

УДК 504.454+551.58
КП XXXXXX
№ держреєстрації 0112U007606
Інв. №

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Одеський державний екологічний університет
(ОДЕКУ)
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15
тел. (0482) 63-62-09

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з НР ОДЕКУ

2012.12.20 Ю.С. Тучковенко

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ОЦІНКА МОЖЛИВИХ ЗМІН ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ
КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПІД ВПЛИВОМ ГЛОБАЛЬНИХ
КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН
(заключний)

Керівник НДР
д. геогр. н., проф.

2012.12.14

Н.С. Лобода

2012

Рукопис закінчено 14 грудня 2012 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ
протокол від 2012.12.20 № ____

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор	Н. Лобода 2012.12.14 (реферат, вступ, розд. 1, 2.3, 3.2, висновки)
Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	О. Гриб 2012.12.14 (перелік умовних позначень, символів одиниць, скорочень і термінів, розд. 6, перелік посилань)
Провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор, академік АН ВШ	Є. Гопченко 2012.12.14 (розд. 5)
Старший науковий співробітник, кандидат біологічних наук	О. Килимник 2012.12.14 (розд. 7)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук	І. Башмакова 2012.12.14 (розд. 3.1)
Старший науковий співробітник	О. Тучковенко 2012.12.14 (розд. 3.3)
Науковий співробітник	З. Сербова 2012.12.14 (розд. 2.2)
Науковий співробітник	С. Павленко 2012.12.14 (узагальнення даних для визначення природного річного стоку)
Молодший науковий співробітник	К. Гриб 2012.12.14 (аналіз мінливості солоності води лиману, рис. 6.1)

Молодший науковий співробітник	Т. Захарова
2012.12.14	(узагальнення даних спостережень для визначення характеристик стоку)
Молодший науковий співробітник	А. Куза
2012.12.14	(розд. 2.1)
Аспірант	Ю. Божок
2012.12.14	(розд. 4)
Нормоконтролер	С. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 147 с., 12 рис., 66 табл., 115 джерел.

Об'єкт дослідження – гідроекологічний режим Куяльницького лиману під дією глобальних кліматичних змін.

Мета роботи – полягає у оцінюванні можливих змін гідроекологічного стану басейну Куяльницького лиману в умовах глобального потепління.

Методи дослідження – математичне моделювання річкового припливу прісних вод за рік та по гідрологічних сезонах, визначення водно-сольового режиму Куяльницького лиману й гідробіологічних показників його екологічного стану у кліматичних умовах, за даними сценаріями глобального потепління.

Результати і новизна – вперше оцінені можливі зміни гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом змін глобального клімату за сценаріями Всесвітньої метеорологічної організації (A1B, A2, B1).

Основні конструкторські, технологічні і техніко-експлуатаційні характеристики і показники – використана для розрахунків припливу прісних вод модель «клімат-стік» та модель розрахунків максимального стоку не мають вітчизняних та зарубіжних аналогів. Інші використані методи (статистичні, балансові) відповідають рівню найкращих вітчизняних та закордонних аналогів. На виході наведені характеристики припливу прісних вод до Куяльницького лиману у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах, величини втрат на випаровування з водної поверхні лиману, оцінки режиму змін рівнів та солоності води та наслідків їх впливу на якість води й біологічні ресурси водойми в умовах глобального потепління. Вперше розроблені рекомендації по створенню сприятливого гідроекологічного режиму, збереження та відновлення його природних ресурсів Куяльницького лиману в умовах глобального потепління.

Ступінь впровадження – отримані результати будуть надані Державному управлінню з охорони навколишнього середовища в Одеській області та відповідним державним науковим, навчальним установам й виробничим підприємствам, радам місцевого самоврядування для впровадження рекомендацій щодо заходів по створенню сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, а також збереженню та відновленню природних ресурсів його басейну, включаючи річки Великий Куяльник, Довбока та Кубанка, з метою подальшого розвитку водного, сільського та рибного господарств, рекреації й туризму тощо.

Зв'язок з іншими роботами – науково-дослідні роботи Одеського державного екологічного університету в галузі розрахунків та оцінки екосистем природних та штучних водойм.

Рекомендації по використанню результатів роботи – результати роботи можуть бути використані при розробці заходів по створенню сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, збереженню та відновленню його природних ресурсів в умовах глобального потепління.

Галузь використання – охорона навколишнього природного середовища, водне господарство, сільське господарство, рибне господарство, рекреація та туризм тощо.

Значущість роботи і висновки – результати досліджень, методики та моделі, наведені в роботі, дають можливість здійснити заходи по створенню сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, річок Великий Куяльник, Довбока та Кубанка з метою збереження та відновлення природних ресурсів басейну Куяльницького лиману в умовах глобальних кліматичних змін.

Пропозиції щодо подальшого розвитку дослідження – врахування результатів роботи та продовження досліджень у наступні роки сумісно з співробітниками інших наукових і виробничих установ, адміністрацією Одеської області, використання отриманих результатів в підготовці державної програми «Збалансованого розвитку території навколо Куяльницького, Хаджибейського, Дофінівського та Григорівського лиманів Одеської області» та виконанні «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки».

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ, СЦЕНАРІЇ, ПРИПЛИВ ПРІСНИХ ВОД, ВОДНО-СОЛЬОВИЙ РЕЖИМ, ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	11
1 МОДЕЛЬ «КЛІМАТ-СТІК» В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ ..	13
1.1 Реалізація моделі «клімат-стік» в природних умовах північно-західного Причорномор'я	13
1.2 Реалізація моделі «клімат-стік» в умовах антропогенної діяльності.....	17
1.3 Реалізація моделі «клімат-стік» в умовах змін клімату	19
2 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО СТОКУ ТА ВНУТРІШНЬОРІЧНОГО РОЗПОДІЛУ	21
2.1 Визначення характеристик стоку за даними спостережень	21
2.2 Визначення характеристик природного річного стоку за моделлю «клімат-стік»	23
2.3 Визначення характеристик побутового річного стоку за моделлю «клімат-стік»	25
3 ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ «КЛІМАТ-СТІК» ДО РОЗРАХУНКІВ СТОКУ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ВИКИДІВ	31
3.1 Сценарії викидів.....	31
3.2 Методика визначення складових рівняння водно-теплогового балансу при застосуванні сценаріїв викидів	32
3.3 Визначення річного та внутрішньорічного розподілу стоку за сценаріями викидів	35
4 НАКОПИЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРІСНИХ ВОД У КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ВИКИДІВ	43
5 МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ І ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ В БАСЕЙНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ	52
5.1 Сучасний стан в галузі розрахунку максимального стоку річок.....	52
5.2 Методика, що пропонується для нормування характеристик максимального стоку	55
5.3 Отримані результати та їх аналіз	59
5.4 Максимальні витрати води дощових паводків в басейні Куяльницького лиману	61
5.5 Про можливі зміни величин максимальних витрат води паводків і водопіль під впливом коливань клімату в басейні Куяльницького лиману	63
5.6 Оцінка максимальних витрат води в рр. Довбока і Кубанка в 2012 році ..	67

6 ОЦІНКА ВОДНО-СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ З УРАХУВАННЯМ ЗМІН ПРИПЛИВУ ПРІСНИХ ВОД ДО ВОДОЙМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	70
7 ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ТА МОЖЛИВИХ ЗМІН ЖИВИХ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ І БІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ	95
7.1 Оцінка сучасного стану живих природних ресурсів і гідробіологічного режиму Куяльницького лиману, річок і водойм його басейну	95
7.1.1 Ландшафтно-екологічна структура типового біому лиману	96
7.1.2 Екологічна структура рослинності в наземних біотопах лиману ..	96
7.1.3 Екологічна структура фауни в наземних біотопах лиману	98
7.1.4 Ценотична оцінка наземної біоти в басейні Куяльницького лиману за результатами натурних польових досліджень в 2012 році..	100
7.1.5 Сучасна структура індикаторного таксоцену бджолиних за відношенням до комплексу діючих факторів	115
7.1.6 Сучасний стан водної біоти Куяльницького лиману	118
7.2 Оцінка можливих змін біологічних показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, річок і водойм його басейну в умовах глобального потепління	124
7.2.1 Проблеми оцінки впливу на біоту глобальних кліматичних змін ..	125
7.2.2 Прогноз змін гіпергалинної гідрофауни в умовах глобального потепління	127
7.3 Узагальнення результатів оцінки сучасного стану та прогнозних змін живих природних ресурсів і біологічних показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману	130
ВИСНОВКИ	134
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	140

