

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН  
НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ**

*За редакцією доктора фізико-математичних наук,  
професора С. М. Степаненка, доктора географічних наук,  
професора А. М. Польового*

Одеса  
„Екологія”  
2011

ББК 26.234.7:65  
0-93  
УДК 551.58:33

**К о л е к т и в а в т о р і в:**

**С. М. Степаненко**, д. ф.-м. н., проф.; **А. М. Польовий**, д. геогр. н., проф.;  
**Є. П. Школьний**, д. техн. н., проф.; **Е. М. Серга**, к. геогр. н.; **В. М. Хохлов**, д. геогр. н.,  
проф.; **В. М. Бондаренко** к. геогр. н.; **Г. О. Боровська**, к. геогр. н.; **Л. Г. Латиш**, асп.;  
**Ж. В. Волошина**, к. геогр. н.; **О. В. Волошина**, к. геогр. н.; **І. А. Хоменко**, ст. преп.;  
**О. О. Врублевська**, к. геогр. н.; **О. Л. Казаков**, к. ф.-м. н.; **М. В. Трегубова**, к. геогр. н.;  
**М. Д. Головатюк**, асп.; **Г. П. Катеруша**, к. геогр. н.; **Л. Ю. Божко**, к. геогр. н.;  
**Л. І. Польова**, ст. наук. сп., **С. М. Мажура**, ст. наук. сп.; **О. О. Дронова**, к. геогр. н.;  
**М. І. Кульбіда**, к. геогр. н.; **Т. І. Адаменко**, к. геогр. н.; **І. В. Трофімова**, к. ф.-м. н.;  
**В. С. Антоненко**, д. геогр. н.; **О. Л. Барсукова**, к. геогр. н.; **О. Л. Жигайло**, к. геогр. н.;  
**С. М. Свідерська**, к. геогр. н.; **О. В. Вольвач**, к. геогр. н.; **Н. С. Лобода**, д. геогр. н., проф.

**Р е ц е н з е н т и:**

**С. І. Сніжко**, доктор географічних наук, професор;  
**О. О. Світличний**, доктор географічних наук, професор;  
**В. Я. Щербаков**, доктор сільськогосподарських наук, професор

Друкується за рішенням вченої ради Одеського державного екологічного  
університету. (Протокол № 9 від 27.10.2011 р.)

У монографії розглянуто сучасні сценарії змін клімату та вплив очікуваних змін клімату на ефективність галузей економіки України. Вивчено особливості погодо- і кліматоутворювальних процесів, що розвиваються в результаті енерго- і масообміну між атмосферою й океаном у Північній Атлантиці, а також відгуки клімату України й частини території Західної Європи на зазначені кліматоутворювальні фактори. Розглянуто зміни глобального клімату та їх вплив на майбутній режим опадів і температури повітря в Україні. Досліджено зміни кліматичних характеристик опалювального періоду в різних регіонах України наприкінці ХХ століття та зроблено прогноз майбутніх змін тривалості опалювального періоду. Виконано оцінку та надано прогноз впливу змін кліматичних чинників на біокліматичні ресурси. Проведено оцінку зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур, їх фотосинтетичної продуктивності та формування урожаю. Надано рекомендації щодо зміни структури посівних площ у зв'язку з кліматичними змінами на період 2030–2040 рр. Виконано оцінку та надано прогноз водних ресурсів України в умовах змін глобального клімату. Розроблено рекомендації щодо використання водних ресурсів з метою попередження наслідків глобального потепління.

Одеський державний  
екологічний університет, 2011

ISBN 978–966–8740–83–1

виходить далеко за межі чисто наукового питання і є комплексною міжгалузеву проблемою, що охоплює всі ключові аспекти сталого розвитку – екологічні, економічні та соціальні. Цією Постановою поряд з іншими напрямками передбачається вважати одними з основних напрямів наукових досліджень з проблеми вивчення механізмів формування мінливості кліматичної системи України з метою кількісної оцінки природної та антропогенної складових змін клімату, розвиток методологічних підходів та оцінку можливих соціально-економічних і екологічних наслідків кліматичних змін та розроблення практичних рекомендацій щодо стратегії реагування на вплив зміни клімату на економіку, стан навколишнього середовища, соціальні умови і стан здоров'я населення.

Цілком очевидно, що одним із ключових довгострокових факторів стійкого соціально – економічного розвитку країни є необхідність врахування змін клімату, яке можливе на основі кількісних оцінок наслідків впливу очікуваних змін клімату на галузі економіки.

Представлена монографія присвячена дослідженню питань впливу очікуваних змін клімату на вразливість паливно-енергетичного та аграрно-промислового комплексів, водні ресурси, можливість використання альтернативних видів енергії в Україні.

У створенні монографії брав участь великий колектив викладачів та наукових співробітників Одеського державного екологічного університету і співробітників Українського гідрометеорологічного центру.

Автори розділів і окремих параграфів: передмова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий; розділ 1 – Є.П. Школьний, Е.М. Серьга; розділ 2: п. 2.1 – С.М. Степаненко; 2.2–2.4 В.М. Хохлов, В.М. Бондаренко, Г.О. Боровська, Л.Г. Латиш; розділ 3: п. 3.1 – С.М. Степаненко Ж.В. Волошина, О.В. Волошина, І.А. Хоменко; п. 3.2 – О.О. Врублевська; п. 3.3 – О.Л. Казаков, М.В. Трегубова, М.Д. Головатюк; розділ 4 – Г.П. Катеруша; розділ 5 – А.М. Польовий; п. 5.1 – Л.Ю. Божко, Л.І.Польова, С.М. Мажура; п. 5.2. – О.О. Дронова, Л.Ю. Божко; 5.3.1–5.3.3 – М.І. Кульбіда, Т.І. Адаменко, І.В. Трофімова; 5.3.4–5.3.5 – В.С. Антоненко, О.Л. Барсукова, О.Л. Жигайло, Л.І. Польова, С.М. Свидерська; 5.3.6 – Т.І. Адаменко; 5.3.7 – О.В.Вольвач; 5.3.8 – М.І. Кульбіда, Т.І. Адаменко, Л.Ю. Божко, О.О. Дронова, Л.І. Польова; розділ 6 – Л.Ю. Божко; розділ 7 – Н.С. Лобода; висновки – С.М. Степаненко, А.М. Польовий. Підготовка рукопису до друку – С.М. Мажура, Л.І. Польова.

Наукове керівництво: С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

Автори висловлюють свою подяку колективам кафедр: фізики атмосфери та кліматології, теоретичної метеорології та метеорологічних прогнозів, агрометеорології та агрометеопрогнозів, гідроекології та водних досліджень науково-дослідної частини за підтримку та допомогу при підготовці рукопису, а також О.Д. Соколенко за редагування рукопису.

## 7. ОЦІНКА СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІН РЕГІОНАЛЬНОГО КЛІМАТУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ

Під терміном “*водні ресурси*” розуміють поверхневі та підземні води певної території, придатні до використання. Основну частину водних ресурсів України становлять поверхневі води, які формуються та існують безпосередньо на земній поверхні, тобто води природних (озер) та штучних водойм, водотоків. Інтегральною характеристикою водних ресурсів значних територій є річний стік їхніх річок [39].

На території України нараховується 71183 річки, з яких понад чотири тисячі мають довжину більше 10 км (130 з них – понад 100 км). Загальна протяжність річок складає 248,3 тис. км, а сумарний річний стік становить (без Дунаю) 85,1 км<sup>3</sup> [11]. Безпосередньо на території країни формується 51 км<sup>3</sup> води, а решту складають води, які утворюються за межами країни та протікають через Україну транзитом. Найбільшими річками України є: Сіверський Донець, Дніпро, Південний Буг, Дністер, Дунай.

Поверхневі водні ресурси впливають на стан навколишнього середовища, вони забезпечують існування людей та тваринного й рослинного світу, пов’язані із соціальним становищем суспільства і здоров’ям людини. Використання водних ресурсів в Україні є одним з найбільш високих у світі й складає до 100 % техногенного перетворення поверхневих вод і до 10–20 % підземних. Проте водні ресурси є обмеженими й уразливими. В умовах нарощування антропогенних навантажень на природне середовище, розвитку суспільного виробництва виникає необхідність раціонального використання та екологічно спрямованого їх захисту.

Зміни глобального клімату, які спостерігаються протягом останніх десятиріч [1, 12, 13, 43, 44], впливають на кліматичні умови формування стоку річок України, а отже, зумовлюють зміни її поверхневих водних ресурсів. У нових кліматичних умовах, особливо при зростанні посушливості, збільшується потреба у прісній воді різних споживачів, що зумовлює необхідність розроблення нової стратегії подальшого розвитку водного господарства та усєї економіки України. Дослідження наслідків змін клімату у зв’язку зі станом поверхневих водних ресурсів України виконували у кінці минулого та на початку нового сторіччя рядом українських науковців, серед яких слід відзначити роботи В.І. Вишневського [3, 4], який установив основні тенденції щодо змін кліматичних характеристик та характеристик стоку на початку ХХІ сторіччя; А.І. Шерешевського та Л.К. Сеницької [41], у роботах яких відмічається зменшення випаровування з водної поверхні, особливо у

східних та південних територіях України. Дослідження сучасних змін максимального стоку річок проводилися В.О. Войцехович та Л.І.Лузан [6], Є.Д. Гопченком, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакирзановою [9]. Показано, що зменшення максимального стоку весняного водопілля може впливати на режим наносів, величина яких відповідно зменшується [32]. Зміни річного, внутрішньорічного та мінімального стоку р. Дніпро, що відбувалися протягом останніх десятиріч, детально проаналізовані у монографії вчених Київського Національного університету імені Тараса Шевченка [38]. 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 [24], а скресання річок відбувається раніше [36], зростає ймовірність відсутності льодових явищ у зимові місяці [5].

Просторово-часове узагальнення змін кліматичних характеристик та характеристик водного режиму річок у межах усієї України виконав В.В. Гребінь [10] на основі проведеного ним ландшафтно-гідрологічного районування. Установлено, що впродовж останніх двадцяти років середня річна температура повітря у межах рівнинної частини України зросла на 0,8 °С. 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 усі сезони (крім зимового), а найбільше – у перехідні сезони (навесні та восени). Зміна ресурсів тепла та вологи зумовила 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 установлено для Лівобережно-Дніпровської (-11 %), Причорноморсько-Приазовської (-8 %), Нижньобузько-Дніпровської (-4 %) і Дністровсько-Дніпровської (-4 %) провінцій. Для окремих річок Причорноморсько-Приазовської провінції зменшення річного стоку за 1989–2008 рр. досягло 40 % [10].

Оскільки наявність змін у водному та льодовому режимі річок при сучасних змінах регіонального клімату є встановленою, постає питання про прогнозування стану поверхневих водних ресурсів України на основі кліматичних сценаріїв. Такого роду прогнози можна надати за допомогою математичних моделей, які враховують зв'язки між кліматичними чинниками та характеристиками водності річок. У Одеському державному екологічному університеті розроблена модель “клімат-стік” [8], яка базується на рівнянні водно-теплового балансу території й використовує метеорологічні дані, як спостережені, так і наведені в кліматичних

сценаріях. Параметри річного стоку, встановлені за цією моделлю, використовуються при імітаційному стохастичному моделюванні побутового річного стоку у нових кліматичних умовах при заданих масштабах водогосподарської діяльності [16]. Результатом математичного моделювання є функції антропогенного впливу або “функції відгуку” поверхневих водних ресурсів на водогосподарські перетворення (зрошення, осушення, створення штучних водойм, споживання води населенням). На основі функцій антропогенного впливу визначаються допустимі масштаби водогосподарських перетворень в існуючих або можливих кліматичних умовах.

Потреба у передбаченні стану поверхневих водних ресурсів України у наступні роки знайшла своє відображення у Постанові Кабінету Міністрів України (№ 468 від 10 квітня 2006 р.), де відзначається необхідність вжиття заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення проведення досліджень, пов'язаних із змінами клімату. Розв'язання проблем у сфері використання та охорони водних ресурсів належить до пріоритетних напрямів державної політики у проведенні соціально-економічних реформ.

### **7.1. ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ТА ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ**

Аналіз різницевих інтегральних кривих річних сум опадів, побудованих за даними спостережень із значною тривалістю (близько 100 років) на метеостанціях України, підтвердив існування асинхронності у коливаннях опадів західної та східної частин України. На території східної (Лівобережної) частини України суха або негативна фаза коливань сум річних опадів спостерігалася з 30-х років ХХ сторіччя до 1964 року, після чого відбувся перехід до позитивної або зволоженої фази, яка тривала до початку ХХІ сторіччя. Для території західної (Правобережної) частини України також була характерна наявність сухої фази у коливаннях річних опадів, яка тривала до 1964 року. З 1965 року почалася позитивна або зволожена фаза коливань опадів, яка з 1982 року змінилася на негативну і тривала до початку ХХІ сторіччя із незначним “сплеском” у 90-ті роки [27].

