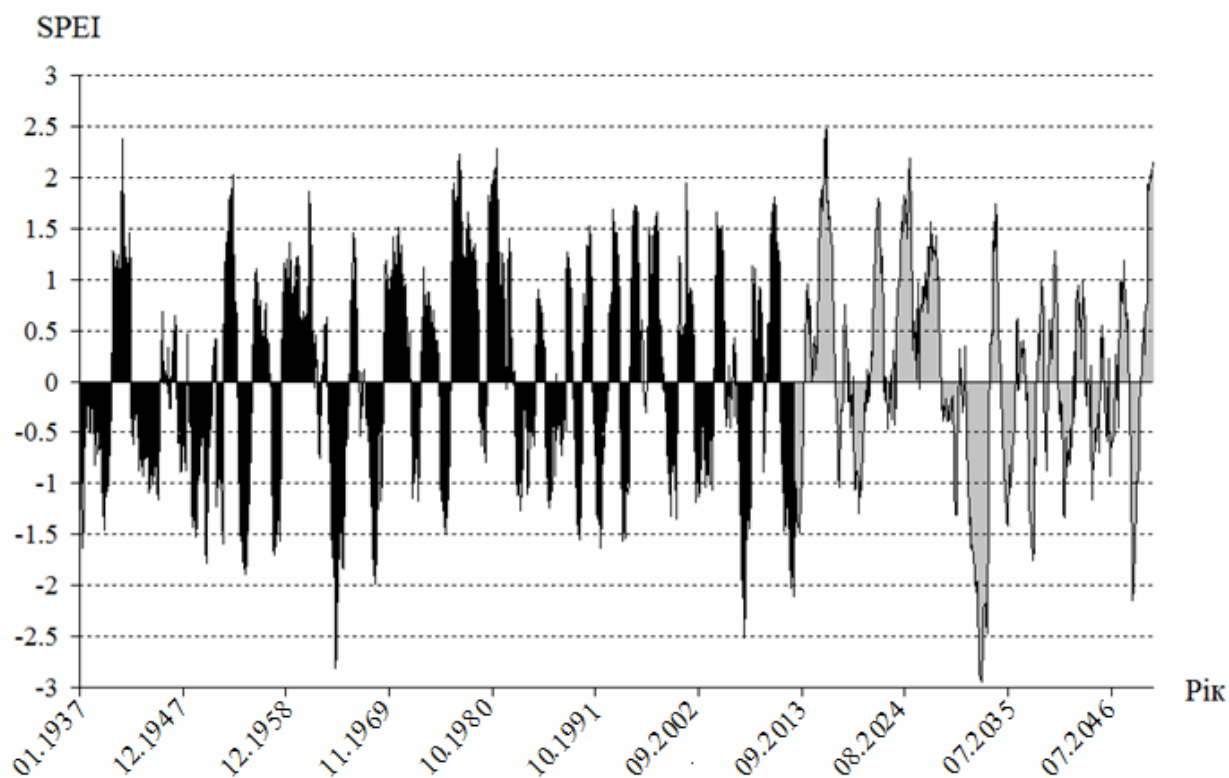


Рис. 7.9. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Баштанка, 1937-2012 рр.(чорний колір) та 2013-2050 рр. (сірий колір) (за сценарієм А1В)

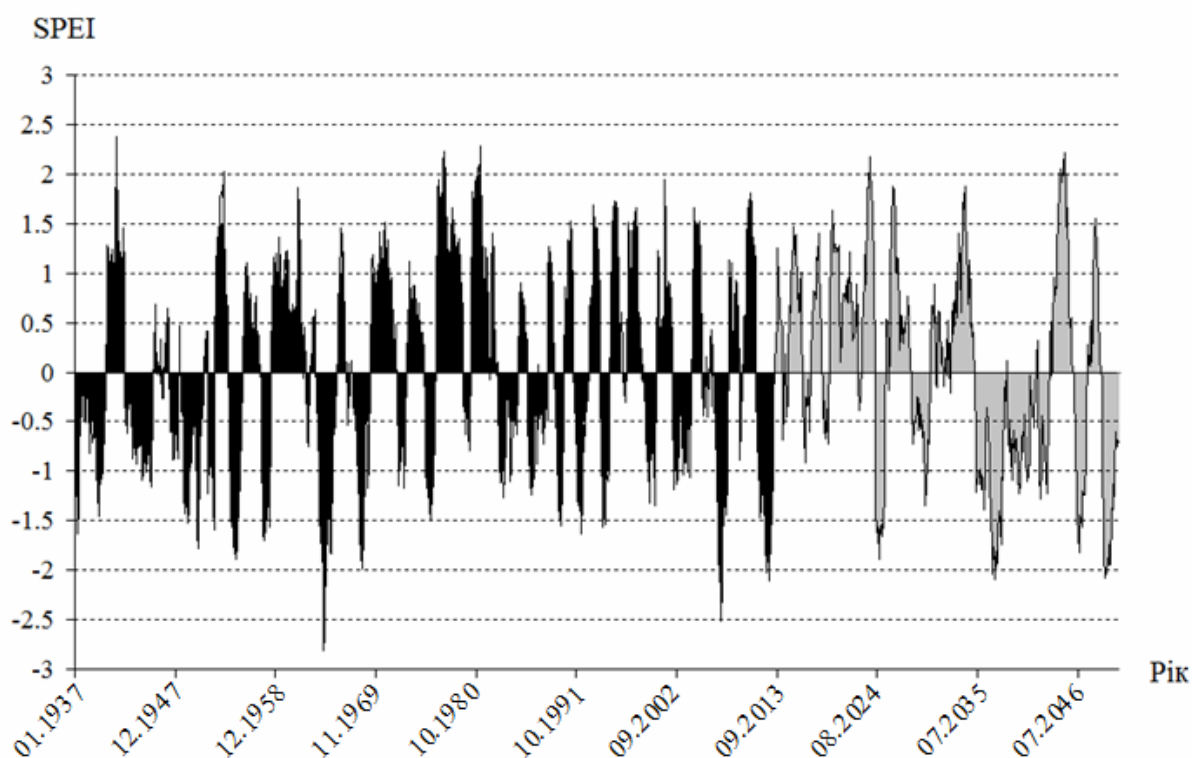


Рис. 7.10. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Баштанка, 1937-2012 рр.(чорний колір) та 2013-2050 рр. (сірий колір) (за сценарієм А2)

Таблиця 7.8

Частота появи (%) посух різної суворості згідно значень індексу SPEI

Метео-станція	Сценарій	Категорія посухи			
		близька до нормальної (слабка)	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка	A1B	53	20	7	20
	A2	33	25	25	17
Баштанка	A1B	25	50	8	17
	A2	40	20	20	20
Одеса	A1B	36	27	18	18
	A2	50	0	13	38
Ізмаїл	A1B	55	18	18	9
	A2	36	18	36	9

Тривалість посух різних категорій по даним сценаріїв А1В та А2 на метеостанціях Північно-Західного Причорномор'я (у місяцях)

Метеостанції	Сценарій	Загальна кількість місяців з посухою	Категорія посухи			
			слабка	помірна (помірно суха)	інтенсивна (дуже суха)	екстремальна (вкрай суха)
Любашівка (2012-2050 рр.)	A1B	232	150	44	24	14
	A2	233	150	39	34	10
Баштанка (2013-2050 рр.)	A1B	237	168	40	13	16
	A2	221	129	52	38	2
Одеса (2014-2050 рр.)	A1B	220	149	31	25	15
	A2	227	138	52	26	11
Ізмаїл (2013-2050 рр.)	A1B	219	123	63	21	12
	A2	229	136	47	43	3

За даними про середні багаторічні величини норм зонального (кліматичного) річного стоку та коефіцієнти варіації й асиметрії, визначені по методиках моделі «клімат-стік», були розраховані величини стоку маловодних (із 75-відсотковою забезпеченістю) та дуже маловодних (із 95-відсотковою забезпеченістю) років. Розрахунки виконувались по метеорологічних даних сценаріїв А1В та А2 для 28 метеорологічних станцій України, рівномірно розташованих на території України. Базовим є період 1986-2005 рр. (рис. 7.11, рис. М.1), відносно цього періоду виконувалось порівняння з кліматичним річним стоком маловодних років ($P = 75\%$) та дуже маловодних років ($P = 95\%$) у 2011-2030 рр., 2031-2050 рр.

Згідно із отриманими даними за сценарієм А1В річний стік маловодних років (75%-вої забезпеченості) у період 2011-2030 рр. буде зменшуватись на півночі України і досягне 50 мм, при цьому на сході України буде зростати на 2-6 мм (рис.7.12).

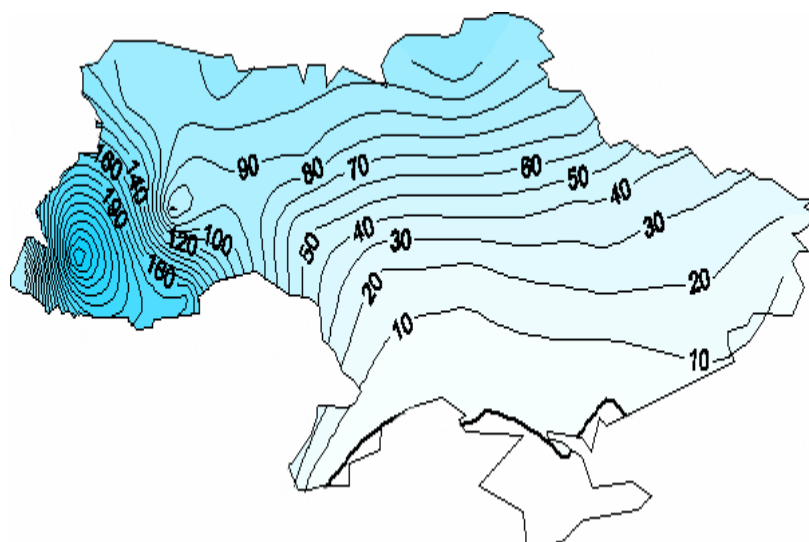


Рис. 7.11. Просторовий розподіл річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (мм) за період 1986-2005 рр. (сценарій А1В)

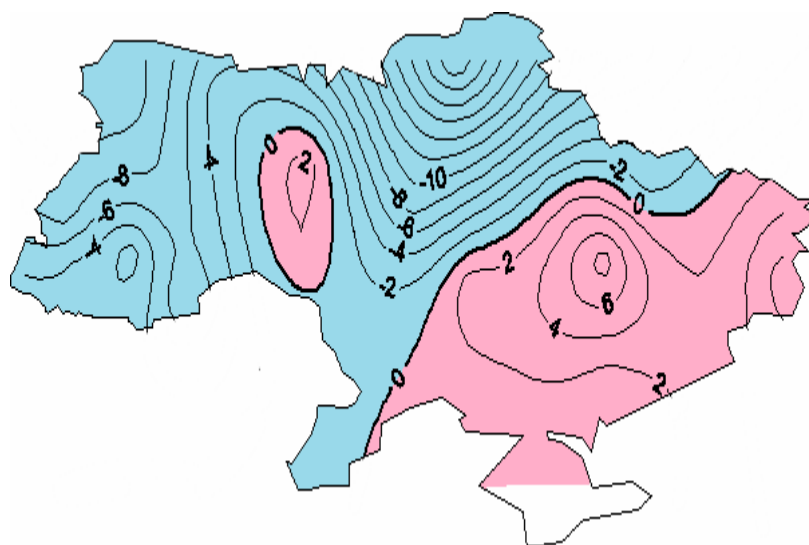


Рис. 7.12. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (мм) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій А1В)

У роки 95%-вої забезпеченості зменшення на півночі становитиме 15 мм (стік досягне 35-40 мм), проте на сході буде зростати на 2 мм (рис. М.2). Для періоду 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А1В) тенденція до зменшення річного стоку маловодних і дуже маловодних років буде продовжуватися і пошириться на всю територію України (рис. 7.13, рис. М.3).

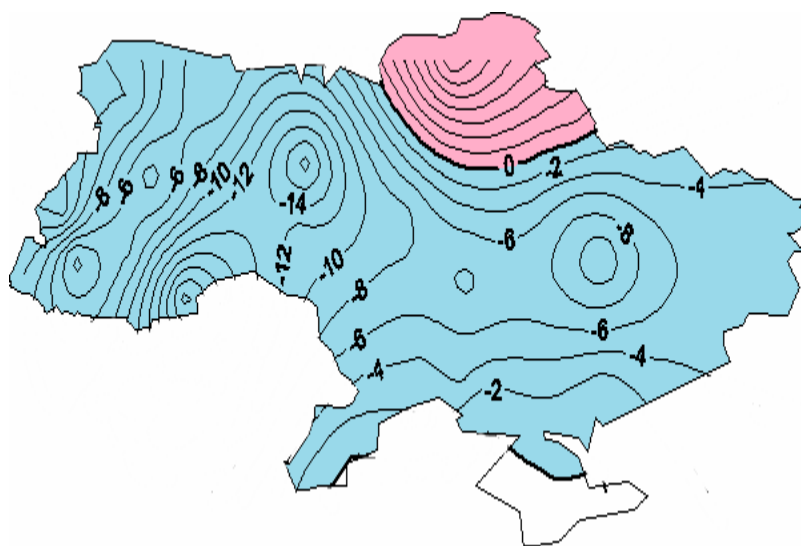


Рис. 7.13. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (мм) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А1В)

Згідно із сценарієм А2, у період 2011-2030 рр., який характеризується збільшенням опадів, річний стік маловодних та дуже маловодних років зростатиме більш ніж на 40 мм у західних областях України та на 5-0 мм – у межах Одеської області (рис. 7.14, рис. М.4). На сході і північному сході очікуватиметься незначне зменшення (5-10 мм). У наступний період (2031-2050 рр.) стік маловодних та дуже маловодних років почне зменшуватися на значній території України (рис. 7.15, рис. М.5). Ця різниця, виражена в відсотках, досягне на півдні України мінус 60-70% для років 75%-вої забезпеченості (рис. 7.16), та мінус 10% – у роки 95%-вої забезпеченості (рис. М.6).

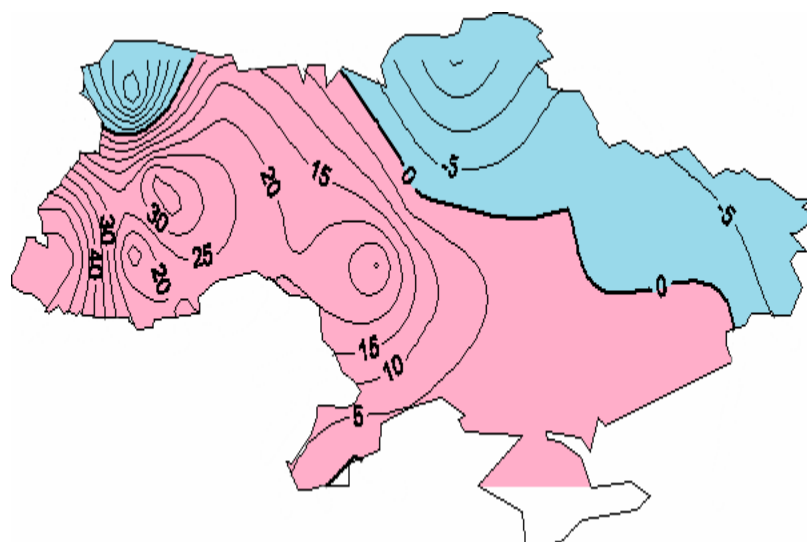


Рис. 7.14. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (мм) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій А2)

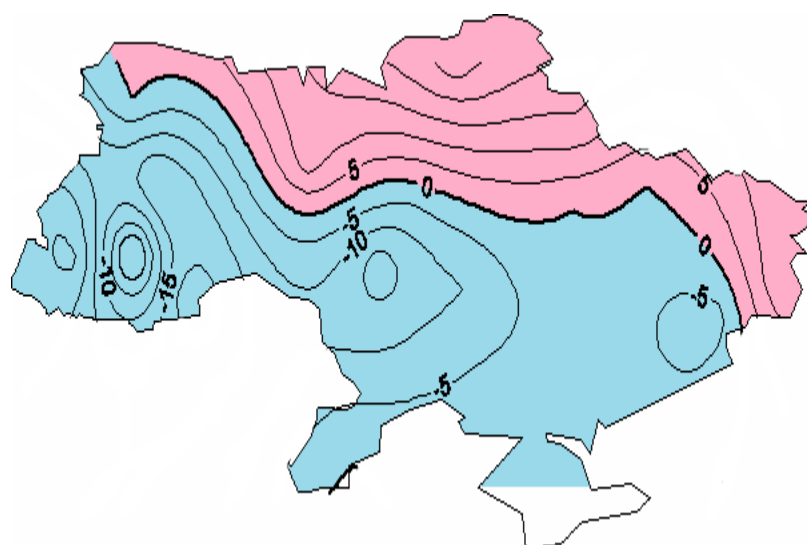


Рис. 7.15. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (мм) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А2)

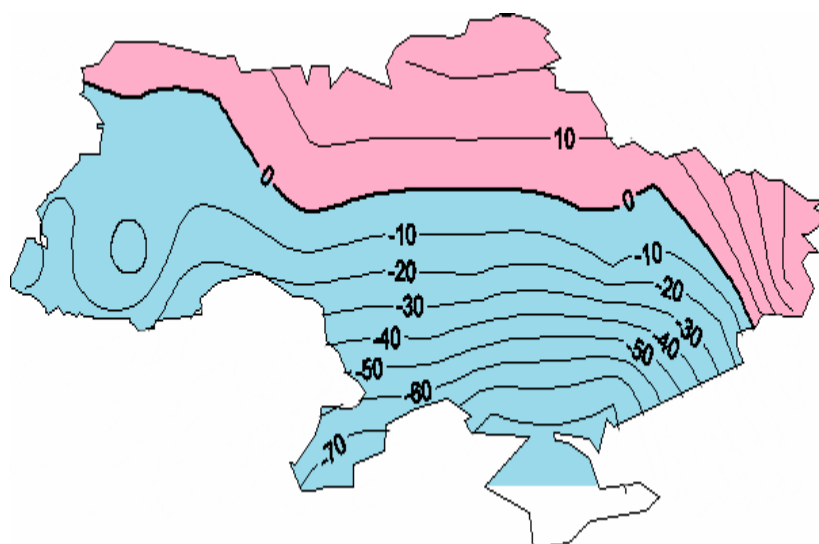


Рис. 7.16. Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку 75%-вої забезпеченості (%) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А2)

7.6 Визначення чинників формування мінімального стоку на основі факторного аналізу

7.6.1. Основи методу факторного аналізу

У факторному аналізі висувається гіпотеза про те, що дані спостережень є лише непрямими характеристиками явища, яке вивчається, і це явище можна описати за допомогою невеликої кількості деяких параметрів або властивостей. Такі теоретичні параметри або властивості називаються факторами. Фактор є гіпотетичною скритою величиною, яка ураховує кореляцію щонайменше між двома спостереженими змінними [66].

Фактори є однаковими для всіх розглядуваних гідрометеорологічних величин, але входять в кожну з них із своєю вагою. Вони не повністю описують вихідні змінні. Залишається частина інформації, яку називають залишками [121].

Позитивна властивість методу факторного аналізу полягає в тому, що безліч змінних, пов'язаних одна з одною кореляційними зв'язками, описується набагато меншим числом факторів [69].

Задача факторного аналізу - представити дані спостережень у вигляді лінійних комбінацій факторів [190]:

$$x_j = \sum_{p=1}^k l_{jp} f_p + v_j, \quad (j=1, m) \quad (7.26)$$

де x_j – центрована початкова змінна; m – кількість змінних; k – число факторів ($k \ll m$); p – номер фактора; l_{jp} – навантаження j -тої змінної на p -тий фактор або навантаження p -того фактора на j -ту змінну (факторна вага); f_p – некорельовані між собою фактори; v_j – незалежні залишки (частина даних, яка не описується кінцевим числом факторів).

Випадкові величини v_j незалежні як між собою, так і від величин f_p . Якщо у рівності (7.26) розгорнути суму, то прийдемо до системи рівнянь вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = l_{11}f_1 + l_{12}f_2 + \dots + l_{1k}f_k + v_1 \\ x_2 = l_{21}f_1 + l_{22}f_2 + \dots + l_{2k}f_k + v_2 \\ \dots \\ x_j = l_{j1}f_1 + l_{j2}f_2 + \dots + l_{jk}f_k + v_j \\ \dots \\ x_m = l_{m1}f_1 + l_{m2}f_2 + \dots + l_{mk}f_k + v_m \end{array} \right. , \quad (7.27)$$

де $j=1, 2, \dots, m$.

Введемо такі позначення:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix}; \quad (7.28)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_k \end{bmatrix}; \quad (7.29)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix}; \quad (7.30)$$

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1k} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{m1} & l_{m2} & \dots & l_{mk} \end{bmatrix}. \quad (7.31)$$

Всі вхідні величини x_j виражаються через однакові випадкові величини f_p ($p=\overline{1,k}$), але з різними ваговими коефіцієнтами l_{jp} .

Матрична форма рівняння (7.26) має вигляд [80]

$$X = LF + V, \quad (7.32)$$

де X – матриця центрованих вихідних величин; L – матриця факторних навантажень; F – матриця факторів; V – матриця незалежних залишків.

Матриця коваріацій знаходиться як

$$K = M[X \cdot X'] , \quad (7.33)$$

де X' – транспонована матриця центрованих вихідних величин.

Матриця коваріацій може бути вираженою через матриці факторних навантажень та дисперсій залишків [190]

$$K = LL' + D, \quad (7.34)$$

де K – матриця коваріацій; L – матриця факторних навантажень; L' – транспонована матриця факторних навантажень L ; D – діагональна матриця, яка складається з дисперсій e_j незалежних залишків й має вигляд

$$D = \begin{bmatrix} e_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & e_m \end{bmatrix} \quad (7.35)$$

Таким чином, коваріаційну матрицю можна виразити через матрицю вагових навантажень на фактори та діагональну матрицю дисперсій залишків. Фактори ураховують зв'язок між змінними, тобто вони представляють структуру коваріаційної або кореляційної матриці в термінах факторної моделі. Проте самі фактори представляються некорельованими (ортогональними).

Елементи матриці коваріацій можуть бути представлені через факторні ваги та залишкові дисперсії наступним чином

$$K_{jj} = \sum_{p=1}^k l_{jp}^2 + e_j, \quad \text{коли } j = i; \quad (7.36)$$

$$K_{ji} = \sum_{p=1}^k l_{jp} l_{ip}, \quad \text{коли } j \neq i. \quad (7.37)$$

Оскільки в матриці коваріацій на діагоналі розташовані дисперсії змінних, то можна зробити висновок, що квадрати факторних навантажень l_{ip}^2 є частками дисперсій змінних, які описуються відповідними факторами.

Коли вибіркова кореляційна матриця відома, рівняння (7.36) дає можливість знайти дисперсії залишків після розрахунків вагових коефіцієнтів факторів:

$$e_j = K_{jj} - \sum_{p=1}^k l_{jp}^2. \quad (7.38)$$

Сума квадратів факторних навантажень по всіх виділених факторах може бути записаною таким чином

$$h_j^2 = \sum_{p=1}^k l_{jp}^2. \quad (7.39)$$

Отримана величина h_j^2 визначає повноту відображення j -тої змінної в усіх факторах f_p й має назву сумарного внеску факторів.

Повний внесок S_p (у відсотках) фактора у сумарну дисперсію змінних визначається виразом

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^m l_{pj}^2}{m} 100\%, \quad (7.40)$$

де m - кількість розглядуваних змінних.

Загальний внесок всіх виділених факторів в сумарну дисперсію досліджуваних змінних дорівнює

$$S = \sum_{p=1}^k S_p. \quad (7.41)$$

Величина S має назву міри факторизації.

Як правило, при практичному застосуванні до розгляду приймається така кількість факторів, яка описує понад 70% сумарної дисперсії змінних.

Оцінити факторні ваги (факторне навантаження) можна за методом найбільшої правдоподібності [121]. Але цей метод потребує великих обчислень. На практиці найбільш поширений апроксимаційний метод визначення факторних навантажень, який має назву центроїдного метода [190]. Визначення самих факторів відбувається як пошук лінійної функції фактора f_r від вихідної змінної x_j .

7.6.2. Чинники мінімального стоку

Виділення основних чинників, які впливають на характеристики літньо-осінньої межні на річках Північно-Західного Причорномор'я виконано за допомогою факторного аналізу.

Об'єктом дослідження є 19 водозборів на території Північно-Західного Причорномор'я (Україна та Молдова) із площею від 152 до 6670 км². Як предмет дослідження розглянуті характеристики літньо-осінньої межні та показники умов її формування, а саме: тривалість літньо-осінньої межні $t_{меж}$ та низького стоку $t_{н.с.}$ (під періодом низького стоку розуміється найбільш маловодний період під час літньо-осінньої межні), витрати води за період літньо-осінньої межні $Q_{меж}$ та період низького стоку $Q_{н.с.}$, шар стоку в період літньо-осінньої межні $Y_{меж}$, модуль 30-ти добового стоку літньо-осінньої межні $q_{30л}$, коефіцієнт переходу до 30-добового мінімального стоку літньо-осінньої межні, виражений відносно норми річного стоку k_l (дивись розділ 4), шар підземного стоку $Y_{зр}$, норма інфільтрації в підземні води U_0 , логарифм площі водозбору $\lg(F+1)$, середня висота водозбору $H_{сер}$, залісеність f_l , заболоченість $f_б$, відмітка врізу русла $H_{вр}$ у підстильну поверхню, середні багаторічні значення опадів X , характеристика посушливості β_X , число днів із температурою вищою 15°C $\Sigma D_{T>15}$.

В результаті застосування факторного аналізу була одержана матриця кореляцій r (табл. 7.8). Найбільш високі коефіцієнти кореляції отримані між

середньою за межень витратою $Q_{\text{меж}}$ та логарифмам площі водозбору $\lg(F+1) - r=0,70$; середньою багаторічною величиною 30-добового мінімуму літньо-осінньої межені та нормою інфільтрації опадів U_0 у підстильну поверхню $r=0,84$; коефіцієнтами k_L та нормою інфільтрації опадів U_0 $r=0,78$. Більшість показників стоку межені характеризуються високими коефіцієнтами кореляції.

В результаті застосування факторного аналізу встановлено, що матриця кореляцій описується 4-ма факторами. На перший фактор припадає 29,8% дисперсії вихідних даних, на другий – 28,0%, третій – 24,1%, четвертий – 6,07%. Сумарний внесок перших трьох факторів становить 81,9%, чотирьох – 88,0%. Факторні навантаження l_{ij} для кожної i -тої змінної представлені в табл. 7.9. За отриманими результатами виконана інтерпретація фізичного змісту кожного із факторів [15,17].

Перший фактор найбільше впливає на показники меженого стоку ($q_{30\text{л}}$, $Y_{\text{меж}}$, k_L). Високі значення факторних вагів ($>0,80$) характерні і для величин підземного стоку ($Y_{\text{зр}}$, U_0), що вказує на зв'язок між стоком межені та підземним живленням річок. *Другий фактор* показує роль площі водозбору у формуванні витрат меженого періоду ($Q_{\text{меж}}$, $Q_{\text{н.с}}$). *Третій фактор* пов'язаний із характеристиками зволоженості (посушливості). Найбільш високі значення факторних навантажень припадають на опади, відношення β_X , число діб із температурою більше 15°C , заболоченість та показники висоти місцевості ($H_{\text{сер}}$, $H_{\text{зр}}$). Висотні відмітки зменшуються у напрямку до моря і разом із зменшенням висоти місцевості (у напрямку з північного заходу на південний схід) відбувається зростання температур повітря, тривалість літнього сезону ($\Sigma D_{T>15}$) та зменшується кількість опадів X . *Четвертий фактор* (найменш інформативний) впливає на характеристики тривалості межені і показує їх зв'язок із лісистістю. Як відомо, ліс виконує внутрішньорічний перерозподіл стоку, сприяючи зростанню внеску підземного живлення у період межені. Ця обставина призводить до зменшення тривалості низького стоку із збільшенням відносних площ, зайнятих лісовими насадженнями.

Таблиця 7.8

Матриця коефіцієнтів кореляції

	$\lg(F+1)$	$H_{сер},$ м	$f_{л},$ %	$f_{б},$ %	$U_0,$ мм	$Y_{зр},$ мм	$X,$ мм	β_X	$\Sigma D_{T>15},$ діб	$H_{вр},$ м абс.	$t_{меж},$ діб	$Q_{меж},$ м ³ /с	$Y_{меж},$ мм	$Q_{н.с.},$ м ³ /с	$t_{н.с.},$ діб	$q_{30л},$ л/ (с·км ²)	$k_{л}$
$\lg(F+1)$	1,00	-0,47	-0,27	-0,04	-0,46	-0,26	-0,25	-0,23	-0,09	-0,28	-0,27	0,70	-0,07	0,69	-0,01	-0,22	-0,29
$H_{сер},$ м	-0,47	1,00	0,12	0,13	0,59	0,55	0,59	0,62	-0,23	0,79	-0,44	-0,02	0,20	0,00	-0,50	0,35	0,30
$f_{л},$ %	-0,27	0,12	1,00	-0,02	0,01	0,01	0,12	0,03	0,02	-0,03	-0,26	-0,24	-0,10	-0,26	-0,23	-0,03	0,20
$f_{б},$ %	-0,04	0,13	-0,02	1,00	0,08	0,14	0,21	0,22	-0,22	0,38	-0,23	0,03	-0,12	0,02	-0,27	0,19	0,09
$U_0,$ мм	-0,46	0,59	0,01	0,08	1,00	0,95	0,67	0,79	-0,40	0,55	0,03	0,06	0,69	0,11	-0,61	0,84	0,78
$Y_{зр},$ мм	-0,26	0,55	0,01	0,14	0,95	1,00	0,75	0,85	-0,43	0,58	-0,10	0,22	0,73	0,27	-0,69	0,81	0,73
$X,$ мм	-0,25	0,59	0,12	0,21	0,67	0,75	1,00	0,93	-0,41	0,66	-0,33	0,18	0,38	0,21	-0,75	0,51	0,52
β_X	-0,23	0,62	0,03	0,22	0,79	0,85	0,93	1,00	-0,58	0,76	-0,23	0,23	0,41	0,27	-0,72	0,62	0,55
$\Sigma D_{T>15},$ діб	-0,09	-0,23	0,02	-0,22	-0,40	-0,43	-0,41	-0,58	1,00	-0,61	-0,06	-0,41	-0,01	-0,46	0,23	-0,38	-0,23
$H_{вр},$ м абс.	-0,28	0,79	-0,03	0,38	0,55	0,58	0,66	0,76	-0,61	1,00	-0,32	0,08	0,09	0,12	-0,41	0,27	0,14
$t_{меж},$ діб	-0,27	-0,44	-0,26	-0,23	0,03	-0,10	-0,33	-0,23	-0,06	-0,32	1,00	-0,31	0,14	-0,30	0,92	0,09	0,05
$Q_{меж},$ м ³ /с	0,70	-0,02	-0,24	0,03	0,06	0,22	0,18	0,23	-0,41	0,08	-0,31	1,00	0,21	0,99	-0,45	0,32	0,16
$Y_{меж},$ мм	-0,07	0,20	-0,10	-0,12	0,69	0,73	0,38	0,41	-0,01	0,09	0,14	0,21	1,00	0,22	-0,43	0,66	0,69
$Q_{н.с.},$ м ³ /с	0,69	0,00	-0,26	0,02	0,11	0,27	0,21	0,27	-0,46	0,12	-0,30	0,99	0,22	1,00	-0,46	0,33	0,15
$t_{н.с.},$ діб	-0,01	-0,50	-0,23	0,27	-0,61	-0,69	-0,75	-0,72	0,23	-0,41	0,62	-0,45	-0,43	-0,46	1,00	-0,62	-0,62
$q_{30л},$ л/(с·км ²)	-0,22	0,35	-0,03	0,19	0,84	0,81	0,51	0,62	-0,38	0,27	0,09	0,32	0,66	0,33	-0,62	1,00	0,87
$k_{л}$	-0,29	0,30	0,20	0,09	0,78	0,73	0,52	0,55	-0,23	0,14	0,05	0,16	0,69	0,15	-0,62	0,87	1,00

Факторні ваги та залишки

Змінна	l_{1j}	l_{2j}	l_{3j}	l_{4j}	v_j
$\lg(F+1)$	0.28253	-0.87659	-0.22005	0.01314	-0.00030
$H_{сер}, \text{ м}$	-0.31425	0.21242	0.68434	-0.33009	-0.00210
$f_l, \%$	-0.05136	0.30634	-0.03036	-0.65301	-0.00094
$f_b, \%$	0.06899	-0.03958	0.48703	-0.08416	-0.00079
$U_0, \text{ мм}$	-0.88045	0.14086	0.40133	0.04069	-0.00178
$Y_{ep}, \text{ мм}$	-0.85639	-0.04510	0.43623	-0.02972	-0.00182
$X, \text{ мм}$	-0.55734	-0.04117	0.63049	-0.27301	-0.00204
β_X	-0.61250	-0.07564	0.71338	-0.09381	-0.00225
$\Sigma D_{T>15}, \text{ діб}$	0.19465	0.31656	-0.66150	-0.35109	-0.00141
$H_{вр}, \text{ м абс}$	-0.17086	0.05218	0.95223	-0.02509	-0.00280
$t_{меж}, \text{ діб}$	-0.13965	0.33899	-0.33641	0.81964	-0.00214
$Q_{меж}, \text{ м}^3/\text{с}$	-0.18764	-0.94947	0.09522	-0.00657	-0.00012
$Y_{меж}, \text{ мм}$	-0.86475	-0.09007	-0.14227	0.05351	-0.00134
$Q_{н.с.}, \text{ м}^3/\text{с}$	-0.20190	-0.94528	0.13930	0.02441	-0.00017
$t_{н.с.}, \text{ діб}$	0.60060	0.32725	-0.36320	0.58042	-0.00177
$q_{30л}, \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	-0.89650	-0.12197	0.17597	0.07569	-0.00147
k_l	-0.91255	0.02342	0.02004	-0.11904	-0.00136

З викладеного витікає, що основний вплив на меженний стік чинить підземна складова стоку річок, яка формується за рахунок припливу підземних вод. З підземною складовою пов'язана лісистість. Показники посушливості залежать від опадів, висоти місцевості, тобто є відображенням взаємодії метеорологічних чинників, у той час як характеристики межені у значній мірі залежать від чинників підстильної поверхні.