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

% – відсоток, процент
 ‰ – солоність води в проміле (г/кг)
 °C – температура в градусах Цельсія
 «0» гр. – нуль графіка
 a – альфамезосапроб
 b – бетамезосапроб
 bv – бівольтинний тип розвитку
 Gb – галобність
 ks – ксерофіл
 Lf – життєва форма
 ml – монолект
 mph – мезофіл
 mph-ks – мезо-ксерофіл
 mv – моновольтинний тип розвитку
 n – немає відомостей про сапробність
 ol – оліголекти
 Ph – ацидофільність
 pl – полілекти
 pv – полівольтинний тип розвитку
 S – сапробність
 S – солоність води
 алк – алкаліфіл
 БС – Балтійська система висот
 В. Куяльник – Великий Куяльник
 в./п., в/п – водомірний пост
 ВМО – Всесвітня метеорологічна організація
 вс – весняні фенологічні типи бджолиних
 г – грам, грами
 гл – галофіт
 ГМО – гідрометеорологічна обсерваторія
 год. – година
 Гт – гігротермічний тип комплексу видів
 д – доба, діб, донний
 ет – евритопні типові біотопи
 еф – ефемероїд
 Зт – зональний тип
 инд – индифферент

ін. – інші
 кг – кілограм, кілограми
 км – кілометр, кілометри
 лп – ліпнинники
 лс – лісостепові види
 лт – літні фенологічні типи
 м – метр, метри, мезогалоб (по відношенню до видів гідробіонтів)
 м БС – відмітка поверхні в метрах Балтійської системи висот
 м ум. – відмітка поверхні в метрах умовної (місцевої) системи висот
 м. – місто
 м./ст. – метеорологічна станція
 мг – міліграм, міліграми
 МГЕЗК – Міжурядова група експертів по зміні клімату
 млн. – мільйон, мільйони
 мм – міліметр, міліметри
 МСОП – Міжнародний список охорони природи
 НДР – науково-дослідна робота
 о – олігосапроб
 об – обростання
 ОДЕКУ – Одеський державний екологічний університет
 оз. – озеро
 п – полісапроб
 пг – плакорний геофіл, полігалоб
 пз – полізональні види
 пл – планктонний
 плт – пізньолітній фенологічний тип
 пр – порожнинник
 р. – річка, рік
 рл – раньолітній фенологічний тип
 рп – типові біотопи на горизонтальній поверхні ґрунту
 рр. – річки, роки
 с – секунда, секунди
 с. – селище, село
 СДСВ – Спеціальна доповідь по сценаріям викидів
 см – сантиметр, сантиметри
 СНиП – будівельні норми та правила (рос. – «*строительные нормы и правила*»)
 ст – степові види
 ст. – століття, сторіччя
 Стг – стаціональна приуроченість видів
 суг – схилово-урвищний геофіл
 сх – схилі типові біотопи

США – Сполучені штати Америки

Тб – типовий біотоп

тис. – тисяча, тисячі

т-ксб – тамноксидобіонт

Тр – тип розвитку

Тф – трофічні відносини

у – урвища

ут – урботолерантний

Фт – фенологічний тип

хб – хортобіонт

чг – чагарники

ШВ – штучна водойма, штучні водойми

шт. – штука, штуки

яб – ярово-балкові типові біотопи

ВСТУП

Актуальність науково-дослідної роботи (НДР) обумовлена необхідністю розробки стратегії розвитку водного господарства України в умовах змін глобального клімату [1]. Установлено, що наслідки змін клімату будуть особливо значними у степовій зоні України [2]. Вже у теперішній час на території північно-західного Причорномор'я спостерігаються тенденції до зростання випаровування з поверхні суші внаслідок збільшення температур повітря. Незначне зменшення середніх багаторічних величин опадів у поєднанні із збільшенням температур повітря викликало зниження річного стоку водотоків північно-західного Причорномор'я на початку XXI ст. на 25-30 % [3]. Зміни кількості опадів та підвищення температури, які обумовлені зміною глобального клімату, впливають на водні ресурси та їх динаміку. Із збільшенням тривалості метеорологічних посух очікується критична нестача водних ресурсів у маловодні роки [4]. Це може привести до збільшення вразливості сільського господарства та гідроенергетики, погіршення умов водоспоживання для населення.

Задача науковців в умовах змін глобального клімату полягає у розробці стратегії адаптації (пристосування) природних чи людських систем до нових кліматичних умов. З точки зору адаптації у галузі використання водних ресурсів передбачаються певні рекомендації по раціональному використанню та охороні водних ресурсів, які включають до себе перегляд політики водогосподарського будівництва (штучні водойми, малі гідроелектростанції, перекидні канали, зрошувально-осушувальні системи).

Для передбачення наслідків глобального потепління розробляються математичні моделі формування стоку, на вході в які використовуються дані кліматичних сценаріїв. Такого роду модель розроблена у Одеському державному екологічному університеті (ОДЕКУ) та має назву «клімат-стік» [5].

Метою НДР є визначення можливих змін припливу поверхневих вод річки до Куяльницького лиману в умовах глобального потепління на основі сценаріїв Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) та визначення впливу таких змін на гідроекологічний стан лиману.

Об'єктом дослідження є рр. Великий Куяльник (В. Куяльник), Довбока і Кубанка та Куяльницький лиман, предметом – вплив змін клімату на водні ресурси рр. В. Куяльник, Довбока і Кубанка та гідроекологічний стан Куяльницького лиману.

У НДР застосована модель «клімат-стік», за якою установлені значення річного стоку рр. В. Куяльник, Довбока і Кубанка та їх внутрішньорічний розподіл у природних й порушених водогосподарською діяльністю умовах при кліматичних показниках, які відповідають сценаріям A1B, A2, B1.

Водний режим Куяльницького лиману розглянутий у залежності від припливу стоку від рр. В. Куяльник, Довбока і Кубанка та від атмосферних опадів, які випадають на водну поверхню лиману. За встановленим об'ємом води у Куяльницькому лимані визначені рівні та відповідні значення солоності води, на основі яких надавалася оцінка гідроекологічного стану водойми.

У НДР широко використовувались матеріали, отримані в рамках попередніх досліджень ОДЕКУ екосистеми Куяльницького лиману, наприклад, із звітів по НДР «Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів» (2009 р.) [6] та «Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні» (2011 р.) [7], виконаних ОДЕКУ на замовлення Управління освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації за рахунок бюджетних коштів з обласного фонду «Охорони навколишнього природного середовища».

НДР *«Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін»* виконується ОДЕКУ згідно договору № 6 від 26.03.2012 р. з Управлінням освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації за рахунок бюджетних коштів з обласного фонду охорони навколишнього природного середовища, які виділені на реалізацію «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки», затвердженої рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. [8].

1 МОДЕЛЬ «КЛІМАТ-СТІК» В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Математична модель розрахунків характеристик стоку в умовах глобального потепління складається з двох блоків. Перший блок передбачає розрахунки стоку за метеорологічними даними і базується на застосуванні рівняння водно-теплогового балансу водозбору у модифікації В.С. Мезенцева. Другий блок містить у собі стохастичну модель річного побутового стоку, яка спирається на рівняння водогосподарського балансу, представлені у ймовірнісній формі [9]. Результатом розрахунків по першому блоку моделі є характеристики річного стоку у природних умовах його формування. Другий блок надає можливість оцінити характеристики річного побутового стоку. Перехід до внутрішньорічного розподілу виконувався на основі типових схем та по характерним за водністю рокам. Оцінка характеристик стоку річки Куяльник у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах наведена у [6, 7].

1.1 Реалізація моделі «клімат-стік» в природних умовах північно-західного Причорномор'я

Рівняння водно-теплогового балансу, виражене відносно величини стоку Y , записується таким чином [10]

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.1)$$

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 $H = X + w_1 - w_2$;

E_m – максимально можливе випаровування з поверхні суші;

n – параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку й визначається коефіцієнтом стоку у оптимальних умовах тепло-вологозабезпеченості, й приймається рівним 3 згідно із рекомендаціями В.С.Мезенцева;

Y – стік води за розрахунковий інтервал.

Величина E_m має назву «теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування» і є шаром води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m [11]

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (1.2)$$

де R^+ – позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу;

P^+ – позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло;

$B_1 - B_2$ – зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB);

L – приховане тепло пароутворення;

LE – витрата тепла на випар.