У коливаннях середніх за рік температур повітря західної та східної частин України також існувала певна відмінність. Холодна (негативна) фаза у ході середніх річних температур на території західної частини України спостерігалася з початку 50-х і до кінця 80-х років ХХ сторіччя, а на території східної – з кінця ХІХ сторіччя до 1933 року. Таким чином,

тепла або позитивна фаза коливань річних температур повітря установилася на території Лівобережної України набагато раніше, ніж на території Правобережної України. Можна зазначити, що з кінця 80-х років минулого сторіччя коливання річних температур повітря стають синфазними у межах усієї України. Одержані висновки підтверджуються результатами факторного аналізу, застосованого до полів опадів і температур повітря. Дослідження статистичної структури полів середньої річної температури повітря, а також середніх температур повітря теплого та холодного періодів року за період з 1981 по 2002 рр. з використанням факторного аналізу показали, що кожне поле температур можна описати лише одним фактором, внесок якого перевищує 80 %. Статистична структура річних сум опадів та опадів теплого періоду описується двома факторами, внесок яких у дисперсію вхідних даних перевищує 60 % і тільки поле сум опадів холодного періоду можна представити лише одним фактором. Це означає, що на режим формування опадів теплого періоду та року впливають різні за своєю природою атмосферні процеси, які зумовлюють різницю у характері коливань опадів східної і західної частин України [19].

У період з 1981 -2002 рр. виявлено значущий статистичний зв'язок між індексами Північно-Атлантичного коливання (ПАК) та температурами повітря: коефіцієнти кореляції змінюються від 0,80 до 0,40 (табл. 7.1). Вплив ПАК на температуру повітря у найбільшій мірі проявляється у зимовий та весняний сезони [26] й зумовлює зміни у термічному режимі річок під час утворення льодових явищ [28]. Стосовно опадів, то тісні лінійні зв'язки із індексом ПАК установлені тільки для метеостанцій західної частини України. Слід зазначити, що у попередній період (до 1981р.) тісних зв'язків індексів ПАК із метеорологічними характеристиками не виявлено.

До аналізу ролі різних атмосферних процесів у формуванні водних ресурсів досліджувалися поля річного стоку у межах України та на прилеглих територіях з використанням методу головних компонент [25]. До розгляду увійшли дані по таких водозборах: р. Дніпро – м. Речиця (Білорусь); р. Сож – м. Гомель (Білорусь); р. Десна – м. Чернігів (Україна); р. Прип'ять – м. Мозир (Білорусь); р. Дунай – м. Рені (Україна); р. Дністер – с. Заліщики (Україна); р. Південний Буг – с. Олександрівка (Україна); р. Дунай – м. Братислава (Словаччина); р. Тиса – р. Польгар (Угорщина); р. Мюреш – м. Арад (Румунія); р. Сан – м. Радомишль (Польща); р. Західний Буг – м. Вишків (Польща); р. Дон – ст. Раздорська (Росія), р. Німан – р. Смалінінкай (Литва); р. Рейн – м. Кельн (Німеччина); р. Вісла – м. Тзеу (Польща); р. Одер – м. Гоздовіце (Польща). Розкладанню за природними ортогональними функціями були піддані кореляційні та коваріаційні матриці річного стоку, за якими визначалися закономірності просторового та часового розподілу річного стоку, які поєднувалися із

певними показниками атмосферних процесів, що впливають на умови формування стоку річок Європи [47].

Внесок перших трьох головних компонент в опис загальної дисперсії початкових даних склав 48 %, 20 % та 11 % відповідно для першої, другої й третьої компонент. Їхній сумарний внесок перевищує 70 %, що є достатнім для опису даних полів річного стоку через головні компоненти. Установлено статистично значущий зв'язок між другою амплітудною функцією (часовою складовою розкладання) та індексами ПАК, а також між третьою амплітудною функцією та індексами Скандинавського колювання. Тіснота лінійних зв'язків характеризується коефіцієнтами кореляції, що дорівнюють 0,3–0,4 [25].

Таблиця 7.1. Коефіцієнти кореляції між індексами ПАК, опадами (X) і температурами повітря (T) за період спостережень після 1980 року

Метеостанції	Характеристика	Рік	Зима (XII-II)	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)
Житомир	X	0,19	0,03	0,18	0,21	0,22
	T	0,64	0,75	0,67	0,00	0,50
Умань	X	0,26	0,06	0,12	0,10	0,18
	T	0,59	0,59	0,54	0,00	0,27
Київ	X	0,47	0,14	0,29	0,18	0,43
	T	0,59	0,60	0,52	0,00	0,43
Кам'янець-Подільський	X	0,54	0,21	0,36	0,23	0,60
	T	0,80	0,53	0,56	0,04	0,49
Тернопіль	X	0,75	0,43	0,36	0,57	0,61
	T	0,79	0,70	0,61	0,10	0,58
Луганськ	X	0,34	0,15	0,19	0,23	0,39
	T	0,40	0,47	0,48	0,11	0,01
Харків	X	0,41	0,20	0,00	0,21	0,28
	T	0,47	0,51	0,51	0,08	0,19

Просторовий розподіл вагових коефіцієнтів другої компоненти дозволив обґрунтувати виділення за закономірностями колювань річного стоку України її східну та західну частини. Просторовий розподіл вагових коефіцієнтів третьої компоненти показав на існування відмінностей в колюваннях річного стоку річок за географічною широтою, при цьому виділяються північна та південна частини України. Одержані результати підтверджують вище зазначений висновок про значний вплив Північно-Атлантичного колювання на формування річного стоку західної частини



України та вплив Скандинавського коливання на формування стоку північної частини України.

Дослідження характеристик стоку у різні фази водного режиму річок України дозволили встановити, що у останні десятиріччя відбуваються значні зміни характеристик максимального і мінімального стоку: максимальний стік зменшується, а мінімальний зростає (табл. 7.2).

Такий перерозподіл стоку в межах року відбувається через збільшення температур повітря холодного періоду, що спричиняє зростання кількості та тривалості відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунту, збільшення втрат талих вод на їхню фільтрацію у водоносні горизонти, зменшення запасів води, накопичених у сніговому покриві перед початком весняного водопілля. Внаслідок цих процесів поверхневий стік у період весняної повені зменшується, а запаси підземних вод і відповідно й стік літньо-осінньої межени зростають.

Таблиця 7.2. Зміни характеристик водності у створі  
р. Сіверський Донець – м. Зміїв (Лісостепова зона,  
Середньоруська провінція)

Період осереднення	Характеристики стоку, осереднені по різних періодах багаторічних спостережень			
	$q_{рік}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$Y_{рік}$ , мм	$q_{max}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$q_{min}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )
1923-1962	2,70	85	4,9	0,3
1963-1970	2,72	86	4,7	0,4
1971-1975	2,64	83	4,4	0,4
1976-1980	2,71	86	4,3	0,5
1981-1985	3,46	109	2,1	1,4
1986-1990	2,84	90	2,2	1,4
1991-1995	2,54	80	1,4	1,3
1996-2000	3,00	94	1,3	1,6
2001-2005	2,55	80	0,8	1,5

Одержані результати підтверджуються дослідями В.І. Вишневського [3], В.С. Мельника [22], висновками з праць Київського Національного університету імені Тараса Шевченка [10, 39], Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту [6], Одеського державного екологічного університету [9].

На річках західної частини України, де значну роль у формуванні стоку відіграють паводки, зменшення величин максимального стоку  $q_{max}$  та зростання мінімального  $q_{min}$  виражені значно меншою мірою або

зовсім не спостерігаються, як це відбувається у Гірській зоні Українських Карпат (табл.7.3) або в Закарпатті (табл.7.4).

Таблиця 7.3. Зміни характеристик водності у створі р. Дністер – м. Заліщики (Західно-Українська провінція та Гірська зона Карпат)

Період осереднення	Характеристики стоку, осереднені по різних періодах багаторічних спостережень			
	$q_{рік}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$Y_{рік}$ , Мм	$q_{max}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$q_{min}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )
1895-1964	9,39	278	99,2	0,76
1965-1970	9,90	346	110,2	1,75
1971-1975	8,80	278	76,9	2,52
1976-1980	11,72	325	68,7	2,74
1981-1985	8,88	280	66,5	2,82
1986-1990	7,45	235	61,6	2,20
1991-1995	8,31	271	68,5	2,84
1996-2000	11,41	362	85,5	3,28
2001-2005	9,27	288	68,4	2,93

Таблиця 7.4. Зміна характеристик водності за багаторічний період в створі р. Уж – м. Ужгород (Закарпаття)

Період осереднення	Характеристики стоку, осереднені по різних періодах багаторічних спостережень			
	$q_p$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$Y_{max}$ , мм	$q_{max}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )	$q_{min}$ , л/(с/км <sup>2</sup> )
1956-1960	14,3	27	187	0,95
1961-1965	12,7	27	264	0,68
1966-1970	17,6	31	224	1,05
1971-1975	14,3	39	160	1,08
1976-1980	17,2	47	133	1,34
1981-1985	15,8	36	141	1,78
1986-1990	13,9	37	180	1,39
1991-1995	13,1	27	112	1,35
1996-2000	15,5	30	129	2,37
2001-2005	14,5	-	141	1,81

## 7.2. ПРОГНОЗИ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Модель "клімат – стік", розроблена в ОДЕКУ, дозволяє врахувати як зміни кліматичних факторів формування річного стоку, так і відповідні зміни у складових водогосподарських балансів [8, 16]. Модель складається з двох частин. Перша дозволяє виконувати оцінку річного стоку на основі метеорологічних даних, друга – оцінку побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку з урахуванням існуючих кліматичних умов. На вході у першу частину моделі використовуються метеорологічні дані, спостережені або встановлені за сценаріями глобального потепління, у другу – природний або непорушений водогосподарською діяльністю річний стік та кількісні показники водогосподарських перетворень. Розглядається ланцюг послідовностей формування стоку: “клімат → кліматичний стік → підстильна поверхня → природний стік → водогосподарські перетворення → побутовий стік”. Таким чином, вивчається та моделюється водогосподарська система, яка зазнає зовнішніх (кліматичних) та внутрішніх (водогосподарських) впливів й певним чином реагує на цей вплив. У моделі використовується поняття “кліматичний стік”, тобто стік, зумовлений кліматичними факторами й розрахований за метеорологічними даними. Кліматичний стік відповідає природному зональному стоку річок. Для малих та середніх водозборів, на формування стоку яких значною мірою впливають фактори підстильної поверхні, розроблені регіональні залежності, за якими можна оцінити перехідні коефіцієнти від кліматичного стоку до природного [18]. Таким чином, при використанні метеорологічних даних сценаріїв глобального потепління визначається зональний стік, який відповідає новим кліматичним умовам [7, 45]. Для визначення побутового стоку розроблена стохастична модель, яка враховує в ймовірнісній формі взаємодію між природним (кліматичним) стоком й антропогенними чинниками.

### 7.2.1. Модель “клімат–стік”

Перша (кліматична) частина моделі базується на рівнянні водно-теплового балансу ділянки суші у модифікації В.С. Мезенцева [35], диференціальна форма якого записується таким чином

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1, \quad (7.1)$$

де  $H$  – характеристика ресурсів зволоження, під якою розуміють опади  $X$ , що 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, наведені у відносних одиницях;  $E$  – випаровування з поверхні суші;  $Y$  – стік води.

Величини  $\beta_E, \beta_H, \beta_Y$  представляють собою відношення складових рівняння водного балансу до характеристики теплоенергетичних ресурсів клімату  $E_m$

$$\beta_H = \frac{H}{E_m}; \beta_E = \frac{E}{E_m}; \beta_Y = \frac{Y}{E_m}. \quad (7.2)$$

Величина  $E_m$  входить до прибуткової частини теплового балансу ділянки суші й добуток  $LE_m$  розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування з поверхні суші у визначених кліматичних умовах

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2), \quad (7.3)$$

де  $R^+$  – позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу;  $P^+$  – позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що надходить 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  $\Delta B$ );  $L$  – приховане тепло пароутворення;  $LE$  – витрата тепла на випаровування.

Величина  $E_m$  має назву “теплоенергетичний еквівалент” або “максимально можливе випаровування” і являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату  $LE_m$  [35]

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}. \quad (7.4)$$

Граничні умови складових (7.1) записуються таким чином

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty. \quad (7.5)$$

Після наближеного розв'язку (7.1) частинне рівняння зв'язку між складовими водного та теплового балансів представляється у такий спосіб [35]

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}}, \quad (7.6)$$

де  $n$  – параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку і визначається коефіцієнтом стоку в оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості [35].