7.7 Оцінка впливу посух на характеристики меженного стоку на основі регресійного аналізу

Для дослідження зв'язків між характеристиками літньо-осінньої межени та показниками посухи використано метод множинної лінійної регресії з покроковим вибором оптимальних предикторів [80].

Математична модель множинної лінійної регресії має вигляд

$$\tilde{y}_i - \bar{y} = b_1(x_{1i} - \bar{x}_1) + b_2(x_{2i} - \bar{x}_2) + b_3(x_{3i} - \bar{x}_3) \dots + b_k(x_{ki} - \bar{x}_k), \quad (7.42)$$

де $\tilde{y}_i - \bar{y}$ - центровані значення залежної величини (предиктанта); $x_{ji} - \bar{x}_j$ - центровані значення j -го аргументу (предиктора); $b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$ - коефіцієнти рівняння множинної лінійної регресії; k - число предикторів.

При застосуванні моделі регресійного аналізу з покроковим вибором предикторів використовувався аналіз змін коефіцієнтів множинної кореляції R , частинних коефіцієнтів кореляції та регресійної і залишкової складових регресійних рівнянь за допомогою F-критерію [190]

$$r_{yx_k \bullet x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_n} = \frac{D_{yx_k}}{\sqrt{|R_x|} D_{yx_k}^-}, \quad (7.43)$$

де $|R_x|$ - визначник матриці кореляцій, яка містить у собі тільки коефіцієнти кореляцій між предикторами; $D_{yx_k}, D_{yx_k}^-$ ($k = 1, 2, \dots, n$) - мінори матриці кореляцій; D_{yx_k} - мінор розширеної матриці R_{yx} , який складається таким чином: стовпець, на першому місці в якому розташовується кореляційний коефіцієнт r_{yx_k} , переставляється на перше місце, а на його місце ставиться перший стовпець,

після чого викреслюються перший рядок і перший стовпець з матриці кореляцій; $D_{yx_k}^-$ – мінор розширеної матриці R_{yx} , з якої викреслюється рядок і стовпець, що містять парний коефіцієнт кореляції r_{yx_k} , іншими словами, виключається парна кореляція r_{yx_k} .

З метою встановлення зв'язків між характеристиками літньо-осінньої межени та показниками метеорологічної посухи досліджувались річки Північно-Західного Причорномор'я з використанням методу множинної регресії [80]. Оскільки більшість річок цієї території пересихає у дуже маловодні роки, як розрахункова розглядалася забезпеченість стоку, що дорівнює 75%.

Для дослідження були обрані річки Савранка та Мертвовід, які є притоками р. Південний Буг. Річка Савранка (площа водозбору $F=1740$ км²) має стійке підземне живлення й вплив водогосподарської діяльності, який не перевищує 10%. Живлення річки здійснюється із водоносних горизонтів кристалічних порід і малодобітних горизонтів в покривних відкладах [155]. Протікає територією Одеської та Вінницької областей. Річка Мертвовід має площу водозбору 1766 км². Найбільше на гідрологічний режим річки впливає зарегульованість стоку [180]. Протікає в Кіровоградській та Миколаївській областях.

Предиктантами в моделі множинної лінійної регресії бралися середні місячні витрати води Q_m за період літньо-осінньої межени, мінімальні добові витрати води $Q_{\min,d}$ для кожного місяця межени, а також тривалість періоду, коли фактичні витрати води були нижчими за витрати води P -ої забезпеченості $t_{Q < Q_p}$. Як потенційні предиктори, використовувалися середньомісячні та мінімальні добові витрати води, суми опадів, температура повітря, індекс посушливості SPEI, індекс Північно-Атлантичного коливання (ПАК), кількість днів у місяці з температурою, вищою за 15°C. При побудові регресійних моделей предиктори бралися із різним зсувом у часі (від 1 до 2 місяців).

На основі застосування методу покрокового вибору предикторів встановлено, що основним чинником, який може бути обраним для опису формування стоку літньо-осінньої межени є середня місячна або мінімальна добова витрата за попередній розрахунковий місяць. При розгляді даних до 1989 року посушливість (індекс SPEI) не виявлена як статистично значущий предиктор. За даними після 1989 року індекс SPEI є другим по значущості предиктором при визначенні середнього місячного стоку у період межени та мінімального добового стоку за кожен місяць [9].

Дослідження показали, що зв'язки розглянутих предиктантів із індексами ПАК, опадами попередніх місяців є недостатньо тісними ($R = 0,25 \div 0,35$).

Загальний вигляд розроблених розрахункових залежностей є таким:

$$Q_{M,i} = a_0 + a_1 Q_{M,i-1} + a_2 SPEI_{i-1}; \quad (7.44)$$

$$Q_{\min \partial, i} = b_0 + b_1 Q_{\min \partial, i-1} + b_2 SPEI_{i-1}; \quad (7.45)$$

$$t_{Q < Q_P, i} = c_0 - c_1 Q_{M,i-1} - c_2 SPEI_{i-1}, \quad (7.46)$$

де Q_M – середня місячна витрата води, м³/с; $Q_{\min, \partial}$ – мінімальна добова витрата води, м³/с; $t_{Q < Q_P}$ – тривалість періоду, коли витрати води були нижчими за витрати P -ої забезпеченості, д; $SPEI$ – індекс посушливості; i – номер календарного місяця.

З визначених залежностей випливає, що витрата попереднього місяця $Q_{M,i-1}$ характеризує водність річки, яка забезпечується у період літньо-осінньої межени підземним живленням. По мірі зростання цієї величини збільшується витрата води наступного місяця й зменшується тривалість часу, у межах якого добові витрати будуть меншими від заданого порогу.

Індекс SPEI у період літньо-осінньої межені набирає від'ємних значень. Зростання SPEI зумовлює зменшення характеристик меженного стоку та збільшує тривалість стояння малих витрат води.

При дослідженні мінімального добового стоку за період літньо-осінньої межені на р. Савранка найбільш тісні кореляційні зв'язки визначені для місяців червень, липень та серпень, для яких коефіцієнт множинної кореляції $R > 0,75$. Для вересня та жовтня визначені коефіцієнти множинної кореляції зменшуються до 0,45 [205]. На р. Мертвовід найтісніші зв'язки виявлені для осінніх місяців ($R = 0,86 \div 0,95$), проте влітку коефіцієнти R є також високими.

Покращити точність розрахунків у місяці з невеликим коефіцієнтом множинної кореляції можливо за рахунок використання опадів не попереднього, а поточного місяця. Наприклад, для вересня (р.Савранка) одержані такі рівняння:

$$Q_{\min, \partial_{IX}} = 0,782 + 0,559Q_{\min, \partial_{VIII}} + 0,053SPEI_{VIII}, R=0,67; \quad (7.47)$$

$$Q_{\min, \partial_{IX}} = 0,430 + 0,601Q_{\min, \partial_{VIII}} + 0,047SPEI_{VIII} + 0,006X_{IX}, R=0,74, \quad (7.48)$$

де X_{IX} – сума опадів у вересні, мм.

Введення у регресійну модель додаткового предиктора X_{IX} значуще поліпшує її якість. Проте використання у моделі опадів поточного (розрахункового) місяця обмежує придатність регресійної моделі до прогнозування.

Запропонована структура регресійної моделі із використанням таких предикторів, як водність та індекс SPEI попередніх місяців, представлених рівняннями (7.44) – (7.46) може бути використана для прогнозування характеристик мінімального стоку. Регресійні рівняння для визначення середнього місячного та мінімального добового стоку за період літньо-осінньої межені представлені в табл. 7.10, 7.11.

**Регресійні рівняння для визначення середнього місячного стоку за період
літньо-осінньої межні**

Річка-пост	Вигляд регресійного рівняння	Коефіцієнт множинної кореляції R
р. Савранка – с. Осички	$Q_{M_V} = 1,71 + 0,198Q_{M_{IV}} + 0,251SPEI_{IV}$	0,47
	$Q_{M_{VI}} = 0,594 + 0,759Q_{M_V} + 0,348SPEI_V$	0,75
	$Q_{M_{VII}} = 0,844 + 0,648Q_{M_{VI}} + 0,598SPEI_{VI}$	0,80
	$Q_{M_{VIII}} = -0,113 + 0,867Q_{M_{VII}} - 0,225SPEI_{VII}$	0,89
	$Q_{M_{IX}} = 1,22 + 0,666Q_{M_{VIII}} - 0,352SPEI_{VIII}$	0,46
	$Q_{M_X} = 2,52 + 0,043Q_{M_{IX}} + 0,449SPEI_{IX}$	0,48
р. Мертвовід – с. Крива Пустош	$Q_{M_V} = 0,133 + 0,279Q_{M_{IV}} + 0,008SPEI_{IV}$	0,59
	$Q_{M_{VI}} = 0,133 + 0,380Q_{M_V} + 0,023SPEI_V$	0,51
	$Q_{M_{VII}} = -0,049 + 1,28Q_{M_{VI}} + 0,013SPEI_{VI}$	0,63
	$Q_{M_{VIII}} = 0,091 + 0,123Q_{M_{VII}} + 0,020SPEI_{VII}$	0,55
	$Q_{M_{IX}} = 0,144 + 0,070Q_{M_{VIII}} + 0,031SPEI_{VIII}$	0,70
	$Q_{M_X} = -0,152 + 2,81Q_{M_{IX}} - 0,009SPEI_{IX}$	0,76

**Регресійні рівняння для визначення мінімального добового стоку за
період літньо-осінньої межні**

Річка-пост	Вигляд регресійного рівняння	Коефіцієнт множинної кореляції R
р.Савранка – с. Осички	$Q_{\min, \partial V} = 0,650 + 0,485Q_{\min, \partial IV} + 0,203SPEI_{IV}$	0,72
	$Q_{\min, \partial VI} = 0,274 + 0,759Q_{\min, \partial V} + 0,162SPEI_V$	0,80
	$Q_{\min, \partial VII} = 0,298 + 0,825Q_{\min, \partial VI} + 0,408SPEI_{VI}$	0,89
	$Q_{\min, \partial VIII} = 0,209 + 0,754Q_{\min, \partial VII} + 0,074SPEI_{VII}$	0,80
	$Q_{\min, \partial IX} = 0,782 + 0,559Q_{\min, \partial VIII} + 0,053SPEI_{VIII}$	0,67
	$Q_{\min, \partial X} = 1,66 + 0,090Q_{\min, \partial IX} + 0,314SPEI_{IX}$	0,45
р.Мертвовід – с. Крива Пустош	$Q_{\min, \partial V} = 0,039 + 0,473Q_{\min, \partial IV} + 0,005SPEI_{IV}$	0,76
	$Q_{\min, \partial VI} = 0,065 + 0,303Q_{\min, \partial V} + 0,011SPEI_V$	0,52
	$Q_{\min, \partial VII} = 0,036 + 0,510Q_{\min, \partial VI} + 0,014SPEI_{VI}$	0,71
	$Q_{\min, \partial VIII} = 0,035 + 0,582Q_{\min, \partial VII} + 0,012SPEI_{VII}$	0,62
	$Q_{\min, \partial IX} = 0,017 + 0,878Q_{\min, \partial VIII} + 0,002SPEI_{VIII}$	0,95
	$Q_{\min, \partial X} = 0,010 + 1,13Q_{\min, \partial IX} + 0,012SPEI_{IX}$	0,86

Виправданість прогнозів встановлюється шляхом порівняння похибок прогнозів з допустимою похибкою. Прогноз вважається виправданим, якщо його похибка менша або дорівнює допустимій [6].

Похибка прогнозу δ дорівнює різниці між фактичним значенням величини y та прогнозним y'

$$\delta = y - y'. \quad (7.50)$$

Допустима похибка прогнозу визначається як

$$\delta_{\text{доп}} = 0,674\bar{\sigma}, \quad (7.51)$$

де $\bar{\sigma}$ – середнє квадратичне відхилення значень прогнозованого елемента від середнього

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (7.52)$$

де y_i – значення елемента; \bar{y} – середнє значення; n – число членів ряду.

Мірою точності прогностичної методики є середня квадратична похибка перевірочних прогнозів

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - y')^2}{n}}, \quad (7.50)$$

де y – фактичне значення величини; y' – прогнозне значення величини; n – число членів ряду.

Критерієм якості методики приймається відношення $\bar{S}/\bar{\sigma}$. Методика вважається «доброю» при $\bar{S}/\bar{\sigma} \leq 0,50$, «задовільною» – при $0,51 \leq \bar{S}/\bar{\sigma} \leq 0,80$ [6].

Забезпеченість допустимої похибки прогнозу P визначається за рівнянням

$$P = \frac{n-m}{n} 100\%, \quad (7.51)$$

де n – загальна кількість прогнозів; m – кількість невинуватених прогнозів.

При $P \geq 82$ методика вважається «доброю», при $81 \leq P \leq 60$ – «задовільною».

Перевірочні прогнози виконані за рівняннями, представленими в табл. 7.10-7.11, показали, що при прогнозуванні середніх місячних витрат води на р.Савранка - с.Осички методика є «задовільною» і прогноз виправданим для літніх місяців (червень, липень, серпень), а на р.Мертвовід - с.Крива Пустош – з липня по жовтень (табл. 7.12). Похибки прогнозу мінімальних добових витрат води знаходяться у межах допустимих значень, а якість методики вважається «задовільною» для всіх місяців, коли установлюється літньо-осіння межень, окрім жовтня для р.Савранка – с.Осички та червня для р.Мертвовід – с. Крива Пустош. Для окремих місяців якість прогнозу є «доброю» (табл. 7.13).

Завчасність прогнозів складає 1 місяць.

Таблиця 7.12

Результати перевірочних прогнозів визначення середніх місячних витрат води у період літньо-осінньої межені

Річка-пост	Прогнозна характеристика	n	$\bar{\sigma}$, м ³ /с	$\delta_{доп}$, м ³ /с	\bar{S} , м ³ /с	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	P, %
р. Савранка – с. Осички	Q_{MV} , м ³ /с	30	1,05	0,71	0,91	0,87	70
	Q_{MVI} , м ³ /с	30	1,28	0,86	0,84	0,65	70
	Q_{MVII} , м ³ /с	30	1,47	0,99	0,88	0,60	83
	Q_{MVIII} , м ³ /с	30	1,30	0,87	0,60	0,46	83
	Q_{MIX} , м ³ /с	30	1,60	1,07	1,39	0,87	87
	Q_{MX} , м ³ /с	30	0,91	0,62	0,79	0,87	53
р. Мертвовід – с. Крива Пустош	Q_{MV} , м ³ /с	30	0,10	0,07	0,13	1,28	67
	Q_{MVI} , м ³ /с	30	0,10	0,07	0,09	0,87	57
	Q_{MVII} , м ³ /с	30	0,22	0,15	0,17	0,76	70
	Q_{MVIII} , м ³ /с	30	0,06	0,04	0,05	0,80	57
	Q_{MIX} , м ³ /с	30	0,07	0,05	0,06	0,76	70
	Q_{MX} , м ³ /с	30	0,27	0,18	0,17	0,64	87

Результати перевірочних прогнозів визначення мінімальних добових витрат води у період літньо-осінньої межні

Річка-пост	Прогнозна характеристика	n	$\bar{\sigma}$, м ³ /с	$\delta_{доп}$, м ³ /с	\bar{S} , м ³ /с	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	P, %
р. Савранка – с. Осички	$Q_{min, \partial V}$, м ³ /с	30	0,71	0,48	0,48	0,68	67
	$Q_{min, \partial VI}$, м ³ /с	30	0,76	0,52	0,45	0,59	83
	$Q_{min, \partial VII}$, м ³ /с	30	0,96	0,64	0,42	0,44	90
	$Q_{min, \partial VIII}$, м ³ /с	30	0,95	0,64	0,56	0,58	90
	$Q_{min, \partial IX}$, м ³ /с	30	0,84	0,57	0,61	0,73	63
	$Q_{min, \partial X}$, м ³ /с	30	0,73	0,49	0,65	0,88	57
р. Мертвовід – с. Крива Пустош	$Q_{min, \partial V}$, м ³ /с	30	0,07	0,05	0,05	0,63	63
	$Q_{min, \partial VI}$, м ³ /с	30	0,06	0,04	0,05	0,85	53
	$Q_{min, \partial VII}$, м ³ /с	30	0,05	0,04	0,04	0,70	70
	$Q_{min, \partial VIII}$, м ³ /с	30	0,06	0,04	0,05	0,77	87
	$Q_{min, \partial IX}$, м ³ /с	30	0,06	0,04	0,02	0,29	100
	$Q_{min, \partial X}$, м ³ /с	30	0,09	0,06	0,04	0,50	90

Висновки до розділу 7

Аналіз зміни посушливості клімату, виконаний за допомогою стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування SPEI показав, що у останні десятиріччя на всій території Північно-Західного Причорномор'я відбувається зростання кількості та суворості метеорологічних посух.

Для передбачення можливостей формування посух у майбутньому були розглянуті сценарії змін глобального клімату A2 та A1B. Аналіз індексу SPEI, розрахованого за даними сценаріїв показав, що в порівнянні із фактичними даними зростає кількість інтенсивних та екстремальних посух. Найбільша тривалість передбачається для слабких посух за обома сценаріями. За показником β_X , який представляє собою відношення ресурсів тепла до ресурсів вологи, за сценарієм A1B у 2015-2050 рр. прогнозується перехід від зони недостатнього зволоження до напіваридного клімату. За сценарієм A2 істотних змін індексу β_X не відбудеться.

На основі факторного аналізу виявлені головні чинники формування мінімального стоку: на рівні першого фактора – показники підземного живлення, другого – площа водозбору, третього – показники посушливості.

На основі множинної покрокової лінійної регресії показано, що індекси посух (SPEI) можуть використовуватися як предиктори при побудові розрахункових та прогностичних залежностей характеристик меженного стоку, які мають «добру» та «задовільну» якість.

ВИСНОВКИ

Територія Північно-Західного Причорномор'я знаходиться у зоні недостатнього зволоження і характеризується низьким стоком. Дефіцит водних ресурсів у межиріччях Дунай – Дністер, Дністер – Південний Буг у багатьох випадках компенсується за рахунок стоку великих річок. За часів СРСР тут діяли потужні меліоративні системи, по яких виконувався перекид поверхневих вод. Багато річок були складовими цих систем. У теперішній час меліоративна мережа скоротилася, а створені з метою регулювання стоку водосховища та ставки перетворилися на штучні випарники, які замулюються і тривалий час пересихають. У останні два десятиріччя гідроекологічна ситуація досліджуваної території погіршилася через зміни глобального клімату, які на території Північно-Західного Причорномор'я суттєво впливають на водність річок та водойм, особливо у маловодні сезони. У дисертації отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу оцінки існуючих змін кліматичних чинників формування стоку та їх впливу на характеристики річного та меженного стоку річок, а також передбачення їхніх можливих змін за сценаріями глобального потепління. В результаті виконаного дисертаційного дослідження зроблені наступні висновки:

1. Показано, що досліджувана територія недостатньо вивчена у гідрологічному відношенні. Ряди стоку характеризуються статистичною неоднорідністю, значною мінливістю та наявністю пропусків у рядах спостережень. Початок спостережень припадає на період інтенсифікації сільського господарства та проведення водогосподарських заходів (50-ті роки минулого сторіччя), масштаби яких поступово зменшуються у останні десятиріччя.

2. Установлено, що оцінки статистичних параметрів річного та меженного стоку не можна визнати надійними та достовірними. У 40% випадків відносна похибка визначення статистичних параметрів за даними спостережень перевищує

допустиму. Перевірка статистичної гіпотези про однорідність рядів стоку за допомогою параметричних і непараметричних критеріїв показала, що більшість рядів стоку є неоднорідними.

3. Просторово-часові узагальнення характеристик річного та меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я, виконані різними авторами на основі даних спостережень є приблизними. Так, ізолінії цих характеристик часто проводяться пунктиром через нестачу даних.

4. У роботі показано, що в умовах відсутності, нестачі даних спостережень та значної їх трансформації водогосподарською діяльністю доцільно використовувати модель «клімат-стік», розроблену в ОДЕКУ. Модель дозволяє виконувати розрахунок норм природного (непорушеного антропогенним втручанням) стоку за метеорологічними даними та побутового (трансформованого водогосподарською діяльністю) стоку на базі імітаційного стохастичного моделювання.

5. На базі розрахункових методик моделі «клімат-стік» були установлені характеристики річного та меженного стоку річок розглядуваної території, які відповідають кліматичним умовам до початку значущих наслідків глобального потепління (1989 р.). Порівняння норм природного річного стоку, розрахованих за моделлю «клімат-стік», з сумарним стоком, визначеним за генетичним методом А.М. Бефані, показали їхню задовільну узгодженість, яка знаходиться у межах $\pm 10\%$. У подальшому ці розрахункові характеристики використовувались як базис для порівняльного аналізу стану водних ресурсів у минулому та у майбутньому (за сценаріями глобального потепління).

6. Дослідження кліматичних чинників формування стоку дозволили установити, що на розглядуваній території в останні два десятиріччя відбувається зростання температур повітря за рік, теплий та холодний періоди. Оподи зростають на метеорологічних станціях, розташованих близько до моря і практично не змінюються на інших метеостанціях. Це призводить до зменшення річного стоку через зростання випаровування з поверхні суші та водної поверхні штучних водойм на фоні незмінних або мало змінних опадів.

7. Збільшення температур повітря холодного сезону, яке супроводжується переходом від від'ємних температур до додатних, викликає зростання кількості та тривалості відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунту і сприяє інфільтрації талих вод у водоносні горизонти. Збільшення запасів підземних вод спричиняє зростання характеристик мінімального стоку літньо-осінньої та зимової межени за умови дренажу річкою підземних вод. У випадку глибокого їх розташування, мінімальний стік річок не зростатиме, а самі річки схильні до пересихання.

8. Виконана оцінка можливих змін водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я у XXI сторіччі на базі моделі «клімат-стік» із застосуванням сценарних метеорологічних даних до 2050 р. Показано, що за сценарієм A1B водні ресурси досліджуваної території будуть зменшуватися. У 2011-2030 рр. це зменшення буде досягати (50%), що відповідає стану їх руйнування. У 2031-2050 рр. зменшення перевищить (70%), що означає незворотне руйнування. Сценарій A2 є більш «поблажливим» для стану водних ресурсів, через менш інтенсивне зростання температури повітря, у порівнянні із A1B, та повільне зменшення річних опадів. В результаті за сценарієм A2 водні ресурси у XXI сторіччі досягнуть стану руйнації та безповоротної руйнації лише на півдні. У північній частині території водні ресурси до 2050 р. можуть залишитися практично незмінними.

9. Аналіз зміни показників посушливості клімату за сценаріями A1B та A2 дозволив установити, що більша частина досліджуваної території у XXI сторіччі буде знаходитися у напіваридній зоні.

10. Для передбачення можливостей формування посух у майбутньому були розглянуті сценарії змін глобального клімату A2 та A1B. Аналіз індексу посух SPEI, розрахованого за даними сценаріїв показав, що в порівнянні із фактичними даними зросте кількість інтенсивних та екстремальних посух. Найбільша тривалість передбачається для слабких посух за обома сценаріями.

11. На основі застосування методу факторного аналізу виявлені головні чинники формування меженного стоку: на рівні першого фактора – показники

підземного живлення, другого – площа водозбору, третього – показники посушливості.

12. Шляхом покрокового відбору оптимальних предикторів у методі множинної регресії виявлено, що індекси посух (SPEI) можуть використовуватися як предиктори при побудові розрахункових та прогностичних залежностей характеристик меженного стоку в умовах потепління.

13. Для річок із стійким підземним живленням були розроблені прогностичні залежності, в яких основними предикторами є водність річки та індекс (SPEI) попереднього періоду. Якість розробленої методики визначається як «добра» та «задовільна», що вказує на необхідність застосування індексів посухи при розробці нових методик характеристик меженного стоку.

14. Розрахунки характеристик річного та меженного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я у сценарних кліматичних умовах були використані для оцінки водно-сольового балансу та екологічного стану Тилігульського, Куяльницького лиманів, Паліївської затоки Хаджибейського лиману і увійшли як складова частина рекомендацій по управлінню водними ресурсами цих водойм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С.Тучковенко, Є.Д. Гопченко. - Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.
2. Атлас: Географія України. – К.: ДНВП «Картографія», 2003. – 49 с.
3. Атлас Одеської області. – Одеса: Хорс,2002. – 80 с.
4. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока / А.Н. Бефани // Научный ежегодник ОГУ. – 1957. - 125 с.
5. Бефани А.Н. Расчёт нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат / А.Н. Бефани, О.Н. Мельничук // Труды УкрНИГМИ. – 1967. – Вып. 69. – С. 105-131.
6. Бефани Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам / Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 392 с.
7. Блохинов Е.Г. Гамма-корреляция и ее использование при расчетах многолетнего регулирования речного стока / Е.Г. Блохинов, О.В. Сарманов // Тр.ГГИ. – 1968. – Вып. 143 – С.52-75.
8. Божок Ю.В. Посушливість клімату на території Тилігульського лиману у сучасних умовах та за сценарієм глобальної зміни клімату / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення», 12-14 вересня 2012р. – Одеса:ТЕС, 2012. – С.75-77.
9. Божок Ю.В. Оцінка впливу посух на характеристики меженного стоку річки Савранка / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – Вип. 18. – С. 119-126.
10. Божок Ю.В. Оцінка припливу поверхневих вод до Тилігульського лиману в сучасних гідрометеорологічних умовах / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молоді науковці – географічній науці». – К.: ВГЛ «Обрії», 2012. – С. 210-213.

11. Божок Ю.В. Характеристики посушливості для території Північно-Західного Причорномор'я у сучасних умовах та за прогнозами кліматичних сценаріїв / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали XI з'їзду Українського географічного товариства. – К.: ВГЛ «Обрії», 2012 – Т.3. – С.17-19.
12. Божок Ю.В. Теоретичні основи та практичні реалізації оцінки стану водних ресурсів в умовах недостатності даних спостережень та змінах клімату (на прикладі північно-західного Причорномор'я) / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної гідрометеорології». ОДЕКУ (17-19 жовтня 2012р.) – Одеса:ТЕС, 2012. – С.56-57.
13. Божок Ю.В. Вплив посушливості клімату на характеристики стоку межені р.Тилігул / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали XII конференції молодих вчених ОДЕКУ (9-13 квітня 2012 р.). – Одеса:ТЕС, 2012. – С. 62.
14. Божок Ю.В. Зміна посушливості клімату та характеристик межені до 2098 року (на прикладі річки Тилігул) / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали XIII конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса:ТЕС,2013. – С. 64.
15. Божок Ю.В. Чинники формування мінімального стоку на території Північно-Західного Причорномор'я / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали XIV конференції молодих вчених ОДЕКУ (22-25 квітня 2014 р.). – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 57.
16. Божок Ю.В. Посухи на території водозбору Тилігульського лиману / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС,2014. – С. 19-21.
17. Божок Ю.В. Виявлення чинників формування літньо-осінньої межені на річках Північно-Західного Причорномор'я на базі методу факторного аналізу / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення». – Одеса : ТЕС, 2014 – С. 46-47.

18. Бойко О.В. Оцінка ефективності протипаводкових заходів на малих річкових водозборах Закарпаття як основа розрахунків розподіленої моделі «опади–стік» / О.В. Бойко, М.Й. Железняк // Математичні машини і системи. - 2011. – №4. – С.149-160
19. Болгов М.В. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения / М.В. Болгов, В.М. Мишон, Н.И. Синцова. – М.: Наука, 2005. - 318 с.
20. Болгов М.В. Марковские процессы в гидрологии / М.В. Болгов, И.О. Сарманов, О.В. Сарманов. –Москва: Институт водних проблем РАН, 2009. - 210 с.
21. Болгов М.В. Пороговые стохастические модели минимального стока / М.В. Болгов, И.А. Филлипова // Метеорология и гідрологія. – 2006. – №3. – С. 88-94.
22. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях / М.И. Будыко. - Л.: Гидрометеиздат, 1948. - 136 с.
23. Букша І.Ф. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / І.Ф. Букша, П.Ф. Гожик, Ж.Л. Ємельянова, І.В. Трофімова, А.І. Шерешевський. – Київ, 1998.– 210 с.
24. Васильченко В.В. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. / В.В.Васильченко, М.В. Рапцун, І.В. Трофімова. – Київ, 1998. – С. 5-29
25. Великанов М.А. Гидрология суши: Учебник / М.А. Великанов. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 403 с.
26. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Критический анализ / Ю.Б. Виноградов. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
27. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання / В.І. Вишневський. - К.: Віпол, 2000. – 375 с.

28. Вишневецький В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок / В.І. Вишневецький // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип.250. – С.190-202.
29. Вишневецький В.І. Гідрологічні характеристики річок України / В.І. Вишневецький, О.О. Косовець – К.: Ніка-Центр, 2003. – 324 с.
30. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты / А.М. Владимиров. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 366 с.
31. Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР / А.М. Владимиров. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 214 с.
32. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года / А.М. Владимиров. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 295 с.
33. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Колективна монографія / Під ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. – Одеса: ТЕС, 2014. – 276 с.
34. Войцехович В.О. Сучасні зміни максимального стоку річок Українського Полісся / В.О. Войцехович, Л.І. Лузан // Наукові праці УкрНДГМІ. – 1999. – Вип.247. – С. 125-135.
35. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза / К.П. Воскресенский. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 545 с.
36. Гідроекологічний стан басейну річки Рось / В.К. Хільчевський, С.М. Курило, С.С. Дубняк та ін.; за ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2009. - 116 с.
37. Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод / В.Г. Глушков. – Л. : Изв. ГГИ,1933. - №57. – С. 5-10.
38. Гончарова Л.Д. Особливості зміни місячної кількості атмосферних опадів на території Одеської області протягом ХХ століття / Л.Д. Гончарова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. - №5. - С. 77-83.
39. Гончарова Л.Д. Особливості статистичної структури полів атмосферного тиску у другій половині ХХ століття на території лівобережної України / Л.Д. Гончарова, С.І. Решетченко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – №6. - С. 54-61.

40. Гончарова Л.Д. Клімат і загальна циркуляція атмосфери / Л.Д. Гончарова, Е.М. Серга, Е.П. Школьный. – Одеса: ТЕС, 2005. – 251 с.
41. Гопченко Є.Д. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми / Є.Д. Гопченко, О.М. Гриб // Метеорол., кліматол. та гідрол. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.
42. Гопченко Е.Д. Гидрология с основами мелиорации / Е.Д. Гопченко, А.В. Гушля. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 303 с.
43. Гопченко Е.Д. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.
44. Гопченко Е.Д. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. – 2000. – Т.36, №3. – С. 67-78.
45. Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплого балансу / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С.106-120.
46. Гопченко Є.Д. Гідрологічні розрахунки: Підручник / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
47. Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів Нижнього Подніпров'я за метеорологічними даними / Є.Д. Гопченко, Н.С.Лобода, І.О. Шахман // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – Вип. 49. - С. 485-496.
48. Гопченко Є.Д. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія / Є.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзанова. – Одеса: Екологія, 2011. – 336 с.
49. Гопченко Є.Д. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Прип'ять / Є.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакірзанова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3. –С.50-59.

50. Гопченко Е.Д. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности: монография / Е.Д. Гопченко, М.Е. Романчук. – К.: КНТ, 2005. – 149 с.
51. Горев Л.М. Гідрохімія України / Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с.
52. Горошков И.Ф. Гидрологические расчёты / И.Ф. Горошков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 432 с.
53. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. - 316 с.
54. Гребінь В.В. Характер змін режиму водності та повторюваності паводків в холодний і теплий періоди року в басейні р.Тиса (у межах України) / В.В. Гребінь, О.І. Лук'янець, С.П. Андрела // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013.- С.147-154.
55. Гребінь В.В. Водогосподарське районування території України: критерії та порядок виділення водогосподарських ділянок / В.В. Гребінь, М.В. Яцюк, О.В. Чунар'юв // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Київ. - Том.3(30). – С.6-14.
56. Гриб О.М. Оцінка морфометричних характеристик і рельєфу дна Тилігульського лиману та їх особливості / О.М. Гриб // Вісник Од. держ. еколог. ун-ту. – 2014. – № 17. – С.185-196.
57. Гриб О.М. Оцінка випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману / О.М. Гриб // Вісник Од. держ. еколог. ун-ту. – 2014. – № 17. – С.173-184.
58. Давыдов Л.К. Водоносность рек СССР, ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов / Л.К. Давыдов. - Л.: Гидрометеиздат, 1947.- 162 с.
59. ДБН України. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4. – Київ, 2014. – 137 с.
60. Докучаев В.В. Способы образования речных долин европейской России / В.В. Докучаев. - М.: Избр. труды, АН СССР, 1949 - С. 236-241.
61. Електронний атлас України. – Інститут географії НАН України, Інтелектуальні Системи ГЕО. – 1999-2000.

62. Електронний ресурс <http://digital.csic.es/handle/10261/10002>
63. Електронний ресурс <http://ensemblesrt3.dmi.dk>
64. Електронний ресурс
http://www.watermd.od.ua/index.php?mod=pages&page=artif_ukr
65. Іваненко О.Г. Математичне моделювання гідроекологічних систем: Навчальний посібник / О.Г. Іваненко. – Одеса: Екологія, 2007. – 144 с.
66. Иберла К. Факторный анализ: Пер. с англ. / К. Иберла - М.: Статистика, 1980. - 397с.
67. Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии / Д.И. Казакевич . – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 230 с.
68. Камзіст Ж.С. Гідрогеологія України: навчальний посібник / Ж.С. Камзіст, О.Л. Шевченко. – К.: Інкос, 2009 – 612 с.
69. Ким Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. - Финансы и статистика, 1989. - 215с.
70. Клибашев К.П. Гидрологические расчёты / К.П. Клибашев, И.Ф. Горошков. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 460 с.
71. Климат в опасности: Популярный путеводитель по докладам МГЭИК / Под ред. К. Штульбергега, К. Хеберлайн. – Женева, Швейцария, 2012 . – 63 с.
72. Коваленко В.В. Динамические и стохастические модели гидрологического цикла / В.В. Коваленко. – Л.: ЛПИ, 1988. – 34 с.
73. Ковальчук І.П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз / І.П. Ковальчук. – Львів: Інститут Українознавства, 1997. – 440 с.
74. Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін: Звіт з НДР (науковий керівник: Ю.С. Тучковенко). Од. держ. еколог. ун-т. – Одеса, 2014. –375 с.
75. Коротун І.М. Природні умови та ресурси України: Навч. посібник / І.М. Коротун, Л.К. Коротун, С.І.Коротун. – Рівне: 2000. – 192 с.

76. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления речным стоком / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. – 235 с.
77. Ланько А.І. Фізична географія Української РСР / А.І. Ланько, О.М. Маринич, М.І. Щербань. – Київ: Рад.шк., 1969 – 270 с.
78. Ліпінський В.М. Клімат України / В.М. Ліпінський, В.А. Дячук, В.М. Бабіченко. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
79. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья. Географические основы хозяйственного освоения / Под ред. Г.И. Швевса. – Л.: Наука, 1988 . – 303 с.
80. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: Навч. посібник / Н.С. Лобода. – Одеса: Екологія, 2010. – 184 с.
81. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография / Н.С. Лобода. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
82. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата (под ред. Шестопалова В.М., Логинова, В.Ф. Осадчего В.И. и др.) – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
83. Лобода Н.С. Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока / Н.С. Лобода // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. - С. 416 -424.
84. Лобода Н.С. Оценка гидромелиоративных норм северо-западной части Украины / Н.С. Лобода // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. – Вип. 44. - С. 175-181
85. Лобода Н.С. Мінливість клімату та водних ресурсів Закарпаття / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2011. – Вип.12. - С. 161-167.
86. Лобода Н.С. Визначення характеристик стоку річки Свинної / Н.С.Лобода, Ю.В. Божок // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2012. – Вип. 14. – С. 179-187.

87. Лобода Н.С. Засушливость климата и минимальный сток рек Украины / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Материалы международной конференции молодых ученых и аспирантов «Первые Виноградовские чтения. Будущее гидрологии». - Санкт-Петербург: «Арт-Экспресс», 2013. – С. 70-71.
88. Лобода Н.С. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Геополітика та екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т.10. – Вип.1 – С.281-289.
89. Лобода Н.С. Оцінка водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману в умовах змін глобального клімату / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 1(32). – С. 32-40
90. Лобода Н.С. Влияние засушливости климата на минимальный сток рек (на примере реки Тилигул) / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Сборник трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства. – Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2014. – Выпуск 20. – С. 163-172.
91. Лобода Н.С. Оцінка природних водних ресурсів річок басейну Тилігульського лиману за метеорологічними даними / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 14. – С. 144-154.
92. Лобода Н.С. Оцінка припливу річкових вод до Тилігульського лиману за сценарієм М10 / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 22-24.
93. Лобода Н.С. Оцінка впливу глобального потепління на зміни припливу середніх багаторічних величин річного стоку до Тилігульського лиману у роки різної водності за сценарієм М10 / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 25-27

94. Лобода Н.С. Визначення внутрішньорічного розподілу при розрахунках стоку за метеорологічними даними сценаріїв глобального потепління (басейн Тилігульського лиману, сценарій М10) на базі моделі «клімат-стік» / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 31-33.
95. Лобода Н.С. Зміни припливу прісних вод до Куяльницького лиману в кліматичних умовах сценаріїв глобального потепління А1В, В1, А2 / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок, О.М. Гриб // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - м. Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 177-179.
96. Лобода Н.С. Зміни кліматичних чинників та характеристик стоку р.Тилігул під впливом глобального потепління / Н.С. Лобода, Ю.В. Божок, А.М. Куза // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – Вип. 17. – С. 124-133.
97. Лобода Н.С. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: Навчальний посібник / Н.С. Лобода, Є.Д. Гопченко. – Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.
98. Лобода Н.С. Нормування характеристик природного річного стоку України / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2003. – Вип.252. – С. 5-10.
99. Лобода Н.С. Модели оценки и прогноза состояния водных ресурсов рек бассейна Придунайских озер в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - 2001. – Вип. 42. - С. 50 - 62.
100. Лобода Н.С. Оценка возможных изменений режима орошения в условиях изменений климата на территории северо-западного Причерноморья / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - 2002. – Вип. 45. - С. 100 –106.

101. Лобода Н.С. Нормирование характеристик естественного годового стока рек Украины / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Мат. Всерос. Гидролог. Съезда. – 2006. – Ч. 2. – С. 134-137.
102. Лобода Н.С. Модели оценки и прогноза состояния водных ресурсов рек бассейна Придунайских озер в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. – Вип. 42. - С. 50 - 62.
103. Лобода Н.С. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Зб. наук. пр. Укр. географ. тов. Україна: географічні проблеми сталого розвитку. – 2004. – С. 144-146.
104. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до лиманів північно-західного Причорномор'я / Н.С. Лобода, Є.Д. Гопченко, А.М. Куза, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення», 12-14 вересня 2012 р., Україна, м. Одеса. – Одеса: ТЕС, 2012. – С.21-24.
105. Лобода Н.С. Використання моделі «клімат-стік» до оцінки змін водно-сольового балансу Куяльницького лиману в умовах глобального потепління / Н.С. Лобода, О.М. Гриб, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 70-72
106. Лобода Н.С. Современное состояние и рекомендации по реабилитации водной экосистемы Куяльницкого лимана на основе интегрированного управления природопользованием в его бассейне / Н.С. Лобода, О.Н. Гриб, Е.Д. Гопченко, А.Н. Килимник, Ю.С. Тучковенко, В.В. Белов // Материалы третьей международной научной конференции «Современные проблемы гидроэкологии, перспективы, пути и методы решений», 17-19 мая 2012р. – Херсон: ПП Вишемирский В.С., 2012. – С.354-357.

107. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману / Н.С. Лобода, О.М. Гриб, А.М. Сіренко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2011. -Т.1(22). – С. 51-59.
108. Лобода Н.С. Природний річний стік і вплив чинників підстильної поверхні лівобережних приток Дністра / Н.С. Лобода, В.П. Дорофєєва // Україна:географія цілей та можливостей. Зб. наук.праць. – Н.:ФОП «Лисенко М.М.», 2012. - Т.1 – С.188-192.
109. Лобода Н.С. Стан водних ресурсів річки Дністер за сценаріями глобального потепління / Н.С. Лобода, В.П. Дорофєєва // Матеріали п'ятої всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія». - Чернівці: Чернівецький національний університет, 2011. – С.148-150.
110. Лобода Н.С. Влияние дополнительного испарения с водной поверхности искусственных водоемов на водные ресурсы рек Крыма / Н.С. Лобода, Нгуен Ле Минь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т.7. – С.89-97.
111. Лобода Н.С. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: ТЕС, 2014. – Вип. 15. - С.149-159.
112. Лобода Н.С. Вплив змін клімату на живлення лиманів північно-західного Причорномор'я прісними водами за сценаріями глобального потепління / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, А.М. Куза, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення», 12-14 вересня 2012р., Україна, м. Одеса. – Одеса:ТЕС, 2012. – С.24-27
113. Лобода Н.С. Вплив глобального потепління на льодовий режим річки Дністер / Н.С. Лобода, А.М. Сіренко // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2009. – Вип. 480-481. Географія. – С.200-203.
114. Лобода Н.С. Вплив водоспоживання води населенням на стан водних ресурсів України в умовах змін глобального клімату / Н.С. Лобода, Н.Д.Отченаш

// Вісник Одеського державного екологічного університету. - 2009. – Вип.7. - С. 170-175.

115. Лобода Н.С. Зміни чинників формування водно-сольового балансу Тилігульського лиману у останні десятиріччя / Н.С. Лобода, Ю.С. Тучковенко, Ю.В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення». – Одеса: ТЕС, 2014. – С. 16-18

116. Лобода Н.С. Вибір типових років в басейні Тилігульського лиману при розрахунках стоку за сценарієм М10 / Н.С. Лобода, Ю.В. Тучковенко, В.М. Хохлов, Ю.В. Божок, Н.Д. Отченаш // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани Північно-західного Причорномор'я: сучасний гідро екологічний стан; проблеми водного та екологічного менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення». – Одеса.: ТЕС, 2014. – С.28-30.

117. Лобода Н.С. Оцінка характеристик посушливості Закарпаття в сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління) / Н.С. Лобода, В.М. Хохлов, Ю.В. Божок // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.2 (23). – С. 49-56.

118. Лобода Н.С. Обоснование стохастических моделей годового суммарного и подземного стока в условиях осушительных мелиораций (по материалам западного Полесья) / Н.С. Лобода, О.И. Шаменкова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - 2002. – Вип. 46. - С. 279 – 293.

119. Лобода Н.С. Оцінка впливу зрошування на водні ресурси Нижнього Дніпра на основі стохастичного моделювання / Н.С. Лобода, І.О. Шахман // Причорноморський екологічний бюллетень. – 2007. - №2(24). – С.73-76.

120. Лобода Н.С. Функції відгуку водогосподарських систем Нижнього Подніпров'я на зрошення сільськогосподарських масивів водами Дніпра / Н.С. Лобода, І.О. Шахман // Вісник Одеського державного екологічного університету. –2006. – Вип.3. - С. 175-181.

121. Лоули Д. Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. – М.: Мир, 1967. – 144 с.
122. Лук'янець О.І. Оцінка взаємозв'язку елементів водного балансу в сучасних умовах та впливу кліматичних змін на річковий стік в Закарпатській області / О.І. Лук'янець, В.О. Балабух // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 187-190.
123. Львович М. И. Реки СССР / М.И. Львович. – М.: 1971. – 348 с.
124. Львович М.И. Вода и жизнь (водные ресурсы, их преобразование и охрана) / М.И. Львович. - М.: Мысль, 1986. - 254 с.
125. Маринич О.М. Фізична географія Української РСР / О.М. Маринич, А.І. Ланько, М.І. Щербань, П.Г. Шищенко.– Київ: Вища школа, 1982. – 208 с.
126. Мартазінова В.Ф. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ ст. та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні / В.Ф. Мартазінова, Т.А. Свердлик // Український географічний журнал. - 2001. - № 2. - С.28-34.
127. Мезенцев В.С. К расчету водо- и телообеспеченности / В.С. Мезенцев // Метеорология и гидрология, - 1953. - №4.
128. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса: Учебное пособие / В.С. Мезенцев. - Омск,1976.- 76с.
129. Мезенцев В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 75с.
130. Мельник С.В. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Поділля / С.В. Мельник, Н.С. Лобода // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Том.17. – С.55-62.
131. Мельничук О.Н. Паводки и наводнения на реках Молдовы / О.Н. Мельничук. – Кишенэу: Праймекс-Ком, 2012. – 233 с.
132. Мольчак Я.О. Річки та їх басейни в умовах техногенезу / Я.О. Мольчак, З.В. Герасимчук, І.А. Мисковець. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2004. -336 с.

133. Мольчак Я.А. Дождевой сток у условиях антропогенных изменений / Я.А. Мольчак, И.А. Мисковец. - Луцк: РИО ЛНТУ, 2009. - 430 с.
134. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: Словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2002. – 550 с.
135. Нажмутдінова О.М. Деякі аспекти формування інтенсивних посушливих явищ влітку 2010 р. над Східною Європою / О.М. Нажмутдінова, Н.С. Єрмоленко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2011. – № 9. – С. 79-84.
136. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О.Г. Ободовський. - К.: Ніка-Центр, 2001. -274 с.
137. Овчарук В.А. Статистичні параметри часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Дністер / В.А. Овчарук, А.В. Траскова // Вісник ОДЕКУ. - 2013. – Вип.16. - С.141-148.
138. Онуфриенко Л.Г. Определение годового стока рек Украины и Молдовы / Л.Г. Онуфриенко, И.И. Волошин // Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1986. – Вып.217. – С.3-20.
139. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. – 180с.
140. Осадчий В.І. Аналітична хімія поверхневих вод / В. І. Осадчий, Б. Й. Набиванець, Н. М. Осадча, Ю. Б. Набиванець. — К.: Ніка-Центр, 2007. — 455с.
141. Осадчий В.І. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, П.М. Линник, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 240 с.
142. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
143. Оцінка гідроекологічного стану верхньої частини Хаджибейського лиману від с. Єгоровка до с. Алтестове та розробка рекомендацій по поліпшенню водного режиму та відновленню її біологічних ресурсів : Звіт з НДР (науковий керівник: Н.С. Лобода). Од. держ. еколог. ун-т. – Одеса, 2011. – 263 с.

144. Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: Звіт з НДР (науковий керівник: Н.С. Лобода). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 147 с.
145. Пелешенко В.И. Оценка взаимосвязи химического состава различных типов природных вод (на примере равнинной части Украины / В.И. Пелешенко. – К.: Вища школа, 1975. – 168 с.
146. Поляков В.Б. Гидрологические анализы и расчеты / В.Б. Поляков. – Л.: Гидрометеиздат, 1946. - 480 с.
147. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
148. Посушливість клімату та наслідки її впливу на гідрологічний стан водних об'єктів України: Звіт з НДР (науковий керівник: Лобода Н.С.). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2014. – 113 с.
149. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана / Под. ред. Г.И. Швевса . – К.: Вища школа. -1979.-144с.
150. Прихотько Г.Ф. Климат Украины / Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 413 с.
151. Проведення гідроекологічної оцінки та розробка науково-обґрунтованих заходів щодо регулювання стоку та розчистки русел річок Довбока та Кубанка: Звіт з НДР (науковий керівник: Н.С. Лобода). Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2012. – 205 с.
152. Рази Т. Мониторинг засухи с использованием показателя SPI в провинции Ядз, Иран / Т. Рази, Б. Сагафьян, А. Шокухи // Публикации Тренингового центра МКВК. – Ташкент, 2005. – Вып.12. – с. 27-37
153. Раткович Д.Я. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна / Д.Я. Раткович, М.В. Болгов. - М.: РАН ИВП, 1997. - 262 с.
154. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под. ред. В.С. Мезенцева. - М.: Колос,1974. – 240 с.

155. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.6 – Вып.2: Украина и Молдавия. – 884 с.
156. Ресурсы поверхностных вод СССР - Л.: Гидрометеиздат, 1974. – Т. 6. – Вып. 3:Украина и Молдавия. – 491 с.
157. Родда Дж. Грани гидрологии: Монография / Дж. Родда. – Л.:Гидрометеиздат,1987. – Т.2. – 534 с.
158. Рождественский А.В. Статистические методы в гидрологии / А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 422 с.
159. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов / М.Ш. Розенгурт.– К.: Наукова думка, 1974. – 224 с.
160. Самойленко В.М. Комплексне районування радіактивно забруднених територій Полісся і півночі Лісостепу за гідрологічно-ландшафтними умовами та можливими радіоекологічними наслідками місцевого водо- і ресурсокористування / В.М. Самойленко. - К.: Ніка-Центр, 1999. - 280 с.
161. Самойленко В.М. Модельна ідентифікація берегових геосистем / В.М.Самойленко, І.О. Діброва: Монографія. – К. : Ніка-Центр, 2012. – 328 с.
162. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / Отв.ред. Ю.П. Зайцев, Б.Г. Александров. – К.: Наукова Думка, 2006. – С.132-136.
163. Семенова І.Г. Регіональна циркуляція атмосфери та умови виникнення морських бризів на північному узбережжі Чорного моря / І.Г. Семенова // Вісник ОДЕКУ. – 2011. - Вип.12. – С.113- 119.
164. Семенова И.Г. Метеорологические и синоптические условия засухи осенью 2011г. / И.Г. Семенова // Український гідрометеорологічний журнал. - 2012. – № 11. – С. 58-64.
165. Сніжко С.М. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.М. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. -264 с.
166. Сніжко С.М. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем / С.М. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2006. - 284 с.

167. Снижко С. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей / С. Снижко, И. Куприков, О. Шевченко // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип.2 (66). – С. 157-161.
168. Сніжко С. Зміна клімату і ресурси місцевого стоку в Україні у ХХІ столітті/ С. Сніжко, М. Яцюк, І. Купріков, О. Шевченко, В. Струтинська // Україна: географія цілей та можливостей. Зб. наук.праць. – Н.:ФОП «Лисенко М.М.», 2012. –Т.1 – С.77-80.
169. Соловей Т.В. Особливості формування і гідролого-гідрохімічний режим боліт в умовах постгляціальних територій України і Польщі. / Т.В. Соловей. - Чернівці: ЧНУ, 2013. – 352 с.
170. Сорокин В.Г. Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза / В.Г. Сорокин // Метеорология, климатология и гидрология. – 1974. – Вып.10. - С.121-129.
171. Сочава В.Б. Введение учения о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. - 320 с.
172. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
173. Стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2011 р. : Альманах / Гол. ред. Лоева І.Д. – Одеса: ІНВАЦ, 2011. – 126 с.
174. Струтинська В.М. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К.:Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
175. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоёмов Украины: Монография. / В.М. Тимченко. – К.: Наук. думка, 2006. – 384 с.
176. Тучковенко Ю.С. Сучасний гідроекологічний стан і рекомендації по водному та екологічному менеджменту Тілігульського лиману / Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лобода, О.М. Гриб // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення», 12-14 вересня 2012р., Україна, м. Одеса. – Одеса:ТЕС, 2012. – С. 66-71.

177. Удовенко О.И. Моделирование изменений климатических характеристик экстремальных паводков в Украинских Карпатах / О.И. Удовенко, С.Л. Кивва, А.В. Бойко, И.В. Ковалец, М.И. Железняк // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю "Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології". - Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014 р. – С. 275-278.
178. Хільчевський В.К. Основи гідрохімії: підручник / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.
179. Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.А. Ромась, В.В. Гребінь, І.О.Шевчук, О.В. Чунарьов. – К.:Ніка-Центр, 2007.- 184 с.
180. Хільчевський В.К. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський, О.В. Чунарьов, М.І. Ромась, М.В. Яцюк, М.Я. Бабич. - К.: Ніка-Центр, 2009. - 184 с.
181. Хохлов В.М. Регіональні особливості розподілу посух в Україні / В.М. Хохлов, Г.О. Боровська, Г.В. Хоменко, Т.В. Шараєва // Український гідрометеорологічний журнал. – 2011. – № 9. – С. 73-78.
182. Хохлов В.М. Просторово-часова мінливість посух в Східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату / В.М.Хохлов, Н.С. Єрмоленко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 11. – С. 128-134.
183. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока / А.В. Христофоров. – М.: Изд.-во МГУ, 1993. – 168 с.
184. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1978 . - 308 с.
185. Шакірманова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик / Ж.Р. Шакірманова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – №.16. - С.99-109.
186. Швебс Г.И. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник / Г.И. Швебс, М.І. Ігошин. – Одеса: Астропринт, 2003. – 390 с.

187. Швєбс Г.И. Типы ландшафтних территориальных структур / Г.И. Швєбс, П.Г. Шищенко, М.Д. Гродзинський, Г.П. Ковеза // Физическая география и геоморфология. -1986. – Вып.33. – С.110-114.
188. Шерешевский А.И. Норма и изменчивость годового стока рек Украины / А.И. Шерешевский, П.Ф. Вишневский // Гидробиологический журнал. – 1997. – Т. 3. – С. 81-91.
189. Шерешевський А.І. Оцінка змін випаровування з водної поверхні території України / А.І. Шерешевський, Л.К. Синицька // Наук. Праці Укр НДГМІ. - 2000. – Вип.248. – С.67-76.
190. Школьний Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник / Є.П. Школьний, І.Д. Лоева, Л.Д. Гончарова. – К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.
191. Ющенко Ю.С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел / Ю.С. Ющенко. – Чернівці:Рута, 2005. - 319 с.
192. Яцик А.В. Экологические основы рационального природопользования / А.В. Яцик. – К.: Генеза, 1997. – 640с.
193. Abramowitz M. Handbook of Mathematical Functions / M.Abramowitz, I.Stegun. – New York, Dover Publications, 1965. - 1046 p.
194. Arnold J.G. A comprehensive surface-groundwater flow model / J.G. Arnold , P.M. Allen, G.Bernhardt // Journal of Hydrology. - 1993. - v. 142. - pp. 47-69.
195. Beran M.A. Hydrological aspects of droughts / M.A. Beran, J.A. Rodier // Studies and reports in hydrology. - Paris:UNESCO-WMO, 1985. - N39. – 160 p.
196. Dracup J.A. On the definition of droughts / J.A. Dracup, K.S. Lee, E.G.Jr. Paulson // Water Resour.Res. – 1980. – 16(2). – P.297-302.
197. Fieldhouse D.J. Meteorological and agricultural drought / D.J. Fieldhouse, C. Palmer // Bulletin No. 353 of Agricultural Experiment Station. – Newark: University of Delaware, 1965. – 71 p.
198. IPCC (2000) Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Special Report In Emissions Scenarios (SRES). - University Press, UK, 2000. – 570 p.

199. IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
200. Krysanova V. SWIM (Soil and Water Integrated model) User Manual / V. Krysanova, F. Wechsung. - 2000. – 239 p.
201. Krysanova V. Simulation modelling of a system watershed - river - sea bay / V. Krysanova, H. Luik. - Tallinn, Valgus, 1989. - 428 p.
202. Krysanova V. Development of the ecohydrological model SWIM for regional impact studies and vulnerability assessment / V. Krysanova, F. Wechsung, F. Hattermann // Hydrological Processes. - 2005. – v.19. – pp. 763-783.
203. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence / N.S. Loboda // Climate and Water.-1998.-Vol.1.-P.1486-1494.
204. Loboda N.S. Stochastic model of long-term annual flow fluctuations under anthropogenic influences (in Ukraine) / N.S. Loboda, E.D. Gopchenko // Special Issue «Stochastic models of hydro-logical processes and their applications to problems of environmental preservation». ARW Series.-1998.-Vol.1.-P.110-118.
205. Loboda N. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region / N. Loboda, Y. Bozhok // International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences. – 2015. - Vol 02. – No. 9. – P. 1-6.
206. McKee T.B. The relationship of drought frequency and duration to time scales / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kleist // Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology. – Anaheim (USA). – 1993. – P. 179–184.
207. Palmer W.C. Meteorologic drought / W.C. Palmer // Weather Bureau Research Paper No. 45 – Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. – 58 p.
208. Piani C. Statistical bias correction for daily precipitation regional climate models over Europe / C. Piani, J.O. Haerter, E. Coppola // Theoretical and Applied Climatology. - 2010. – V. 99. - Issue 1-2. - P.187-192.

209. Roeckner E. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate / E. Roeckner, K. Arpe, L. Bengtsson, M. Cristoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida. // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – No.218
210. Samuelsson P. The Rossby centre regional climate model RCA3: Model description and performance / P. Samuelsson, C.G. Jones, U. Willén, A. Ullerstig, S. Gollvik and co-authors. // Tellus. - 2011.- 63A, 4–23.
211. Sattar Chavoshi Borujeni. Development of L-moment based models for extreme flood events // Malaysian journal of mathematical sciences. – 2009, 3 (2). – P. 281-296.
212. Thornthwaite C.W. An approach toward a rational classification of climate / C.W. Thornthwaite // Geographical Review. – 1948. – Vol. 38, Iss. 1. – P. 55–94.
213. UNESCO, Map of the world distribution of arid regions. MAB Technical Note no 7. – 1979.
214. Vicente-Serrano Sergio M. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index / Sergio M. Vicente-Serrano, Santiago Begueri´A, Juan I. Lo´Pez-Moreno // Journal of climate. – 2010. – P. 1698-1718.
215. Wilhite D.A. Understanding of drought phenomenon: The role of definitions / D.A.Wilhite, M.H. Glantz // Water Intern, 1985. – Vol.10. – N 3. – P.111-120
216. World Meteorological Organization, 2003: Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe (B. Arheimer and J. Olsson). WMO Technical Reports in Hydrology and Water Resources, No. 75. WMO/TD-No. 1174. Geneva

Додаток А

Перевірка на однорідність рядів річного стоку

Таблиця А.1

Перевірка рядів річного стоку на однорідність

Річка - пост	Критерій Фішера-Снедекора			Критерій Стьюдента			Критерій Вілкоксона				Загальний висновок про ряд
	F	F _{кр}	Однорідність	t	t _{кр}	Однорідність	U	U ₁	U ₂	Однорідність	
р.Савранка-с.Осички	1,80	2,06	Так	0,98	2,00	Так	472	288	540	Так	Однорідний
р.Кодима-с.Катеринка	2,82	1,91	Ні	0,43	1,99	Так	427	375	681	Так	Неоднорідний
р.Мертвовід-с.Крива Пустош	2,25	2,02	Ні	1,89	2,00	Так	555	305	569	Так	Неоднорідний
р.Інгул-с.Новогорожене	3,45	1,77	Ні	2,75	1,98	Ні	896	467	829	Ні	Неоднорідний
р.Інгул-с.Седнівка	3,28	2,08	Ні	0,37	2,00	Так	402	293	547	Так	Неоднорідний

Продовження табл. А.1

р.Інгул- м.Кіровоград	1,65	1,91	Так	0,56	1,99	Так	445	375	681	Так	Однорідний
р. Тилігул- смт Березівка	2,11	2,11	Ні	1,33	2,00	Так	381	223	437	Так	Неоднорідний
р.Ягорлик- с.Дойбани	4,57	1,98	Ні	0,36	2,00	Так	234	212	428	Так	Неоднорідний
р.Молокіш- с.Вел.Молокіш	3,85	1,96	Ні	5,28	2,00	Ні	615	218	438	Ні	Неоднорідний
р.Когильник- м.Котовськ	3,64	2,17	Ні	1,84	2,01	Так	320	155	325	Так	Неоднорідний

Додаток Б

Хронологічний хід характеристик річного стоку

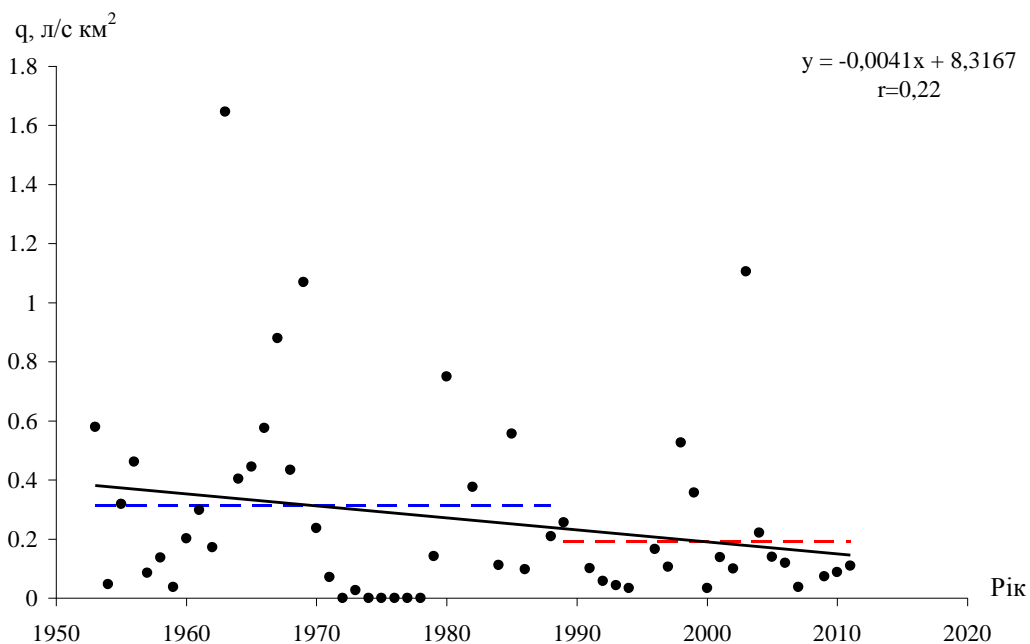


Рис. Б.1. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Тилігул – смт Березівка, 1953-2011 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1953-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2011 рр., — лінія тренду)

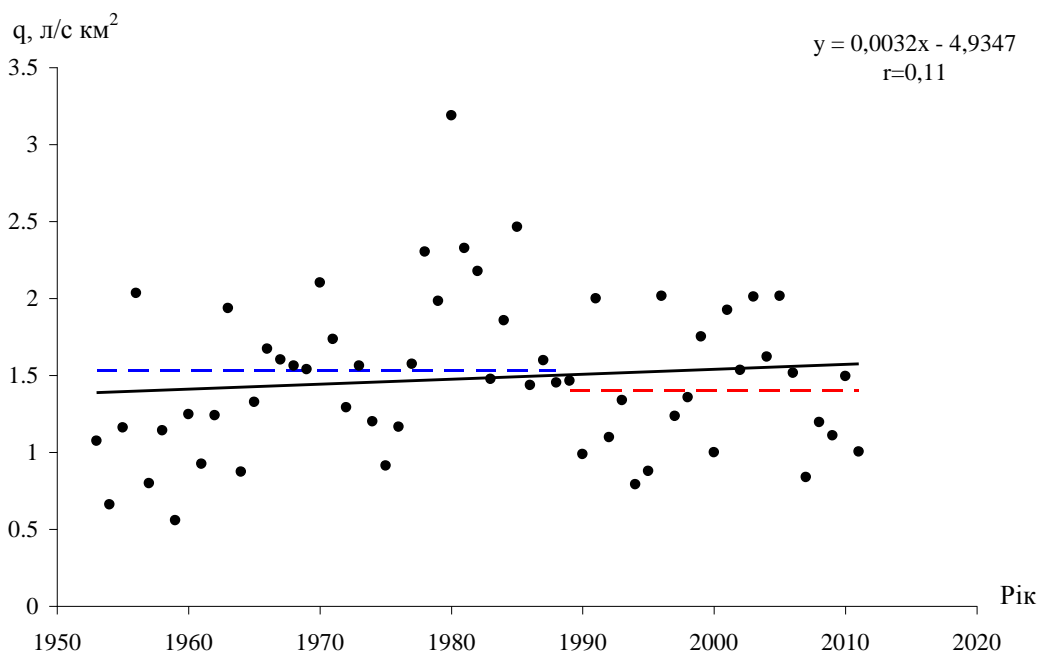


Рис. Б.2. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Савранка – с. Осички, 1953-2011 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1953-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2011 рр., — лінія тренду)

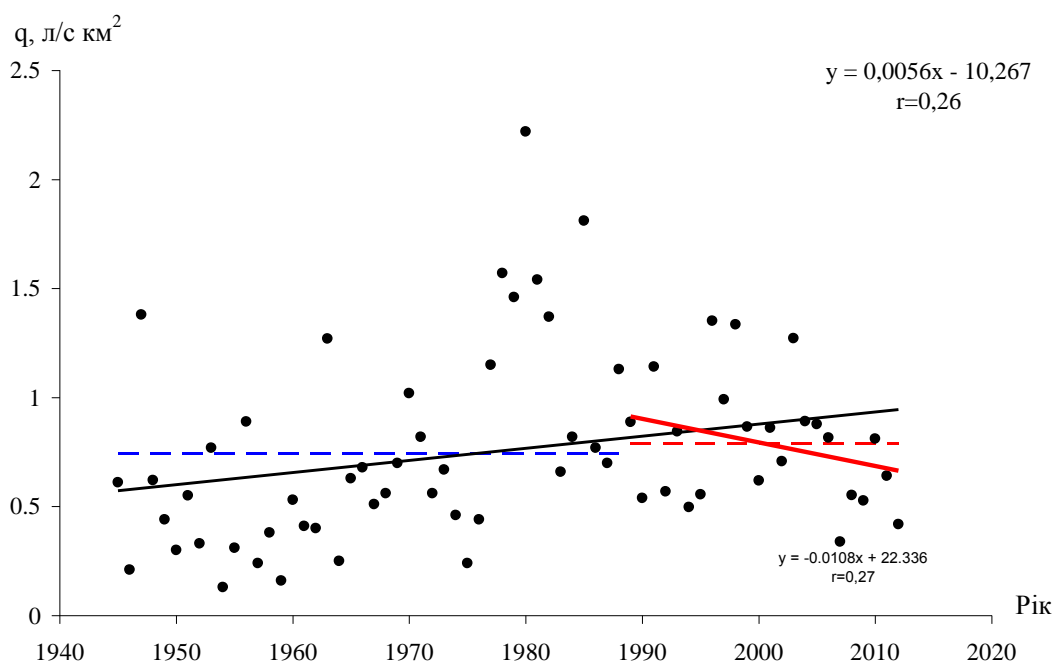


Рис. Б.3. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Кодима – с. Катеринка, 1945-2012 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1945-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2012 рр., — лінія тренду)

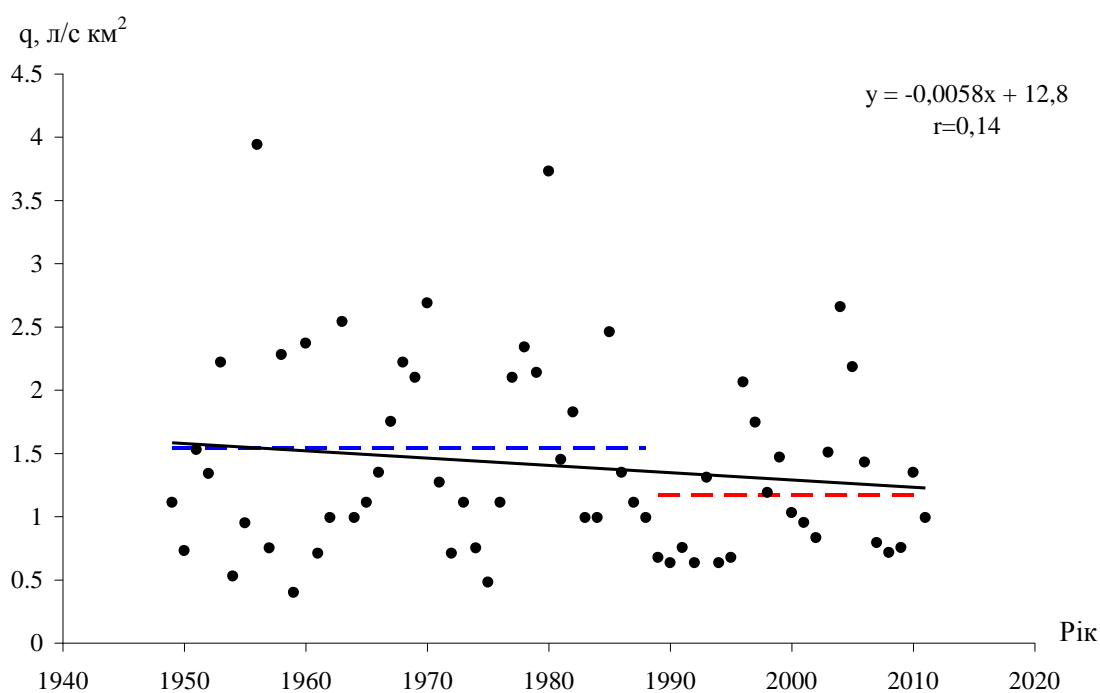


Рис. Б.4. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Мертвовід – с. Крива Пустош, 1949-2011 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1949-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2011 рр., — лінія тренду)