Для території України отримані регіональні формули для визначення середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування за даними про температури повітря. Ці формули описують залежності $\bar{E}_m$ від сум температур повітря, розроблені для території України Є.Д. Гопченком та Н.С.Лободою [12]

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum \bar{T}_{>10} + 226, r = 0.91, \quad (1.3)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum \bar{T}_{>0} + 179, r = 0.87, \quad (1.4)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0.94; \quad (1.5)$$

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°C ;

$\sum T_{>0}$ – сума температур повітря більше 0°C .

З урахуванням $H = X + w_1 - w_2$, рівняння водно-теплого балансу записується у виді

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.6)$$

Різниця $w_1 - w_2$, яка представляє собою змінення вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення усередині року (місяці, декади) і в окремі роки (групи років).

Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (1.7)$$

рівняння водно-теплогового балансу набуває виду

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.8)$$

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

Від'ємник рівняння (1.8) є величиною середнього багаторічного випаровування з поверхні суші

$$\bar{E} = \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.9)$$

Норма річного стоку $\bar{Y}$, визначена за (1.8), обумовлюється кліматичними факторами – нормою річних опадів $\bar{X}$ й максимально можливого випаровування $\bar{E}_m$, які підкоряються закону географічної зональності та представляються у вигляді карт ізоліній [13]. Розраховані при постійному n величини середнього багаторічного стоку $\bar{Y}$ залежать від співвідношення показників ресурсів вологи $\bar{X}$ та тепла $\bar{E}_m$ й відображають їхню взаємодію, через що й отримали назву «кліматичний стік», який позначається як $\bar{Y}_K$.

Кarti ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинної території України були побудовані на топографічній основі 1:500000. Отримані регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості для гірських територій (Українські Карпати та Гірський Крим).

Установлено, що норми річного кліматичного стоку відповідають нормам зонального стоку річок.

Виконані просторові узагальнення відповідають природному стану кліматичних та поверхневих водних ресурсів України (у непорушених водогосподарською діяльністю умовах), тобто до початку значущих проявів глобального потепління.

Для визначення характеристик стоку заданої забезпеченості були установлені зв'язки між багаторічною мінливістю (коефіцієнтом варіації C_V) річного стоку та нормою кліматичного стоку [14]

$$C_V = \frac{5,6}{\overline{Y}_K^{0,62}}, \quad (1.10)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку.

Між коефіцієнтом асиметрії та коефіцієнтом варіації для території північно-західного Причорномор'я установлено таке співвідношення

$$C_S = 1,7 C_V, \quad (1.11)$$

C_S – коефіцієнт асиметрії.

Коефіцієнт автокореляції $r(1)$ для північно-західного Причорномор'я приймається рівним нулю.

На водозборах малих та середніх річок із нестійким підземним живленням виконується перехід від зонального стоку до природного [15].

Для степової зони північно-західного Причорномор'я, де велику роль мають втрати стоку на поверхневе затримання і діюча площа водозбору значно менша фактичної, перехідні коефіцієнти установлюються за такою формулою

$$K_{\text{ПЕР}} = 1 - 0,003(280 - H_{\text{CP}}), \quad \text{при } H_{\text{CP}} < 280 \text{ м}, \quad (1.12)$$

$$k = 1, \quad \text{при } H_{\text{CP}} \geq 280 \text{ м}, \quad (1.13)$$

де H_{CP} – середня висота водозбору.

Норма природного стоку $\bar{Y}_{\text{ПР}}$ визначається як добуток норми кліматичного стоку на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{\text{ПР}} = K_{\text{ПЕР}} \bar{Y}_K. \quad (1.14)$$

Коефіцієнти варіації та асиметрії природного стоку також установлюються за формулами (1.10) та (1.11).

1.2 Реалізація моделі «клімат-стік» в умовах антропогенної діяльності

Стохастична природа процесів, що обумовлюють формування річного стоку, відкриває можливості до ймовірнісного опису річного стоку. Водоспоживання у багатьох випадках також має стохастичний характер. Ця обставина дозволила представити рівняння водогосподарського балансу у стохастичному виді: річний природний стік генерується за моделлю трипараметричного гама-розподілу із використанням лінійної кореляції між забезпеченостями суміжних років, ураховується стохастична природа складових водогосподарських балансів, зв'язаних із коливаннями клімату [16] (норми зрошування, додаткове випаровування з поверхні штучних водойм, норми водоспоживання).

У загальному виді ймовірнісна форма запису рівняння водогосподарського балансу є наступною

$$Y_{\text{ПОБ},P} = Y_{\text{ПР},P} \pm \Delta Y_P(U_P, f), \quad (1.15)$$

де $Y_{\text{ПОБ},P}$ – шар побутового (трансформованого водогосподарською діяльністю) річного стоку заданої забезпеченості P ;

$Y_{\text{ПР},P}$ – шар природного річного стоку заданої забезпеченості P ;

ΔY_P – зміни водності річки у роки різної забезпеченості в залежності від характеристик водогосподарської діяльності;

U_P – характеризує ту частину складової водогосподарського балансу, яка залежить від кліматичних умов та має стохастичну природу (наприклад, втрати на випаровування з водної поверхні, дефіцит споживання води рослинами та ін.);

f – характеризує не випадкові складові водогосподарських балансів.

Використання стохастичної моделі виду (1.15) дозволяє програвати безліч водогосподарських ситуацій на водозборах у заданих кліматичних умовах. Стохастичне моделювання природного річного стоку полягало у генеруванні рядів річного природного стоку згідно із його статистичними параметрами ($\bar{Y}_{\text{КЛ}}$, C_v , C_s , C_s/C_v та $r(l)$) із подальшим переходом до побутового. Генерування рядів природного стоку відбувалося за стохастичною моделлю простого ланцюга Маркова. Нами був використаний вид стохастичної моделі, що спирається на наявність кореляції між суміжними значеннями забезпеченостей з подальшим переходом до величин стоку, що підпорядковується трипараметричному гама-розподілу [17]. Величина $\Delta Y_P(U_P, f)$ розраховується за допомогою водогосподарських балансів водозборів.

Результатом імітаційного моделювання стали функції відгуку характеристик річного стоку на водогосподарські заходи у межах водозборів. Ординатами функцій відгуку є коефіцієнти антропогенного впливу K_A , які показують відношення параметру побутового стоку до відповідного параметру природного стоку

$$K_A = \frac{A_{\text{ПОБ}}}{A_{\text{ПР}}}, \quad (1.16)$$

де $A_{\text{ПОБ}}$ – значення параметру річного стоку в умовах водогосподарських перетворень;

$A_{\text{ПР}}$ – значення відповідного параметру у природних умовах.

Так, функції впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм мають наступний аналітичний вигляд

$$K_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (1.17)$$

$$K_{C_v} = e^{\alpha_{C_v} f_B}; \quad (1.18)$$

$$K_{C_s} = e^{\alpha_{C_s} f_B}; \quad (1.19)$$

де f_B – відносна площа водної поверхні штучних водойм, (%).

Коефіцієнти рівнянь (1.17)-(1.19) визначаються за формулами

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_{\text{КЛ}}^{(-0,49)}, r = 0,92, \quad (1.20)$$

$$\alpha_{C_v} = 0,247 \cdot e^{-0,0274 \bar{Y}_{\text{КЛ}}}, r = 0,91, \quad (1.21)$$

$$\alpha_{C_s} = 0,170 \cdot e^{-0,0246 \bar{Y}_{\text{КЛ}}}, r = 0,95, \quad (1.22)$$

де r – коефіцієнт кореляції, отриманий після логарифмування змінних.

При наявності декількох двох чинників антропогенного впливу розраховується сумарний коефіцієнт

$$K_{\text{СУМ},A} = K_{1,A} + K_{2,A} - 1, \quad (1.23)$$

де K_1, K_2 , – коефіцієнти, що кількісно враховують антропогенний вплив на статистичний параметр A річного стоку.

Сумісний вплив m водогосподарських чинників на параметр G_{PP} оцінюють за наступним рівнянням:

$$A_{ПОВ} = A_{PP}[K_1 + K_2 + \dots + K_m - (m - 1)] = \left[\sum_{j=1}^m K_j - (m - 1) \right] A_{PP}, \quad (1.24)$$

де $K_1, K_2, \dots, K_m$ – коефіцієнти антропогенного впливу, які показують зміни статистичних параметрів річного стоку за рахунок водогосподарської діяльності;

m – кількість видів водогосподарської діяльності.