З урахуванням позначень (7.2), визначення випаровування з поверхні суші можна виконувати за рівнянням, виведеним із (7.6)

$$E = E_m \left[ 1 + \left( \frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (7.7)$$

Тоді рівняння водного балансу ділянки суші ( $H = E + Y$ ) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[ 1 + \left( \frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (7.8)$$

Рівняння (7.8) містить складову (випаровування з поверхні суші  $E$ ), яка входить як у рівняння теплового балансу земної поверхні, так і у рівняння водного балансу у зв'язку з чим вираз (7.8) дістав назву рівняння водно-теплового балансу.

Рівняння водно-теплового балансу, виражене відносно величини стоку  $Y$ , можна представити в такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[ 1 + \left( \frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (7.9)$$

З урахуванням  $H = X + w_1 - w_2$ , рівняння (7.9) записується у вигляді

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[ 1 + \left( \frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (7.10)$$

Різниця  $w_1 - w_2$ , яка представляє собою змінення вологовмісту розрахункового шару ґрунту, набирає істотних додатних та від'ємних значень усередині року (місяця, декади) і в окремі роки (групи років).

Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (7.11)$$

рівняння водно-теплового балансу набуває вигляду

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[ 1 + \left( \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (7.12)$$

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

Результати досліджень [14] показали, що при розрахунках норм річного стоку достатньо використовувати  $n=3$  як у гірських, так і рівнинних умовах.

Норма річного стоку  $\bar{Y}$ , визначена за (7.12), зумовлюється кліматичними факторами – нормою річних опадів  $\bar{X}$  й максимально можливого випаровування  $\bar{E}_m$ , які підкоряються закону географічної зональності та можуть бути представлені у вигляді карт ізоліній. Отже, розраховані при постійному  $n$  величини стоку залежать від співвідношення показників ресурсів вологи  $\bar{X}$  та тепла  $\bar{E}_m$  й відображають їхню взаємодію.

Рівняння водно-теплового балансу (7.12) було використано як теоретична база визначення норм природного річного стоку за метеорологічними даними [14, 16]. Норма річного стоку, розрахована за цим рівнянням, отримала назву “норми кліматичного стоку” і у подальшому позначається як  $\bar{Y}_K$ .

На основі реалізації водно-теплового балансу для території України у Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи було розроблено метод визначення характеристик природного річного стоку [8, 18]. Матеріалами необхідними для розрахунків кліматичного стоку є складові радіаційного та теплового балансів підстильної поверхні, величини опадів, температур повітря, дефіцитів вологості повітря за календарні місяці та рік. В результаті були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинних територій, а також розроблені регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості для гірських територій (Українські Карпати та Гірський Крим). Виконані просторові узагальнення відповідають стану кліматичних та поверхневих водних ресурсів (у непорушених водогосподарською діяльністю умовах) до початку значущих проявів глобального потепління, тобто до 80-х років минулого сторіччя. За розрахунками кліматичного стоку по роках були визначені залежності, які описують зв'язки між багаторічною мінливістю

(коефіцієнтом варіації  $C_V$ ) річного стоку та нормою кліматичного стоку, а також виконане районування відношення  $C_S/C_V$ , де  $C_S$  - коефіцієнт асиметрії. Одержані регіональні формули для визначення середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування за даними про температури повітря [7]:

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum \bar{T}_{>10} + 226, r = 0.91; \quad (7.13)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum \bar{T}_{>0} + 179, r = 0.87; \quad (7.14)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0.94, \quad (7.15)$$

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

Проведені просторо-часові узагальнення дозволяють виконувати розрахунки характеристик річного природного стоку як за багаторічний період, так і у роки різної водності для річок з відсутністю даних спостережень або при значній трансформації їхнього стоку водогосподарською діяльністю.

Апробація моделі "клімат – стік" як способу визначення характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку була виконана на даних водозборів різних природних зон України, а також на даних великих річок [14, 18, 45, 47]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень [33].

### **7.2.2. Визначення поверхневих водних ресурсів України за моделлю “клімат-стік” з використанням даних сценаріїв змін клімату**

Зміни кліматичних характеристик, зумовлені глобальним потеплінням через збільшення концентрації парникових газів, або з інших причин, неминуче приведуть до перерозподілу водних ресурсів як у часі, так і в просторі. Кліматичний стік, величини якого залежать від співвідношення ресурсів вологи та тепла, найкращим чином відображає кліматичні зміни. Визначення норм кліматичного річного стоку, який в інтегральній формі характеризує поверхневі водні ресурси, відбувається за (7.12). До

складових рівняння входять норми опадів та максимально можливого випаровування, які беруться з кліматичних сценаріїв. Рівняння водно-теплового балансу ділянки суші в умовах змін клімату можна представити у такому вигляді

$$\bar{Y}'_K = (\bar{X} \pm \Delta\bar{X}) - \bar{E}'_m \left[ 1 + \left( \frac{\bar{X} \pm \Delta\bar{X}}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (7.16)$$

де  $\bar{Y}'_K$  – середньобогаторічна величина кліматичного річного стоку, мм;  $\bar{E}'_m$  – середньобогаторічна величина максимально можливого випаровування, мм;  $\bar{X}$  – вихідна норма річних опадів, мм;  $\bar{E}_m$  – вихідна норма максимально можливого випаровування, мм;  $\Delta\bar{X}$  – зміни норм річних опадів, мм.

Матеріали, наведені у сценаріях, найчастіше представляються у вигляді поправкових коефіцієнтів  $k_X$  до сум середніх багаторічних опадів ( $\Delta\bar{X} = k_X \bar{X}$ ) та поправок  $\Delta T$  до величин середніх багаторічних температур повітря за календарні місяці. Величина максимально можливого випаровування розраховується за формулами (7.13)–(7.15) з використанням даних про зміни температур  $\bar{E}'_m = f(T + \Delta T)$ .

Числові експерименти, виконані на основі рівняння водно-теплового балансу (7.12), показали, що зміна норм кліматичного стоку стає значущою, тобто перевищує точність розрахунку даної величини, при зміні річних опадів на  $\pm 3,5\%$  або при зміні сум середньомісячних температур повітря за період червень-серпень на  $\pm 2,5\text{ }^\circ\text{C}$  [7, 45]. Передбачувані сценаріями зміни метеорологічних характеристик перевищують зазначені межі й, отже, модель “клімат-стік” може успішно застосовуватись при прогнозуванні стану водних ресурсів України за різними сценаріями змін глобального клімату.

Серед сценаріїв ВМО найбільш відомі сценарії “раптового” або “одночасного” подвоєння концентрації  $\text{CO}_2$  атмосфері: сценарій GISS – модель інституту Годдара з космічних досліджень, у якому чутливість до подвоєння  $\text{CO}_2$  становить  $4,2\text{ }^\circ\text{C}$ ; сценарій GFDL – модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, у якому чутливість становить  $4,0\text{ }^\circ\text{C}$ ; CCCM – модель Канадського кліматичного центру, в якому чутливість дорівнює  $3,5\text{ }^\circ\text{C}$ ; UKMO – модель Метеорологічного бюро Об’єднаного королівства, в якому чутливість також  $3,5\text{ }^\circ\text{C}$  [37]. Більш реалістичними вважаються сценарії, в яких підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  розглядається поступово. Це дозволяє простежити інерцію кліматичної системи, тобто її відставання від зміни концентрацій парникових газів в атмосфері. До таких



моделей відносяться сценарії GFDL, побудовані за моделлю Лабораторії геофізичної динаміки США та MPI (модель інституту Макса Планка, Німеччина).

Зазвичай сценарії глобального потепління адаптуються для територій різних країн [37]. Слід зазначити, що такого роду адаптація найчастіше проводиться не за басейновим, а за географо-гідрологічним принципом. Оскільки зміна поверхневих водних ресурсів у просторі відбувається у залежності від співвідношення ресурсів тепла та вологи  $\beta_H$ , то регіональна адаптація сценаріїв виконувалася по природних географічних зонах (зона мішаних лісів, лісостепова та степова зони). При такому підході водозбори великих річок розглядалися як сукупність ландшафтів, де кожна природна рівнинна або гірська зона входять до розрахункової величини  $\bar{Y}_K$  із своїм ваговим коефіцієнтом [30, 31]. Перехід до стоку малих та середніх водозборів відбувався після визначення норми кліматичного стоку шляхом введення до його розрахункового значення перехідного коефіцієнта, який ураховує вплив підстильної поверхні [8].

За даними сценаріїв глобального потепління, адаптованих до території України [37], виконані розрахунки норм кліматичного стоку різних природних зон України.

Наведені сценарії містять у собі прогнози дані змін регіональних характеристик клімату на 2000–2010 рр. (нестационарна модель GFDL), що надає можливість порівняти визначені за моделлю характеристики із фактичними. За розрахунками встановлено, що у степовій зоні зменшення поверхневих водних ресурсів буде досягати 22–24 %, у лісостеповій зоні буде спостерігатися зростання водних ресурсів до 3–6 %, у області Українських Карпат суттєвих змін річного стоку не відбудеться, що співпадає з висновками В.В. Гребеня. У роботі В.В. Гребеня [10] надані відомості про зміни річного стоку за період з 1989 по 2008 рр. для різних ландшафтно-гідрологічних провінцій (ЛГП), де відзначається тенденція до збільшення стоку на 9 % у Прут-Дністровській ЛГП, відсутність змін у Тисо-Латорицькій ЛГП, зростання стоку у Бузько-Дністровській (5 %), Дніпровсько-Сіверськодонецькій та Деснянській (1 %) провінціях. У степовій зоні ним встановлене зменшення поверхневих водних ресурсів до 8 % (Причорноморсько-Приазовська ЛГП). При цьому зміни на таких річках як Інгул, Берда, Тілігул, Чорний Ташлик можуть досягати 30–40 %. Таким чином, можна зазначити, що розраховані за моделлю “клімат-стік” та фактичні дані про стан водних ресурсів узгоджуються між собою.

За даними розрахунків середніх багаторічних величин річного зонального стоку з використанням прогнозів змін регіонального клімату за різними сценаріями встановлено, що найбільше зміни клімату впливають на водні ресурси природної зони степу (табл. 7.5). Слід зазначити, що за рекомендаціями ООН зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % означає наявність значущих змін водних ресурсів; на 50 % –

руйнацію водних ресурсів, а на 70 % – безповоротну (невідновну) руйнацію.

Таблиця 7.5. Зміни водних ресурсів у зоні степу за сценаріями глобального потепління

Сценарій	$\bar{E}_m$ , мм	$\bar{X}$ , мм	$\bar{Y}_K$ , мм	Зміни водних ресурсів, %
0 (вихідний стан)	950	500	22	-
CCSM	1203	490	11	-50,0
GISS	1203	490	11	-50,0
GFDL	1234	565	17	-22,7
UKMO	1236	520	12	-45,5
Нестаціонарна модель GFDL (2000-2010)	1086	515	17	-22,7
Нестаціонарна модель GFDL (2030-2040)	1246	530	13	-40,9
Нестаціонарна модель GFDL (2070-2080)	1655	565	7	-68,2

За сценаріями CCSM, GISS, UKMO у випадку одночасного подвоєння вмісту CO<sub>2</sub> зниження водних ресурсів степової зони буде досягати 45–50 %, а за сценарієм GFDL – тільки 24 %. У разі поступового підвищення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері (нестаціонарна модель GFDL) вже у 2000–2010 рр. зменшення поверхневих водних ресурсів досягне 24 %, на десятиріччя 2030-2040 рр. – 40 %, а до 2080 року – 68 %. Хоча за прогнозом до 2040р. руйнації поверхневих водних ресурсів степу не передбачається, їх стан буде наближатися до критичного з точки зору забезпеченості водою господарства та населення, оскільки життєдіяльність посушливих територій у значній мірі пов'язана із використанням стоку річок.

У Дністровсько-Донецькій (табл. 7.6) та Західно-Українській провінціях лісостепової зони вплив регіональних змін клімату зменшується у порівнянні із степовою зоною.

За умов одночасного подвоєння концентрації забруднювальних газів в атмосфері зменшення водних ресурсів досягне 28-30 % за сценаріями CCSM, GISS, UKMO та 22 % за сценарієм GFDL. Згідно із нестаціонарною моделлю GFDL у лісостеповій зоні зменшення поверхневих водних ресурсів перетне позначку 50 % тільки у десятиріччя (2070-2080рр.). Але вплив глобального потепління стане суттєвим вже у десятиріччя 2030-2040 і буде наближатися до 40 %.