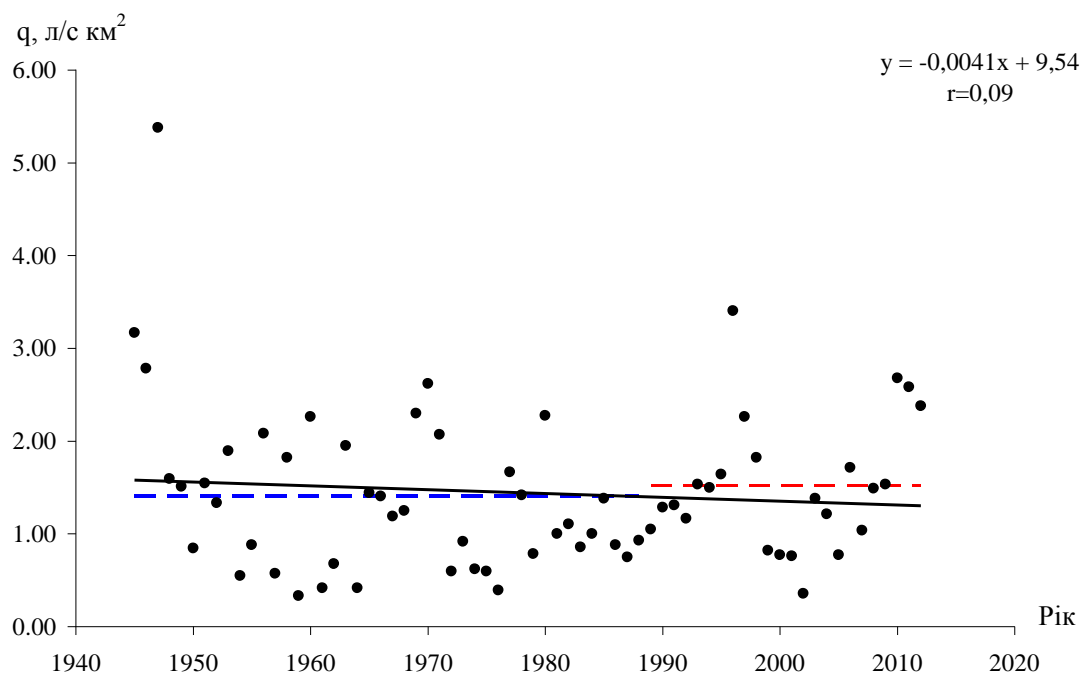


Рис. Б.5. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Інгул – м. Кіровоград, 1945-2012 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1945-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2012 рр., — лінія тренду)

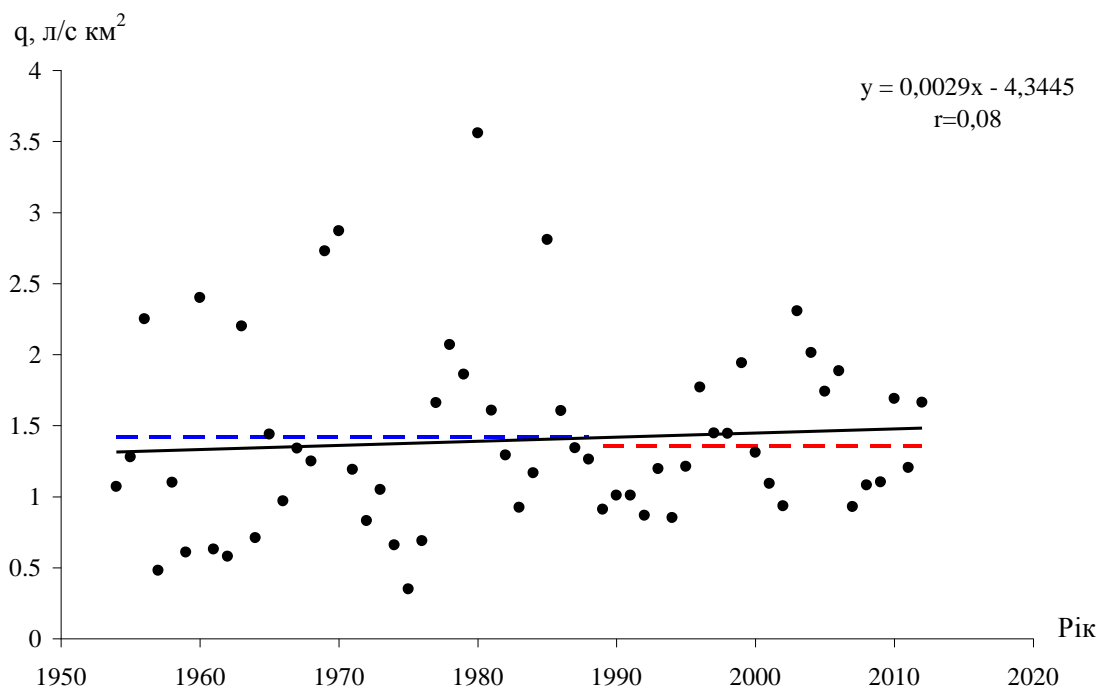


Рис. Б.6. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Інгул – с. Седнівка, 1954-2012 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1954-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2012 рр., — лінія тренду)

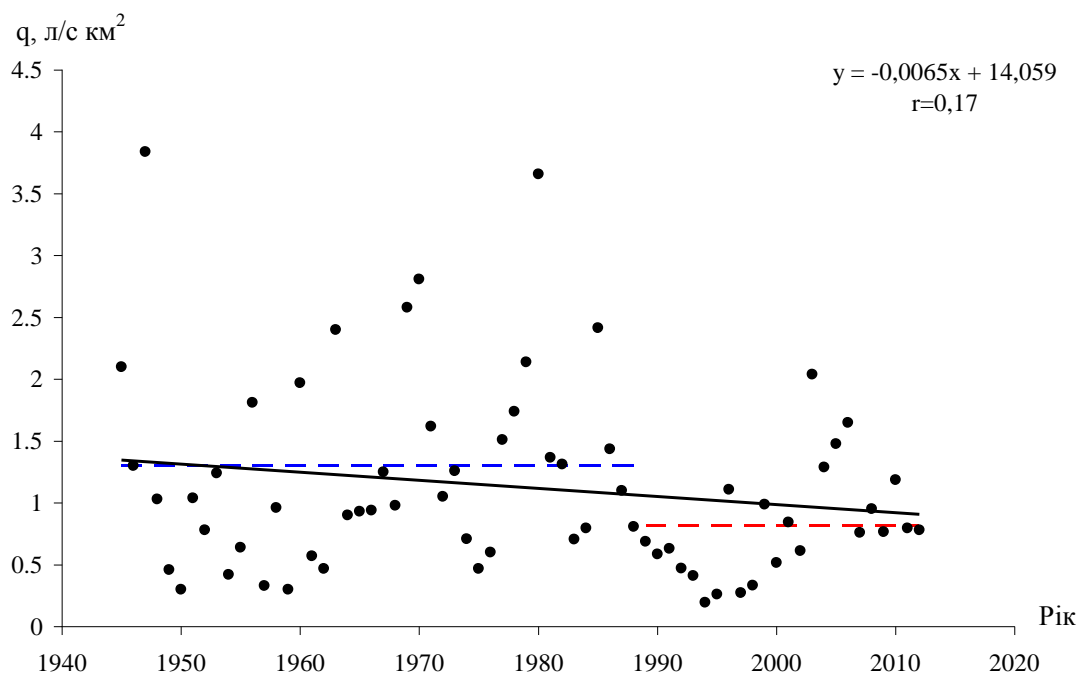


Рис. Б.7. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Інгул – с. Новогорожене, 1945-2012 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1945-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2012 рр., — лінія тренду)

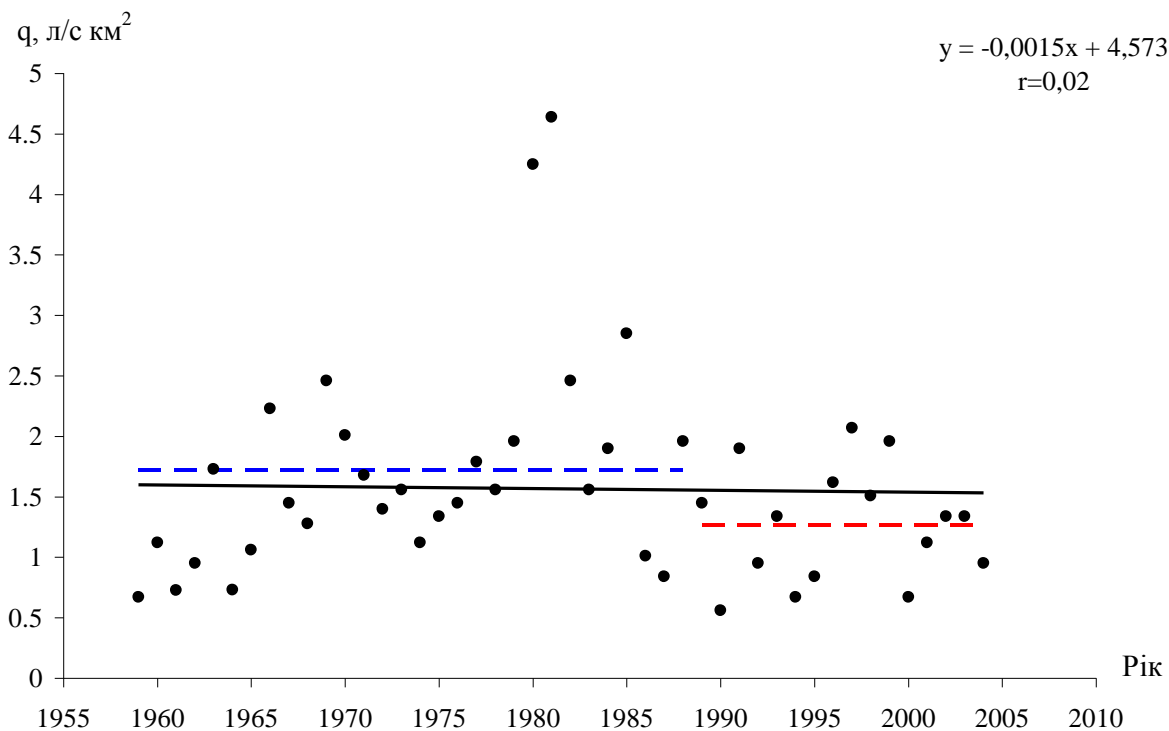


Рис. Б.8. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Когильник – м. Котовськ, 1954-2004 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1954-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2004 рр., — лінія тренду)

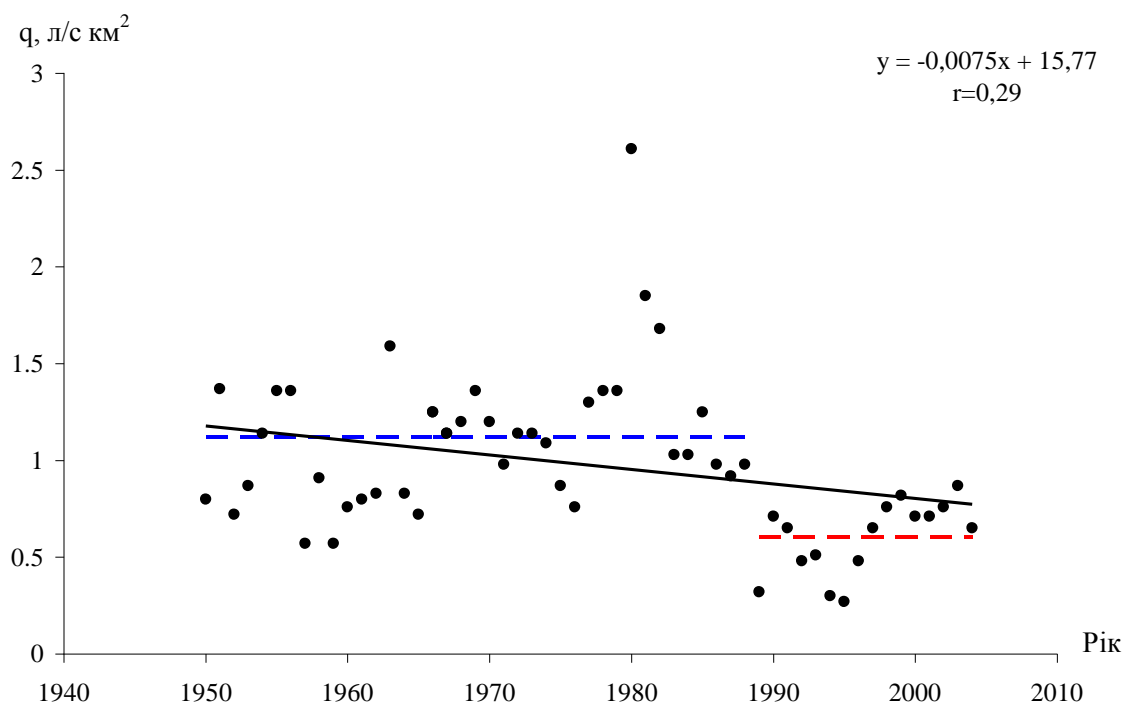


Рис. Б.9. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Молокіш – с. Вел. Молокіш, 1950-2004 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1950-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2004 рр., — лінія тренду)

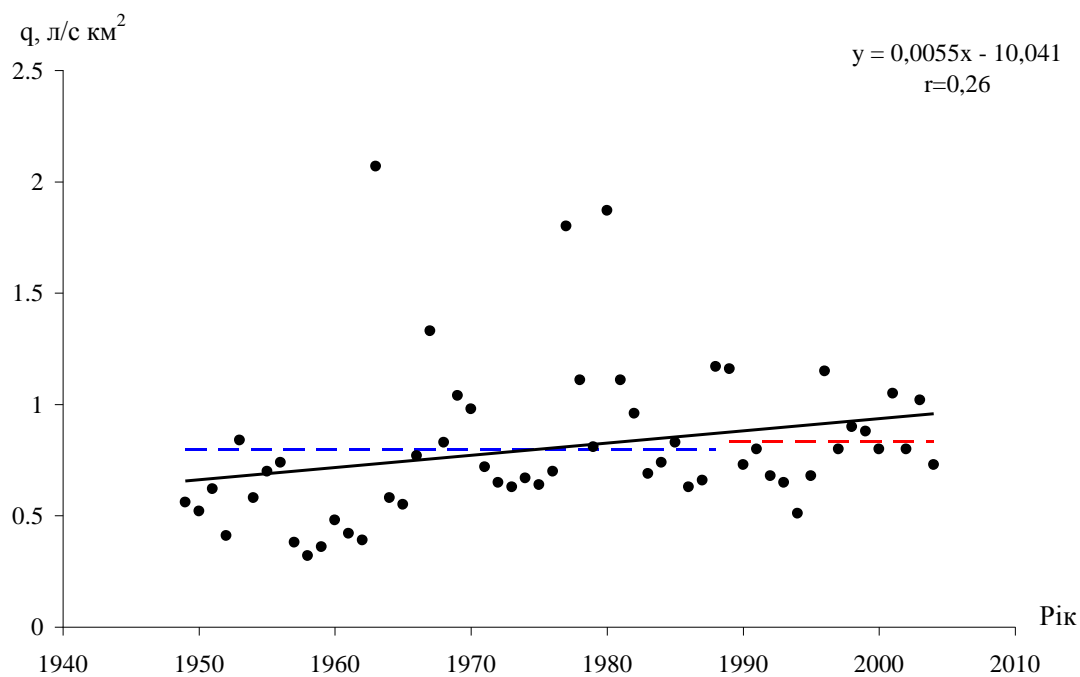


Рис. Б.10. Зміна у часі характеристик річного стоку, р. Ягорлик – с. Дойбани, 1949-2004 рр. (- - - середнє багаторічне значення за період 1949-1988 рр., - - - середнє багаторічне значення за період 1989-2004 рр., — лінія тренду)

Додаток В

Зміни температури повітря та опадів у часі

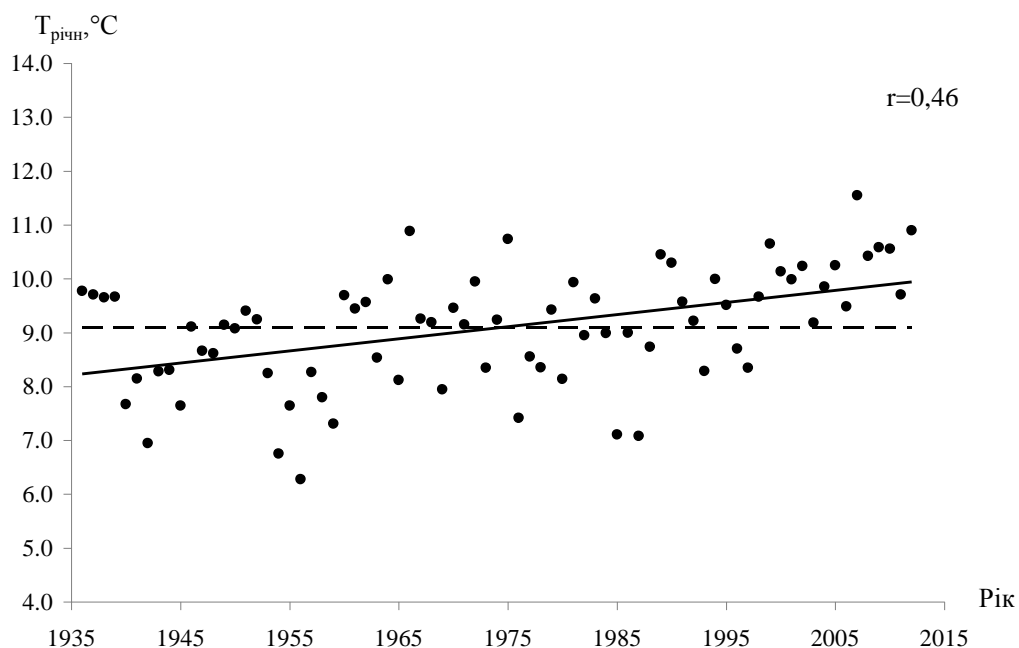


Рис. В.1. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Баштанка, 1936-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

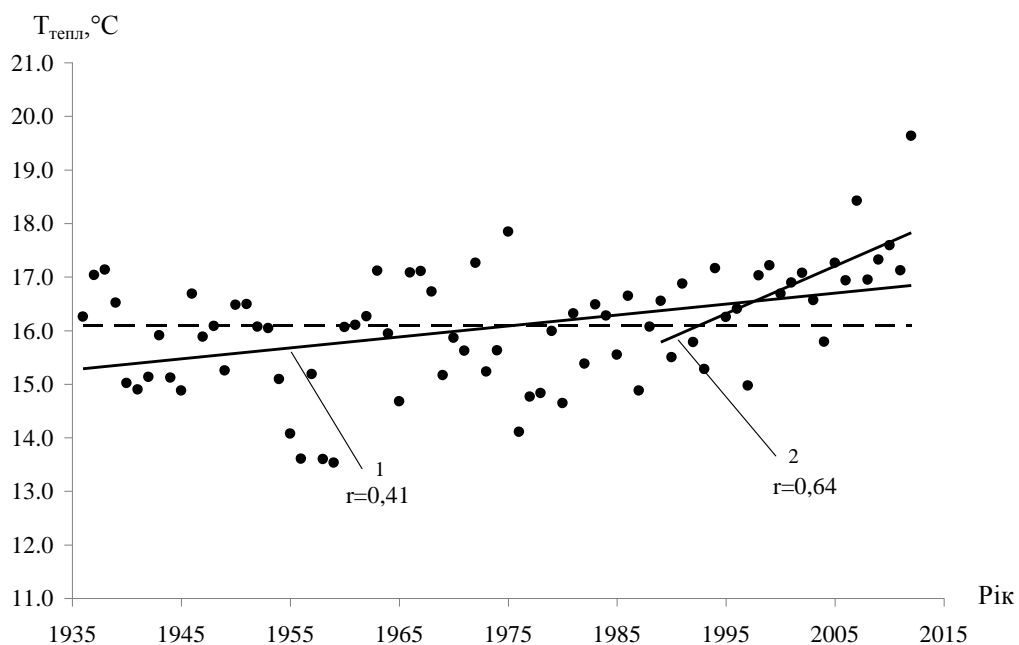


Рис. В.2. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Баштанка (--- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1936-2012 рр., 2 – лінія тренду за 1989-2012 рр.)

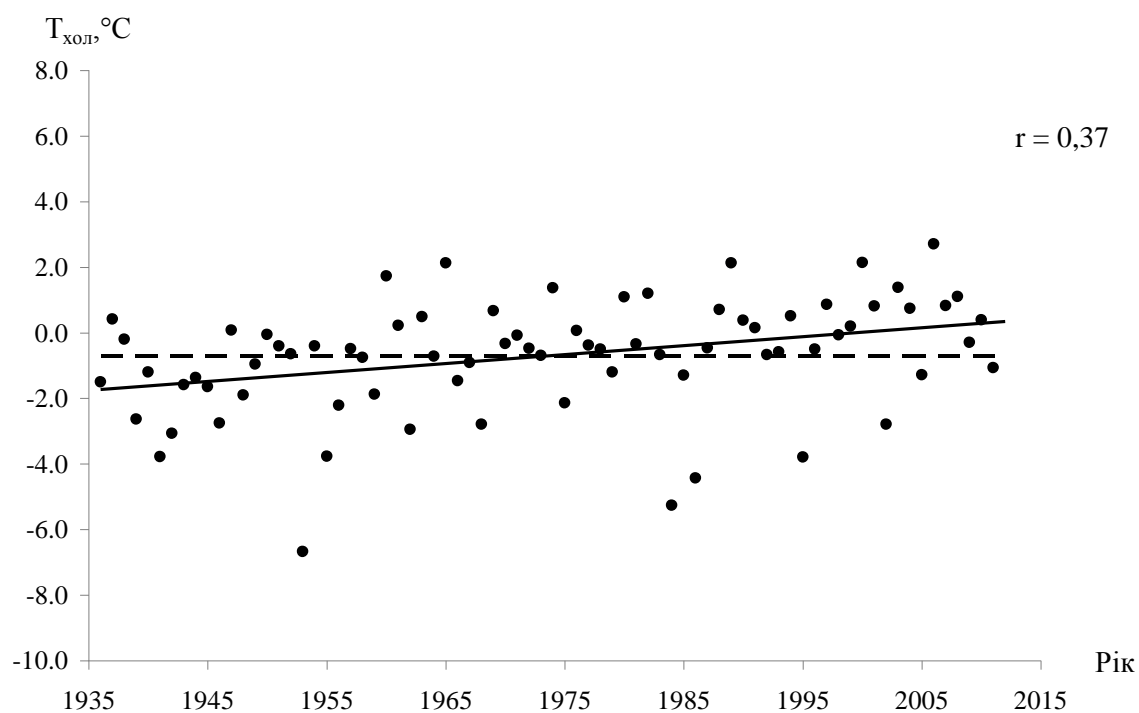


Рис. В.3. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Баштанка, 1936-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

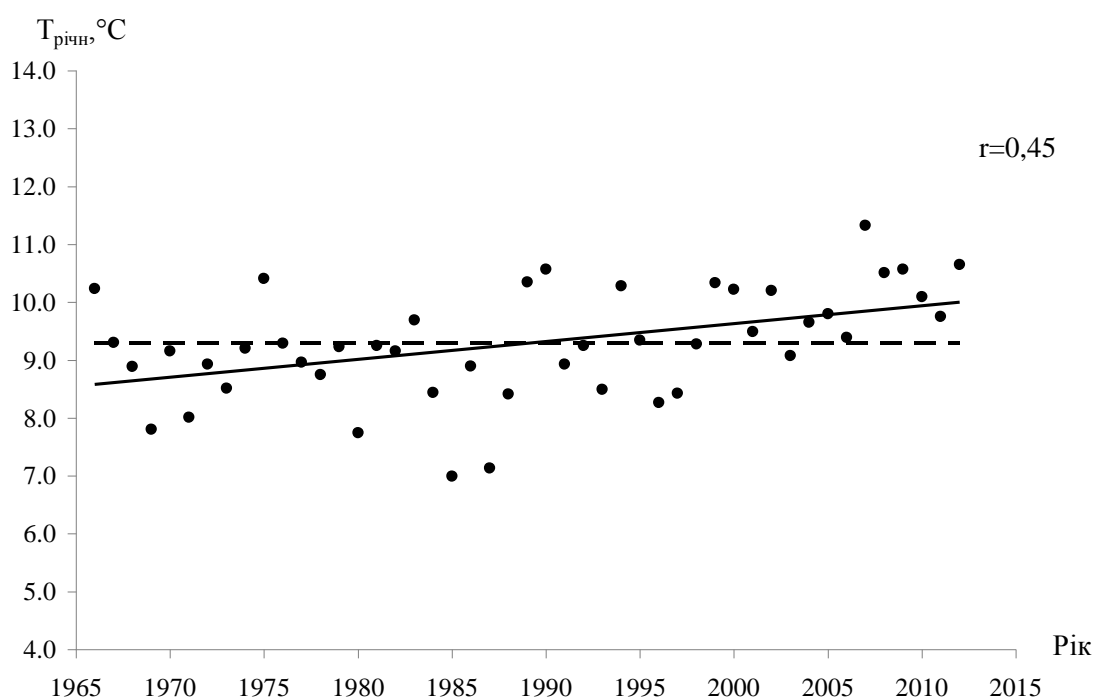


Рис. В.4. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Затишся, 1966-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

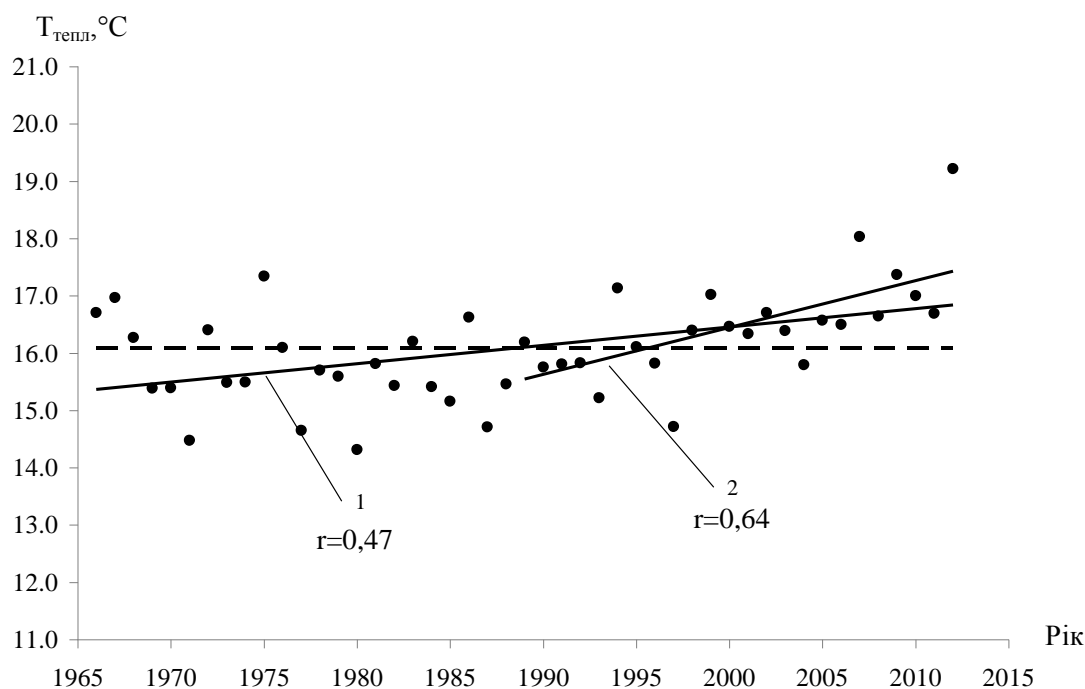


Рис. В.5. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Затишшя (---- середнє багаторічне значення, — — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1966-2012 рр., 2 – лінія тренду за 1989-2012 рр.)

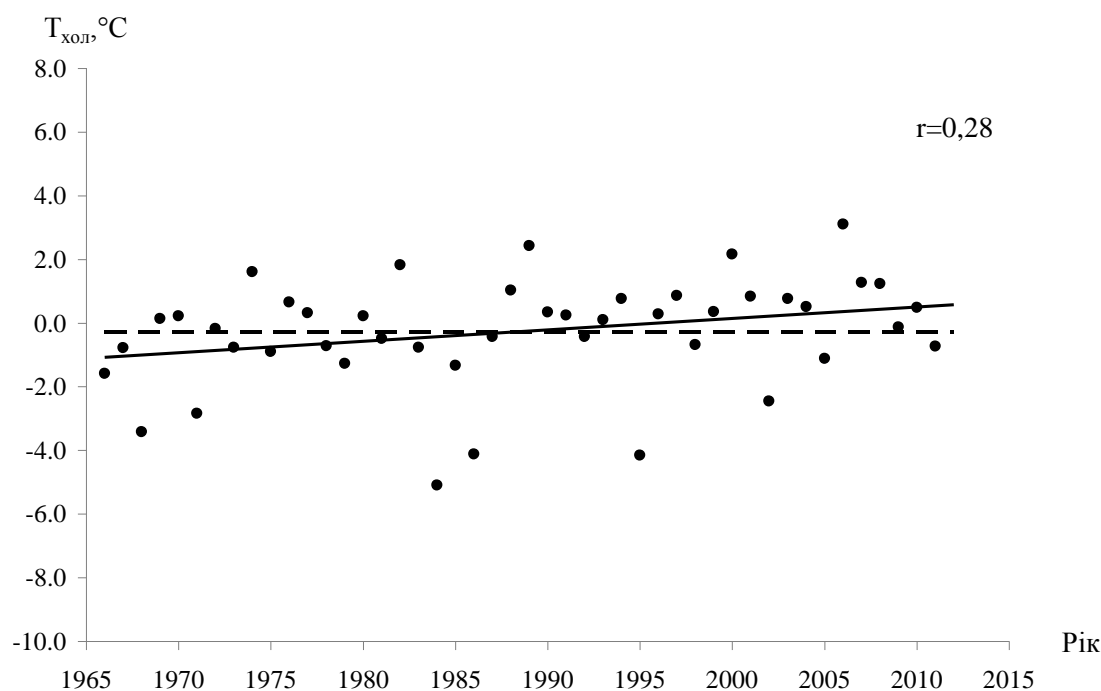


Рис. В.6. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Затишшя, 1966-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

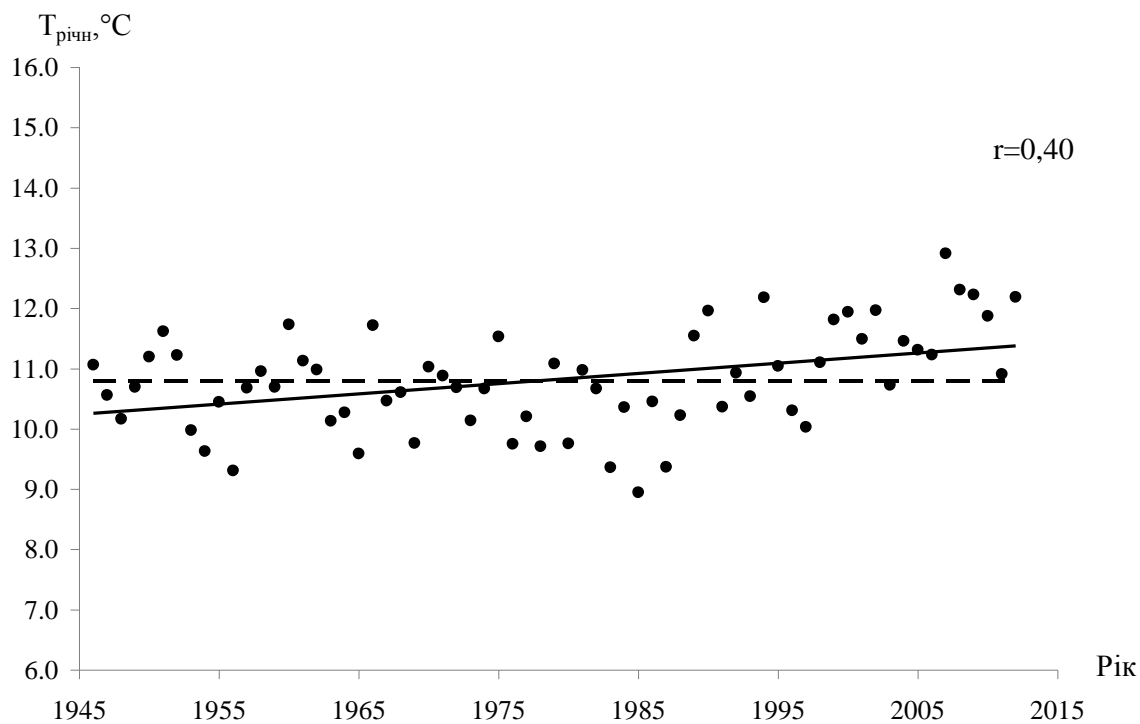


Рис. В.7. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Ізмаїл, 1946-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

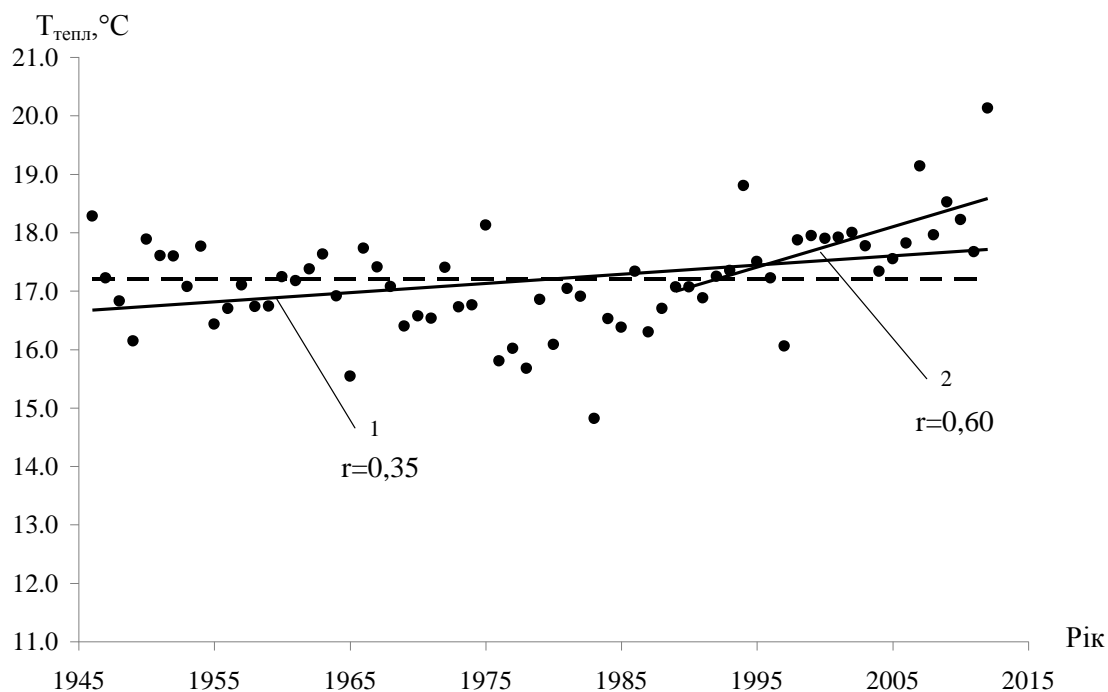


Рис. В.8. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Ізмаїл (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1946-2012 рр., 2 – лінія тренду за 1989-2012 рр.)