1.3 Реалізація моделі «клімат-стік» в умовах змін клімату

Зміни кліматичних характеристик, обумовлені глобальним потеплінням унаслідок збільшення концентрації парникових газів неминуче приведуть до перерозподілу водних ресурсів як у часі, так і в просторі. Кліматичний стік, значення якого залежать від співвідношення ресурсів вологи та тепла ($\beta_X = \frac{X}{E_m}$), відображає, головним чином, зміни клімату. Визначення норм кліматичного річного стоку, який в інтегральній формі характеризує поверхневі водні ресурси, відбувається за (1.8). У складові рівняння входять норми опадів та максимально можливого випаровування, які встановлюються за даними кліматичних сценаріїв. Рівняння водно-теплого балансу в умовах змін клімату записується у такому виді

$$\bar{Y}'_K = (\bar{X} \pm \Delta\bar{X}) - \bar{E}'_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X} \pm \Delta\bar{X}}{\bar{E}'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.25)$$

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

$\bar{E}'_m$ – середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, мм;

$\bar{X}$ – вихідна норма річних опадів, мм;

$\bar{E}_m$ – вихідна норма максимально можливого випаровування, мм;

$\Delta\bar{X}$ – зміни норм річних опадів за сценаріями, 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 ΔT до величин середніх багаторічних температур повітря за календарні місяці. Величина максимально можливого випаровування розраховується за (1.3)-(1.5) з використанням даних про зміни температур $\bar{E}'_m = f(T + \Delta T)$.

Числові експерименти, виконані на основі рівняння водно-теплого балансу (1.8), 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 $\pm 2,5^\circ C$ [18]. Передбачувані сценаріями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) зміни метеорологічних характеристик, як правило, перевищують зазначені межі й, отже, модель «клімат-стік» може успішно застосовуватись при прогнозуванні стану водних ресурсів України за різними сценаріями змін глобального клімату [19].

2 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО СТОКУ ТА ВНУТРІШНЬОРІЧНОГО РОЗПОДІЛУ

Водозбір Куяльницького лиману має площу, яка дорівнює 2250 км^2 [20]. Основними річками, які впадають у Куяльницький лиман, є р. Великий Куяльник (В. Куяльник) з площею водозбору $F = 1860 \text{ км}^2$, р. Довбока – $F = 68,3 \text{ км}^2$ та р. Кубанка – $F = 129 \text{ км}^2$. Площа водозбору р. В. Куяльник складає 83 % від загальної площі, з якої води надходять до лиману. Площа водного дзеркала лиману становить у середньому 56 км^2 , а об'єм – 123 млн. м^3 , за даними Г.І. Швєбса, та 90 млн. м^3 , за даними В.М. Тімченка [21]. Боковий приплив поверхневих вод надходить із площі, яка складає $136,7 \text{ км}^2$.

2.1 Визначення характеристик стоку за даними спостережень

У роботі використані дані спостережень за річковим стоком у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка та дані про температурний режим повітря та опадів по метеостанції «Любашівка». Період спостережень за стоком знаходиться у межах 1986-1993, 2001-2006 рр.

За просторово-часовими узагальненнями побутового стоку, виконаними А. І. Шерешевським та П.Ф. Вишневським [22] середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник змінюється від $0,6 \text{ л/(с км}^2)$ – на півночі до $0,2 \text{ л/(с км}^2)$ – при впадінні у Куяльницький лиман, коефіцієнт варіації річного стоку зростає від 0,8 до 1,0, відповідно. На р. В. Куяльник діє з 1985 р. гідрологічний пост в межах с. Северинівка. Відстань його розташування від гирла становить 5 км, площа водозбору – 1840 км^2 , відмітка нуля графіка поста дорівнює мінус 4,15 м БС [23].

За даними про стік р. В. Куяльник в створі Северинівка отримано, що найбільший річний стік спостерігався у 2003 р. (34 мм), найменший – у 1993 р. (0,5 мм). Середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник за періоди 1986-1993 та 2001-2006 рр. становить 4,83 мм, коефіцієнт варіації – 1,87, коефіцієнт асиметрії – 3,26, відношення C_s/C_v дорівнює 1,7. Кореляція між річним стоком попередніх та наступних років відсутня ($r(1) \approx 0,00$). Відносна середня квадратична похибка розрахунку середньої багаторічної величини стоку становить 52 %, що обумовлено високим значенням коефіцієнту варіації та коротким періодом спостережень. Забезпеченість водності року близьку до 50 %, має 1990 р., водність у який становила 1,4 мм, що значно відрізняється від середньої багаторічної величини стоку [24].

Коливання річного стоку у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка є синхронними із коливаннями у створі р. Тілігул – смт. Березівка. Коефіцієнт кореляції за 11 років сумісних спостережень становить 0,98. Побудована залежність дозволила отримати наближені значення річного стоку у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка за 1994-2000 та 2004 р. З урахуванням відновлених даних норма річного стоку р. В. Куяльник склала 4,85 мм, коефіцієнт варіації – 1,64, коефіцієнт асиметрії – 2,99, відношення C_s/C_v дорівнює 1,8. Між річним стоком попередніх та наступних років кореляція відсутня. За відновленими даними відносна середня квадратична похибка розрахунку середньої багаторічної величини стоку становить 37 %.

У досліджуваній період максимальна середньомісячна витрата води (10,3 м³/с) у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка спостерігалась у березні 2003 р., мінімальне значення витрат, коли річка пересихала і фактично стік був відсутній, спостерігалася у всі роки окрім 1988 р. Стік був відсутній з 100-відсотковою забезпеченістю 11 червня 1993 р. та 28 лютого 2001 р.

За період спостережень за стоком у межах водозбору р. В. Куяльник найбільше значення річного стоку у створі с. Северинівка відмічене у 2003 р. й становило 34 мм. Цей рік характеризується дружнім весняним водопіллям, яке почалося 11.03.2003 р. і тривало до 05.05.2003 р. Найбільша витрата дорівнювала 35,9 м³/с (26.03.2003 р.). Від'ємні температури повітря спостерігалися на протязі усього зимового сезону. Найбільш холодними були грудень (мінус 7,9 °С) та лютий (мінус 7,4 °С). Найбільш низька температура повітря спостерігалася у січні і становила мінус 19,5 °С. Перехід температури повітря до позитивних значень відбувся 25.03.2003 р. Саме у цей зимовий сезон стійкий льодовий покрив спостерігався з 09.12.2002 р. до 12.02.2003 р., а сума опадів за грудень-березень склала 123 мм.

Розподіл стоку по сезонах і місяцях може описуватися згідно із типовою схемою, наведеною в [25]. Звідки витікає, що близько 50 % стоку р. В. Куяльник надходить до лиману у весняний сезон (III-V), а найменший приплив води спостерігається у осінній сезон (IX-XI) і становить 6 %. Розподіл стоку по характерним рокам був отриманий також на основі даних спостережень (табл. 2.1 і 2.2).

За фактичними даними більшу частину року річка пересихає. Практично відсутній стік у осінній сезон незалежно від водності року. У багатоводний рік стік спостерігається з лютого до липня включно. При переході до років меншої водності наявність стоку у руслі річки на протязі року зменшується до двох місяців (березень і квітень). Річка пересихає у сезони літо-осінь. Стік може також бути відсутнім і у зимовий сезон (XII-II). У багатоводний 2003 р. ($P = 7$ %) у р. В. Куяльник стік спостерігався до серпня місяця, у середній по водності рік – до травня місяця, у маловодний та дуже маловодний роки стік спостерігався лише у березні, квітні та травні.

Таблиця 2.1 – Внутрішньорічний розподіл стоку (P , %) характерних років по місяцях (на основі даних спостережень на р. В. Куяльник – с. Северинівка)

Рік	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Багатоводний рік, $P = 7\%$												
2003	43,8	37,3	9,61	0,43	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,59
Середній за водністю рік, $P = 50\%$												
1990	22,6	13,4	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,5	43,2
Маловодний рік, $P = 78\%$												
1987	70,5	29,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця 2.2 – Внутрішньорічний розподіл стоку (P , %) по сезонах у характерні роки (на основі даних спостережень на р. В. Куяльник – с. Северинівка)

Рік	P , %	Характеристика водності	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
2003	7	багатоводний	90,7	0,59	0,00	8,59
1990	50	середній за водністю	40,1	0,00	0,00	60,7
1987	78	маловодний	100	0,00	0,00	0,00

Це дозволяє зробити висновок, що головна частина стоку проходить через замикальний створ у період весняної повені, а підземне живлення відіграє у формуванні стоку відіграє дуже незначну роль.