Таблиця 7.6. Зміни водних ресурсів у лісостеповій зоні  
Дністровсько-Донецької провінції за сценаріями  
глобального потепління

Сценарій	$\bar{E}_m$ , мм	$\bar{X}$ , мм	$\bar{Y}_K$ , мм	Зміни водних ресурсів, %
0 (вихідний стан)	850	575	49	-
CCCM	1068	610	34	-30,6
GISS	1068	610	34	-30,6
GFDL	1119	650	38	-22,4
UKMO	1092	627	35	-28,6
Нестаціонарна модель GFDL (2000-2010)	916	615	52	6,12
Нестаціонарна модель GFDL (2030-2040)	1129	615	30	-38,8
Нестаціонарна модель GFDL (2070-2080)	1434	661	20	-59,2

Лісова зона (Полісся) найменшою мірою серед інших природних зон рівнинної частини України зазнає впливу змін клімату. При одночасному подвоєнні концентрації CO<sub>2</sub> та інших газів у атмосфері зміни водних ресурсів можуть становити 15 % (CCCM, GISS, ), а при використанні у розрахунках даних сценаріїв (GFDL, UKMO) – 24 % (табл.7.7). За нестаціонарною моделлю GFDL у лісовій зоні до 2010 року буде відбуватися зростання водних ресурсів, яке відзначається і в даних спостережень. Подальше зменшення водних ресурсів має відбуватись поступово, досягаючи значення 30 % у 2030-2040рр. та 40 % до 2080 року. У гірській зоні басейну р. Дністер на період 2000-2010рр. за нестаціонарною моделлю GFDL значущих змін поверхневих водних ресурсів не прогнозується, а на десятиріччя (2030-2040рр.) передбачається їх зменшення до 20-30 %. Зменшення середньої багаторічної величини річного стоку, яке прогнозується при використанні розглянутих сценаріїв ВМО, супроводжується зростанням мінливості та асиметрії розподілу річного стоку, що зумовлює значуще зменшення стоку маловодних років при невеликому зниженні середньої багаторічної величини. Так, за результатами розрахунків для Донської та Лівобережно-Дніпровської північно-степової провінцій [11], у межах яких знаходиться значна частина басейну р. Сіверський Донець (табл.7.8), на 2000-2010рр. Прогнозоване зниження середньої багаторічної величини річного стоку становило 7 %, але у роки дуже малої забезпеченості воно досягло 62 % у порівнянні із вихідним станом [21].

Таблиця 7.7. Зміни водних ресурсів у зоні мішаних лісів за сценаріями глобального потепління

Сценарій	$\bar{E}_{\max}$ , Мм	$\bar{X}$ , Мм	$\bar{Y}_K$ , мм	Зміни водних ресурсів, %
0 (вихідний стан)	750	725	140	-
CCCM	957	783	106	-24,3
GISS	957	783	106	-24,3
GFDL	1020	848	119	-15,0
UKMO	988	827	118	-15,7
Нестационарна модель GFDL (2000-2010)	775	798	174	24,3
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	998	790	99	-29,3
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	1264	863	76	-45,7

Таблиця 7.8. Статистичні параметри річного стоку Донської та Лівобережно-Дніпровської північно-степової провінції та стік дуже маловодних років за сценаріями глобального потепління

Сценарій	Норма річного стоку, мм	Коефіцієнт варіації, $C_V$	Коефіцієнт асиметрії $C_S$	Величина стоку 95% -ної забезпече- ності, мм
0 (вихідний стан)	41	0,64	1,29	8,0
CCCM	21	0,95	1,91	1,5
GISS	21	0,95	1,91	1,5
GFDL	32	0,74	1,49	3,0
UKMO	25	0,86	1,73	2,0
Нестационарна модель GFDL (2000-2010 )	38	0,68	1,35	3,0
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	25	0,87	1,74	2,0
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	17	1,10	2,21	0,8

### 7.3. ПРОГНОЗИ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ РЕСУРСИ З УРАХУВАННЯМ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

#### 7.3.1. Стохастичні моделі річного побутового стоку в умовах водогосподарської діяльності

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

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + L(\Lambda, Y) = \varepsilon, \quad (7.17)$$

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

Після інтегрування (7.17), одержимо

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y)dt + \int \varepsilon dt, \quad (7.18)$$

де  $Y(t_0)$  – початковий стан системи, тобто стан водних ресурсів до початку змін глобального клімату при відсутності водогосподарської діяльності (так званий природний стік).

Початковий стан розглядуваної системи  $Y(t_0)$  можна охарактеризувати нормою кліматичного або природного зонального стоку річок до початку значущих змін клімату, тобто до 80-х років минулого сторіччя.

Характеристика  $L(\Lambda, Y)$  має назву оператора перетворення, який відображає усі зміни, що відбуваються у межах системи (водозбору). За необхідності (при розрахунках стоку малих та середніх річок) вплив підстильної поверхні враховується за допомогою перехідних коефіцієнтів до норми кліматичного стоку, які є складовою частиною моделі “клімат-стік” [14]. Визначення виду оператора перетворень  $L(\Lambda, Y)$  при наявності водогосподарської діяльності на водозборі є основною задачею математичного моделювання [17].

Зміни чинників, які показують масштаби водогосподарських перетворень (площі осушених боліт, площі водної поверхні штучних водойм, площі зрошуваних масивів, кількість населення та ін.)

включаються у вектор  $\Lambda$ . Задача оцінки впливу господарської діяльності на стік зводиться до пошуку оператора перетворення  $L$  початкового стану гідрологічної системи.

У загальному випадку рівняння (7.18) має стохастичну природу. Природний стік  $Y(t_0)$ , зовнішні впливи (опади, випаровування) є випадковими процесами [2]. Більш того, й водогосподарські баланси водозборів включають випадкові складові (норми зрошування та осушування, дефіцит споживання води рослинами, норми споживання води населенням), оскільки їх величини залежать певною мірою від кліматичних факторів [34]. Так, вплив сукупності ставків і водосховищ, що знаходяться на водозборі як штучні об'єкти ландшафту, визначається не тільки сумарною площею їх водної поверхні, але й додатковим випаровуванням з цієї поверхні, яке, у свою чергу, залежить від кліматичних умов [42].

Вирішення проблеми оцінки характеристик стоку в умовах водогосподарських перетворень на водозборах досягається шляхом стохастичного моделювання, при якому виконуються імітаційні експерименти, що відображають різні ситуації, пов'язані як із змінами клімату, так і з водогосподарською діяльністю на водозборах річок.

В ОДЕКУ розроблена математична модель річного стоку в умовах водогосподарських перетворень на водозборах, яка поєднує в собі стохастичний та детерміністичний підходи до розрахунків річного стоку [16, 46]. В її основі лежить рівняння водогосподарського балансу водозбору, яке записується в ймовірнісній формі. Стохастичне моделювання відбувається в два етапи. На першому етапі за статистичними параметрами кліматичного стоку генеруються ряди природного стоку за модифікацією простого ланцюга Маркова, де на основі використання двовимірної щільності розподілу забезпеченостей відбувається перехід до гамма розподілених величин стоку із лінійною кореляцією між сумісними членами ряду [2]. На другому етапі розглядається взаємодія природного стоку із водогосподарськими чинниками на основі водогосподарського балансу. Стохастичне моделювання ряду побутового стоку виконувалося роздільно для кожного з досліджуваних чинників водогосподарських перетворень [16]:

а) при заборах води з місцевого стоку на зрошування сільськогосподарських угідь

$$Y_{ПОВ,P} = Y_{ПР,P} - \frac{M_{0,100-P}}{\eta} f_{3P} ; \quad (7.19)$$

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

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P}(1 - f_B) - (E_B - X)f_B; \quad (7.20)$$

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

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P} + \xi \frac{M_{0,100-P}}{\eta} (1 - \eta) f_{3P}; \quad (7.21)$$

г) при осушуванні боліт та заболочених земель

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P} + \mu \Delta H_{\text{ГР},P} f_{\text{ОС}} + (w_{\text{ПР}} - w_{\text{ОС}}) \Delta H_{\text{ГР},P} f_{\text{ОС}}; \quad (7.22)$$

д) при водоспоживанні води населенням

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P} - \frac{d_{P,100-P} N_{\text{НАС}}}{F} K_{\text{розм}}, \quad (7.23)$$

де  $Y_{\text{ПОБ},P}, Y_{\text{ПР},P}$  – побутовий та природний річний стік із заданою забезпеченістю  $P$ , виражений в мм;  $f_{3P}, f_B$  – сумарна площа зрошуваних масивів та водної поверхні штучних водойм, виражені в частках від загальної площі водозбору  $F$ ;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи;  $\xi$  – 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  $100 - P$ ;  $\mu$  – коефіцієнт водовіддачі ґрунтів, який оцінюється як різниця між повною й найменшою вологомісткістю, поділеною на товщину даного шару;  $\Delta H_{\text{ГР}}$  – зміна середнього рівня ґрунтових вод в результаті осушування;  $f_{\text{ОС}}$  – показник меліорованості території;  $w_{\text{ПР}}$  – об'ємна вологість торф'яного покладу до осушування;  $w_{\text{ОС}}$  – об'ємна вологість торф'яного покладу після осушування;  $d_{P,100-P}$  – норма водоспоживання, л/(люд/добу);  $N_{\text{НАС}}$  – кількість населення, люд.;  $F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>;  $K_{\text{розм}}$  – коефіцієнт розмірності ( $K_{\text{розм}} = 3,16$ ).

На кожному кроці імітаційного стохастичного моделювання для розглядуваного виду водогосподарської діяльності масштаби водогосподарських перетворень (площа зрошування, площа осушування,

площа водної поверхні, кількість населення) задавалися постійними, що дозволяло зберегти стаціонарність одержаних рядів. Виходом моделі є статистичні параметри річного побутового стоку при заданих кліматичних умовах та масштабах водогосподарської діяльності. Результати стохастичного моделювання узагальнювалися у вигляді графічних рішень або аналітичних функцій, які являють собою “функції відгуку” характеристик річного стоку на водогосподарські перетворення. Оскільки в межах однієї і тієї ж річки кількісний склад водогосподарських чинників може змінюватися, з метою врахування їх сумісного впливу запропоновано використовувати “коефіцієнти антропогенного впливу” [18]

$$k = \frac{A_f}{A_0}, \quad (7.24)$$

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.

Установлено, що вплив водогосподарських 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 [17]. Непрямим показником загального зволоження території може служити норма кліматичного річного стоку.

Сумісну дію  $m$  водогосподарських чинників можна врахувати за таким рівнянням

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m - 1)]. \quad (7.25)$$

За наявності трьох чинників водогосподарської діяльності сумісний облік їхнього впливу виконувався за рівнянням

$$A_f = A_0(k_1 + k_2 + k_3 - 2), \quad (7.26)$$

яке при двох чинниках має такий вигляд

$$A_f = A_0(k_1 + k_2 - 1), \quad (7.27)$$

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



Для практичного застосування були виконані узагальнення результатів імітаційних випробувань на основі моделі множинної регресії з покерованим вибором оптимальних предикторів.

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

$$k_{\bar{Y}} = 1,00 - a_{\bar{Y}} \lg(f_{3P} + 1) - b_{\bar{Y}} v_0 + m_{\bar{Y}} \eta; \quad (7.28)$$

$$k_{C_v} = 1,00 + a_{C_v} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_v} v_0 - m_{C_v} \eta; \quad (7.29)$$

$$k_{C_s} = 1,00 + a_{C_s} \lg(f_{3P} + 1) + b_{C_s} v_0 - m_{C_s} \eta, \quad (7.30)$$

де  $k_{\bar{Y}}, k_{C_v}, k_{C_s}$  – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок місцевих водних ресурсів на середню багаторічну величину стоку  $\bar{Y}_K$  та на коефіцієнти варіації  $C_v$  й асиметрії  $C_s$ , відповідно;  $a_A, b_A, m_A$  – коефіцієнти рівнянь множинної регресії;  $v_0$  – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідної сільськогосподарської культури є оптимальним.

Величина  $v_0$  визначається як відношення оптимального запасу вологи  $w_0$  у розрахунковому шарі ґрунту до найменшої вологомісткості  $w_{нв}$

$$v_0 = \frac{w_0}{w_{нв}}. \quad (7.31)$$

Для садових та зернових культур рівень оптимального зволоження ґрунту  $v_0$  береться рівним 0,8; для овочевих та трав'яних – 0,9; для рослин, які потребують значного зволоження, наприклад, рису  $v_0 = 1,0-1,2$  [35].

Значення коефіцієнтів рівнянь змінюються по географічних зонах. Наведені рівняння показують існуючі в природі тенденції до зменшення величини середнього багаторічного стоку і зростання його мінливості та асиметрії при збільшенні площ зрошування  $f_{3P}$  та оптимального зволоження ґрунту  $v_0$ . Із зростанням коефіцієнта корисної дії зрошувальних систем  $\eta$  вплив вилучення води з річок для зрошування за рахунок місцевих водних ресурсів зменшується.