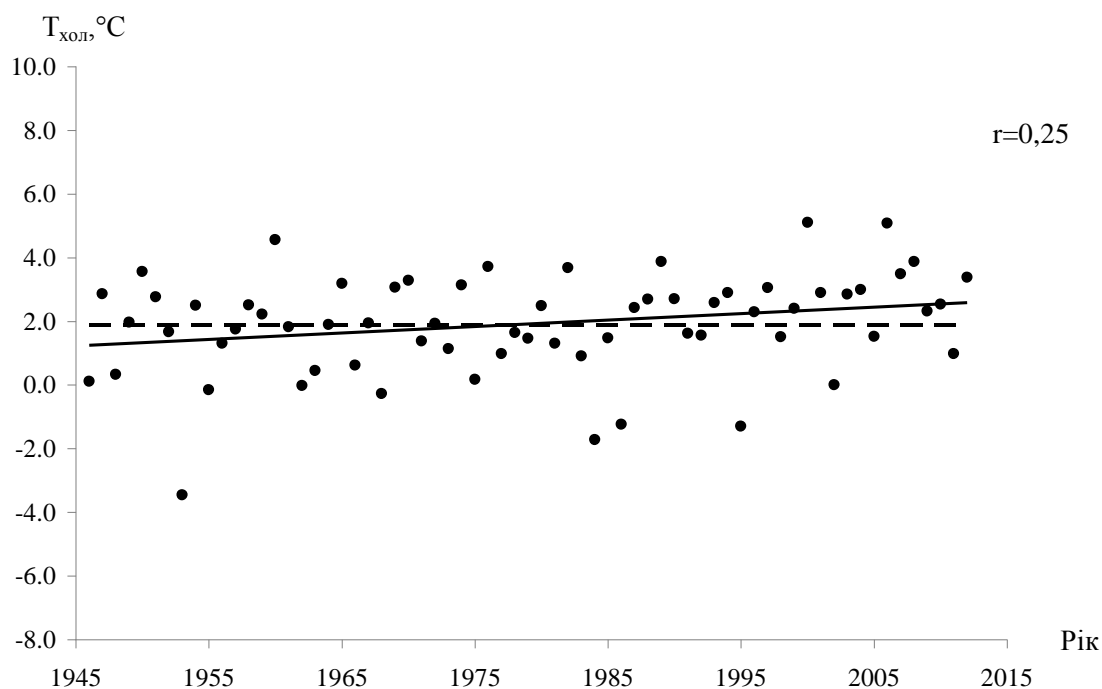


Рис. В.9. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Ізмаїл, 1946-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

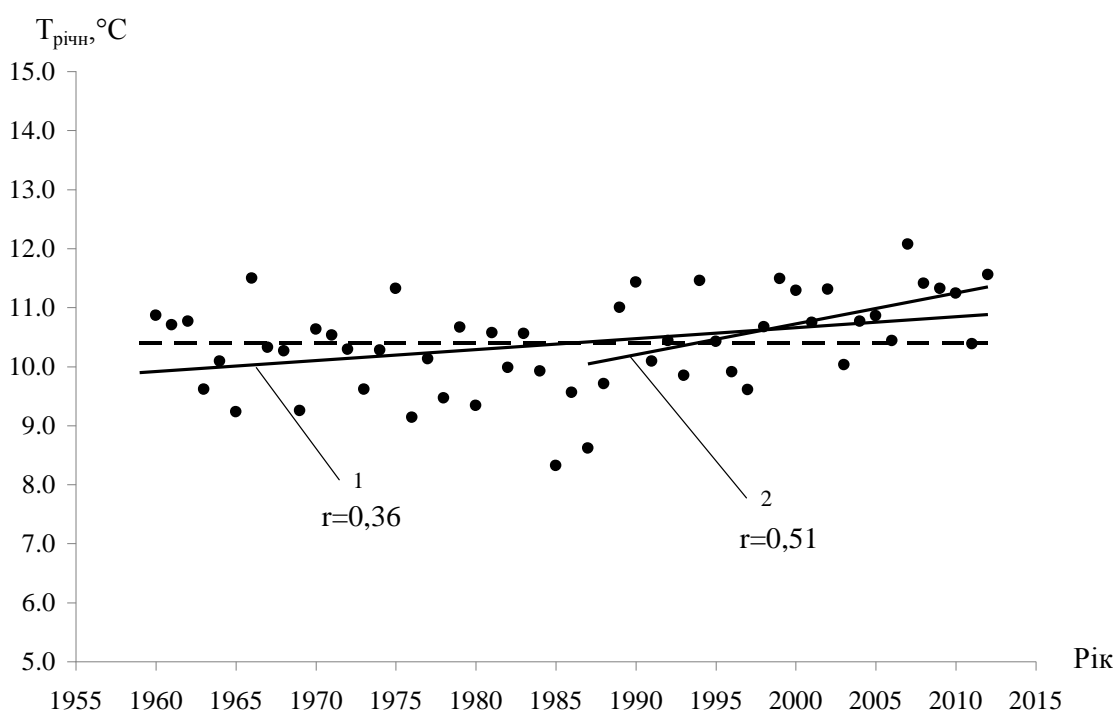


Рис. В.10. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Сарата (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1959-2012 рр., 2 – лінія тренду за 1987-2012 рр.)

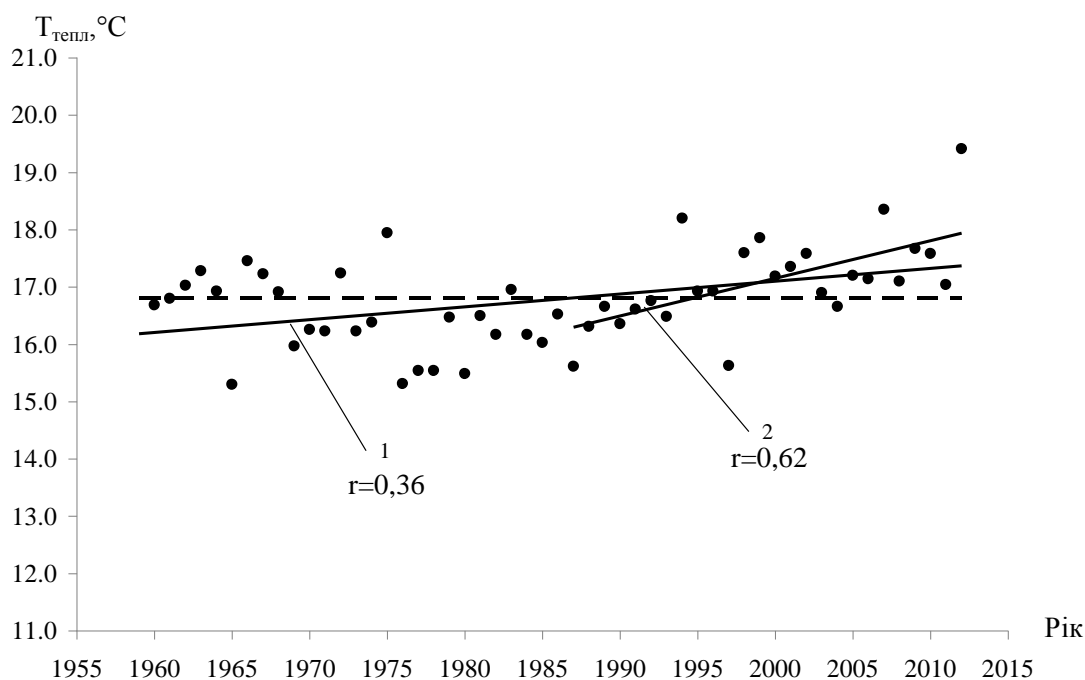


Рис. В.11. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Сарата (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1959-2012 рр., 2 – лінія тренду за 1987-2012 рр.)

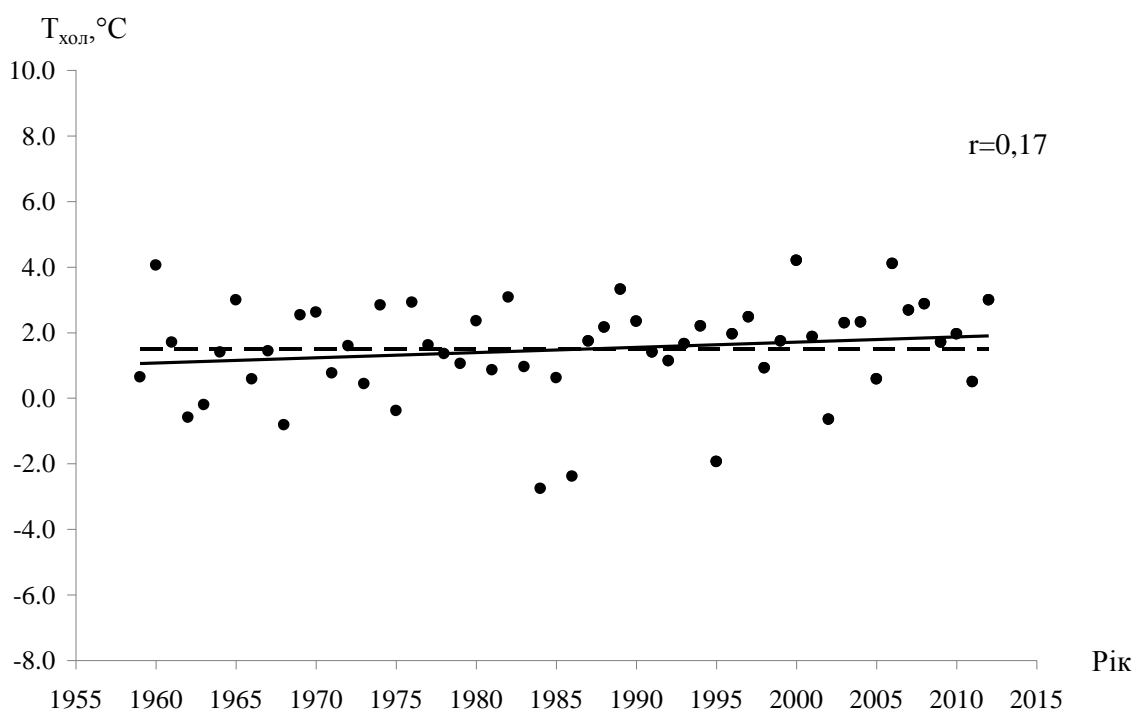


Рис. В.12. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Сарата, 1959-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

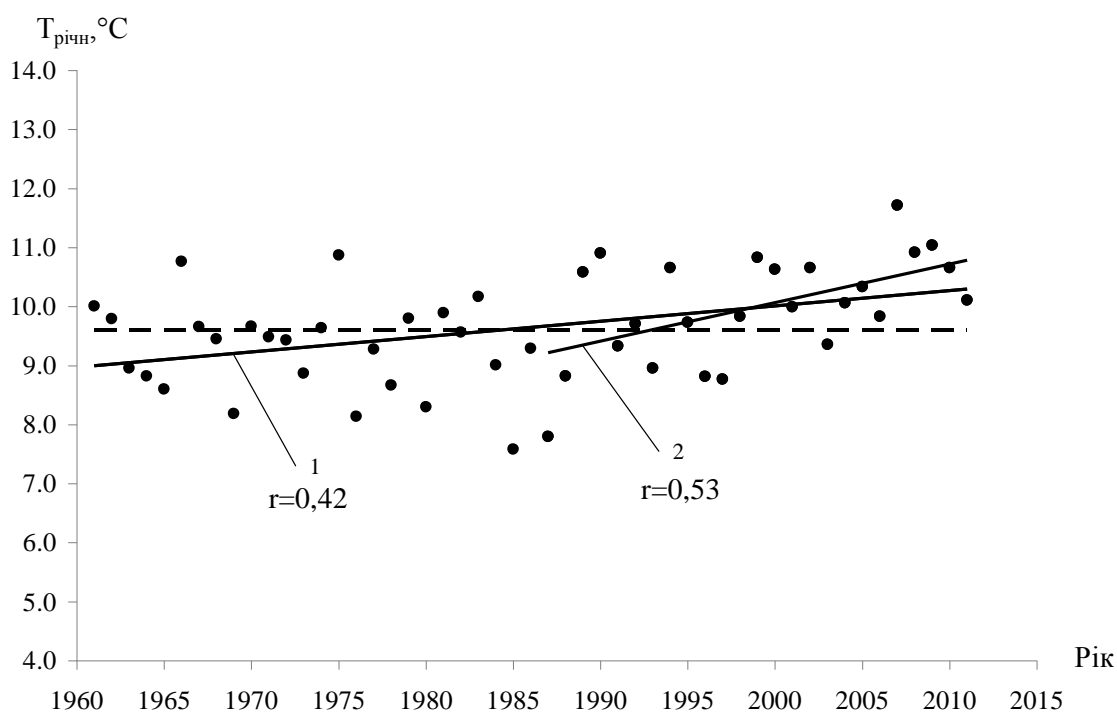


Рис. В.13. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1961-2011 рр., 2 – лінія тренду за 1987-2011 рр.)

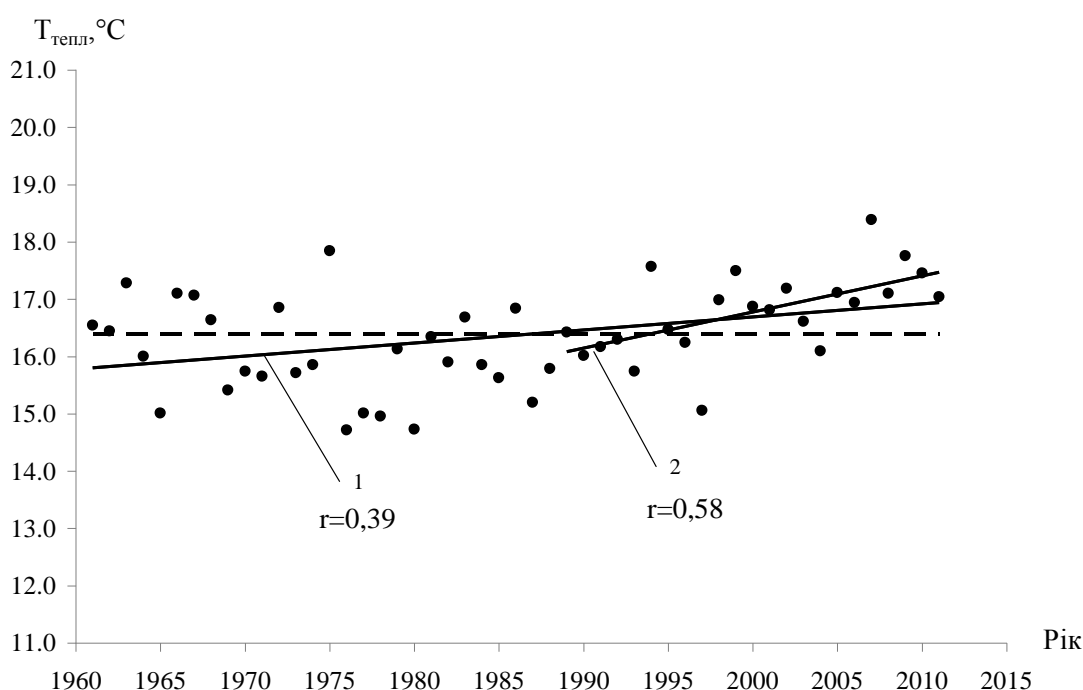


Рис. В.14. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду; 1 – лінія тренду за 1961-2011 рр., 2 – лінія тренду за 1989-2011 рр.)

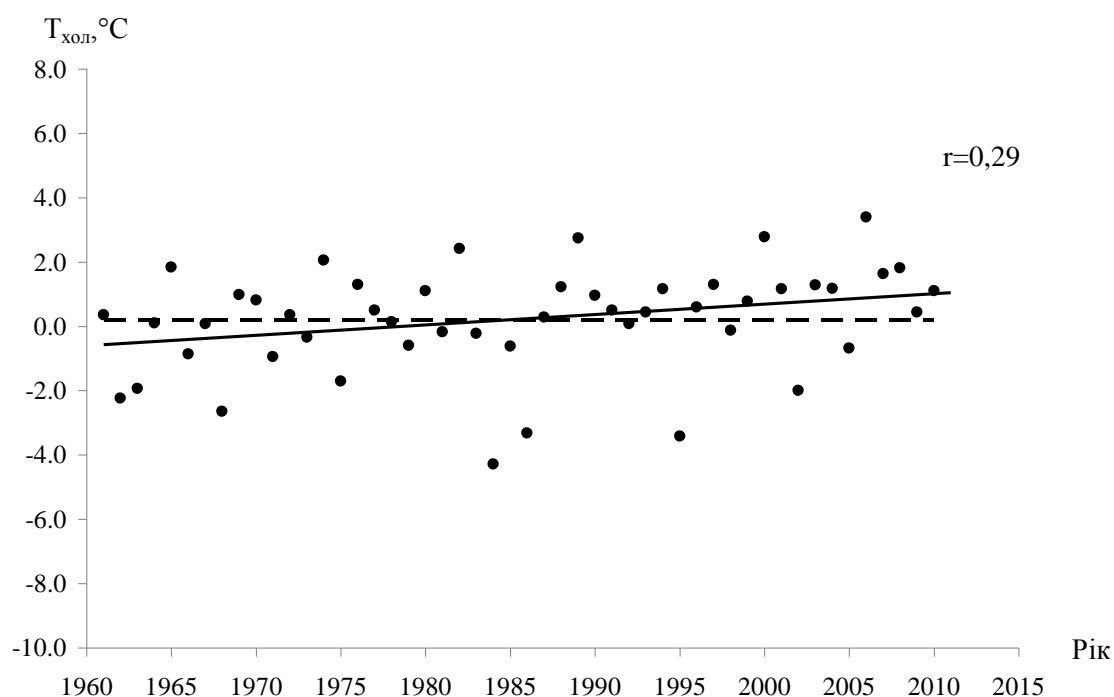


Рис. В.15. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

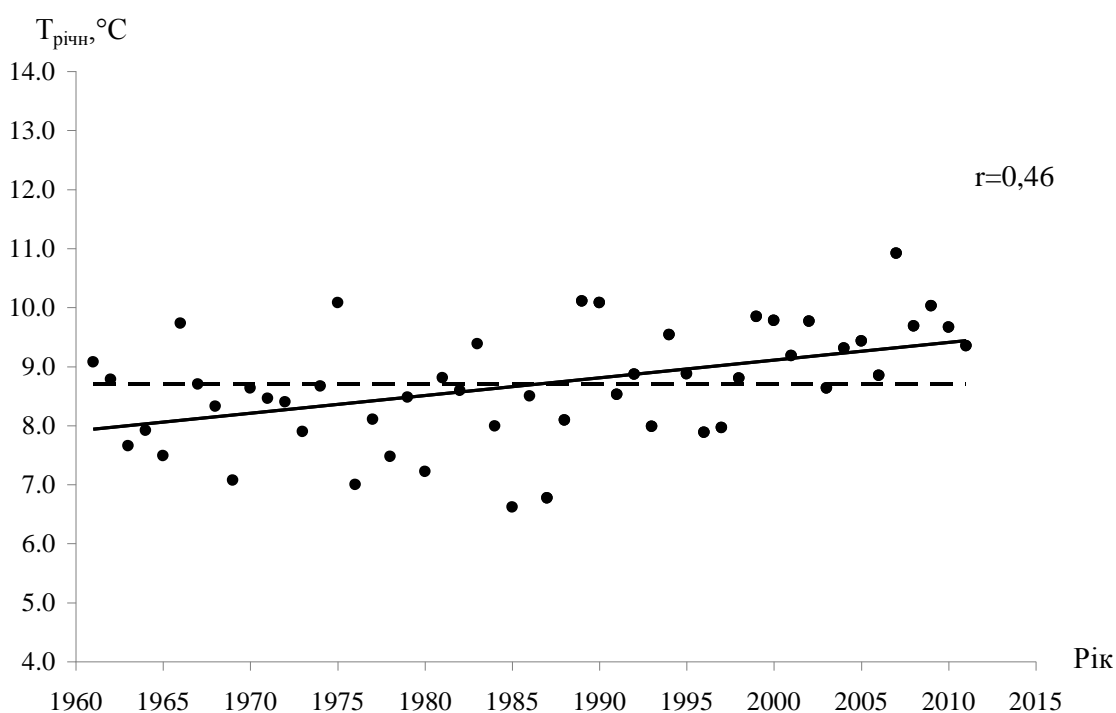


Рис.16. Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

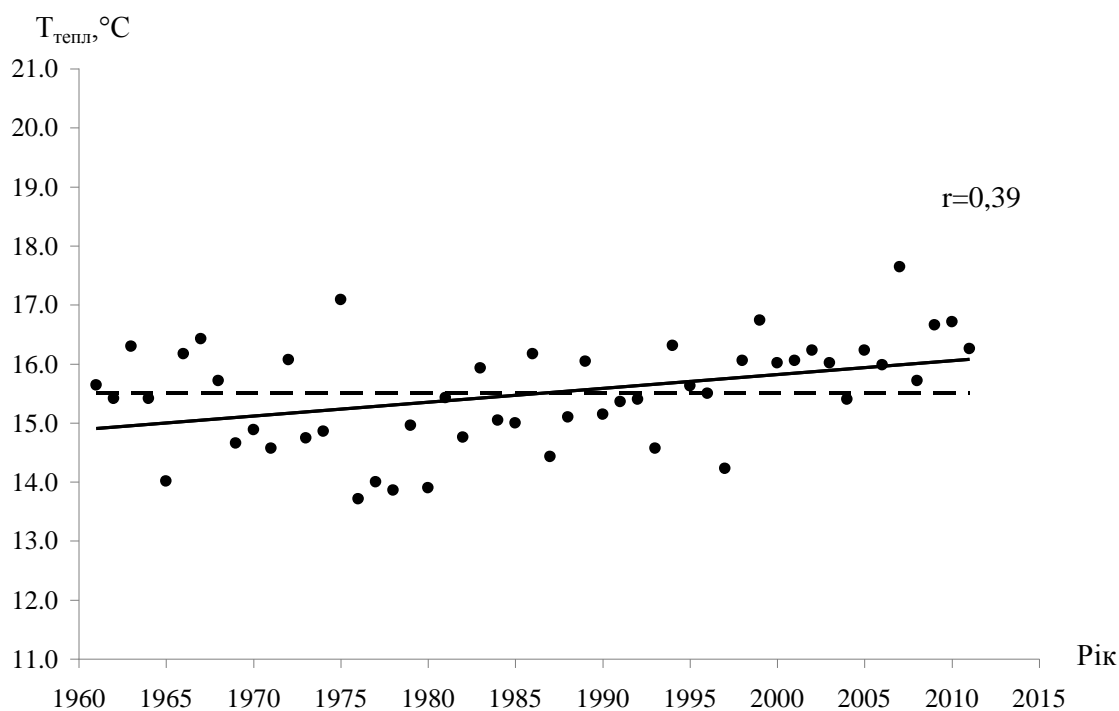


Рис. В.17. Хронологічний хід температури повітря теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

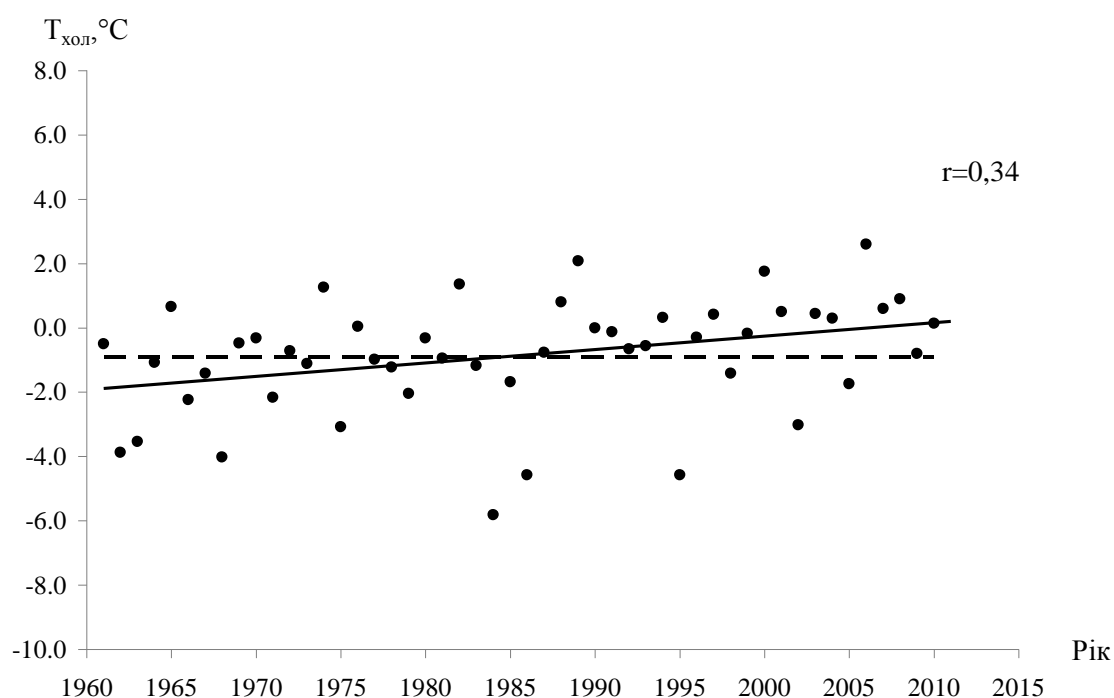


Рис. В.18. Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

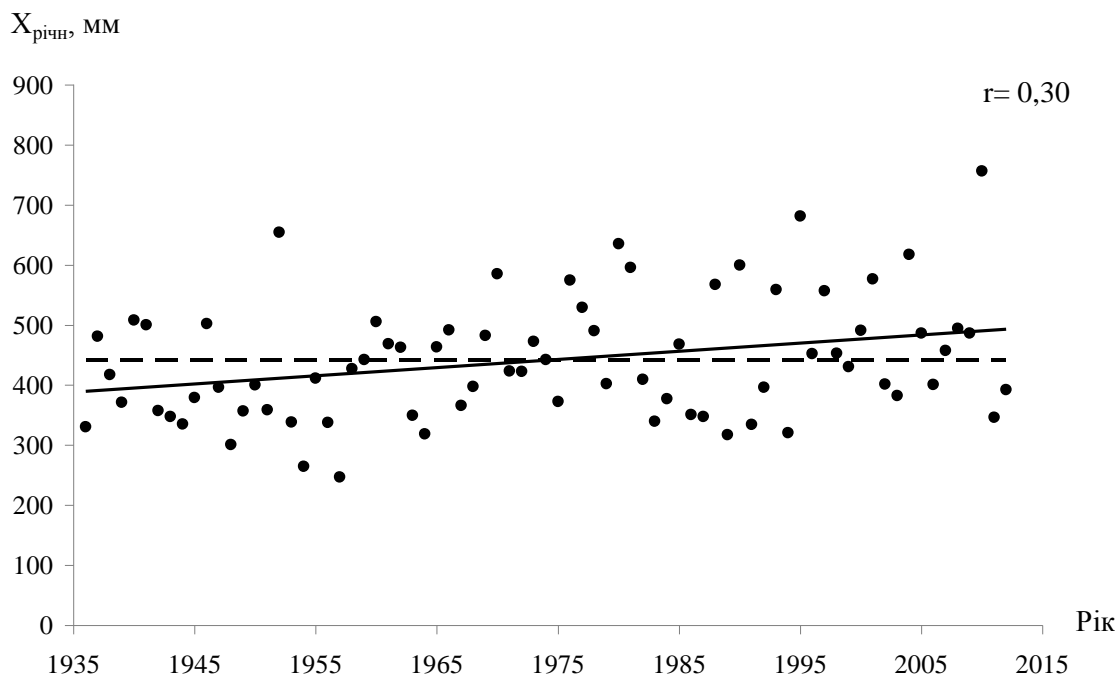


Рис. В.19. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Баштанка, 1936-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

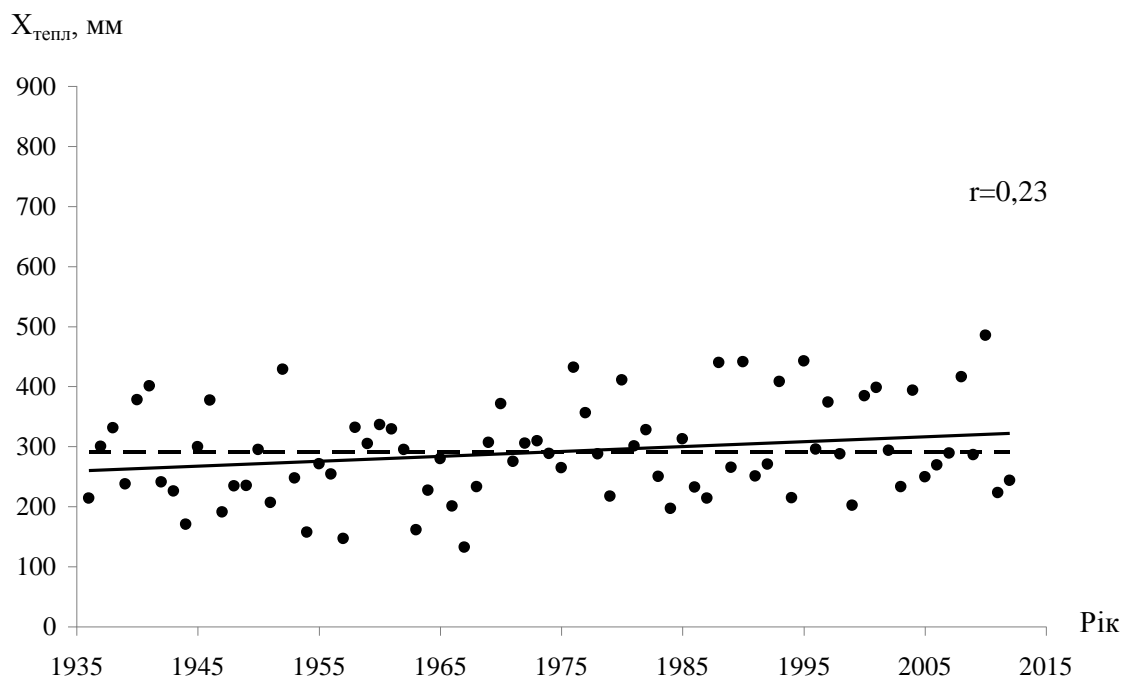


Рис. В.20. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Баштанка, 1936-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

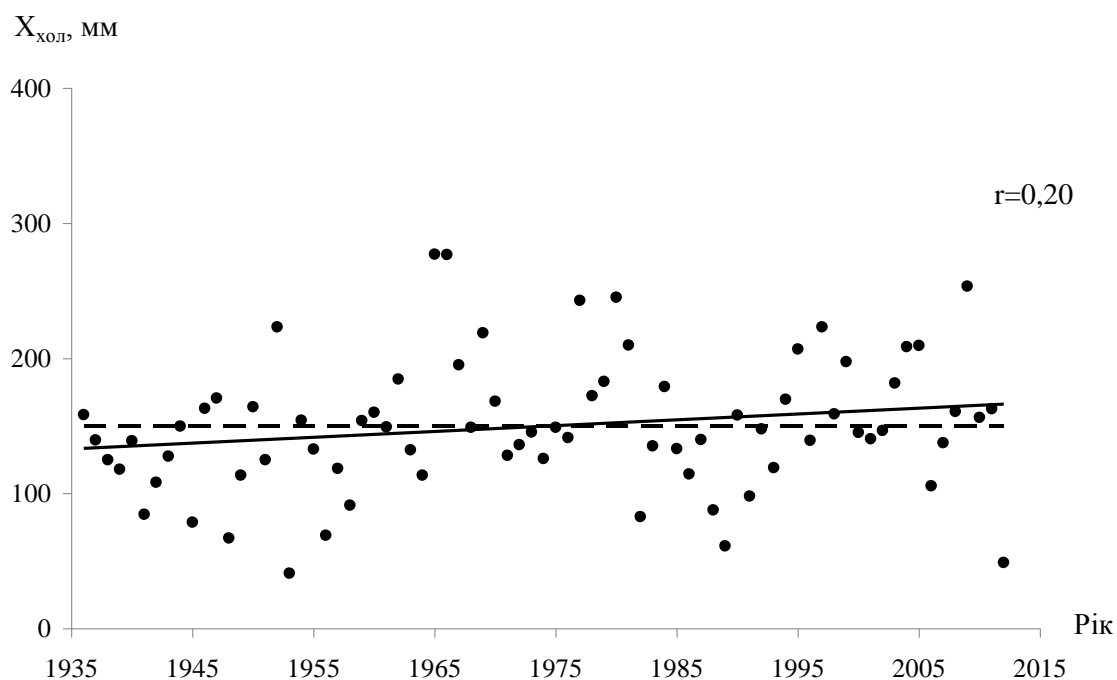


Рис. В.21. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Баштанка, 1936-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