Аналіз даних по стоку р. В. Куяльник дозволяє зробити висновки про недостатність даних спостережень за стоком для висновків про його вплив на формування гідроекологічного стану Куяльницького лиману та необхідність використання математичних моделей.

2.2 Визначення характеристик природного річного стоку за моделлю «клімат-стік»

Величини середнього багаторічного річного стоку (норма) річок Куяльницького лиману у природних (непорушених водогосподарською діяльністю умовах) визначалися за моделлю «клімат-стік» [26], описаною вище.

Для кожного з указаних водозборів за картами ізоліній визначалися кліматичні чинники формування стоку (норми річних опадів $\bar{X}$ та максимально можливого випаровування $\bar{E}_m$), а також норма річного кліматичного стоку $\bar{Y}_K$ (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Визначені за моделлю «клімат-стік» кліматичні чинники формування природного річного стоку та норма річного кліматичного стоку для річок водозбору Куяльницького лиману

Річка	Кліматичні чинники			Норма річного кліматичного стоку, $\bar{Y}_K$, мм
	$\bar{X}$, мм	$\bar{E}_m$, мм	$\bar{E}$, мм	
В. Куяльник	500	955	478	22
Довбока	480	970	462	18
Кубанка	475	975	458	17
Боковий приплив	465	980	450	15

Норма випаровування з поверхні суші $\bar{E}$ розраховувалася за формулою (1.9). Перехід від норм кліматичного до норм природного річного стоку виконувався на основі рівняння (1.12). Коефіцієнт переходу ураховує втрати стоку на водозборі, серед яких для Причорноморської низовини головне місце займає затримання поверхневого стоку у пониженнях рельєфу. Визначення коефіцієнтів варіації та коефіцієнтів асиметрії відбувалося за виразами (1.10) та (1.11). За розрахунками встановлено, що річний стік р. В. Куяльник становить 93 % припливу всіх прісних вод до Куяльницького лиману (табл. 2.4), у зв'язку з чим у подальшому аналізі розглядається тільки стік р. В. Куяльник.

Природний річний стік р. В. Куяльник у роки 0,1-відсоткової водності може досягати величин, які відповідають об'єму наповнення лиману (93-127 млн. м³). Проте у маловодні роки із забезпеченістю від 75 % та вище приплив прісних вод до лиману може наближатись до нульових значень (табл. 2.5). Це означає, що навіть при відсутності водогосподарської діяльності на водозборі р. В. Куяльник можливі роки, коли її пересихання спостерігається практично на протязі усього року.

Отриманий результат показує, що заборона будь-яких водогосподарських заходів не захистить річку від можливого обміління та пересихання у дуже маловодні роки, проте погіршення кліматичних умов погрожує збільшенням повторюваності випадків її пересихання.

Таблиця 2.4 – Статистичні параметри природного річного стоку

Річка	Норма кліматичного стоку, $\bar{Y}_K$, мм	Середня висота водозбору, H_{cp} , м	Площа водозбору, F , км ²	Перехідний коефіцієнт, K_2	Параметри природного річного стоку			
					$\bar{Y}_{PP}$, мм	$\bar{W}_{PP}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
В. Куяльник	22	120	1860	0,55	12	22,3	1,24	2,0
Довбока	18	65,6	68,3	0,36	6	0,410	1,77	3,0
Кубанка	17	62,5	129	0,35	6	0,774	1,86	3,0
Боковий приплив	15	38,5	136,7	0,28	4	0,548	2,28	4,0
Сумарний приплив прісних вод до лиману						24,0		

Таблиця 2.5 – Ординати кривої забезпеченості природного річного стоку при застосуванні закону три параметричного гама-розподілу С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля [27] для р. В. Куяльник

Розрахункова величина стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості, P , %							
	0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Шар стоку, мм	107	86	43	18	6,5	1,3	0,036	0,000
Об'єм стоку, млн. м ³	199	160	79	33	12	2,5	0,067	0,000
Витрата стоку, м ³ /с	6,31	5,08	2,51	1,05	0,38	0,078	0,002	0,000

2.3 Визначення характеристик побутового річного стоку за моделлю «клімат-стік»

Згідно із різними літературними джерелами у межах водозбору р. В. Куяльник головним чинником водогосподарської діяльності є штучні водойми – ставки, копані, водосховища, шлюзи в спрямленому руслі тощо. Так, у «Характеристиках ставків та водосховищ», наведених у довіднику по водним ресурсам (1987 р.) указується, що сумарна кількість ставків досягає 65, а водосховищ немає [25], при цьому зазначається, що сумарна площа водної поверхні штучних водойм становить 0,49 тис. га або 4,9 км², а сумарний їх

об'єм – 0,26 млн. м³. Тобто у дуже маловодні роки роки об'єм природного стоку буде менший об'єму необхідного для заповнення ставків. У довідковому посібнику 2011 р. видання [28] зазначається, що у межах водозбору р. В. Куяльник знаходиться 65 ставків та 1 водосховище з площею водної поверхні 0,54 тис. га або 5,4 км² та сумарним об'ємом 4,13 млн. м³, що становить 18 % від середньої величини річного стоку, який приймається рівним 22,9 млн. м³. У роботі Г.І. Швєбса та М.І. Ігошина [20] наводяться дані про те, що площа водної поверхні водосховища дорівнює 0,052 тис. га або 0,52 км² з загальним об'ємом 1,4 млн.м³ та корисним об'ємом 1,10 млн. м³, а об'єм ставків надається як рівний 2,73 млн. м³. Згідно із матеріалами Одеського управління по водному господарству (нині – Одеське обласне управління по водним ресурсам) указане водосховище має назву Силівського, окрім нього існує Северинівське водосховище із площею водної поверхні 0,015 км² та повним об'ємом 2,56 млн.м³. Відповідно сучасній паспортизації сумарна площа водної поверхні дорівнює штучних водойм 4,15 км², а загальний об'єм – 7,76 млн.м³. За даними, отриманими при експедиційних дослідженнях, які проводилися в ОДЕКУ у 2010 р. [24], площа водного дзеркала штучних водойм становила 6 млн. м² або 6 км², а їх загальна ємність – 15 млн. м³. Згідно з уточненими даними 2011 р. сумарна площа водного дзеркала усіх штучних водойм становить 6,5 км², а загальна ємність – 15,5 млн.м³.

Таким чином, відносна площа, яку займає водне дзеркало штучних водойм у межах усієї водозбірної площі р. В. Куяльник змінюється за різними даними від 0,22 % до 0,35 % (табл. 2.6). Загальна ємність штучних водойм також оцінюється у широких межах: від 4,13 млн. м³ до 15,5 млн.м³.

Таблиця 2.6 – Характеристики штучних водойм, розташованих на водозборі р. В. Куяльник в басейні Куяльницького лиману за різними літературними джерелами

Кількість штучних водойм	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	Площа водної поверхні, га	Площа водної поверхні, км ²	Відносна площа водної поверхні f_B , %
66	4,13	540	5,40	0,29
58	7,50	410	4,10	0,22
132	15,0	600	6,00	0,32
135	15,5	650	6,50	0,35

З метою оцінки наслідків впливу штучних водойм на характеристики річного стоку отримані за формулами (1.17)-(1.22) коефіцієнти антропогенного впливу та визначені статистичні параметри річного стоку р. В. Куяльник для відносних площ водозбору, які дорівнюють 0,20; 0,30 та 0,35 %.

Так само визначалися коефіцієнти втрат середніх багаторічних величин річного стоку на наповнення водою заданих сумарних ємностей, які змінюються від 2 до 15 млн. м³ (табл. 2.7). Коефіцієнт втрат визначався як відношення норми побутового стоку до норми природного. Норма побутового стоку визначалася через різницю об'ємів між нормою природного стоку та середнім багаторічним забором води на наповнення штучних водойм.

Антропогенний коефіцієнт втрат на заповнення визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{\text{ПР}} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{\text{ПР}}} = \frac{W_{\text{ПОБ}}}{W_{\text{ПР}}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (2.1)$$

де $\bar{W}_3$ – об'єм заповнення;

$k_{\bar{Y},3}$ – коефіцієнт втрат на заповнення штучних водойм.