Коефіцієнти  $a_{\bar{Y}}, b_{\bar{Y}}, m_{\bar{Y}}$  розраховуються за формулами:

$$a_{\bar{Y}} = 24,4 \exp(-0.0211\bar{Y}_K); \quad (7.32)$$

$$b_{\bar{Y}} = 1,26 \exp(-0.0224\bar{Y}_K); \quad (7.33)$$

$$m_{\bar{Y}} = 0,986 \exp(-0.0209\bar{Y}_K). \quad (7.34)$$

Коефіцієнти антропогенного впливу при зрошуванні сільськогосподарських масивів за рахунок стоку річок-донорів можна розрахувати за такими регресійними рівняннями [40]:

$$k_{\bar{Y}}'' = 1,00 + n_{\bar{Y}} f_{3p} + l_{\bar{Y}} v_0 \xi + m_{\bar{Y}} \eta; \quad (7.35)$$

$$k_{C_v}'' = 1,00 - n_{C_v} f_{3p} - l_{C_v} v_0 \xi + m_{C_v} \eta; \quad (7.36)$$

$$k_{C_s}'' = 1,00 + n_{C_s} f_{3p} + l_{C_s} v_0 \xi - m_{C_s} \eta, \quad (7.37)$$

де  $k_A''$  – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок річки-донора на досліджуваний статистичний параметр  $A$ ;  $n_A, l_A, m_A$  – коефіцієнти рівнянь множинної регресії.

При наявності скиду зворотних вод із сільськогосподарських масивів, які зрошуються за рахунок річок – донорів, відбувається зростання середньої багаторічної величини річного стоку та зменшення його мінливості при збільшенні масштабів зрошування. Наближення коефіцієнта корисної дії  $\eta$  зрошувальної системи до одиниці зумовлює зменшення об'ємів зворотних вод, а, отже, зменшення їх впливу на формування стоку річок. Використання сільськогосподарських культур, які потребують значного зволоження ґрунту, наприклад, вирощування рису в Одеській області ( $v_0 = 1$ ), сприяє збільшенню кількості води, що потрапляє у русло зрошеного водозбору. На малих річках Причорноморської низовини, що входять до мережі великих зрошувальних систем, стік малих річок-колекторів може збільшуватися у порівнянні з природним стоком у декілька разів. Але ці води забруднені залишками добрив та інших шкідливих речовин.

Загальний вигляд аналітичних рівнянь для оцінки коефіцієнтів антропогенного впливу при наявності на водозборах штучних водойм, які є штучними об'єктами ландшафту, описується таким чином [8, 15, 16]:

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (7.38)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}; \quad (7.39)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (7.40)$$

де  $k'_{\bar{Y}}, k'_{C_V}, k'_{C_S}$  – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри;  $\alpha_A$  – коефіцієнти, які залежать від співвідношення ресурсів вологи та тепла  $\beta_H$  або від норми кліматичного стоку  $\bar{Y}_K$  як інтегрального показника зволоженості водозбору (рис. 7.1 і рис. 7.2).

Для Гірського Криму, де вплив кліматичних умов змінюється з висотою, величина  $\alpha_{\bar{Y}}$  визначається за  $\beta_H$  [15]

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,622(1 - \beta_H), \quad (7.41)$$

а для рівнинних територій:

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767\bar{Y}_K^{(-0.49)}; \quad (7.42)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247e^{(-0.274\bar{Y}_K)}; \quad (7.43)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179e^{(-0.246\bar{Y}_K)}. \quad (7.44)$$

Для передбачення стану водних ресурсів при заборі води з метою забезпечення населення водою визначені такі аналітичні функції антропогенного впливу [23]

$$k_{H, \bar{Y}} = 1 - 0,000417N_{HAC} - 0,0019d + 0,210\lg(F + 1), \quad (7.45)$$

де  $k_{H, \bar{Y}}$  – коефіцієнт антропогенного впливу на середню багаторічну величину річного стоку;  $N_{HAC}$  – кількість населення, тис.

Залежність (7.45) можна використовувати для площ рівнинних водозборів, що знаходяться у діапазоні:  $100 \text{ км}^2 \leq F \leq 50000 \text{ км}^2$ .

Для оцінки впливу осушування на середню багаторічну величину річного стоку визначені функції антропогенного впливу (рис. 7.3), які відображають зміни рівня підземних вод та вологості ґрунту при осушуванні [16].

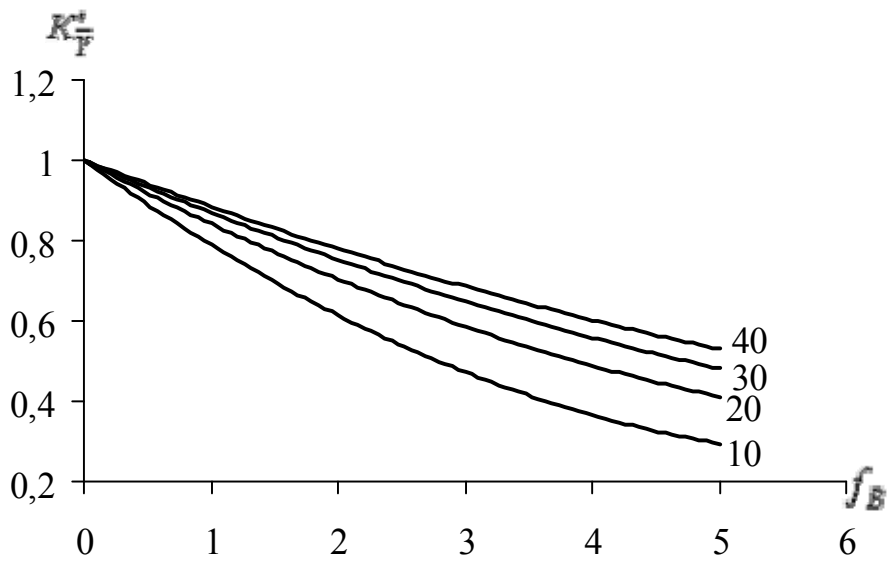


Рис. 7.1. Функція антропогенного впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм ( $f_B$  – відносна площа водної поверхні, %) на середню багаторічну величину річного стоку (біля кривих показані величини норм річного кліматичного стоку)

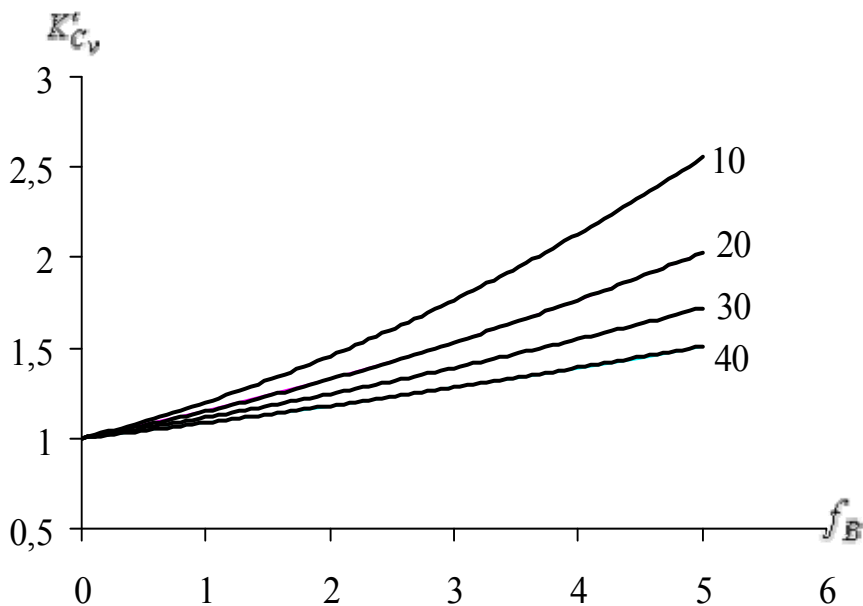


Рис. 7.2. Функція антропогенного впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм ( $f_B$  – відносна площа водної поверхні, %) на коефіцієнт варіації річного стоку (біля кривих показані величини норм річного кліматичного стоку)

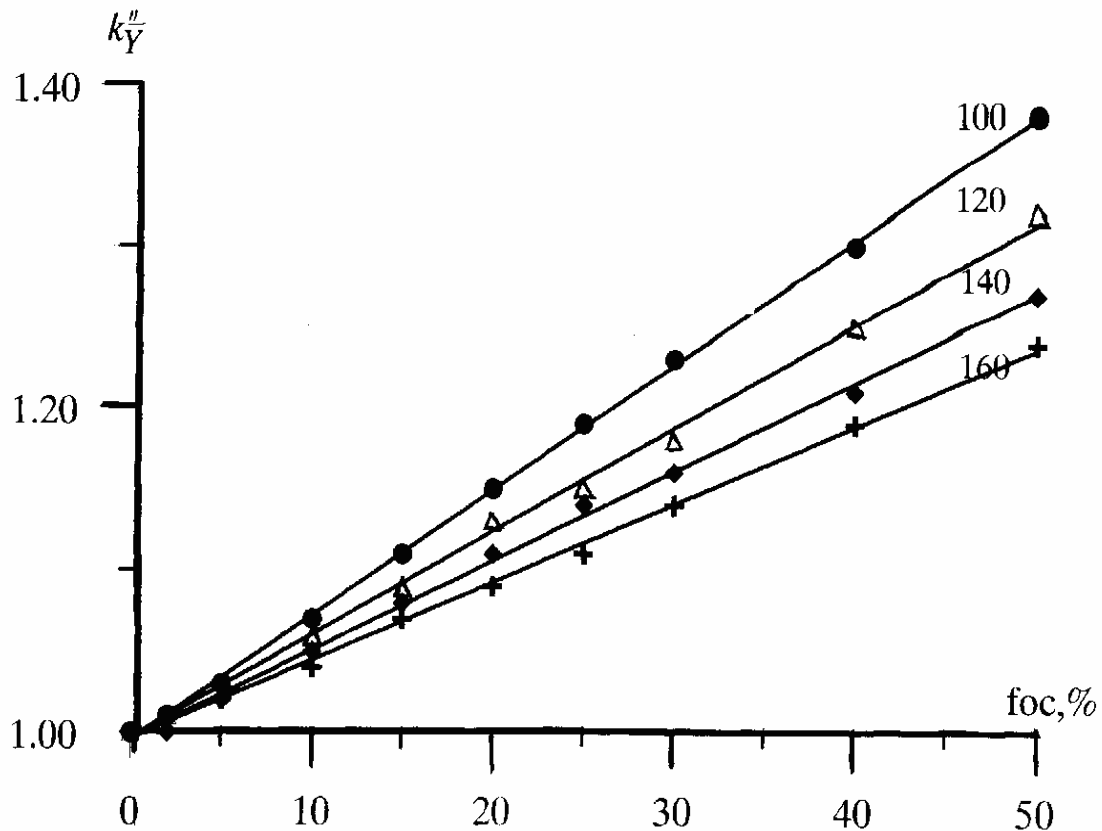


Рис. 7.3. Залежності для визначення поплавкових коефіцієнтів до норми природного річного стоку, які враховують зниження рівня підземних вод від відносної площі меліорованості водозборів (Житомирське Полісся) (біля ліній – норми кліматичного стоку, мм)

Аналітичні (7.28)–(7.30), (7.32)–(7.35), (7.38)–(7.40), (7.45) та графічні (рис. 7.1 – 7.3) залежності являють собою функції антропогенного впливу або функції відгуку водозборів на антропогенне навантаження. На їх основі можна оцінювати диференційований та інтегральний (сумарний) вплив водогосподарських чинників на статистичні параметри річного стоку в залежності від заданої норми кліматичного стоку, виду водогосподарських заходів та відповідного набору антропогенних чинників ( $f_B, f_{3P}, \eta, v_0$ ). На основі одержаних функцій відгуку водозборів на водогосподарські перетворення можливе наукове обґрунтування стратегії використання водних ресурсів: по заданих коефіцієнтах антропогенного впливу встановлюються порогові або критичні значення масштабів водогосподарських перетворень.

### 7.3.2. Прогнози змін поверхневих водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління з урахуванням впливу водогосподарської діяльності

На базі моделі “клімат-стік” була виконана оцінка змін водних ресурсів та наслідків впливу водогосподарської діяльності (осушування, зрошування, створення штучних водойм та інше) в різних природних зонах України.

Урахування у стохастичних моделях змін кліматичних факторів формування стоку відбувається через кліматичний стік: величина річного стоку  $\bar{Y}_K$  обчислюється на основі водно-теплого балансу з використанням метеорологічних даних сценаріїв змін глобального клімату.