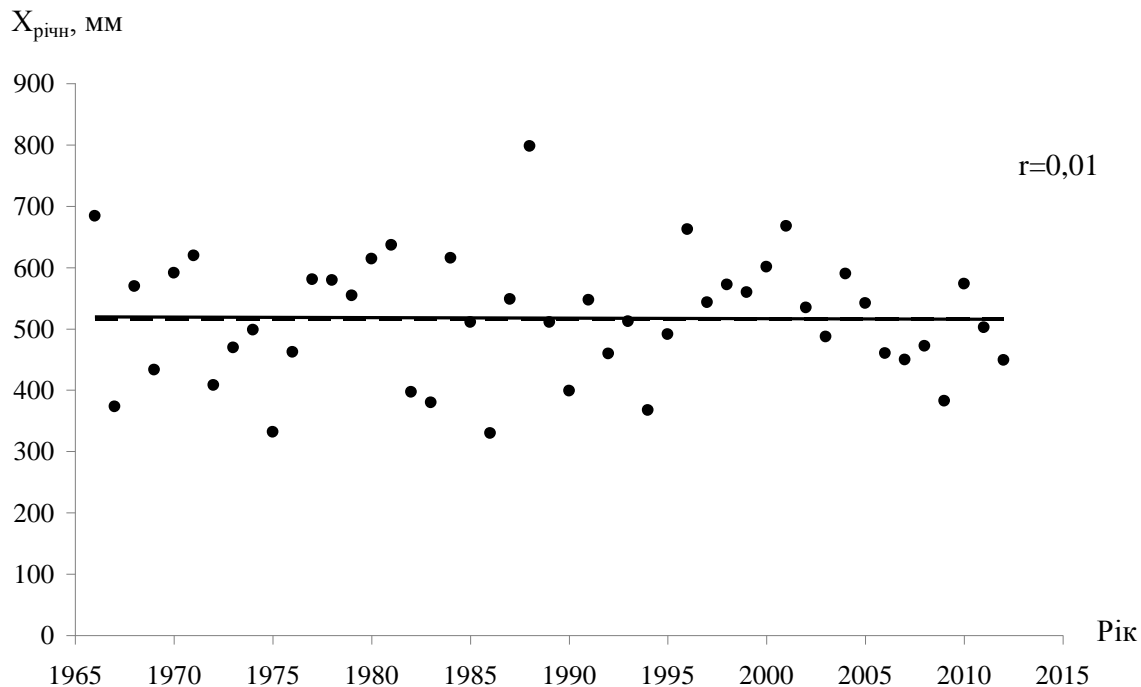


Рис. В.22. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Затишшя, 1966-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

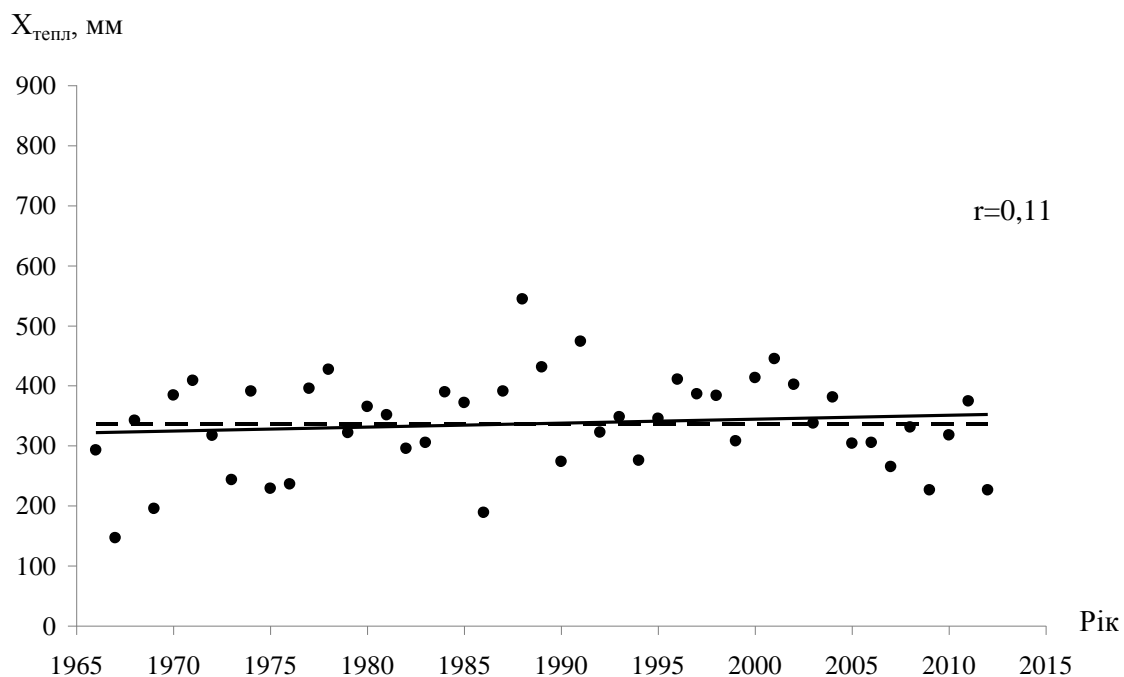


Рис. В.23. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Затишшя, 1966-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

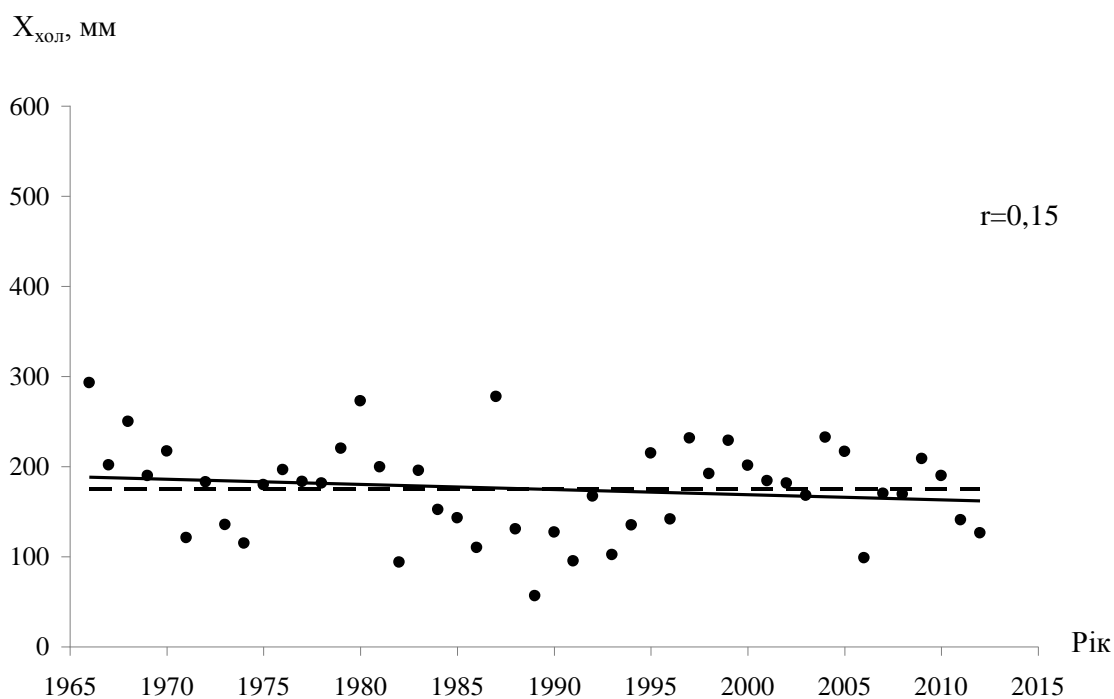


Рис. В.24. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Затишшя, 1966-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

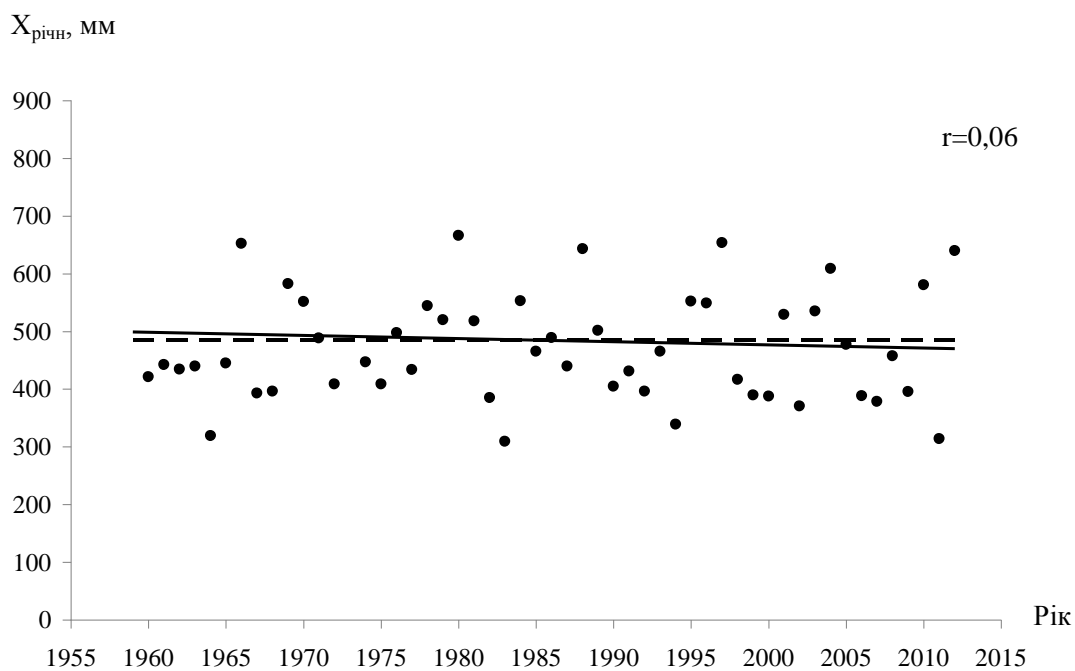


Рис. В.25. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Сарата, 1959-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

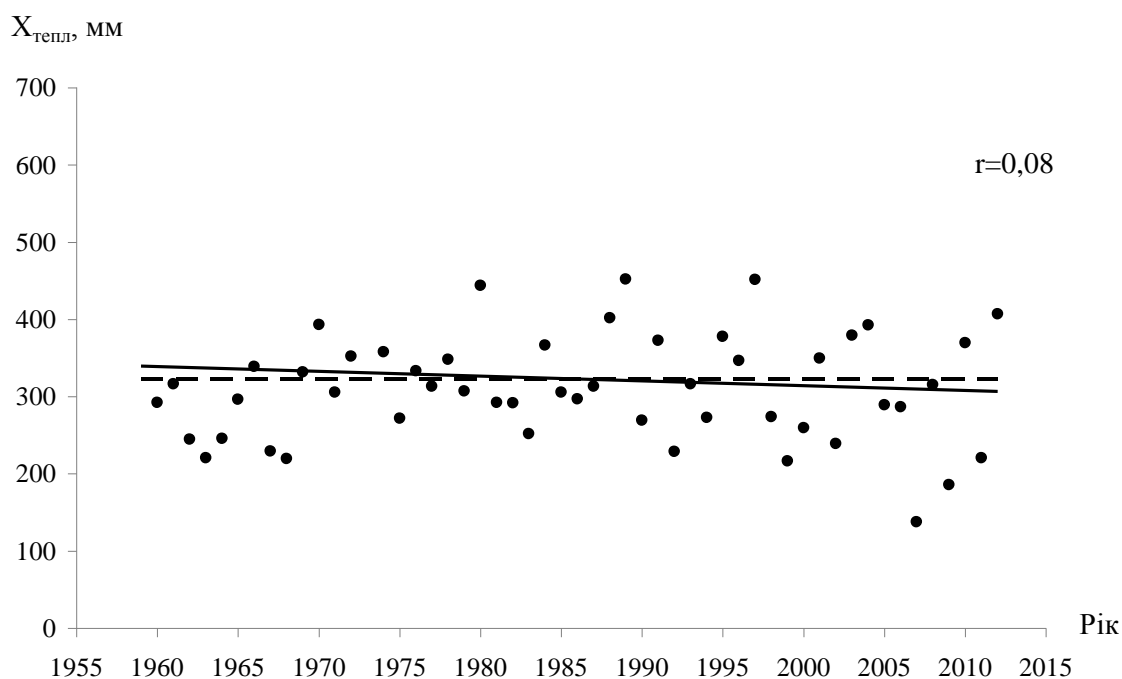


Рис. В.26. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Сарата, 1959-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

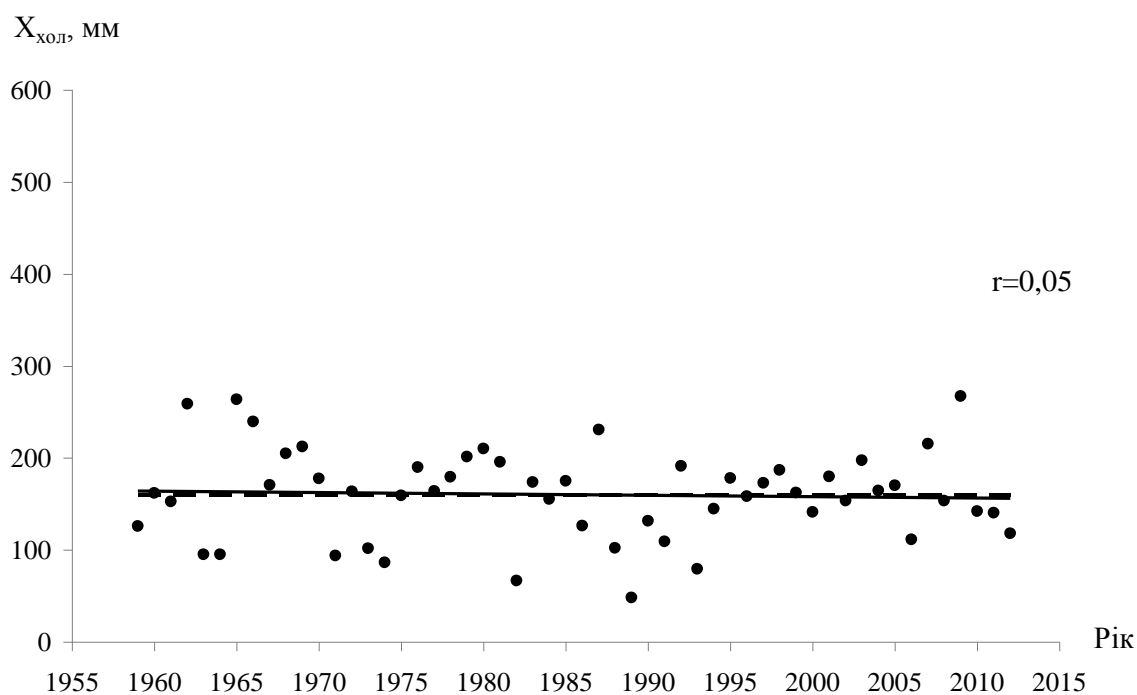


Рис. В.27. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Сарата, 1959-2012 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

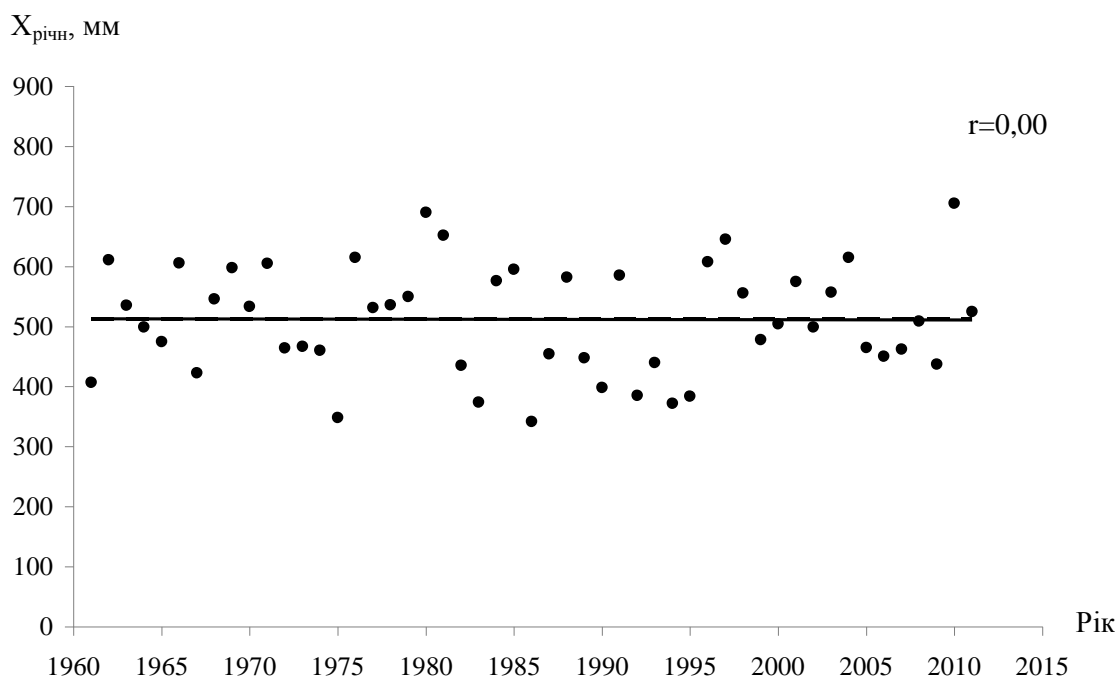


Рис. В.28. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Роздільна, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

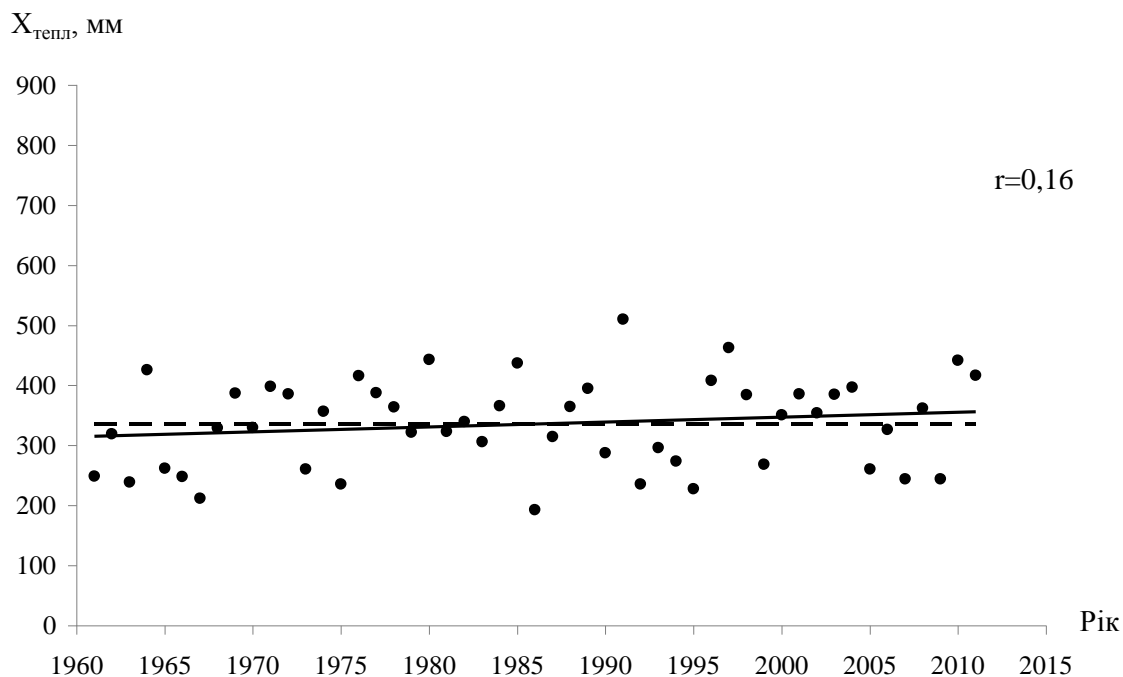


Рис. В.29. Хронологічний хід сум опадів теплового періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

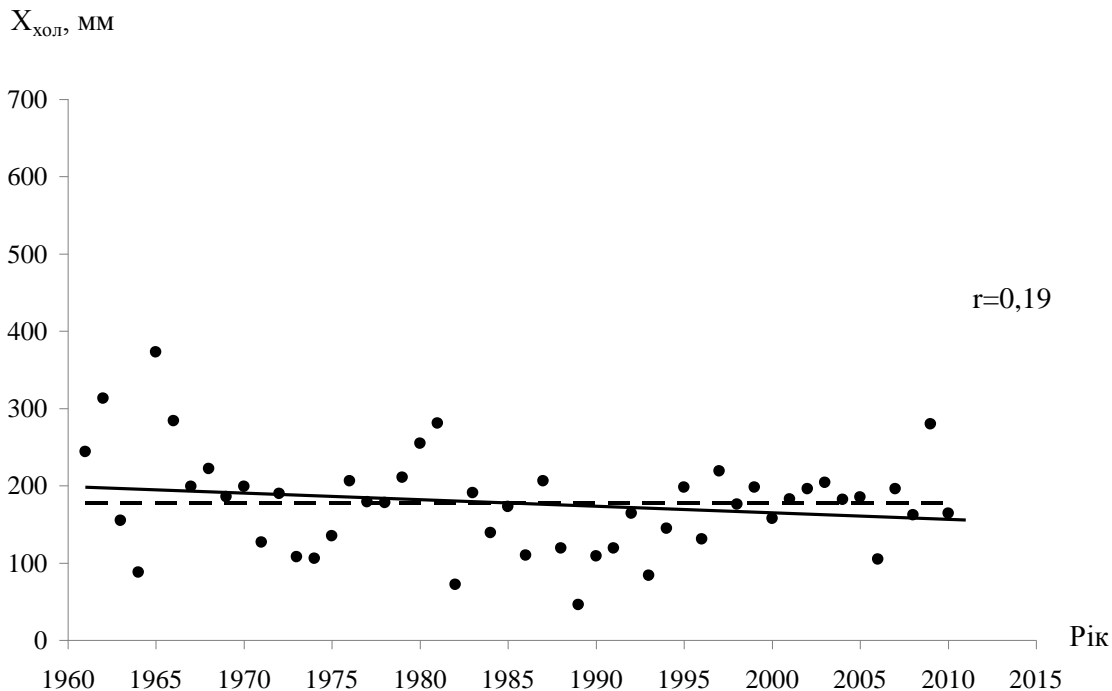


Рис. В.30. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

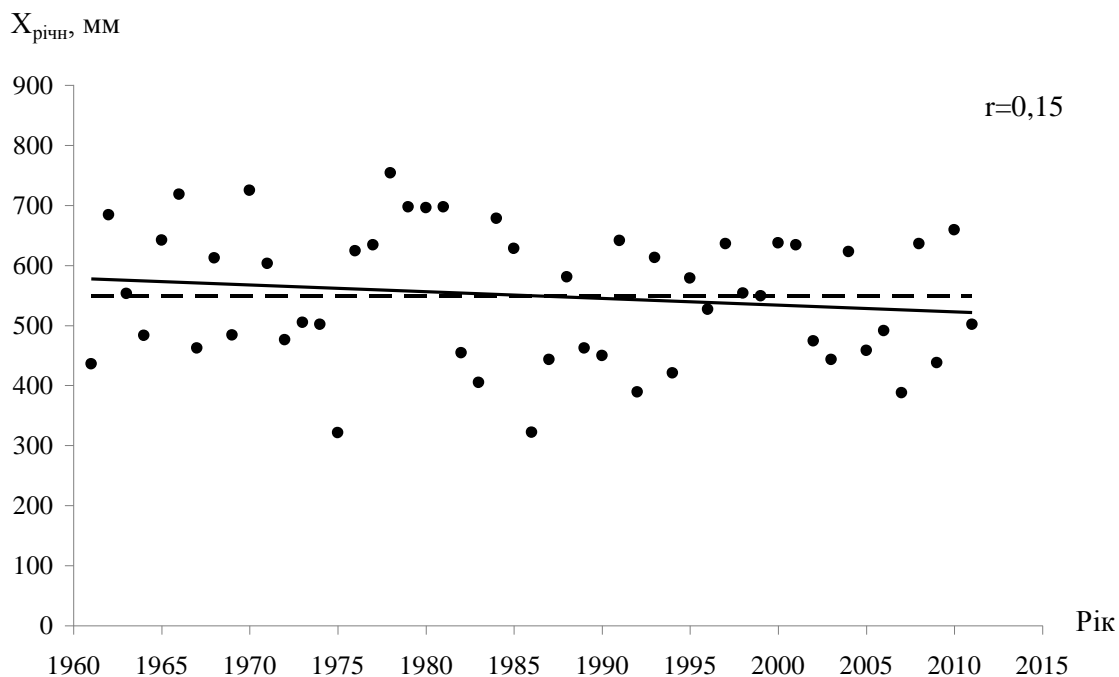


Рис. В.31. Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

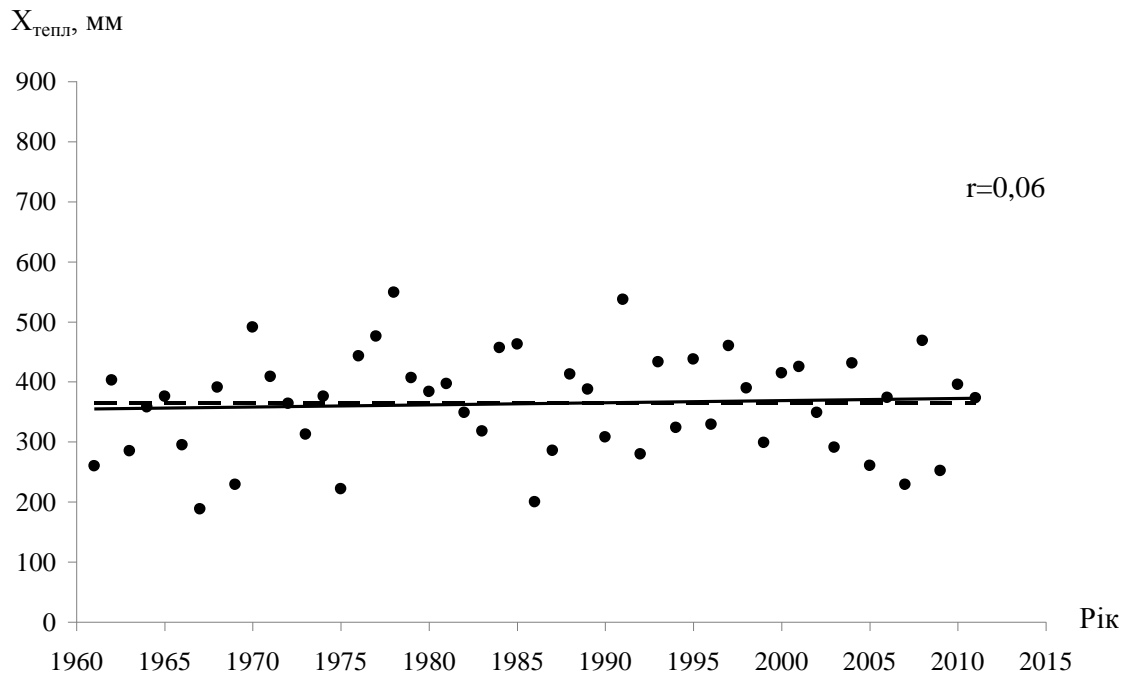


Рис. В.32. Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

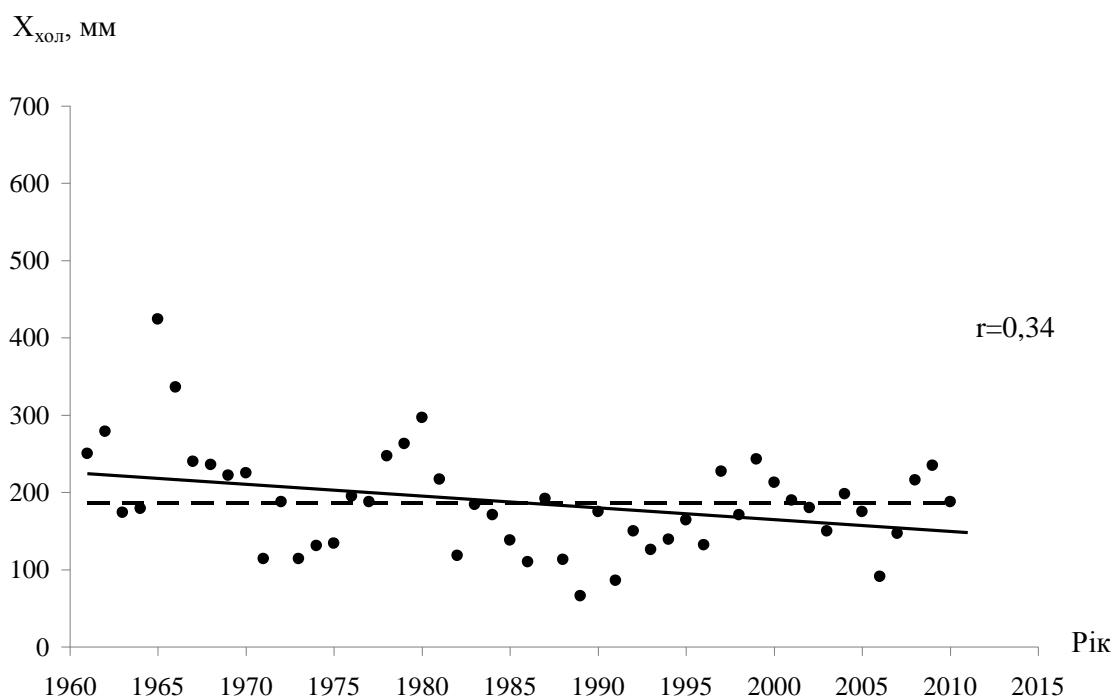


Рис. В.33. Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI-III) за даними метеорологічної станції Любашівка, 1961-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренду)

Додаток Д

Перевірка коефіцієнтів кореляції на значущість

Перевірка значущості коефіцієнта кореляції проводилась за двома критеріями.

По-перше, коефіцієнт кореляції r вважається значущим, якщо виконується умова

$$r \geq 2\sigma_r, \quad (\text{Д1})$$

де σ_r – середня квадратична похибка емпіричного коефіцієнта кореляції, яка визначається за рівнянням

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}, \quad (\text{Д2})$$

де n – довжина ряду.

По-друге, на рівні значущості $\alpha=0,05$ перевірялася гіпотеза про статистичну значущість коефіцієнт кореляції r . Розраховувалися значення критерію Стьюдента $t = \frac{|r|}{\sigma_r}$ і порівнювалися із значеннями $t_{кр}(\alpha; \nu = n - 1)$. Якщо $t < t_{кр}$, приймалася гіпотеза H_0 про статистичну незначущість, тобто про випадковість отриманої оцінки коефіцієнта кореляції. У протилежному випадку, коли $t > t_{кр}$, гіпотеза H_0 відкидалася й приймалася альтернативна гіпотеза H_1 про те, що коефіцієнт кореляції є статистично значущим [190].

В табл. Д1-Д3 представлена перевірка коефіцієнтів кореляції на значущість.