Якщо прийняти, що відбувається щорічне заповнення усіх існуючих штучних водойм, то коефіцієнт втрат річного стоку буде дорівнювати 0,32, тобто зменшення середнього багаторічного річного стоку перевищить 70 %. Як видно із табл. 2.7, за умови що 50 % водойм щорічно пересихає і потребує свого заповнення, при сумарному об'ємі штучних водойм у 15 млн. м³ втрати на заповнення будуть становити 7,5 млн. м³, а відповідний коефіцієнт антропогенного впливу досягне значення 0,67, тобто витратиться 37 % річного стоку. За даними водного фонду Одеської області більше 80 % штучних водойм на сьогодні знаходиться у занедбаному стані і щорічно заповнюється у період водопіль чи паводків. Отже, втрати на заповнення штучних водойм можуть досягати 56 % від природного стоку р. В. Куяльник.

Розрахунки статистичних параметрів річного стоку при наявності на водозборі штучних водойм з відносною площею водної поверхні f_B , яка змінюється від 0,20 до 0,40 % (табл. 2.8), показали, що норма річного стоку зменшується за рахунок втрат на додаткове випаровування із водної поверхні у границях точності її розрахунку (± 10 %).

Зменшення норми річного стоку супроводжується зростанням мінливості та асиметрії статистичного розподілу величин річного стоку. У порівнянні із природним стоком різної забезпеченості (табл. 2.5) величини річного стоку у багатоводні роки майже не змінюються, але у роки 75-відсоткової забезпеченості зменшення річного стоку досягає 40 % (табл. 2.9).

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти антропогенного впливу на норму річного стоку р. В. Куяльник при заповненні штучних водойм ($\bar{Y}_{PP} = 22,3$ мм або $\bar{W}_{PP} = 22,3$ млн.м³)

Можливі величини об'ємів заповнення, млн. м ³	Коефіцієнт втрат річного стоку на заповнення штучних водойм
2,0	0,91
4,0	0,82
5,0	0,78
6,0	0,73
7,0	0,69
8,0	0,64
10,0	0,55
12,0	0,46
15,0	0,32

Таблиця 2.8 – Статистичні параметри побутового річного стоку р. В. Куяльник, визначені при різних площах водного дзеркала штучних водойм

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

Таблиця 2.9 – Ординати кривої забезпеченості побутового річного стоку р. В. Куяльник, визначені за умови, що $f_B = 0,40$ %

Розрахункова величина стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості P , %							
	0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Шар стоку, мм	107	86	42	16	5	0,78	0,003	0,00
Об'єм стоку, млн. м ³	199	160	78	30	9	1,5	0,01	0,00
Витрата стоку, м ³ /с	6,31	5,06	2,46	0,950	0,30	0,046	0,00	0,00

Були виконані розрахунки статистичних параметрів побутового річного стоку при різних об'ємах заповнення W_3 штучних водойм (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Статистичні параметри побутового річного стоку при різних об'ємах заповнення штучних водойм

Показники рівня водогосподарської діяльності		Параметри природного річного стоку				Параметри побутового річного стоку				
W_3 , млн. м ³	k_3	$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, млн. м ³	C_V	C_S	$\bar{Y}_{ПОБ}$, мм	$\bar{W}_{ПОБ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОБ}$, м ³ /с	C_V	C_S
2	0,91	12	22,3	1,24	2,0	10,9	20,3	0,644	1,27	2,16
7	0,69	12	22,3	1,24	2,0	8,28	15,4	0,488	1,50	2,57
15	0,32	12	22,3	1,24	2,0	3,84	7,14	0,226	2,43	4,13

Ординати кривої забезпеченості стоку, розраховані для середнього об'єму заповнення, який дорівнює 7 млн. м³, наведені у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Ординати кривої забезпеченості побутового річного стоку р. В. Куяльник при $\bar{W}_3 = 7$ млн. м³

Розрахункова величина стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості P , %							
	0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Шар стоку, мм	97,7	77,7	36,8	11,8	2,65	0,223	0,002	0,000
Об'єм стоку, млн. м ³	182	144	68,4	22,0	4,93	0,416	0,005	0,000
Витрата стоку, м ³ /с	5,76	4,58	2,17	0,698	0,156	0,013	0,001	0,000

Установлено, що середня багаторічна величина річного побутового стоку за рахунок втрат на заповнення буде зменшуватися на 31 % у порівнянні із природним. Величини річного побутового стоку для багатоводних років знизяться до 10 %, у маловодні – більше ніж на 90 % (табл. 2.11).

Втрати на заповнення штучних водойм та додаткове випаровування з водної поверхні посилюють дію одне одного (табл. 2.12).

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу для осереднених масштабів водогосподарської діяльності ($f_B = 0,30$ % та $W_3 = 7$ млн. м³) дорівнює 0,62. При цих масштабах відбуватиметься пересихання річки не тільки у дуже маловодні, а і у маловодні роки (табл. 2.13).

Таблиця 2.12 – Статистичні параметри побутового річного стоку з урахуванням втрат на додаткове випаровування та заповнення штучних водойм

Показники рівня водогосподарської діяльності					Параметри побутового річного стоку				
W_3 , млн. м ³	k_3	f_B , %	$k_{B\bar{Y}}$	k_{CUM}	$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	$\bar{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	C_V	C_S
7	0,69	0,30	0,93	0,62	7,44	13,8	0,439	1,61	2,74

Таблиця 2.13 – Ординати кривої забезпеченості побутового річного стоку з урахуванням втрат на додаткове випаровування ($f_B = 0,30$ %) та заповнення штучних водойм ($W_3 = 7$ млн. м³)

Розрахункова величина стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості, P , %							
	0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Шар стоку, мм	135	93	30	9	3	0,446	0,007	0,000
Об'єм стоку, млн. м ³	251	172	55	17	4,90	0,828	0,0138	0,000
Витрата стоку, м ³ /с	7,98	5,84	1,76	0,540	0,156	0,0263	0,000	0,000

3 ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ «КЛІМАТ-СТІК» ДО РОЗРАХУНКІВ СТОКУ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ВИКИДІВ

Глобальне потепління, яке спостерігається з 80-х рр. XX ст., може викликати не тільки зміни стоку річок та тимчасових водотоків у цілому за рік, а й обумовити його перерозподіл по місяцях та сезонах. У XX ст. значна роль у формуванні річного стоку (понад 70 %) належала опадам зимового сезону, коли закладалися умови для розвитку весняного водопілля. Збільшення температур повітря в зимовий сезон сприяє зменшенню глибини промерзання ґрунту, формуванню відлиг й зростанню інфільтрації талих та дощових вод у підстильні ґрунти та водоносні горизонти при незначному випаровуванні з поверхні ґрунту. Відлиги перешкоджають накопиченню снігу на водозборі. Зменшення або відсутність запасу води в сніговому покриві у зимовий сезон забезпечує зниження максимальних витрат води у період весняного водопілля. Збільшення фільтрації талих вод у підстильну поверхню сприяє підсиленню підземного живлення, що викликає збільшенню величини меженного стоку. У свою чергу, зростання температур повітря теплого періоду збільшує випаровування з водної поверхні та приводить до зростання втрат на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм.

3.1 Сценарії викидів

Сценарієм є правдоподібний і у багатьох випадках спрощений опис можливого майбутнього, який базується на низці взаємоузгоджених пропозицій. З точки зору змін клімату сценарій являє собою систему робочих гіпотез відносно можливого розвитку суспільства та його значення для клімату. Сценарії МГЕЗК (2007 р.) розглядають функціонування кліматичної системи та зміни клімату (перша робоча група), уразливість соціально-економічних та природних систем по відношенню до змін клімату, можливості пом'якшення наслідків змін клімату шляхом обмеження викиду парникових газів. Сценарії МГЕЗК часто називають сценаріями СДСВ за назвою узагальненої доповіді «Спеціальна доповідь по сценаріям викидів» [29].

Сценарій A1 характеризується високими темпами економічного зростання, максимальним населенням планети у середині поточного сторіччя із наступним зменшенням його численності, а також застосуванням нових технологій. Існує декілька варіантів сценарію A1. Один з них розглядає сумісне використання викопних й не викопних джерел енергії і називається A1В.

Сценарій A2 описує надзвичайно різномірний світ, для якого характерне збереження місцевих особливостей. Населення планети за цим сценарієм зростає, а різниця між регіонами залишається суттєвою.

Сценарій В1 описує світ, у якому згладжуються різниці між регіонами. Населення за цим сценарієм спочатку зростає, а потім зменшується, як і у сценарії А1. Цей сценарій передбачає скорочення споживання, впровадження нових технологій, які базуються на ефективному використанні ресурсів.