Вплив такого чинника водогосподарської діяльності як штучні водойми залежить, по-перше, від площі їх водної поверхні, а, по-друге від кліматичних умов. У степовій зоні, де величини випаровування з поверхні суші обмежені запасами вологи у ґрунті, водна поверхня створених людиною ставків та водоймищ виконує роль штучного випарника [42]. Значна різниця між випаровуванням з водної поверхні та поверхні суші зумовлює втрати на додаткове випаровування. На річках України ця сумарна площа займає у середньому менше 1,5 % від загальної площі водозборів, що спричиняє зменшення середніх багаторічних величин стоку у степовій та лісостеповій зонах на 10-15 % та незначне (у межах точності розрахунків) збільшення мінливості рядів й асиметричності розподілу (табл. 7.9). У кінцевому результаті цей вид водогосподарської діяльності при  $f_B < 1,5$  %, спричинює зменшення стоку, головним чином, у маловодні роки. Так, при розгляді річного стоку лівобережних приток р. Дністер, які знаходяться у межах лісостепової зони, встановлено, що при  $f_B = 1,5$  % додаткове випаровування з поверхні штучних водойм не чинить суттєвого впливу на річний стік у роки різної забезпеченості. Проте при переході до степової зони (р. Ягорлик,  $\bar{Y}_K = 29$  мм) річний стік зменшується у роки із забезпеченістю  $P = 75$  % та  $P = 95$  % на 13 % та 22 % відповідно у порівнянні із природним річним стоком маловодних років [29].

Зростання температур повітря, яке передбачається сценаріями глобального потепління, зумовлює збільшення максимально можливого випаровування, а, отже, й зростання різниці між випаровуванням з водної поверхні та поверхні суші. Втрати поверхневих водних ресурсів на додаткове випаровування збільшуються.

Таблиця 7.9. Визначення впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного стоку в басейні р. Сіверський Донець

Річка – пост	$F_2$ км <sup>2</sup>	$F_B$ , тис га	$f_B$ , %	$\bar{Y}_K$ , мм	$k'_Y$	$k'_{Cv}$	$k'_{CS}$
Сів. Донець – м. Чугуїв	10300	10,3	1,00	88	0,92	1,02	1,02
Сів. Донець – м. Зміїв	15600	14,3	0,92	87	0,92	1,02	1,02
Вовча – м. Вовчанськ	1330	0,22	0,16	85	0,99	1,00	1,00
Уди – с. Безлюдівка	3300	2,69	0,82	82	0,93	1,02	1,02
Харків – с. Циркуни	890	1,47	1,65	80	0,86	1,05	1,04
Оскіл – м. Куп'янськ	12700	13,2	1,04	80	0,91	1,03	1,02
Казенний Торець – с. Райське	936	0,88	0,94	50	0,90	1,06	1,05
Каз. Торець – м. Слов'янськ	5350	6,48	1,21	44	0,86	1,09	1,07
Кр.Торець – м. Олексіїво-Дружківка	1530	2,00	1,31	50	0,86	1,09	1,06
Сухий Торець – с. Черкаське	1340	1,49	1,11	44	0,88	1,09	1,06
Бахмутка – с. Яма (Северськ)	1560	0,60	0,38	50	0,96	1,02	1,02
Жеребець – с. Горське	857	1,28	1,49	40	0,83	1,01	1,10
Красна – с. Краснопопівка	2540	1,33	0,52	45	0,94	1,04	1,03

Цей процес є найбільш впливовим у межах степової зони України, де місцеві водні ресурси малих та середніх річок вкрай обмежені (табл. 7.10) й характеризуються нормою кліматичного стоку менше 30 мм.

Таблиця 7.10. Зміни водних ресурсів у зоні степу за сценаріями глобального потепління

Сценарій	$\bar{Y}_K$ при $f_B = 0$ , мм	$k'_Y$	$\bar{Y}_{ПОВ}$ при $f_B = 1\%$ , мм	Зміни водних ресурсів за рахунок втрат на додаткове випаровування, %	Зміни водних ресурсів у порівнянні з вихідним (0) станом, %
0 (вихідний стан)	22	0.84	19	-15	-15
CCSM	11	0.79	9	-21	-61
GISS	11	0.79	9	-21	-61
GFDL	17	0.83	14	-17	-36
UKMO	12	0.80	10	-20	-57
Нестационарна модель GFDL (2000-2010)	17	0.83	14	-17	-36
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	13	0.80	10	-20	-52
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	7	0.74	5	-26	-76

За сценаріями глобального потепління при  $f_B=1$  % руйнування поверхневих водних ресурсів (їх зменшення більш ніж на 50 %) при одночасному подвоєнні концентрації вуглекислого газу буде спостерігатися за сценаріями CCSM, UKMO, GISS. Згідно із нестационарним сценарієм глобального потепління (GFDL), руйнування водних ресурсів у степовій зоні при  $f_B=1$  % буде спостерігатися у 2030–2040 рр. Найменше підлягають впливу штучних водойм лісова та гірська зони.

При розрахунках водних ресурсів в басейні р. Дністер (табл. 7.11), яка включає до себе гірську природну зону, зону мішаних лісів, лісостепову та степову зони, зменшення річного стоку за рахунок втрат на додаткове випаровування з поверхні штучних водойм в умовах глобального потепління буде відбуватися дуже поступово, оскільки степова зона цього водозбору займає менше третини території [30]. Руйнування водних ресурсів водозбору р. Дністер на 2030-2040 рр. не передбачається, хоча можливе зменшення на 30 %.



Таблиця 7.11. Зміни водних ресурсів р. Дністер за сценаріями глобального потепління при наявності штучних водойм

Сценарій	$\bar{Y}_K$ при $f_B = 0$ , мм	$k'_Y$	$\bar{Y}_{ПОВ}$ при $f_B = 0,5\%$ , мм	Зміни водних ресурсів за рахунок втрат на додаткове випаровування, %	Зміни водних ресурсів у порівнянні з вихідним (0) станом, %
0 (вихідний стан)	147	0.97	142	-3	3
CCSM	108	0.96	104	-4	-29
GISS	108	0.96	104	-4	-29
GFDL	115	0.96	111	-4	-25
UKMO	110	0.96	106	-4	-28
Нестационарна модель GFDL (2000-2010)	148	0.97	143	-3	-2.6
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	98	0.96	94	-4	-36
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	68	0.95	65	-5	-56

Потреба сільськогосподарських рослин у зрошуванні для степової зони України настільки велика, що при використанні місцевих водних ресурсів для зрошування навіть при  $f_B=0,5\%$  зменшення водних ресурсів у вихідних умовах (на початку 80-х років минулого сторіччя) становило 17%. При розвитку подій за сценаріями глобального потепління наслідки використання води для зрошування посилюються (табл.7.12). За період 2000-2010 рр. (нестационарний сценарій GFDL) зменшення водних ресурсів степової зони України досягне 38%, а на десятиріччя 2030-2040 рр. – 36%.

При поєднанні дії втрат на додаткове випаровування з поверхні штучних водойм та вилучення води на зрошування водні ресурси степової зони України зазнають невідомого руйнування (зменшення середньої багаторічної величини на 70%) їх водних ресурсів вже в 2030–2040 рр. (табл. 7.13).

Таблиця 7.12. Зміни водних ресурсів у степовій зоні за сценаріями глобального потепління при зрошуванні сільськогосподарських угідь за рахунок місцевих водних ресурсів ( $v_0 = 0.9; \eta = 0.9$ )

Сценарій	$\bar{Y}_K$ при $f_{3P} = 0$ , мм	$\bar{Y}_{ПОВ}$ при $f_{3P} = 0,5\%$ , мм	Зміни водних ресурсів у порівнянні з вихідним (0) станом, %
0 (вихідний стан)	22	18	-17
CCCM	11	9	-61
GISS	11	9	-61
GFDL	17	14	-38
UKMO	12	10	-57
Нестаціонарна модель GFDL (2000-2010)	17	14	-36
Нестаціонарна модель GFDL (2030-2040)	13	10	-55
Нестаціонарна модель GFDL (2070-2080)	7	5	-77

Вплив втрат на додаткове випаровування у поєднанні із заборами води на зрошування в умовах глобального потепління настільки великий, що за результатами оцінки гідрологічного стану малих та середніх річок Одещини на 2010 рік було виявлено, що із 1190 водойм на цих річках, пересохло 344 та на 182 водоймах рівень води знаходиться нижче позначки горизонту мертвого об'єму. Матеріали обстеження річок степової зони свідчать, що зменшується водність і глибина малих річок, вони замулюються і заростають. На середніх та великих річках України гідрологічний стан задовільний, але подальше зростання температур повітря може спричинити погіршення кількості та якості вод в найближчому майбутньому.

Ситуація може поліпшитися, коли забори води на зрошування відбуваються не за рахунок місцевих водних ресурсів, а за рахунок річок-донорів. При цьому зберігаються водні ресурси малих та середніх річок й забезпечується додаткове надходження зворотних вод. Наявність великих зрошувальних систем таких, як Дунай-Дністровська, Північно-Кримська, які використовують для зрошування води річок-донорів, можуть забезпечити зростання річного стоку у річках-колекторах у півтора або два

рази [8] й здатні зменшити наслідки впливу глобального потепління на стан водних ресурсів степової зони України.

Таблиця 7.13. Сумарний коефіцієнт впливу зрошування за рахунок місцевих водних ресурсів ( $\nu_0 = 0.9; \eta = 0.9$ ) та втрат на додаткове випаровування з поверхні штучних водойм у степовій зоні за сценаріями глобального потепління

Сценарій	$\bar{Y}_K$ при $f_{3P} = 0$ , мм	$k'_{\bar{Y}}$ при $f_B = 0,5\%$ , мм	$k_{\bar{Y}}$ при $f_{3P} = 0,5\%$ , мм	$k_{\bar{Y}, \text{СУМ}}$	Зміни водних ресурсів у порівнянні з вихід- ним (0) станом, %
0 (вихідний стан)	22	0,78	0,83	0,61	-39
CCCM	11	0,70	0,78	0,48	-76
GISS	11	0,70	0,78	0,48	-76
GFDL	17	0,75	0,81	0,56	-57
UKMO	12	0,71	0,78	0,48	-74
Нестационарна модель GFDL (2000-2010)	17	0,75	0,81	0,56	-57
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	13	0,72	0,79	0,51	-70
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	7	0,64	0,75	0,39	-88

Додаткове надходження води до русел річок забезпечують також заходи з осушування заболочених земель. Відносна площа осушуваних земель становить 15 % у межах лісової природної зони, яка входить до водозбору р. Дніпро (табл. 7.14). Відведення вод з осушувальних систем шляхом зниження рівнів підземних вод сприяє зростанню середньої багаторічної величини стоку до 7 %. Посилення посушливості клімату може привести до того, що після 2030 р. необхідність меліорації боліт та заболочених територій відпаде.

За сценаріями змін глобального клімату на десятиріччя 2030-2040 рр. прогнозується зростання посушливості у лісовій зоні України.

Оцінки впливу вилучення води з річок для забезпечення населення водою проводились окремо для великих (площа водозбору перевищує 50000 км<sup>2</sup>) та малих водозборів (площа водозбору менше 2000 км<sup>2</sup>). Одержані результати дозволили зробити висновки, що великі річки будуть спроможні надати необхідний об'єм води в умовах глобального потепління [23]. Водні ресурси малих та середніх річок ( $F \leq 3000$  км<sup>2</sup>) Північного Степу в умовах глобального потепління при забезпеченні водою населення більше за 100 тис. будуть безповоротно зруйновані вже у десятиріччя 2030–2040 (табл. 7.15). Водні ресурси Південного Степу досягають стану руйнації при значно менших показниках водовикористання.