Таблиця Д.1

Перевірка коефіцієнтів кореляції на значущість

Метеостанції	п, років	Характеристика	Вигляд залежності	Коефіцієнт кореляції r	Середня квадратична похибка σ_r	Критерій Стьюдента t	$t_{кр}(\alpha = 0,05, \nu = n - 1)$	Значущість коефіцієнта кореляції
Любашівка	50	$T_{річн}$	$y = 0,03x - 50,9$	0,46	0,11	4,08	2,01	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0234x - 31,0$	0,39	0,12	3,22	2,01	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0417x - 83,7$	0,34	0,13	2,69	2,01	значущий
		$X_{річн}$	$y = -1,12x + 2774$	0,15	0,14	1,07	2,01	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,365x - 361$	0,06	0,14	0,42	2,01	незначущий
		$X_{хол}$	$y = -1,522x + 3209$	0,34	0,13	2,69	2,01	значущий
Затишся	46	$T_{річн}$	$y = 0,031x - 52,4$	0,45	0,12	3,79	2,01	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,032x - 47,514$	0,47	0,12	4,05	2,01	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0358x - 71,4$	0,28	0,14	2,04	2,01	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,933x + 703$	0,01	0,15	0,07	2,01	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,661x - 977$	0,11	0,15	0,75	2,01	незначущий
		$X_{хол}$	$y = -0,574x + 1317$	0,15	0,15	1,03	2,01	незначущий

Продовження табл. Д.1

Баштанка	76	$T_{річн}$	$y = 0,0224x - 35,2$	0,46	0,09	5,05	1,99	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0205x - 24,4$	0,41	0,10	4,27	1,99	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0286x - 57,1$	0,37	0,10	3,71	1,99	значущий
		$X_{річн}$	$y = 1,36x - 2240$	0,30	0,11	2,86	1,99	значущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,812x - 1312$	0,23	0,11	2,10	1,99	значущий
		$X_{хол}$	$y = 0,432x - 703$	0,20	0,11	1,80	1,99	незначущий
Роздільна	50	$T_{річн}$	$y = 0,0259x - 41,7$	0,42	0,12	3,57	2,01	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0228x - 28,93$	0,39	0,12	3,22	2,01	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0323x - 63,97$	0,29	0,13	2,22	2,01	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,0408x + 593$	0,00	0,14	0,00	2,01	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,816x - 1288$	0,16	0,14	1,15	2,01	незначущий
		$X_{хол}$	$y = -0,847x + 1859$	0,19	0,14	1,38	2,01	незначущий
Одеса	113	$T_{річн}$	$y = 0,0122x - 13,7$	0,43	0,08	5,58	1,98	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0098x - 2,66$	0,37	0,08	4,54	1,98	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0156x - 29,2$	0,36	0,08	4,38	1,98	значущий
		$X_{річн}$	$y = 0,855x - 1240$	0,27	0,09	3,08	1,98	значущий

Продовження табл. Д.1

		$X_{\text{тепл}}$	$y = 0,265x - 258$	0,12	0,09	1,29	1,98	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,590x - 982$	0,29	0,09	3,35	1,98	значущий
Сарата	53	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0186x - 26,5$	0,36	0,12	2,98	2,01	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0188x - 20,5$	0,36	0,12	2,98	2,01	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,0159x - 30,0$	0,17	0,13	1,26	2,01	незначущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = -0,542x + 1561$	0,06	0,14	0,43	2,01	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = -0,616x + 1547$	0,08	0,14	0,58	2,01	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = -0,149x + 456$	0,05	0,14	0,36	2,01	незначущий
Ізмаїл	66	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,017x - 22,8$	0,40	0,10	3,84	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0157x - 13,9$	0,35	0,11	3,22	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,0203x - 38,3$	0,25	0,12	2,15	2,00	значущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = 0,359x - 260$	0,06	0,12	0,49	2,00	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = 0,059x + 169$	0,01	0,12	0,08	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,0594x + 46,4$	0,01	0,12	0,08	2,00	незначущий

Таблиця Д.2

Перевірка коефіцієнтів кореляції на значущість (сценарій А1В)

Метеостанції	п, років	Характеристика	Вигляд залежності	Коефіцієнт кореляції r	Середня квадратична похибка σ_r	Критерій Стюдента t	$t_{кр}(\alpha = 0,05,$ $\nu = n - 1)$	Значущість коефіцієнта кореляції
Любашівка	80	$T_{річн}$	$y = 0,0299x - 49,7$	0,57	0,08	7,42	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0268x - 36,8$	0,50	0,08	5,87	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0302x - 59,5$	0,42	0,09	4,51	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,659x + 1865$	0,13	0,11	1,18	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = -0,283x + 896$	0,07	0,11	0,63	2,00	незначущий
		$X_{хол}$	$y = -0,348x + 913$	0,13	0,11	1,14	2,00	незначущий
Затишся	80	$T_{річн}$	$y = 0,0296x - 48,6$	0,59	0,07	8,04	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0227x - 36,8$	0,52	0,08	6,43	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,029x - 56,6$	0,42	0,09	4,51	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,634x + 1778$	0,13	0,11	1,18	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = -0,340x + 986$	0,09	0,11	0,85	2,00	незначущий

Продовження табл. Д.2

		$X_{\text{хол}}$	$y = -0,237x + 677$	0,09	0,11	0,80	2,00	незначущий
Баштанка	80	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0307x - 50,4$	0,62	0,07	8,94	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,028x - 38,5$	0,55	0,08	7,02	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,0304x - 58,8$	0,44	0,09	4,91	2,00	значущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = -0,538x + 1565$	0,13	0,11	1,14	2,00	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = -0,547x + 1369$	0,18	0,11	1,70	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,0934x + 22,9$	0,03	0,11	0,28	2,00	незначущий
Роздільна	80	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0296x - 48,1$	0,61	0,07	8,56	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0279x - 38,2$	0,55	0,08	7,02	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,028x - 53,9$	0,43	0,09	4,67	2,00	значущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = -0,746x + 1940$	0,18	0,11	1,64	2,00	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = -0,502x + 1267$	0,16	0,11	1,47	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = -0,166x + 520$	0,07	0,11	0,63	2,00	незначущий
Одеса	80	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0297x - 47,5$	0,64	0,07	9,79	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0288x - 39,7$	0,61	0,07	8,66	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,0282x - 52,7$	0,48	0,09	5,61	2,00	значущий

Продовження табл. Д.2

		$X_{річн}$	$y = -0,875x + 2209$	0,22	0,11	2,02	2,00	значущий
		$X_{тепл}$	$y = -0,685x + 1617$	0,23	0,11	2,12	2,00	значущий
		$X_{хол}$	$y = -0,0958x + 400$	0,04	0,11	0,33	2,00	незначущий
Сарага	80	$T_{річн}$	$y = 0,0306x - 49,2$	0,64	0,07	9,56	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0297x - 41,2$	0,59	0,07	8,04	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0279x - 52,4$	0,45	0,09	4,99	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,706x + 1839$	0,17	0,11	1,53	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = -0,743x + 1734$	0,25	0,11	2,38	2,00	значущий
		$X_{хол}$	$y = -0,133x + 87,8$	0,05	0,11	0,49	2,00	незначущий
Ізмаїл	80	$T_{річн}$	$y = 0,031x - 49,0$	0,68	0,06	11,26	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0306x - 42,6$	0,65	0,06	10,08	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,028x - 50,9$	0,48	0,09	5,59	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = -0,536x + 1498$	0,12	0,11	1,11	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = -0,698x + 1619$	0,25	0,11	2,38	2,00	значущий
		$X_{хол}$	$y = 0,131x - 426$	0,12	0,11	1,11	2,00	незначущий

Таблиця Д.3

Перевірка коефіцієнтів кореляції на значущість (сценарій А2)

Метеостанції	п, років	Характеристика	Вид залежності	Коефіцієнт кореляції r	Середня квадратична помилка σ_r	Критерій Стьюдента t	$t_{кр}(\alpha = 0,05, \nu = n - 1)$	Значущість коефіцієнта кореляції
Любашівка	80	$T_{річн}$	$y = 0,0138x - 17,9$	0,36	0,10	3,68	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0122x - 8,85$	0,34	0,10	3,47	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0155x - 29,5$	0,23	0,11	2,20	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = 0,646x - 728$	0,15	0,11	1,35	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,346x - 344$	0,09	0,11	0,85	2,00	незначущий
		$X_{хол}$	$y = 0,392x - 571$	0,17	0,11	1,53	2,00	незначущий
Затишся	80	$T_{річн}$	$y = 0,013x - 14,9$	0,61	0,07	8,68	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0121x - 8,24$	0,33	0,10	3,26	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0137x - 25,5$	0,21	0,11	2,00	2,00	незначущий
		$X_{річн}$	$y = 0,446x - 344$	0,11	0,11	0,99	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,159x + 16,2$	0,04	0,11	0,40	2,00	незначущий
		$X_{хол}$	$y = 0,376x - 542$	0,16	0,11	1,44	2,00	незначущий

Продовження табл. Д.3

Баштанка	80	$T_{річн}$	$y = 0,013x - 14,8$	0,61	0,07	8,68	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0122x - 8,06$	0,33	0,10	3,27	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0129x - 23,5$	0,19	0,11	1,78	2,00	незначущий
		$X_{річн}$	$y = 0,271x - 34,3$	0,07	0,11	0,63	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,0573x + 176$	0,00	0,11	0,00	2,00	незначущий
		$X_{хол}$	$y = 0,272x - 329$	0,10	0,11	0,94	2,00	незначущий
Роздільна	80	$T_{річн}$	$y = 0,024x - 14,2$	0,33	0,10	3,33	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0121x - 7,95$	0,32	0,10	3,20	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0122x - 21,9$	0,20	0,11	1,85	2,00	незначущий
		$X_{річн}$	$y = 0,314x - 128,6$	0,08	0,11	0,69	2,00	незначущий
		$X_{тепл}$	$y = 0,145x + 10,1$	0,04	0,11	0,40	2,00	незначущий
		$X_{хол}$	$y = 0,248x - 299$	0,10	0,11	0,94	2,00	незначущий
Одеса	80	$T_{річн}$	$y = 0,013x - 14,8$	0,37	0,10	3,82	2,00	значущий
		$T_{тепл}$	$y = 0,0129x - 9,19$	0,37	0,10	3,79	2,00	значущий
		$T_{хол}$	$y = 0,0125x - 21,4$	0,22	0,11	2,05	2,00	значущий
		$X_{річн}$	$y = 0,232x - 18,5$	0,06	0,11	0,56	2,00	незначущий

Продовження табл. Д.3

		$X_{\text{тепл}}$	$y = 0,099x + 47,5$	0,03	0,11	0,28	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,196x - 196$	0,08	0,11	0,75	2,00	незначущий
Сарата	80	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0128x - 14,1$	0,36	0,10	3,67	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0129x - 8,59$	0,34	0,10	3,42	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,012x - 20,6$	0,22	0,11	2,05	2,00	значущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = 0,277x - 106$	0,07	0,11	0,63	2,00	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = 0,124x + 4,84$	0,03	0,11	0,28	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,227x - 260$	0,09	0,11	0,85	2,00	незначущий
Ізмаїл	80	$T_{\text{річн}}$	$y = 0,0129x - 13,8$	0,39	0,10	4,05	2,00	значущий
		$T_{\text{тепл}}$	$y = 0,0138x - 10,2$	0,39	0,10	4,10	2,00	значущий
		$T_{\text{хол}}$	$y = 0,011x - 17,5$	0,22	0,11	2,05	2,00	значущий
		$X_{\text{річн}}$	$y = 0,263x - 145$	0,08	0,11	0,69	2,00	незначущий
		$X_{\text{тепл}}$	$y = 0,0478x + 103$	0,00	0,11	0,00	2,00	незначущий
		$X_{\text{хол}}$	$y = 0,276x - 373$	0,12	0,11	1,07	2,00	незначущий

Додаток К

Тривалість бездощових періодів

Таблиця К.1

Тривалість бездощових періодів на метеостанціях Любашівка та Одеса

Любашівка			Одеса		
Рік	Дата початку та дата закінчення	Тривалість	Рік	Дата початку та дата закінчення	Тривалість
1977	04.03-04.04	32	1976	25.03-09.04	16
	28.04-09.05	12		14.04-03.05	20
	05.06-19.06	15		18.06-04.07	17
	23.06-03.07	11		11.07-29.07	19
	29.07-13.08	16		04.10-15.11	43
	30.08-13.09	15	1977	09.03-04.04	27
	05.10-09.11	36		28.04-23.05	26
1978	27.05-09.06	14		19.07-14.08	27
	10.08-26.08	17		30.08-13.09	15
	15.09-30.09	16		15.09-06.11	53
1979	20.04-08.05	19	1978	27.05-11.06	15
	28.05-19.06	23		05.07-22.07	18
	23.07-12.08	22		14.08-08.09	26
	21.08-25.09	36	1979	20.04-11.05	22
	27.09-17.10	21		15.05-20.06	37
1980	24.04-16.05	23		24.06-04.07	11
	14.07-27.07	14		24.07-14.08	22
	29.07-13.08	16		19.08-29.09	42
	26.08-13.09	19		01.10-17.10	17
1981	21.03-18.04	20		27.10-11.12	15
	14.05-12.09	30	1980	24.04-06.05	13
	12.07-24.08	44		27.05-16.06	21
	29.08-11.09	14		14.07-24.07	11
	18.09-03.10	16		28.07-24.08	28
1982	05.05-19.05	16		26.08-10.09	16
	27.05-05.06	10		20.09-30.09	11
	06.08-25.08	20		08.10-02.11	26
	04.09-09.10	36	1981	22.03-18.04	28
1983	07.04-01.05	25		11.05-17.06	38
	09.05-19.05	11		19.06-05.07	17
	03.07-12.07	10		13.07-15.08	34
	15.08-12.10	59		27.08-11.09	16

Продовження табл. К.1

	14.10-28.11	46			18.09-11.10	24
1984	01.05-13.05	13			14.10-08.11	26
	12.07-26.07	15		1982	27.02-30.03	32
	28.07-12.08	16			01.04-12.04	12
	25.08-08.09	15			04.05-06.06	34
	28.09-08.10	11			18.07-28.07	11
	16.10-10.11	26			04.08-22.08	19
1985	17.03-10.04	25			25.08-02.10	39
	12.04-24.04	12			18.10-11.12	55
	20.07-30.07	11		1983	10.03-04.04	26
	09.08-04.09	27			06.04-29.04	24
	08.09-09.10	33			09.05-04.07	27
	12.10-02.11	22			28.07-07.08	11
1986	28.03-12.04	16			15.08-12.11	90
	15.04-30.05	46		1984	24.03-07.04	15
	12.06-23.06	12			30.04-31.05	32
	01.07-13.07	13			27.06-03.08	38
	15.07-23.07	10			16.08-12.10	58
	01.08-19.08	19			14.10-10.11	28
	01.09-19.10	49		1985	23.03-21.04	30
	23.10-07.12	46			07.07-25.07	19
1987	16.04-22.05	37			27.07-04.09	40
	25.05-05.06	12			07.09-10.10	34
	24.06-24.07	31			18.10-02.11	16
	22.08-18.09	28		1986	17.03-24.04	39
	29.09-13.10	15			29.04-02.06	35
	16.10-25.10	10			02.07-24.07	23
	27.10-09.11	14			01.08-19.08	19
1988	19.04-20.05	32			21.08-16.10	57
	28.05-09.06	13			27.10-24.11	29
	23.06-06.07	14		1987	20.03-11.04	23
	19.07-09.08	22			26.05-22.05	17
	29.08-07.09	10			07.06-02.07	26
	10.09-08.10	29			07.07-25.07	19
1989	10.03-07.04	29			30.07-15.08	17
	21.04-30.04	10			23.08-25.10	64
	15.05-07.06	23			28.10-09.11	13
	11.06-24.06	14		1988	19.04-15.05	27
	30.06-13.06	14			19.06-09.07	21
	21.07-01.08	12			23.07-26.08	35
	03.08-26.08	24			19.09-05.10	17
	17.09-26.09	10			21.10-08.11	19

Продовження табл. К.1

	02.11-16.11	15		1989	04.03-14.04	42
1990	17.02-27.03	39			21.04-08.06	49
	30.03-09.04	12			14.06-04.09	80
	01.05-12.05	12			18.10-25.11	39
	17.05-26.05	10		1990	17.02-10.04	53
	14.06-23.06	10			30.04-17.05	18
	16.07-01.08	17			20.05-29.05	10
	04.08-17.04	14			08.07-23.07	16
	23.08-08.09	17			27.07-19.08	24
	21.09-08.10	18			23.08-18.09	27
	10.10-20.10	11			28.09-20.10	23
1991	13.03-04.04	23			01.11-30.11	30
	06.07-21.07	16		1991	14.03-03.04	21
	06.08-26.08	21			02.06-19.06	18
	30.08-20.09	22			29.06-28.07	30
	23.09-02.10	10			04.08-26.08	23
	05.10-16.10	12			30.08-17.09	19
1992	09.04-27.04	19			20.09-02.10	13
	29.04-17.05	19			05.10-21.10	17
	08.07-22.08	46			24.10-05.12	43
	26.08-05.09	11		1992	25.02-17.03	22
	07.09-29.09	23			05.04-11.05	37
	05.10-24.10	20			14.05-29.05	16
	28.10-12.11	16			11.06-24.06	14
1993	01.05-15.05	15			27.06-06.07	10
	14.07-07.08	25			17.07-22.08	37
	13.08-23.08	11			25.08-15.09	22
	27.08-05.09	10			17.09-29.09	13
	20.09-06.11	47			26.10-12.11	18
1994	17.03-25.04	40		1993	28.03-15.04	19
	29.04-15.05	17			21.04-03.05	13
	20.06-08.07	19			21.05-31.05	11
	11.07-02.08	23			03.06-23.06	21
	04.08-18.08	15			02.07-12.07	11
	29.08-03.10	36			14.07-27.07	14
	06.10-25.10	20			29.07-05.11	39
1995	07.05-22.05	16		1994	11.03-03.06	85
	24.05-16.06	24			25.06-09.07	15
	05.07-16.07	12			21.07-02.08	13
	20.07-01.08	13			29.08-04.10	37
	06.08-26.08	21			13.10-24.10	11
	08.09-20.09	13		1995	18.04-09.05	22

Продовження табл. К.1

	01.10-26.10	26			24.05-25.06	33
1996	17.04-04.05	18			01.07-03.08	34
	25.05-12.06	19			07.08-29.08	23
	15.06-24.06	10			11.09-29.09	19
	29.06-15.07	17			01.10-01.11	32
	17.07-17.08	32		1996	02.04-14.04	13
	29.09-20.10	22			17.04-12.05	26
	26.10-19.11	25			19.05-02.06	15
1997	22.02-03.04	41			16.06-15.07	30
	06.04-20.04	15			17.07-18.08	33
	25.04-20.05	26			10.09-21.09	12
	09.08-24.08	14			30.09-20.10	21
	11.09-10.10	30			23.10-19.11	28
1998	29.03-14.04	17		1997	24.04-20.05	27
	23.04-17.05	25			26.06-05.07	10
	16.04-30.06	15			28.08-12.10	46
	13.07-04.08	23			17.10-15.11	30
	07.08-22.08	16		1998	20.03-21.04	33
1999	03.05-13.05	11			23.04-16.05	24
	18.05-12.06	26			11.06-24.06	14
	29.07-11.08	14			12.07-25.07	14
	22.08-06.09	16			28.07-24.08	28
	10.09-07.10	28			03.09-13.09	11
2000	27.04-20.05	24			17.09-03.10	17
	01.06-15.06	15			06.10-20.10	15
	24.07-23.08	31			22.10-10.11	20
	20.09-02.11	44		1999	17.02-20.03	32
2001	04.03-14.03	12			03.04-13.04	11
	29.03-13.04	15			20.04-11.05	22
	07.07-16.07	10			18.05-22.08	36
	19.07-21.08	34			04.07-04.08	32
	23.08-01.09	10			06.08-21.08	16
	11.09-24.09	14			24.09-05.09	13
	26.09-21.10	26			10.09-07.10	28
2002	22.01-22.03	60			14.10-15.11	33
	27.03-11.05	46		2000	13.03-19.04	38
	13.05-29.05	17			25.04-10.05	16
	19.06-18.07	30			22.05-18.06	28
	02.08-12.08	11			03.08-26.08	24
	18.08-10.09	24			26.09-02.11	38
	11.11-21.11	11			07.11-25.11	19
2003	10.04-27.04	19		2001	21.06-27.08	68

Продовження табл. К.1

	30.04-21.05	23			08.09-21.10	44
	23.05-15.06	24			25.10-06.11	13
	04.08-15.08	12			08.11-08.11	16
	17.08-05.10	50		2002	26.02-18.03	21
	11.10-22.10	12			28.03-24.04	28
2004	11.04-05.05	25			26.04-31.05	36
	12.05-23.05	12			19.06-21.07	33
	01.06-18.06	18			23.07-04.08	13
	21.06-08.07	19			18.08-13.09	27
	06.08-21.09	47			14.10-26.10	13
	21.10-12.11	23			11.11-30.11	20
2005	13.03-15.04	34		2003	09.04-16.06	69
	24.05-05.06	13			16.07-13.09	60
	12.07-01.08	21			17.09-05.10	19
	25.08-11.10	48			10.10-22.10	13
	19.10-19.11	32			25.10-15.11	22
2006	26.03-06.04	13			17.11-22.12	26
	14.04-04.05	21		2004	28.02-27.03	29
	25.06-06.07	13			29.03-12.04	15
	01.08-28.08	28			15.04-05.05	21
	05.09-27.09	23			12.05-22.05	11
	30.09-15.10	16			15.07-06.08	23
2007	06.03-04.04	30			08.08-23.08	16
	06.04-22.06	78			31.08-28.09	29
	06.07-22.07	17			18.10-06.11	20
	24.07-06.08	14		2005	07.03-05.05	60
	14.08-11.09	29			08.05-25.05	18
	13.09-24.09	12			28.05-11.06	15
	07.10-25.10	19			21.06-23.07	33
2008	19.02-08.03	19			26.07-06.08	12
	05.04-27.04	23			27.08-30.10	65
	04.05-27.05	24			05.11-19.11	15
	03.07-16.07	14		2006	02.04-12.04	11
	11.08-24.08	14			14.04-04.05	21
	31.08-11.09	12			13.05-26.05	14
	23.09-05.10	13			07.08-19.06	13
	07.10-17.10	11			23.06-11.07	19
	19.10-21.11	34			16.07-30.07	15
2009	27.03-09.04	14			01.08-10.08	10
	12.04-30.04	19			12.08-21.08	10
	06.05-11.06	37			03.09-22.09	20
	14.06-24.06	11			24.09-01.11	39

Продовження табл. К.1

	15.07-05.09	53			08.11-21.11	14
	08.09-13.10	36			26.11-20.12	25
2010	18.03-31.03	14		2007	06.03-23.03	18
	03.04-19.04	17			26.03-10.04	16
	22.04-13.05	22			12.04-28.04	17
	04.06-13.06	10			02.05-16.06	46
	12.07-17.03	37			29.06-12.08	45
	19.08-28.08	10			14.08-30.08	17
	02.09-17.09	16			02.09-11.09	10
	22.10-25.11	35			21.09-04.10	14
2011	16.04-29.04	14			07.10-20.10	14
	13.05-01.06	20			17.11-26.11	10
	04.07-20.07	17		2008	14.03-30.03	17
	31.07-09.08	10			08.04-26.04	19
	17.08-06.09	21			01.05-15.06	46
	10.09-08.10	29			22.06-08.07	17
	13.10-16.11	35			01.08-12.09	43
					22.09-03.10	12
					08.10-21.11	45
					24.11-06.12	13
				2009	20.03-02.05	44
					16.05-04.06	20
					14.06-08.07	25
					10.07-25.07	16
					02.08-05.09	35
					08.09-02.10	25
					04.10-15.10	12
					22.10-28.11	38
					30.11-11.12	12
				2010	14.03-15.04	33
					23.04-14.05	22
					04.04-16.06	13
					26.06-07.07	13
					22.07-28.08	38
					09.09-19.09	11
					28.10-25.11	29
				2011	12.03-02.04	22
					16.04-29.04	14
					12.05-10.06	30
					15.06-24.06	10
					28.06-20.07	23
					22.07-13.08	23

Продовження табл. К.1

					17.08-02.09	17
					04.09-14.09	11
					16.09-08.10	23
					10.10-05.12	57

Таблиця К.2

Тривалість бездошових періодів на метеостанціях Баштанка та Ізмаїл

Баштанка			Ізмаїл		
Рік	Дата початку та дата закінчення	Тривалість	Рік	Дата початку та дата закінчення	Тривалість
1936	12.02-2.04	52	1946	05.05-18.05	14
	1.05-26.05	26		31.05-14.06	15
	29.05-12.06	15		20.06-05.10	108
	16.07-09.08	25		10.10-23.10	14
	29.08-27.09	30	1947	22.03-07.06	78
1937	21.03-16.04	27		24.06-09.08	47
	02.05-11.06	41		31.08-16.10	47
	23.06-11.07	19	1948	31.01-08.03	38
	13.10-28.10	16		21.03-11.04	22
1938	13.05-25.05	13		14.04-06.05	23
	23.09-06.10	14		09.07-25.07	17
1939	26.03-10.05	46		06.08-16.10	72
	3.06-15.06	13		19.10-20.02	125
	25.06-05.08	42	1949	01.08-17.08	17
	26.08-18.09	24		22.08-03.09	13
1940	21.04-07.05	17		15.09-02.11	49
	07.07-31.07	25	1950	12.04-16.05	35
	25.08-16.09	23		22.05-05.06	15
	15.11-06.12	22		21.06-07.07	17
1942	02.08-13.08	12		22.08-11.10	51
	23.08-07.09	16		03.11-17.12	45
	20.09-17.10	28	1951	09.03-26.03	18
	19.10-05.11	18		09.04-22.04	17
1945	26.03-22.04	29		20.05-09.06	21
	15.06-04.07	20		23.06-29.07	37
	18.08-04.10	48		08.08-21.08	17
1946	28.03-10.04	14		06.09-19.09	14
	13.04-25.04	13		21.09-02.11	44
	01.05-20.05	20	1952	09.04-06.05	28

Продовження табл. К.2

	02.06-14.06	13			25.05-10.06	17
	04.08-26.08	23			12.07-22.08	42
	29.08-05.10	38			24.08-05.10	43
1947	26.03-28.04	34			20.10-01.11	13
	01.05-06.06	37		1953	18.02-03.04	45
	29.07-09.08	12			03.06-16.06	14
	30.08-30.09	32			02.07-12.08	42
	02.10-16.10	15			26.08-29.12	126
1948	20.03-03.05	45		1954	24.02-27.03	32
	04.07-27.09	86			06.04-18.04	13
1949	26.04-06.06	42			24.04-09.05	16
	23.07-19.08	28			16.06-02.07	17
	16.09-03.11	49			22.07-01.08	11
1950	28.04-20.05	23			03.08-24.08	22
	25.05-06.06	13			30.08-08.10	40
	21.06-08.07	18			13.10-26.10	14
	11.07-24.07	14			30.10-13.11	15
	13.08-22.09	31		1955	04.03-29.03	26
1951	11.04-27.04	17			22.04-21.05	30
	08.05-22.05	15			11.07-26.07	16
	18.06-05.07	18			23.08-16.09	25
	17.08-31.08	15			18.09-03.10	16
	05.09-03.11	60			06.10-31.10	26
1952	08.04-01.05	24			05.11-19.12	45
	01.07-16.07	16		1956	09.04-22.04	14
	27.07-10.08	15			11.05-27.05	17
	04.09-22.09	19			24.06-08.07	15
1953	08.07-07.04	31			10.07-02.08	24
	21.05-15.06	26			14.08-23.08	10
	23.06-09.07	17			26.08-12.09	18
	18.07-12.09	57			15.09-09.10	25
	16.09-14.11	60			12.10-30.10	19
1954	23.05-07.06	16			04.11-30.11	27
	10.06-28.06	18		1957	03.03-07.04	36
	06.07-05.10	92			18.04-07.05	20
1955	23.04-21.05	29			03.06-25.06	23
	03.07-13.07	11			28.06-16.07	10
	15.07-29.07	15			26.07-12.08	18
	09.08-17.10	70			06.10-24.10	19
1956	09.06-20.06	12			27.10-08.11	13
	24.06-15.07	22			19.11-28.11	14
	22.07-01.08	11		1958	26.04-30.05	35

Продовження табл. К.2

	15.08-07.09	24			08.07-23.07	16
	20.09-09.10	20			27.07-14.08	19
1957	17.04-12.05	26			13.09-16.10	34
	27.05-16.07	51			21.10-04.11	15
	20.07-22.08	34		1959	19.01-01.05	103
	24.08-09.09	17			16.06-01.07	16
	28.09-24.10	27			04.07-01.08	29
1958	09.05-01.06	24			04.08-17.08	14
	06.07-28.07	21			02.09-17.09	16
	30.07-19.08	21			19.09-03.11	46
	13.09-14.10	32		1960	20.01-16.02	28
	21.10-10.12	51			20.03-21.04	33
1959	27.03-14.04	19			04.05-28.05	25
	21.04-30.04	10			05.06-15.06	11
	23.05-10.06	19			05.07-16.07	12
	16.06-24.07	39			19.07-08.08	21
	04.08-28.08	25			11.08-30.08	20
	03.09-13.09	11			12.09-29.09	18
	30.09-29.10	30			23.10-07.11	16
1960	02.03-09.05	69		1961	05.02-19.03	43
	09.06-04.07	26			24.03-19.04	27
	12.07-25.07	14			13.06-13.07	31
	17.08-30.08	14			25.07-14.08	21
	02.09-24.09	23			19.08-30.09	43
	28.10-20.11	24			15.10-05.11	22
1961	24.03-17.04	25		1962	16.04-29.04	14
	12.06-10.07	29			04.05-26.06	54
	20.07-07.09	50			29.06-12.07	14
	17.0-28.09	12			15.07-30.07	16
	17.10-05.11	20			02.08-31.08	30
1962	13.04-27.04	15			04.10-09.11	37
	17.05-05.06	20			02.12-20.12	19
	14.07-30.07	17		1963	13.03-27.03	15
	02.08-18.08	17			10.04-18.05	39
	03.09-20.09	18			28.07-10.08	14
	16.10-09.11	25			21.08-26.09	37
1963	17.04-17.05	31			30.09-04.12	66
	25.06-12.07	18		1964	19.04-30.04	12
	19.07-10.08	23			04.07-02.08	30
	27.08-11.09	16			13.08-18.09	37
	13.09-26.09	14			24.11-21.11	29
	01.10-04.12	65		1965	16.05-05.06	21

Продовження табл. К.2

1964	08.04-01.05	24			18.06-10.07	23
	12.06-02.07	21			16.07-15.08	31
	26.08-23.09	29			17.08-11.11	87
	25.09-22.10	28		1966	20.04-11.05	22
	24.10-18.11	26			11.06-20.06	10
1965	19.05-06.06	19			11.09-23.09	13
	21.06-05.07	15			25.09-29.10	35
	20.07-02.08	14		1967	25.02-11.03	15
	06.08-25.08	20			14.03-22.04	40
	17.09-30.10	44			07.05-21.05	15
1966	20.04-12.05	23			22.06-16.07	25
	29.06-22.07	24			20.08-12.09	24
	15.08-02.09	19			10.10-06.12	58
	06.09-18.09	13		1968	05.03-01.06	89
	20.09-22.10	33			03.06-17.06	15
1967	03.04-18.04	16			24.07-08.08	16
	06.05-22.05	17			10.09-23.09	14
	26.06-11.07	16			06.10-07.11	33
	13.07-25.09	75		1969	29.03-09.04	12
	27.09-18.10	22			22.04-16.05	25
	20.10-21.11	33			19.05-01.06	14
1968	25.03-09.04	16			29.07-17.08	20
	11.04-17.05	37			20.08-15.09	27
	27.05-01.07	36			21.09-01.12	72
	02.08-20.08	19		1970	17.03-12.04	27
	07.09-22.09	16			20.04-02.05	13
	05.10-23.11	50			06.06-17.06	16
1969	26.04-21.0	26			26.06-10.07	15
	30.06-11.07	12			27.08-20.09	25
	30.07-08.08	10		1971	08.03-25.03	18
	20.08-04.09	16			30.03-24.04	26
	07.09-19.09	13			10.05-27.05	18
	03.10-08.11	37			02.06-17.06	16
1970	10.04-10.05	31			17.07-05.09	51
	29.06-25.07	27			22.09-16.10	25
	13.08-24.08	12		1972	29.02-20.04	52
	07.09-02.10	26			12.05-01.06	24
	08.10-23.10	16			20.08-11.09	23
1971	29.03-23.04	26			24.10-20.11	28
	10.05-24.05	15		1973	20.03-11.04	23
	28.05-13.06	17			29.04-16.05	19
	07.07-24.08	49			02.06-04.07	33

Продовження табл. К.2

	21.09-17.11	58			05.08-18.10	75
1972	05.04-17.04	13			24.10-26.11	34
	04.05-31.05	28		1974	17.03-08.04	23
	26.07-08.08	14			26.05-11.06	17
	12.08-24.08	13			22.07-06.08	16
	26.08-12.09	18			13.08-04.09	23
	29.09-10.10	12			07.09-23.09	17
1973	17.03-11.04	26			30.09-20.10	21
	28.04-22.05	25			03.11-26.11	24
	02.06-14.06	13			30.11-14.12	15
	21.06-09.07	19		1975	04.02-24.03	49
	20.08-14.10	56			27.03-16.04	21
1974	17.03-13.04	48			09.05-22.05	14
	27.05-22.06	27			12.06-02.07	21
	7.07-05.08	20			10.07-22.07	13
	16.08-26.09	42			06.08-10.10	65
	30.09-09.10	10			32.10-19.11	28
	11.10-22.10	12		1976	09.03-11.04	34
	03.11-26.11	24			13.04-27.04	15
1975	27.03-25.04	30			16.05-31.05	16
	08.05-20.05	13			18.06-07.07	20
	22.05-07.06	17			14.07-28.07	15
	10.06-24.06	15			03.09-16.09	14
	09.07-26.07	18			04.10-02.11	30
	08.08-06.09	30		1977	19.02-3.04	44
	08.09-31.10	54			28.04-08.05	11
1976	24.03-09.04	17			14.07-14.08	32
	17.05-01.06	16			26.08-20.11	69
	16.07-28.07	13		1978	04.07-21.07	18
	08.09-17.09	10		1979	04.04-09.05	36
	23.09-22.11	61			17.05-01.06	16
1977	08.03-01.06	25			30.07-10.08	12
	28.04-09.05	12			19.08-01.10	44
	12.06-27.06	16			04.10-28.10	25
	21.07-15.08	26		1980	13.07-25.07	13
	31.08-13.09	14			28.07-13.08	17
	23.09-03.10	11			16.08-31.08	16
	05.10-04.11	31			30.09-14.09	12
1978	02.08-26.08	25			17.09-30.09	14
	22.09-18.10	27		1981	22.03-16.04	26
	23.10-26.11	35			11.05-12.06	33
1979	20.04-10.05	21			13.07-24.08	43

Продовження табл. К.2

	15.05-07.06	24			30.08-11.09	13
	09.06-04.07	26			17.09-30.09	14
	20.07-12.08	24			26.10-08.11	14
	08.09-05.10	28		1982	15.05-01.06	18
	07.10-17.10	11			08.08-22.08	15
1980	15.06-26.06	12			25.08-09.10	46
	07.10-02.11	27			18.10-14.11	28
1981	22.03-01.04	11			19.11-11.12	23
	14.05-22.06	40		1983	24.02-01.04	37
	13.07-24.08	43			06.04-29.04	24
	31.08-15.09	16			06.05-19.05	14
	21.09-10.10	20			23.05-04.07	13
	17.10-01.11	16			19.07-04.08	17
1982	04.03-30.03	27			15.08-13.09	30
	04.05-19.05	16			15.09-30.09	16
	12.07-28.07	17			03.10-14.11	43
	04.08-22.08	19		1984	26.03-07.04	13
	25.08-24.09	31			13.05-31.05	16
	26.09-09.10	14			05.07-26.07	22
	18.10-15.11	29			04.08-12.10	70
	18.11-09.12	22			14.10-15.11	33
1983	10.03-10.04	32		1985	14.02-19.03	34
	12.04-30.04	19			25.03-10.04	17
	08.05-15.06	39			18.07-31.07	14
	21.06-01.01	11			05.08-20.08	16
	28.07-07.08	11			14.09-10.10	27
	12.08-12.10	62			15.10-02.11	19
	14.10-27.11	45			08.11-24.11	17
1984	02.04-17.04	16		1986	18.03-12.04	26
	27.04-01.06	36			15.04-20.05	36
	05.06-23.06	19			12.06-23.06	12
	17.07-12.08	27			26.08-26.09	32
	28.08-08.10	42			29.09-16.10	18
	14.10-09.11	28			26.10-16.12	52
1985	17.03-07.04	22		1987	10.03-09.04	31
	12.04-24.04	13			02.05-21.05	20
	01.05-18.05	18			07.07-10.08	35
	06.08-04.09	30			23.08-28.09	37
	15.09-15.10	31		1988	30.03-14.04	16
	18.10-02.11	16			19.04-21.05	33
1986	26.03-19.04	25			06.06-08.07	33
	14.05-31.05	18			14.07-02.09	51