Сценарій В2 відрізняється менш інтенсивним зростанням населення, середнім рівнем економічного зростання та повільними, але різноспрямованими процесами технологічного розвитку. Суспільство у цьому сценарії надає перевагу охороні оточуючого середовища та забезпеченню соціальної справедливості.

Сценарій А2 розглядається як «жорсткий», А1В – як «помірний» та В1 – як «м'який» для території України [30].

Для території України потепління на 2011-2025 рр. збільшується із заходу на схід за сценарієм А1В, за сценарієм А2 можливе навіть похолодання у південній Україні, зростання річних температур відбуватиметься з південного заходу на північний схід за сценарієм В1. Суми річних опадів мають зменшуватися за сценарієм В1, зростати за сценарієм А1В та А2.

3.2 Методика визначення складових рівняння водно-теплого балансу при застосуванні сценаріїв викидів

Дослідження змін стоку в Україні проведені у вузлах регулярної сітки, обмеженої північними широтами 43,5° та 53,5° й східними довготами 21,25° та 41,25°. За указаними сценаріями для кожного вузла використовувалися середні місячні опади, температури повітря по місяцях та вологість ґрунту для періоду 2011-2025 рр. Така інформація дозволяє виконувати розрахунки стоку та місяцях та сезонах з використанням рівняння водно-теплого балансу виду (1.6), яке для умов змін клімату прийме вигляд

$$\bar{Y}'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.1)$$

де $\bar{Y}'_K$ – величина кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

E'_m – величина максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

X' – сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

$(w_1 - w_2)'$ – зміна запасів води у ґрунті за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм.

Величина E'_m розраховується за (1.5) із використанням середніх місячних температур повітря, наведених у сценаріях.

Проблема розрахунків кліматичного стоку за внутрішньорічні інтервали полягає у урахуванні процесу накопичення снігозапасів на водозборі за зимовий сезон та подальшої їх участі у формуванні весняного водопілля. Більша частина твердих опадів зимового сезону приймає участь у формуванні стоку не зимового, а весняного, та іноді, й літнього сезонів. З метою установлення цієї частки було виконане співставлення розрахункових значень кліматичного та фактичного стоку по сезонах і місяцях у різні за водністю роки. Визначення кліматичного стоку відбувалося на базі даних метеорологічних станцій, розташованих поблизу від вузлів сітки із сценарними даними. Таким же чином підбирався водозбір із стійким підземним живленням та практично непорушеним водогосподарською діяльністю стоком. Шляхом оптимізаційних розрахунків визначалися частки опадів зимового сезону, які мають бути перенесеними на весняний сезон у багатоводні, маловодні та середні за водністю роки для отримання задовільного збігу фактичних та розрахованих величин стоку (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Частка опадів (%), що переносяться із зимового сезону на весняний і приймає участь у формуванні стоку весняного сезону (в середній за водністю рік)

Сезон	Багатоводний рік	Середній за водністю рік	Маловодний рік
Весна	1,00	0,00	0,00
Літо	0,00	0,00	0,00
Осінь	0,00	0,00	0,00
Зима	0,30	0,15	0,00

Для розрахунків за (3.1) необхідні дані не тільки про річну величину $E'_{m,pik}$, а й про її розподіл по місяцям року. Величина максимально можливого випаровування $E'_{m,pik}$ визначалася для кожного року за сценарними даними про температури повітря із використанням (1.5). Розподіл максимально можливого випаровування по місяцях можна отримати за внутрішньорічним розподілом дефіциту вологи у повітрі

$$E'_{m,i} = E'_{m,pik} \frac{d_i}{\sum_{i=1}^{12} d_i}, \quad (3.2)$$

де $E'_{m,i}$ – максимально можливе випаровування для кожного розрахункового місяця або сезону;

$E'_{m,pik}$ – річне значення максимально можливого випаровування;

d_i – значення дефіциту вологи у повітрі.

Оскільки у розглянутих сценаріях відсутні матеріали про дефіцит вологи у повітрі, для кожного із вузлів сітки даних були отримані залежності, що дозволяють визначати дефіцит вологи за температурою повітря. Для території північно-західного Причорномор'я такими станціями є Ізмаїл та Вознесенськ (табл. 3.2). Розрахунки характеристик стоку відбувалися шляхом інтерполяції між двома указаними в табл. 3.2 вузлами.

Таблиця 3.2 – Координати розглянутих вузлів сітки та метеорологічні станції, розташовані поблизу цих вузлів у північно-західному Причорномор'ї

6	47,5-31,25	Вознесенськ	$d_i = 1,300 \cdot e^{0,109 \cdot T}$
8	45,5-28,75	Ізмаїл	$d_i = 1,214 \cdot e^{0,101 \cdot T}$

При застосуванні даних прогнозів за сценаріями типу A2, A1B, B1 до розрахунків місячних та сезонних величин стоку за рівнянням водно-теплого балансу пропонується використовувати наступну послідовність розрахунків [31]:

- визначення положення вузлової точки, для якої наведені прогнозні сценарні дані;
- визначення місячних, сезонних та річних сум опадів для кожної вузлової точки;
- розрахунки річних величин максимально можливого випаровування за місячними даними про температуру повітря на базі рівняння (1.5);
- розрахунки значень дефіцитів вологості повітря по даним про температури повітря, для чого використовуються емпіричні залежності $d_i = f(T_i)$, побудовані за даними метеорологічної станції, розташованої поблизу вузла сітки;
- установлення внутрішньорічного розподілу максимально можливого випаровування;
- визначення водності року по забезпеченості співвідношення β_H , тобто за співвідношенням ресурсів тепла та вологи;
- розрахунки кліматичного стоку по місяцях та сезонах за рівнянням водно-теплого балансу.

Тривалість зимового сезону приймається в залежності від температур повітря, яка має бути від'ємною, що забезпечує накопичення запасів вологи у снігу та формування весняного водопілля. При додатних значеннях середніх місячних температур повітря розрахунки стоку виконуються по місяцях і переносу накопичених запасів вологи у снігу на наступні місяці не відбувається.

3.3 Визначення річного та внутрішньорічного розподілу стоку за сценаріями викидів

Розрахунки стоку, виконані на базі моделі «клімат-стік» [31], показали, що середня величина річного кліматичного (обумовленого лише кліматичними чинниками) стоку на період 2011-2025 рр. для території північно-західного Причорномор'я може зрости до 24 % – за кліматичним сценарієм A1B, зменшитися на 35 % – за сценарієм B1, збільшитися на 44 %– за сценарієм A2. Згідно із сценарієм A1B може зростати стік літнього сезону, що обумовлюється збільшенням внеску у формування річного стоку дощових опадів. За сценарієм B1 кліматичний стік літнього та осіннього сезонів буде зменшуватись. При розвитку подій за сценарієм A2 зростатиме роль сезону весна (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Внутрішньорічний розподіл кліматичного стоку малих та середніх річок північно-західного Причорномор'я (у відсотках від річної величини)

Сценарій	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
Типовий розподіл до 1989 р.	78,6	9,70	1,90	9,80
A1B	71,0	17,4	0,70	10,9
B1	83,5	3,50	0,65	12,3
A2	85,7	7,30	0,61	6,40

За отриманою інформацією були визначені характеристики природного річного стоку р. В. Куяльник в умовах різних сценаріїв глобального потепління (табл. 3.4). При цьому розглядався випадок відсутності чинників водогосподарської діяльності, насамперед штучних водойм, тобто $f_B = 0,00$ % та $W_3 = 0,00$ млн. м³.

Таблиця 3.4 – Характеристики річного стоку р. В. Куяльник за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,00\%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарії	Норма кліматичного стоку, $\bar{Y}_K$, мм	Параметри річного стоку				
		$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПР}$, м ³ /с	C_V	C_S
Вихідний стан	22	12	22,3	0,708	1,34	2,29
A1B	27	15	27,9	0,885	1,18	2,00
B1	14	7,7	14,3	0,454	1,74	2,98
A2	32	18	33,5	1,06	1,05	1,79

Згідно із сценаріями A1B та A2 р. В. Куяльник буде пересихати лише у роки 99-відсоткової забезпеченості (табл. 3.5). За сценарієм B1 будуть наближатися до нуля величини річного стоку як дуже маловодних років (99-відсоткової та 95-відсоткової забезпеченості), так і маловодних (75-відсоткової забезпеченості) років.