Таблиця 7.14. Зміни водних ресурсів у зоні мішаних лісів (р. Дніпро) за сценаріями глобального потепління при наявності на водозборі осушуваних земель ( $f_{OC}=15\%$ )

Сценарій	$\bar{E}_{\max}$ , Мм	$\bar{X}$ , мм	$\beta_H = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}$	$\bar{Y}_{ПР}$ , мм	$K_Y^H$	$\bar{Y}_{ПОБ}$ , мм	Зміни водних ресурсів,%
0 (вихідний стан)	750	725	0,97	140	1,07	150	7,14
CCSM	957	783	0,82	106	1,10	117	10,4
GISS	957	783	0,82	106	1,10	117	10,4
GFDL	1020	848	0,83	119	1,09	129	9,00
UKMO	988	827	0,84	118	1,09	129	9,00
Нестационарна модель GFDL (2000-2010)	775	798	1,03	174	1,06	184	6,00
Нестационарна модель GFDL (2030-2040)	998	790	0,79	99	-	-	-
Нестационарна модель GFDL (2070-2080)	1264	863	0,68	76	-	-	-

Таблиця 7.15. Вплив забезпечення водою населення на стан водних ресурсів України в умовах глобального потепління клімату (Північний Степ)

Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{v}}$						
Сценарії глобального потепління	Площа водозбору км <sup>2</sup>	кількість населення, тис.				
		5 тис.	50 тис.	100 тис.	500 тис.	1млн.
CCCM	1000	0,94	0,33	0,10	0,1	0,1
	2000	0,96	0,67	0,33	0,1	0,1
	3000	0,98	0,78	0,56	0,1	0,1
GISS	1000	0,94	0,33	0,10	0,1	0,1
	2000	0,96	0,67	0,33	0,1	0,1
	3000	0,98	0,78	0,56	0,1	0,1
GFDL	1000	0,96	0,57	0,14	0,1	0,1
	2000	0,98	0,79	0,57	0,1	0,1
	3000	0,99	0,86	0,71	0,1	0,1
UKMO	1000	0,94	0,39	0,10	0,1	0,1
	2000	0,97	0,70	0,39	0,1	0,1
	3000	0,98	0,80	0,60	0,1	0,1
Нестаціонарна модель GFDL (2000-2010 )	1000	0,96	0,57	0,14	0,1	0,1
	2000	0,98	0,79	0,57	0,1	0,1
	3000	0,99	0,86	0,71	0,1	0,1
Нестаціонарна модель GFDL (2030-2040)	1000	0,95	0,44	0,10	0,1	0,1
	2000	0,97	0,72	0,44	0,1	0,1
	3000	0,98	0,82	0,63	0,1	0,1
Нестаціонарна модель GFDL (2070-2080)	1000	0,90	0,10	0,10	0,1	0,1
	2000	0,95	0,48	0,10	0,1	0,1
	3000	0,97	0,65	0,31	0,1	0,1

#### 7.4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ З МЕТОЮ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАСЛІДКІВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Реформування господарського комплексу в умовах глобального потепління має гарантувати екологічну безпеку населення на основі оцінки наявного та максимально допустимого технологічного навантаження на водозбори річок. Величини цього навантаження в умовах глобального потепління та водогосподарської діяльності визначаються на основі розроблених функцій антропогенного впливу.

За прогнозами на основі “клімат–стік” з використанням даних сценаріїв глобального потепління, адаптованих до території України [37], встановлено, що на десятиріччя 2030-2040 найбільшому антропогенному навантаженню піддаватимуться степова та лісостепова зони, причому верхня межа степової зони буде поширюватись. За результатами розрахунку норм кліматичного стоку при різних кліматичних сценаріях та імітаційного стохастичного моделювання можливо встановити критичні значення масштабів водогосподарської діяльності при відповідних кліматичних умовах. Так, до початку 80-х років минулого сторіччя, коли у степовій зоні України норма річного кліматичного стоку становила близько 20 мм, значущі зміни водних ресурсів спостерігалися при  $f_B=0,6$  % (табл. 7.16), їх руйнування було можливим при  $f_B=3,5$  %, а невідновне руйнування – при  $f_B=7$  %. За прогнозом на базі даних нестационарної моделі GFDL (табл. 7.5) на 2030–2040 рр. норма кліматичного річного стоку у степовій зоні становитиме 13 мм. Це означає зменшення оптимальної відносної площі, яку займає водна поверхня штучних водойм, до 0,4 %. Згідно із цим сценарієм руйнування водних ресурсів річок степової зони може початися при значно меншій площі водної поверхні штучних водойм, а саме при  $f_B=2,5$  %.

Відповідним чином визначаються критичні масштаби площ зрошування при використанні місцевих водних ресурсів або стоку річок-донорів (табл. 7.17 і 7.18). При наявності на водозборі різних чинників водогосподарської діяльності допустимі масштаби водогосподарських перетворень визначаються на основі розрахунків коефіцієнтів сумарного антропогенного впливу (7.25) за розробленою методикою.

***Рекомендовані заходи щодо запобігання наслідків глобального запобігання.***

Необхідна інспекція існуючих штучних водойм та виведення із дії тих ставків і водосховищ, які здійснюють тільки сезонне регулювання стоку, мають малі глибини при значній площі водної поверхні. Такі штучні водойми в умовах глобального потепління виступають у ролі великих випарників, що сприяє значному зменшенню водних ресурсів.

При зрошуванні сільськогосподарських угідь за рахунок місцевих водних ресурсів рекомендовано використовувати воду штучних водойм, які здійснюють не сезонне, а багаторічне регулювання стоку, наповнюючись переважно у багатоводні роки.

Зменшення втрат поверхневих водних ресурсів досягається також завдяки використанню переважно зернових та інших засухостійких культур, які потребують меншої кількості води для свого оптимального розвитку.

Збільшення коефіцієнта корисної дії зрошувальних систем в результаті їх модернізації має забезпечити зменшення втрат водних

ресурсів в процесі транспортування води з русел річок до сільськогосподарських масивів.

Таблиця 7.16. Критичні значення площ штучних водойм

Характеристика змінювання водних ресурсів	Коефіцієнт антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}^L$	Норма природного стоку $\bar{Y}$ , мм	Відносна площа водної поверхні $f_B$ , %
Значущі зміни водних ресурсів	0,9	5	0,3
		10	0,4
		20	0,6
		30	0,7
		40	0,8
		50	0,9
		60	1,0
		70	1,0
		80	1,1
		90	1,2
		100	1,2
Руйнування	0,5	5	2,0
		10	2,5
		20	3,5
		30	4,0
		40	5,0
		50	6,0
		60	6,6
		70	7,4
		80	7,7
		90	8,0
		100	8,6
Невідновне руйнування	0,3	5	3,5
		10	5,0
		20	7,0
		30	8,0
		40	10,0
		50	10,5
		60	11,6
		70	12,4
		80	13,5
		90	14,0
		100	15,0

Таблиця 7.17. Критичні значення площ зрошуваних земель при зрошуванні за рахунок місцевих водних ресурсів у степовій зоні ( $v_0 = 0.9$ ;  $\eta = 0.75$ )

Характеристика змінювання водних ресурсів	Коефіцієнт впливу зрошення $k_{\bar{Y}}$	Норма кліматичного стоку $\bar{Y}$ , мм	Відносна площа зрошуваних земель $f_{зр}$ , %
Значущі зміни водних ресурсів	0,9	10	0,2
		20	0,3
		30	0,5
Руйнування	0,5	10	1,5
		20	2,5
		30	3,5
Невідновне руйнування	0,3	10	2,5
		20	4,0
		30	6,5

Таблиця 7.18. Критичні значення площ зрошування за рахунок річки-донора (для рівня оптимального зволоження та коефіцієнта корисної дії зрошувальних систем  $\eta = 0,9$ )

Характеристика змінювання водних ресурсів	Коефіцієнт впливу зворотних вод $K_{\bar{Y}}^n$	Норма природного стоку $\bar{Y}$ , мм	Відносна площа масивів, що зрошуються $f_{зр}$ , %
Значущі зміни водних ресурсів	1,1	10	7
		20	10
		30	13
Руйнування	1,5	10	15
		20	30
		30	45
Невідновне руйнування	1,7	10	19
		20	40
		30	63

При зрошуванні сільськогосподарських угідь водами річок-донорів при низьких коефіцієнтах корисної дії зрошувальних систем зростає об'єм зворотних вод і відбувається часткова компенсація водних ресурсів тих водозборів, які увійшли до складу зрошувальної мережі. Проте



надходження забруднених вод через річки-колектори до водоприймачів значно погіршує екологічний стан останніх.

Забезпечення населення водою необхідно здійснювати з резервуарів підземних вод та за рахунок стоку великих річок, сумарна водність яких значно менше зазнає впливу змін клімату, ніж водність малих та середніх річок степової та лісостепової зон України.

Відновленню та модернізації необхідно піддати вже існуючі зрошувально-осушувальні системи та розглянути можливість побудови нових, оскільки саме ці системи будуть здійснювати перекид стоку великих річок до посушливих зон України, межа розташування яких буде зміщуватись у північному напрямі.

## **Висновки**

За даними гідрометеорологічних спостережень встановлено, що в результаті змін глобального клімату в останнє десятиріччя (2000–2010 рр.) відбувається деяке збільшення водності великих річок України. “Сплески” водності відмічені навіть на тих річках, що знаходилися у маловодній фазі коливань стоку. Зменшення водності річок встановлене у степовій та Дністровсько-Дніпровській провінції лісостепової зони.

Зміни клімату, особливо збільшення температур холодного періоду, спричиняють перерозподіл стоку у межах року: максимальний стік річок зменшується, а мінімальний збільшується. Такі тенденції найбільше виражені у північно-східній частині України. Не відмічається суттєвого зростання температур повітря холодного періоду у зоні Південного степу. Зростання температур повітря у холодний період року зумовило збільшення кількості та тривалості відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунту, зростання фільтрації талих вод при весняному сніготаненні у підземні водоносні горизонти й відповідно збільшення втрат при формуванні весняного водопілля, а також зменшення запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля.

У західній частині України у період з 1981 по 2002 рр. посилюється вплив Північно-Атлантичного коливання на термічний режим повітря. Дія ПАК зменшується в міру переходу від західних до східних областей. Північна частина України знаходиться під впливом Скандинавського коливання.

Прогнозування стану водних ресурсів України на основі моделі “клімат-стік”, розробленої в ОДЕКУ, з використанням даних сценаріїв глобального потепління (CCSM, GISS, GFDL, UKMO), адаптованих до території України, дозволило зробити такі висновки.

Найбільш негативні наслідки впливу глобального потепління очікуються в степовій зоні України. Вже на десятиріччя 2000–2010 рр. зменшення водних ресурсів цієї зони має становити 23–24 %, а на

десятиріччя 2030–2040 рр. зниження водних ресурсів досягне 40 % (нестационарна модель GFDL). Згідно із сценаріями одночасного подвоєння вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в атмосфері, найбільш обтяжливим буде розвиток подій за сценарієм CCCM: зменшення водних ресурсів досягне 50 %, що відповідає стану руйнації водогосподарської системи. Таким чином, басейни річок Південний Буг та Сіверський Донець, значну частину площі яких займає степова зона, а також річки Приазов'я, межиріч Дунай-Дністер, Дністер-Південний Буг знаходяться під найбільшою загрозою.

Для річок, головна частина стоку яких формується у гірській зоні або зоні мішаних лісів, наслідки змін глобального клімату будуть проявлятися більш поступово. Так, у гірській частині басейну р. Дністер зміни водних ресурсів на десятиріччя 2000–2010 рр. за прогнозами не будуть відбуватись, але вже на 2030–2040 рр. передбачувані зміни будуть становити мінус 24 % (нестационарна модель GFDL). Згідно із сценаріями одночасного подвоєння CO<sub>2</sub> в атмосфері, зменшення водних ресурсів гірської зони може досягти 19 %.

У зоні мішаних лісів (верхня частина р. Дніпро), Західно-Українській та Дністровсько-Донецькій провінціях лісостепової зони України на 2000–2010 рр. за нестационарною моделлю GFDL прогнозувалось зростання водних ресурсів від 3–6 % (Дністер) до 20 % (Дніпро), що відповідає реальному перебігу подій, оскільки на фоні маловодної фази багаторічних коливань стоку з 1995 року позначився “сплеск” водності на річках Західної (Правобережної) України, та перехід стоку до багатоводної фази на р. Дніпро. Проте за прогнозами вже на десятиріччя 2030–2040 рр. прогнозується зниження водних ресурсів цих зон на 40 %.

Гідрологічна зона недостатньої водності має розширитися до сучасних північних меж Дністровсько-Донецької провінції лісостепової зони України вже у 2030–2040 рр., тобто площа існування дефіциту води для забезпечення нею населення, промисловості та сільського господарства значно збільшиться.

При формуванні стратегії розвитку водного господарства головна увага має бути приділена збереженню потенціалу водних ресурсів таких великих річок України як Дніпро та Дністер. Зона формування стоку р. Дністер на відміну від р. Дніпро цілком знаходиться у межах України й підлягає екологічному контролю.

Перекид стоку великих річок має набути особливої значущості. Відтворення побудованих у минулому сторіччі каналів, водоводів та мереж зрошувально-осушувальних систем має стати запорукою для забезпечення водою господарства і населення.

Слід зазначити, що саме в зоні степу водність річок найбільше реагує на водогосподарські втручання, серед яких головне місце займає створення штучних водойм. Якщо втрати на додаткове випаровування з водної

поверхні штучних водойм наприкінці минулого сторіччя значно впливали на стік малих та середніх річок степової зони, то в умовах зміни клімату “внесок” такого антропогенного фактора у стан водних ресурсів великих річок буде збільшуватися. У північно-західному Причорномор’ї “критичною” площею водної поверхні штучних водойм вважалася площа 1,5 % від загальної площі водозбору. Але за рахунок змін клімату, особливо при зростанні температур повітря теплого сезону, ця межа буде зменшуватися й обмежувати можливості водогосподарського будівництва.

Для оптимізації роботи зрошувальних систем в умовах глобального потепління необхідно створювати системи з високим рівнем коефіцієнта корисної дії, що буде сприяти зменшенню втрат стоку при вилученні вод для зрошування за рахунок водних ресурсів малих та середніх річок й покращенню якості води малих річок, які є колекторами великих зрошувальних мереж, що використовують воду річок-донорів.