Продовження табл. К.2

	17.06-21.06	10			19.09-05.10	17
	10.07-24.07	15			10.10-19.11	41
	01.08-18.10	79		1989	04.03-18.04	46
	27.10-15.12	50			21.04-02.05	12
1987	08.05-20.05	13			05.05-25.05	21
	26.06-22.07	27			01.07-14.07	14
	30.07-15.08	17			22.07-03.09	44
	22.08-11.09	21			10.09-08.10	29
	22.09-09.11	49			18.10-07.11	21
1988	05.04-15.04	11		1990	01.03-07.04	38
	24.04-05.05	12			04.05-25.05	22
	23.07-26.08	35			02.07-23.07	18
	10.09-08.10	29			29.07-18.08	21
1989	10.03-14.04	36			23.08-18.09	27
	21.04-3.05	13			26.09-20.10	25
	09.05-13.06	36			06.11-29.11	24
	23.06-03.08	42		1991	17.02-08.04	51
	12.10-15.01	96			04.06-20.06	17
1990	17.02-10.04	53			07.08-26.08	20
	27.07-17.08	22			29.08-02.10	35
	22.08-02.09	11			23.10-18.11	27
	28.09-08.10	11		1992	25.02-17.03	22
	10.10-20.10	11			31.03-23.04	24
1991	10.05-21.05	12			25.04-11.05	17
	28.05-19.06	23			01.07-18.07	18
	01.07-28.07	28			27.07-15.09	51
	05.08-26.08	22			17.09-03.10	17
1992	01.04-20.05	50			17.10-11.11	26
	18.07-30.09	75		1993	10.03-24.03	15
	03.10-15.10	13			18.04-02.05	15
1993	01.05-13.05	13			06.05-22.05	17
	14.07-28.07	15			02.06-22.06	21
	30.07-10.08	12			09.07-10.08	33
	20.09-06.11	48			07.09-09.11	33
1994	18.03-06.04	20			23.11-27.12	35
	26.04-23.05	28		1994	20.01-03.06	135
	08.06-08.07	31			11.06-09.07	29
	11.07-11.08	32			17.07-18.08	33
	29.08-23.10	56			29.08-04.10	37
1995	25.05-18.06	25			12.10-21.12	71
	05.08-26.08	22		1995	12.05-05.06	25
	01.10-30.10	30			07.06-25.06	19

Продовження табл. К.2

1996	20.04-04.05	15			27.06-29.08	64
	16.06-25.07	40			01.10-24.10	24
	29.09-19.11	52		1996	17.04-12.05	26
1997	25.04-25.05	31			31.05-13.06	14
	12.09-30.09	19			15.06-15.08	62
	18.10-11.11	25			29.09-20.10	22
1998	27.03-14.04	19			24.10-19.11	27
	23.04-17.05	25		1997	05.05-22.05	18
	19.07-29.08	42			02.09-10.10	39
	17.09-29.09	13			17.10-13.11	28
	06.10-20.10	15		1998	12.03-09.04	29
1999	02.06-19.06	18			23.04-13.05	21
	03.07-16.07	14			18.07-28.08	42
	21.07-11.08	22			05.10-10.11	37
	24.08-05.09	13		1999	04.07-02.08	30
	10.09-04.10	25			11.09-06.10	26
	28.10-16.11	20			21.10-19.11	26
2000	13.03-01.04	20			24.11-13.12	20
	29.04-10.05	16		2000	22.02-18.04	57
	22.05-14.06	24			29.04-19.05	25
	06.07-19.07	14			26.05-25.06	31
	31.07-23.08	24			29.06-13.08	46
	27.09-24.11	59			26.09-29.11	61
2001	29.06-25.07	27		2001	03.03-21.03	19
	28.07-27.08	31			29.03-12.04	15
	04.09-21.10	49			13.07-22.08	41
	25.10-06.11	13			24.08-05.09	13
2002	08.05-27.05	20			27.09-21.10	25
	19.06-21.07	33			25.10-23.11	30
	17.08-07.09	22		2002	26.02-19.03	22
	12.11-28.12	45			14.04-05.05	22
2003	09.04-21.05	43			09.05-27.05	19
	23.05-16.06	25			09.06-25.06	17
	03.08-23.08	21			27.06-18.07	22
	17.09-05.10	19			25.08-06.10	43
2004	11.04-05.05	25			15.11-02.11	19
	16.07-01.08	17			13.11-05.12	23
2005	21.03-15.04	26		2003	11.02-05.04	54
	18.04-01.05	14			14.04-01.06	49
	13.05-09.06	29			05.06-03.07	29
	02.07-24.07	23			04.08-25.08	22
	26.07-06.08	12			16.09-08.10	23

Продовження табл. К.2

	26.08-11.10	47			14.11-22.12	39
2006	16.04-04.05	19		2004	28.02-26.03	28
	13.05-26.05	14			29.03-13.04	15
	15.06-29.06	15			16.04-05.05	20
	01.07-13.07	13			15.07-27.07	13
	04.08-21.08	18			31.08-26.09	27
	15.09-27.09	23			18.10-12.11	26
	30.09-14.10	15		2005	07.03-27.03	21
2007	06.03-25.04	51			30.03-20.04	22
	02.05-29.05	28			15.08-18.09	35
	30.06-23.07	24			25.09-30.10	19
	16.08-29.08	14		2006	23.04-07.05	15
2008	04.05-22.05	19			13.05-01.06	20
	30.05-12.06	14			18.07-10.08	24
	06.08-11.09	37			12.08-21.08	10
	19.10-21.11	34			29.09-01.11	34
2009	26.03-29.04	35			04.11-18.12	45
	14.05-11.06	29		2007	05.03-21.03	17
	17.07-29.07	13			26.03-10.04	16
	01.08-01.09	32			03.05-07.06	36
	08.09-29.09	22			29.06-06.08	39
2010	03.04-15.04	13			09.08-30.08	22
	23.04-10.05	18			21.09-08.10	18
	04.06-16.06	13		2008	09.01-24.03	76
	15.07-28.08	45			08.04-26.04	19
	10.09-19.09	10			13.05-18.06	37
	22.10-18.11	28			28.07-12.09	47
2011	16.04-04.05	19			22.09-04.10	13
	26.05-08.06	14			08.10-21.11	45
	08.07-19.07	12			24.11-06.12	13
	04.08-14.08	11		2009	19.03-24.04	37
	17.08-06.09	21			08.05-28.05	21
	10.09-28.09	19			01.06-27.06	27
	20.10-05.12	47			17.07-30.07	14
2012	09.03-25.03	17			01.08-29.08	29
	23.04-07.05	15			08.09-02.10	25
	04.06-15.07	42			20.10-14.12	56
	18.07-11.08	25		2010	23.04-18.05	26
	30.08-25.09	27			04.06-16.06	13
	16.10-28.10	13			21.07-13.08	41
	07.11-01.12	29			10.09-28.09	15
					27.10-22.11	27

Продовження табл. К.2

				2011	01.03-07.04	38
					16.04-01.05	16
					12.05-31.05	20
					03.06-24.06	22
					28.06-20.07	23
					04.08-01.09	29
					04.09-08.10	35
					12.10-18.12	68
				2012	15.02-04.04	50
					22.04-22.05	31
					30.05-22.06	24
					17.07-10.08	25
					29.08-20.09	23
					23.09-29.10	37

Додаток Л

Зміни індексу SPEI, розрахованого за фактичними та сценарними даними

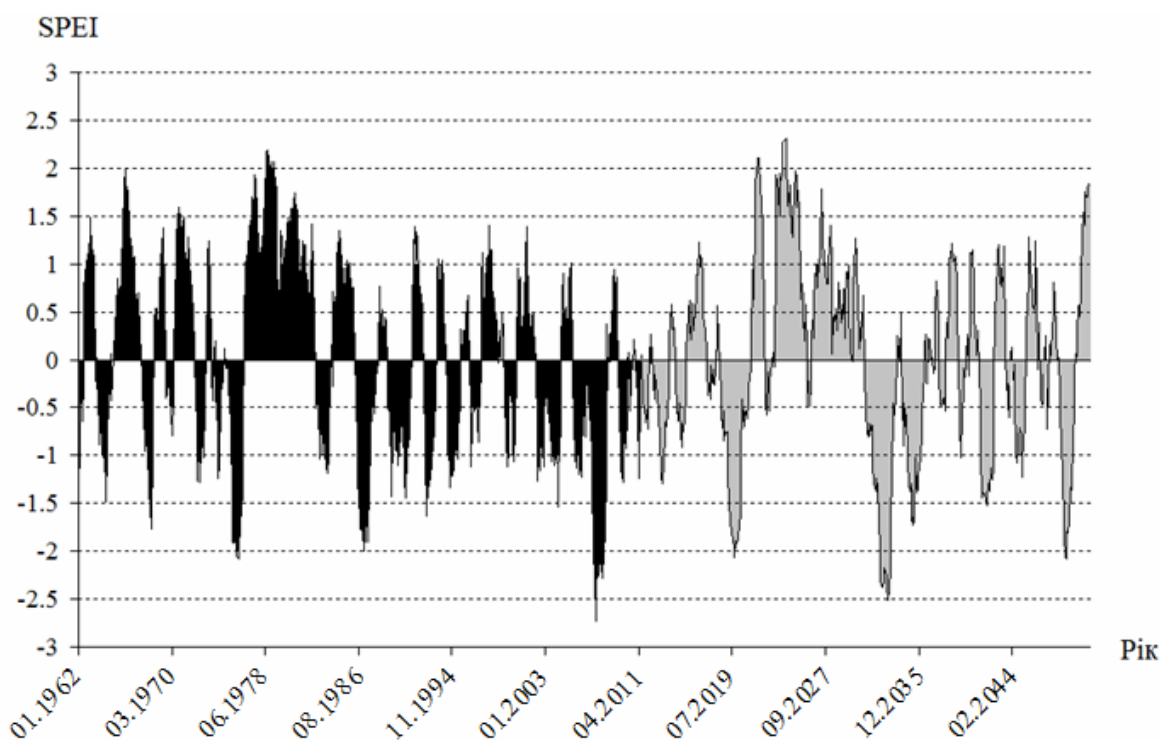


Рис. Л.1. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Любашівка, 1962-2011 рр. та 2012-2050 рр. (за сценарієм А1В)

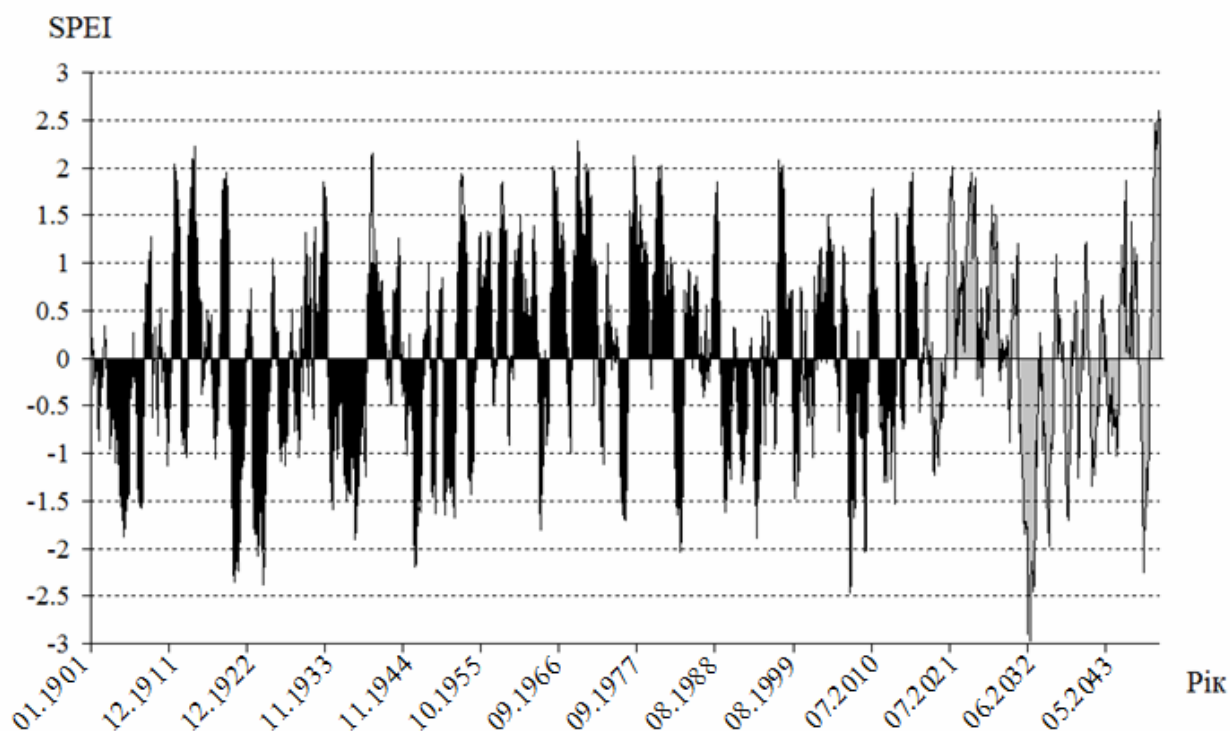


Рис. Л.2. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Одеса, 1901-2013 рр. та 2014-2050 рр. (за сценарієм А1В)

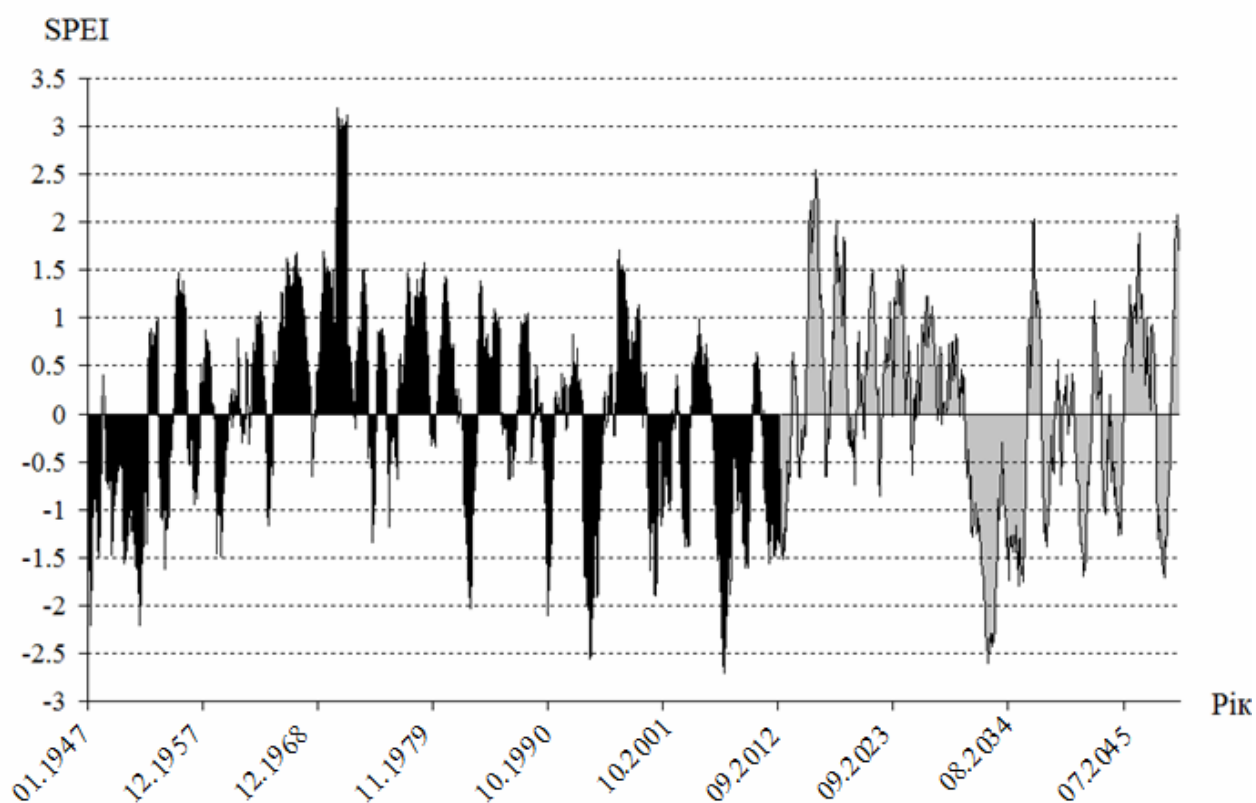


Рис. Л.3. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Ізмаїл, 1947-2012 рр. та 2013-2050 рр. (за сценарієм А1В)

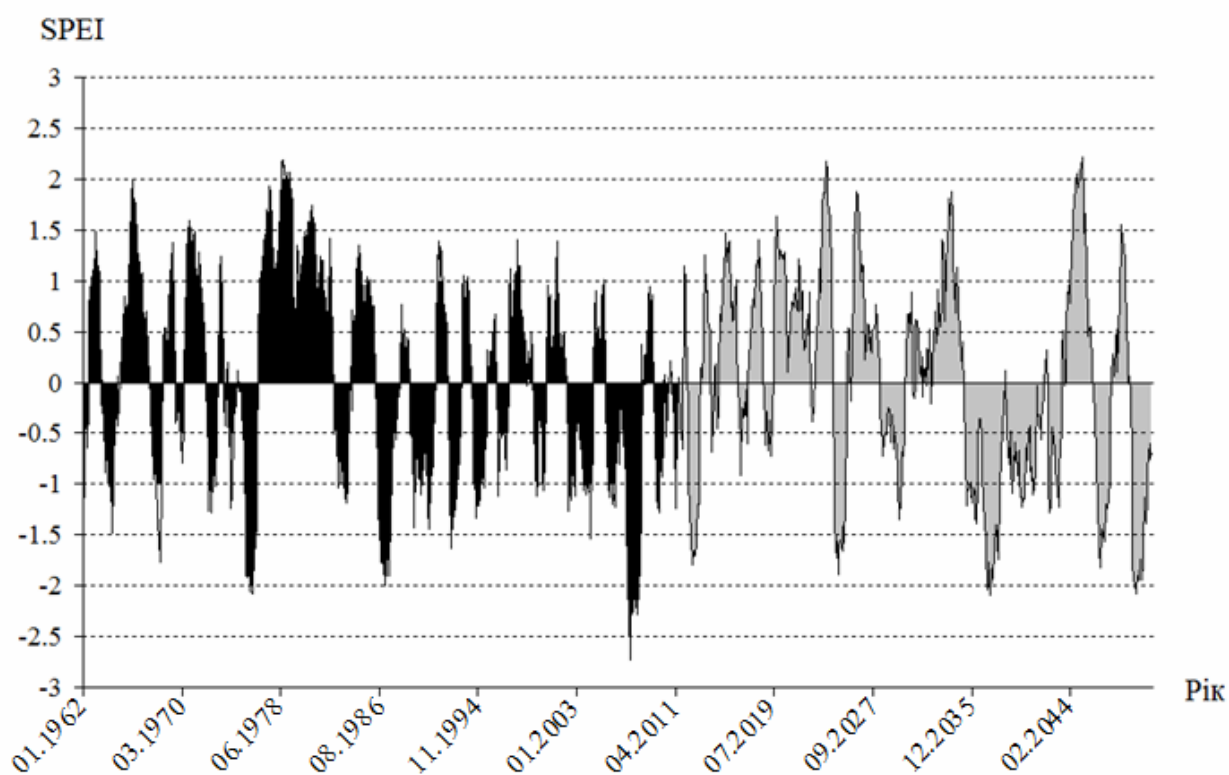


Рис. Л.4. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Любашівка, 1962-2011 рр. та 2012-2050 рр. (за сценарієм А2)

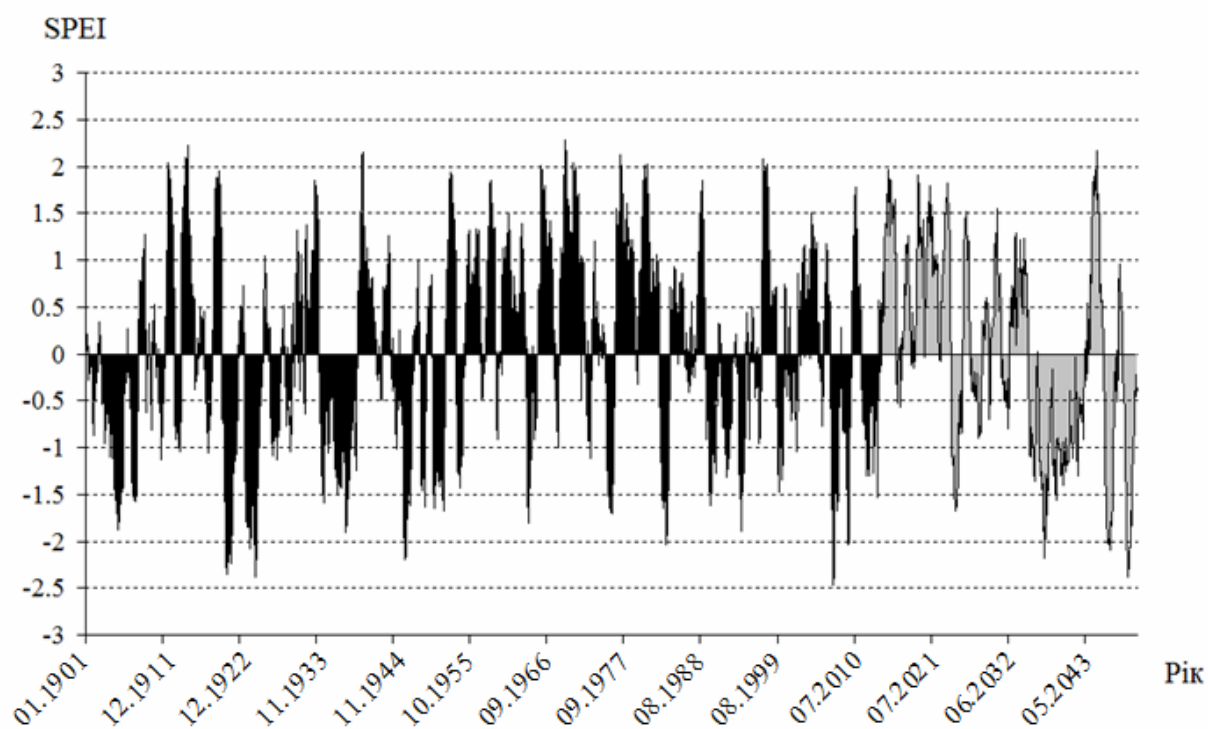


Рис. Л.5. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Одеса, 1901-2013 рр. та 2014-2050 рр. (за сценарієм А2)

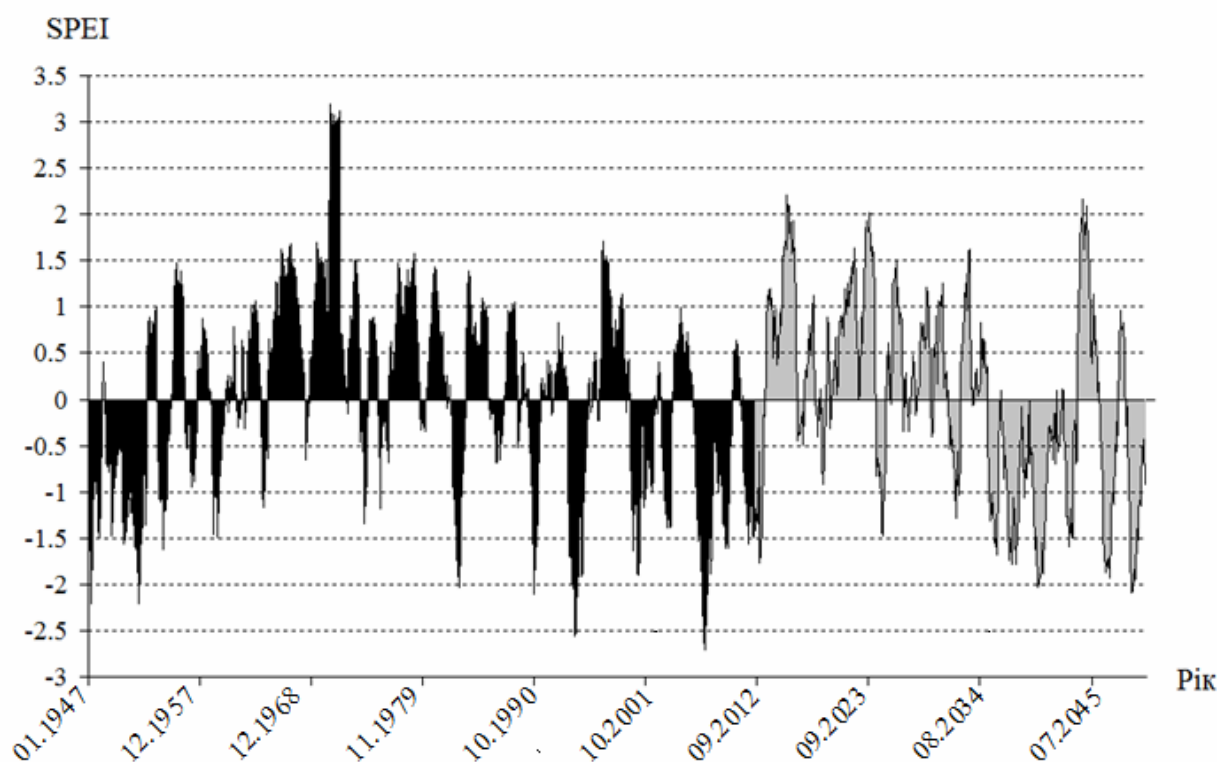


Рис. Л.6. Хронологічний хід індексу SPEI, метеостанція Ізмаїл, 1947-2012 рр. та 2013-2050 рр. (за сценарієм А2)

Додаток М

Зміни норм річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості, розрахованого за даними сценаріїв А1В та А2

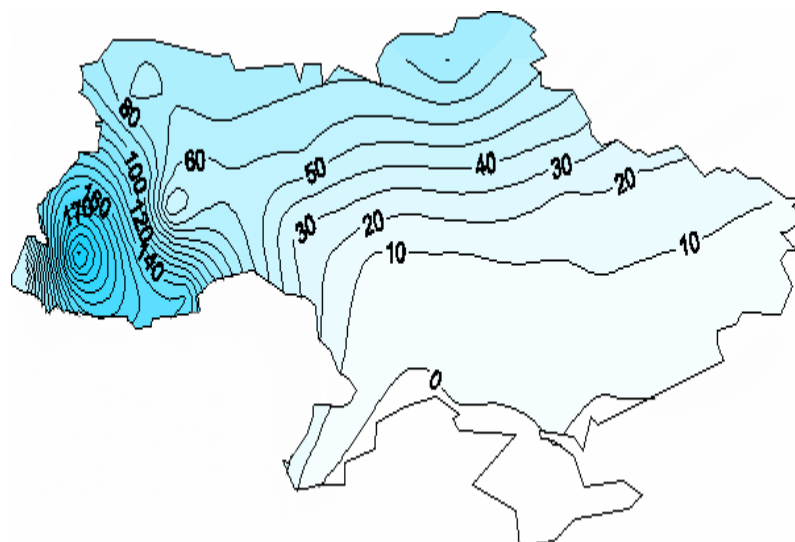


Рис. М.1. Просторовий розподіл річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (мм) за період 1986-2005 рр. (сценарій А1В)

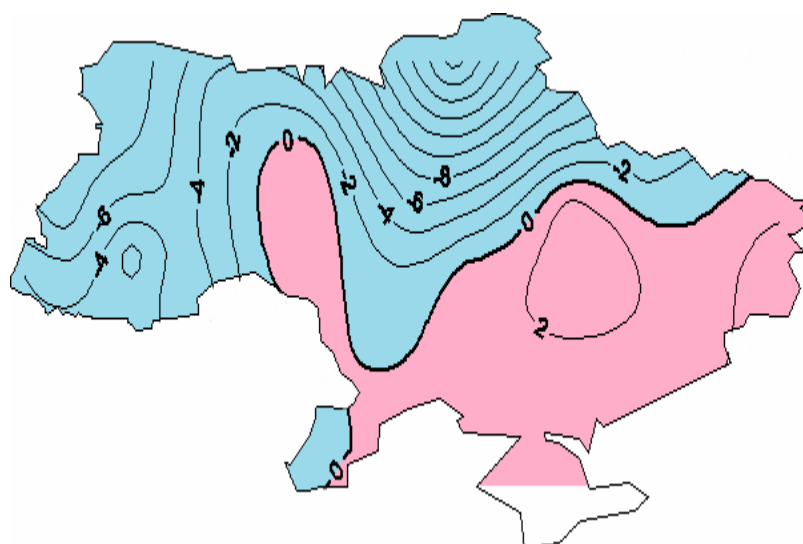


Рис. М.2. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (мм) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій А1В)

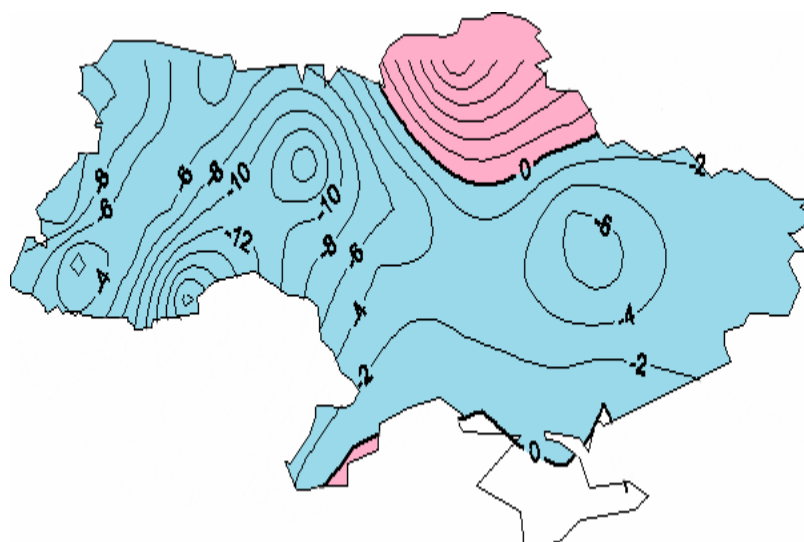


Рис. М.3. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (мм) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А1В)

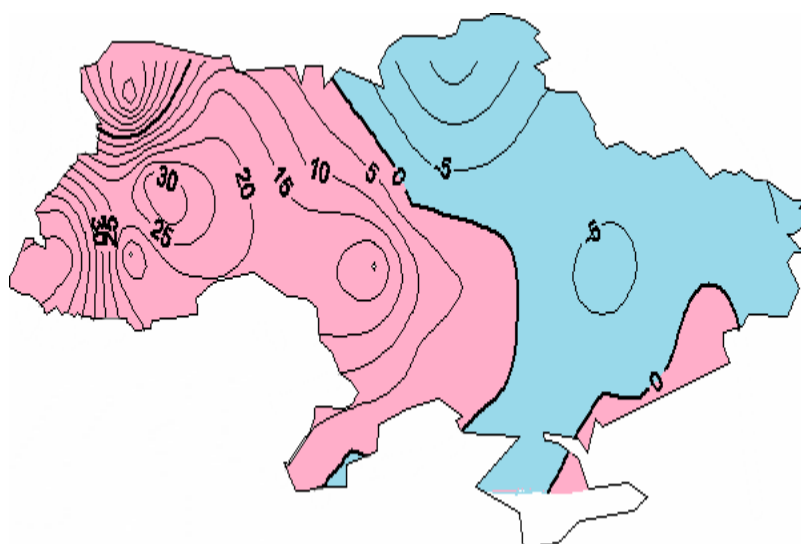


Рис. М.4. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (мм) за період 2011-2030 рр. у порівнянні із періодом 1986-2005 рр. (сценарій А2)

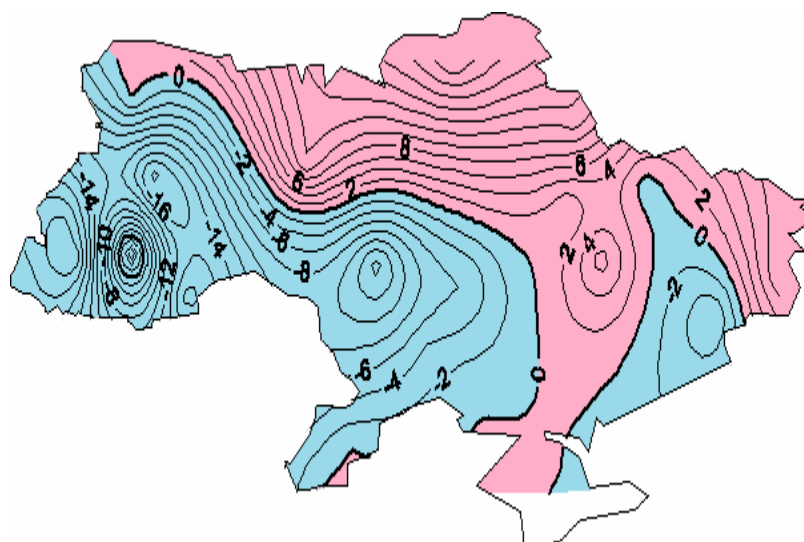


Рис. М.5. Просторовий розподіл різниці між нормами річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (мм) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А2)

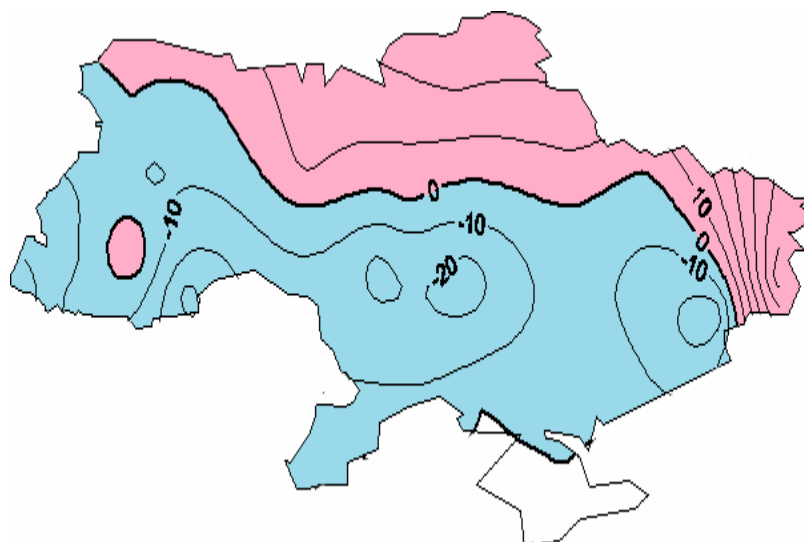


Рис. М.6. Просторовий розподіл відносних відхилень норм річного кліматичного стоку 95%-вої забезпеченості (%) за період 2031-2050 рр. у порівнянні із періодом 2011-2030 рр. (сценарій А2)