Необхідними заходами з національної безпеки України є створення сучасних водоочисних споруд, оскільки зменшення об’єму вод знижує природну самоочисну здатність водного середовища та сприяє погіршенню якості води.

## До розділу 6.

1. Алпатьев А.М. Влагодобороти в природі и их преобразовання – Л.: Гидрометеоздат, 1969 – 323 с.
2. Бихеле И.Г., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 223 с.
3. Божко Л.Ю. Клімат і продуктивність овочевих культур в Україні. – Одеса: Екологія, 2010. – 364 с.
4. Витченко А.Н. Агрокліматическая оценка условий формирования урожая сельськогосподарственных культур //Актуальные проблемы общественных и естественных наук. – Минск: Изд-во Выща школа, 1981. – С. 145–146.
5. Образцов А.С. Системный поход: применение в земледелии. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
6. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельськогосподарственных культур. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 175 с.
7. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 319 с.
8. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агрокліматических ресурсов формирования продуктивности с.-х. культур // Міжвідомчий наук. зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. – С. 195–205.
9. Польовий А.М. Моделивання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем – К.: КНТ, 2007. – 344 с.
10. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 200 с.
11. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 263 с.
12. Сепп Ю.В., Тооминг Х.Г. Ресурсы продуктивности картофеля. – Л.: Гидрометеоздат, 1991 – 261 с.
13. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 232 с.
14. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 373 с.

## До розділу 7

1. Барабаш М.Б., Ткач Л.О., Гребенюк Н.П. Корж Т.В., Татарчук О.І. Сучасний і майбутній клімат України // Зб. наук.праць “Географія в інформаційному суспільстві”. – Київ: ВГЛ Обрії, 2008 – Т.3. – С. 34–36.
2. Болгов М.В. Марковские процессы в гидрологии / М.В. Болгов,

- И.О. Сарманов, О.В. Сарманов; отв.ред. М.Г.Хубларян.- М.:Институт водных проблем РАН. – 2009. – 210 с.
3. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. – К.: Віпол, 2000. – 375 с.
  4. Вишневецький В.І., Косоветь О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: – Ніка-Центр,2003. – 324 с.
  5. Вишневецький В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип.250. – С. 190–202.
  6. Войцехович В.О., Лузан Л.І. Сучасні зміни максимального стоку річок Українського Полісся // Наукові праці УкрНДГМІ. – 1999. – Вип.247. – С. 125–135.
  7. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. – К.: Институт гидробиологии НАН Украины – 2000. – Т.36, №3. – С. 67–78.
  8. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – К.: КНТ. – 2005. – 188 с.
  9. Гопченко Є.Д., В.А. Овчарук, Шакірманова Ж.Р. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Прип'ять // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.:ВГЛ Обрії, 2010. – Т.3. – С. 50–59.
  - 10.Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка –центр, 2010. – 316 с.
  - 11.Коротун І. М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України. - Рівне, 2000. – 192 с.
  - 12.Ліпінський В.М., Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Активізація стихійних метеорологічних явищ в Україні в останнє двадцятиріччя // Зб.наук. праць "Географія в інформаційному суспільстві". – К.:ВГЛ Обрії, 2008. – Т.3 . – С. 13–17.
  - 13.Ліпінський В.М., Сніжко С.І.,Осадчий В.І., Бабіченко В.І., Мартазінова В.Ф. Глобальні зміни клімату та їх прояв на території України // Зб. наук.праць "Географія в інформаційному суспільстві". – К.: ВГЛ Обрії, 2008 – Т.3. – С. 141–147.
  - 14.Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Нормування характеристик природного річного стоку України // Наукові праці УкрНДГМІ. – Вип. 252. – К.: Ніка-Центр, 2003. – С. 5–10.
  - 15.Лобода Н.С., Нгуен Ле Минь. Влияние дополнительного испарения с водной поверхности искусственных водоемов на водные ресурсы рек Крыма // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ Обрії, 2005. – Т.7. – С. 89–97.

16. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
17. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках. Навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.
18. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Нормирование характеристик естественного годового стока рек Украины // Доклады Всероссийского гидрологического съезда (28 сентября – 1 октября, 2004 г.). Секция 5. Гидрофизические явления и процессы. Формирование и изменчивость годового стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты. – М.: Метеоагентство Росгидромета. – 2006. – Ч. 2. – С. 134–137.
19. Лобода Н.С. Оценка влияния атмосферных процессов Северной Атлантики на формирование полей годового стока рек Украины // Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – № 3. – С. 167–177.
20. Лобода Н.С., Коробчинская А.О., Рудник А.О. Коливання річного стоку в басейні р.Дніпро у зв'язку із змінами клімату // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2008. – Вип. 5. – С. 163–167.
21. Лобода Н.С., Бабаєва О.В. Антропогенні навантаження та зміни річного стоку в басейні р.Сіверський Донець // Міжвідомчий наук. зб. України. – Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – С. 31–36.
22. Лобода Н.С., Мельник С.В. Многолетняя изменчивость климата и водного режима рек Подолии // Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. – № 5. – С. 184–191.
23. Лобода Н.С., Отченаш Н.Д. Вплив водоспоживання води населенням на стан водних ресурсів України в умовах змін глобального клімату // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2009. – Вип. 7. – С. 170–175.
24. Лобода Н., Сіренко А. Вплив глобального потепління на льодовий режим річки Дністер // Науковий вісник Чернівецького університету. Сер. Географія – 2009. – Вип. 480-481. – С. 200–203.
25. Лобода Н.С. Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку ХХІ сторіччя // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія / Відп. ред. В.К. Хільчевський – К.: ВГЛ Обрії, 2010 – Т.18. – С. 62–70 .
26. Лобода Н.С., Коробчинська А.О. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливань на гідрометеорологічні характеристики України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / Відп. ред. В.К. Хільчевський – К.: ВГЛ Обрії, 2010. – Т. 18 – С. 84–91.
27. Лобода Н.С., Коробчинская А.А., Рудник А.А. Изменения климата и его влияние на реки Украины // Український гідрометеорологічний журнал. Голов. ред. С.М. Степаненко. – 2010 – №6. – С. 199–204.
28. Лобода Н.С., Сіренко А.М. Вплив Північно-Атлантичного коливання на строки продовження льодових явищ на річках Західної України //

- Міжвідомчий. наук. зб. України: Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип. 50. – С. 182–189.
29. Лобода Н.С., Романенко В.П. Імітаційне стохастичне моделювання побутового річного стоку лівобережжя р. Дністер // П'ята науково-практична міжнародна конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС'2010» (21-25 червня). – 2010. – С. 56–58.
  30. Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер.: Біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія. – 2010. – № 3 (44). – С. 143–145.
  31. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення // Причорноморський екологічний бюлетень. – 2010. – № 2 (36). – С. 63–67.
  32. Мельник С.В., Лобода Н.С. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Поділля // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ Обрії, 2009. – Т. 17. – С. 55–62.
  33. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 447 с.
  34. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: РАН ИВП. – 1997. – 262 с.
  35. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич, Г.В. Белоненкои др. / Под ред. В.С. Мезенцева. – М.: Колос, 1974. – 240 с.
  36. Струтинська В.М., Гребінь В.В. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
  37. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. / За ред. В.В. Васильченка, М.В. Рапцуна, І.В. Трофімової. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1998. – Т. 2. – 208 с.
  38. Хільчевський В.К., Ромась І.М., Ромась та ін. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
  39. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
  40. Шахман І.О., Лобода Н.С. Застосування імітаційної стохастичної моделі річного побутового стоку до оцінки стану водних ресурсів Нижнього Подніпров'я в умовах водогосподарської діяльності // Україський гідрометеорологічний журнал. – 2009. – № 5. – С. 192–197.

41. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Оцінка змін випаровування з водної поверхні території України // Наук. Праці Укр НДГМІ. – 2000. – Вип. 248. – С. 67–76.
42. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 335 с.
43. Hattermann FF, Krysanova V, Post J, Dworak Th, Leipprand, A, Kadner S, Kabat P, (2008) Understanding consequences of Climate Change. In “The Adaptiveness of IWRM, an Analysis of European IWRM Research”, IWA Publishing, London, UK, pp 89–112.
44. 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. IPCC Secretariat. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
45. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // *Climat and Water*. – 1998. – Vol. 1. – P.1486–1494.
46. Loboda N.S. & Phan Van Chinnh. Statistical modelling and estimating the irrigation and man-made effect on annual runoff and water resources // *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment*. (proceedings of ICGRHWE held Tree Gerges Dam, Chine.) – 2004. – IAHS Publication 289 in the IAHS Series of Proceedings and Reports. – P. 215–218.
47. Loboda N., Glushkov A., Khohlov V. Using meteorological data for reconstruction of annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal function approach to Moldova-Southwest Ukraine region // *Atmospheric Research*. – 2005. – Vol. 77/1-4. – P. 100–113.



сільськогосподарських культур в Україні.....	496
5.4.3. Рекомендації щодо врахування фактора зміни клімату в сфері виробництва зерна в Україні.....	514
<b>6. Оцінка зміни агрокліматичних ресурсів формування урожаю овочевих культур в Україні.....</b>	<b>517</b>
6.1. Загальна характеристика базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності овочевих культур.....	517
6.2. Оцінка зміни агрокліматичних умов росту, розвитку та формування урожайності овочевих культур в Україні.....	530
<b>7 Оцінка стану водних ресурсів України в умовах змін регіонального клімату та їх вплив на економіку України.....</b>	<b>566</b>
7.1. Зміни кліматичних факторів формування стоку та поверхневих водних ресурсів України на початку ХХІ сторіччя.....	568
7.2. Прогнози впливу змін клімату на водні ресурси України за сценаріями глобального потепління.....	573
7.2.1. Модель «клімат–стік».....	573
7.2.2. Визначення поверхневих водних ресурсів України за моделлю «клімат–стік» з використанням даних сценаріїв змін клімату.....	577
7.3. Прогнози впливу змін клімату на поверхневі водні ресурси з урахуванням водогосподарської діяльності.....	583
7.3.1. Стохастичні моделі річного побутового стоку в умовах водогосподарської діяльності.....	583
7.3.2. Прогнози змін поверхневих водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління з урахуванням впливу водогосподарської діяльності.....	592
7.4. Рекомендації щодо використання поверхневих водних ресурсів України з метою попередження наслідків глобального потепління.....	599
Висновки.....	606
Список літератури.....	613
Додатки.....	630
Додаток А.....	631
Додаток Б.....	646
Додаток В.....	669
Додаток Г.....	674
Додаток Д.....	683

6.1.	General description of the basic model of assessment of agro-climate resources for formation of vegetable crop productivity.....	517
6.2.	Assessment of change in agro-climate conditions of growth, development and formation of vegetable crop yield rate in Ukraine.....	530
<b>7.</b>	<b>Assessment of state of water resources in Ukraine under the conditions of regional climate change and their impact on the economy of Ukraine.....</b>	<b>566</b>
7.1.	Changes in climate factors for formation of runoff and surface water resources in the early XXI century.....	568
7.2.	Prediction of climate change impact on the water resources in Ukraine under global warming scenarios.....	573
7.2.1.	Climate-runoff model.....	573
7.2.2.	Evaluation of surface water resources of Ukraine under the climate-runoff model with the use of data on climate change scenario.....	577
7.3.	Predictions of climate change impact on the surface water resources with water-management activities taken account of.....	583
7.3.1.	Stochastic models of river household runoff under the conditions of water-management activities.....	583
7.3.2.	Predictions of climate change in the surface water resources of Ukraine under the global warming scenarios with water-management activities taken account of.....	592
7.4.	Guidelines on use of surface water resources in Ukraine with the aim of global warming effect prevention.....	599
	Summary.....	606
	References.....	613
	Annexes.....	630
	Annex A.....	631
	Annex Б.....	646
	Annex В.....	669
	Annex Г.....	674
	Annex Д.....	683

Наукове видання

СТЕПАНЕНКО С. М., ПОЛЬОВИЙ А. М., ШКОЛЬНИЙ Є. П. та ін.

**ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ  
ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ**

Монографія

За редакцією С. М. Степаненка, А. М. Польового

Надруковано в авторській редакції

---

Підписано до друку 09.12.2011. Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура  
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 40, 46  
Тираж 200 прим. Вид. № 18. Зам. № 383

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

Надруковано з готового оригінал-макета

Друкарня видавництва "Екологія"  
65045, м. Одеса, вул. Базарна, 103, к. 313  
Тел.: (0482) 33-07-18, 37-07-95, 37-15-27  
[www.fotoalbom-odessa.com](http://www.fotoalbom-odessa.com)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1873 від 20.07.2044 р.