Таблиця 3.5 – Ординати кривих забезпеченостей річного стоку за сценаріями глобального потепління ($f_B = 0,00\%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарії	Параметри річного стоку	Значення річного стоку заданої забезпеченості, P , %							
		0,01	0,1	5	25	50	75	95	99
Вихідний стан	$W_{ПР}$, млн.м ³	199	160	79,2	33,1	12,0	2,46	0,060	0,000
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	6,31	5,08	2,51	1,05	0,380	0,078	0,002	0,000
A1B	$W_{ПР}$, млн.м ³	249	200	99,0	41,6	14,9	3,10	0,003	0,000
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	7,89	6,35	3,14	1,32	0,472	0,098	0,008	0,000
B1	$W_{ПР}$, млн.м ³	289	193	61,5	17,8	4,45	0,720	0,000	0,000
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	9,17	6,13	1,95	0,563	0,141	0,023	0,000	0,000
A2	$W_{ПР}$, млн.м ³	269	218	110	41,6	40,1	5,36	0,270	0,000
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	8,52	6,90	3,48	1,32	1,58	0,170	0,009	0,000

Внутрішньорічний розподіл стоку за сценаріями (табл. 3.6) розрахований за типовим розподілом у середній за водністю рік, наведеним у табл. 3.3.

Таблиця 3.6 – Внутрішньорічний розподіл природного стоку р. В. Куяльник у середній за водністю рік за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{ПР}$, млн.м ³	17,5	2,16	0,450	2,19	22,3
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	2,23	0,270	0,050	0,280	0,708
A1B	$W_{ПР}$, млн.м ³	19,8	4,85	0,200	3,05	27,9
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	2,51	0,620	0,020	0,390	0,885
B1	$W_{ПР}$, млн.м ³	11,9	0,500	0,09	1,76	14,3
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	1,52	0,060	0,010	0,220	0,454
A2	$W_{ПР}$, млн.м ³	28,7	2,45	0,200	2,10	33,5
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	3,63	0,310	0,030	0,270	1,06

Наступним етапом досліджень було визначення характеристик побутового річного стоку у середній за водністю рік з урахуванням впливу додаткового випаровування з поверхні водного дзеркала штучних водойм для різних сценаріїв глобального потепління. Для кожного із сценаріїв глобального потепління були отримані середні за розрахунковий інтервал (сезон) об'єми стоку та витрати (табл. 3.7 і 3.8). Установлено, що найменші витрати побутового стоку досягають 0,011м³/с у сезон літо за сценарієм B1.

Таблиця 3.7 – Характеристики річного побутового стоку р. В. Куяльник за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарії	Норма природного стоку, $\bar{Y}_{ПР}$, мм	Коефіцієнти антропогенного впливу			Параметри річного стоку				
		$k_{\bar{Y}}$	k_{C_V}	k_{C_S}	$\bar{Y}_{ПОБ}$, мм	$\bar{W}_{ПОБ}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{ПОБ}$, м ³ /с	C_V	C_S
Вихідний стан	12	0,93	1,05	1,04	11	20,5	0,649	1,30	2,08
A1B	15	0,94	1,05	1,04	14	26,0	0,826	1,24	2,08
B1	7,7	0,92	1,06	1,04	7	13,0	0,413	1,84	3,10
A2	18	0,95	1,05	1,04	17	31,6	1,000	1,10	1,86

Таблиця 3.8 – Внутрішньорічний розподіл побутового стоку р. В. Куяльник у середній за водністю рік за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	16,1	1,99	0,390	2,01	20,5
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	2,07	0,256	0,050	0,258	0,649
A1B	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	18,7	4,52	0,182	2,83	26,0
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	2,37	0,582	0,023	0,364	0,826
B1	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	10,9	0,455	0,085	1,60	13,0
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	1,40	0,059	0,012	0,206	0,413
A2	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	27,1	2,31	0,193	2,02	31,6
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	3,48	0,297	0,025	0,260	1,00

Сумісне урахування додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм та втрат на їх заповнення для кожного із наведених сценаріїв при осереднених розмірах водогосподарської діяльності ($f_B = 0,30 \%$ та $W_3 = 7,00$ млн. м³) надане в табл. 3.9 і 3.10. Згідно із цим прогнозом найменша витрата досягне значення 0,005 м³/с за сезон осінь для сценарію B1.

Таблиця 3.9 – Характеристики річного побутового стоку р. В. Куяльник за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарії	$\bar{Y}_{\text{ПР}}$, мм	$\bar{W}_{\text{ПР}}$, млн. м ³	$k_{\bar{Y},3}$	$k_{\bar{Y}}$	$k_{\bar{Y},\text{СУМ}}$	Параметри побутового річного стоку				
						$\bar{Y}_{\text{ПОБ}}$, мм	$\bar{W}_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$\bar{Q}_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	C_V	C_S
Вихідний стан	12	22,3	0,67	0,93	0,60	7	13,0	0,413	1,86	3,16
A1B	15	27,9	0,74	0,94	0,68	10	18,6	0,590	1,50	2,55
B1	7,7	14,3	0,51	0,92	0,43	3	5,58	0,177	3,09	5,25
A2	18	33,5	0,79	0,95	0,74	13	24,2	0,767	1,28	2,18

Таблиця 3.10 – Внутрішньорічний розподіл побутового стоку р. В. Куяльник у середній за водністю рік за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	10,2	1,26	0,247	1,27	13,0
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	1,31	0,162	0,034	0,164	0,413
A1B	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	13,2	3,24	0,130	2,03	18,6
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	1,70	0,416	0,017	0,261	0,590
B1	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	4,66	0,195	0,036	0,686	5,58
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	0,599	0,025	0,005	0,088	0,177
A2	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	20,7	1,77	0,148	1,55	24,2
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	2,67	0,227	0,019	0,199	0,199

За період з 2011-2025 рр. були виділені багатоводні й маловодні роки для яких отримано внутрішньорічний розподіл величин стоку у відсотках від стоку за рік (табл. 3.11 і 3.12).

Таблиця 3.11 – Внутрішньорічний розподіл кліматичного стоку малих та середніх річок північно-західного Причорномор'я (у відсотках від річної величини) для багатоводного року

Сценарій	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
Типовий розподіл до 1989 р.	78,6	11,8	3,70	7,80
A1B	63,8	35,1	0,88	0,28
B1	85,2	7,30	0,42	7,20
A2	88,1	11,0	0,45	0,40

Таблиця 3.12 – Внутрішньорічний розподіл кліматичного стоку малих та середніх річок північно-західного Причорномор'я (у відсотках від річної величини) для маловодного року

Сценарій	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
Типовий розподіл до 1989 р.	86,4	8,00	0,00	5,60
A1B	98,5	0,00	0,45	1,08
B1	95,0	0,02	0,00	5,05
A2	65,5	0,15	6,70	27,8

За сценарієм А1В у багатоводні роки внесок сезону «весна» зменшується у порівнянні із станом до 1989 р., а у сезон літо збільшується. За сценарієм В1 відбувається зростання внеску весняного сезону, проте частка стоку усіх інших сезонів зменшується. За сценарієм А2 зростання частки стоку весняного сезону супроводжується її зменшенням восени та взимку.

Під маловодними роками по відношенню до р. В. Куяльник слід розуміти роки 75-відсоткової забезпеченості річного стоку. У дуже маловодні роки ця річка пересихає навіть у природних умовах. У маловодні роки 75-відсоткової забезпеченості практично «зникає» стік літнього сезону. За сценарієм А2 зменшується внесок сезону весна та зростає роль зимового сезону при формування річного стоку (табл. 3.12).

За аналогією із попередніми розрахунками визначався розподіл природного стоку по сезонах у багатоводні та маловодні роки для кожного із розглянутих сценаріїв (табл. 3.13 і 3.14).

Найбільші сезонні витрати у багатоводний рік спостерігаються у сезон весна та дорівнюють $31,1 \text{ м}^3/\text{с}$ – за сценарієм А2. У багатоводні роки річка не пересихає (табл. 3.13).

У маловодні роки (табл. 3.14) річка буде пересихати у сезони літо та осінь за сценарієм А1В і В1. Найбільші витрати весняного сезону спостерігатимуться за сценарієм А2. Взимку маловодних років 75-відсоткової забезпеченості найменша витрата дорівнює $0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ (сценарій А1В).

Для установлення розподілу побутового стоку по сезонах у багатоводні та маловодні роки різної забезпеченості за даними про статистичні параметри річного побутового стоку були установлені значення річного стоку у роки різної водності (табл. 3.15).

Таблиця 3.13 – Внутрішньорічний розподіл природного стоку р. В. Куяльник у багатоводний рік за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00 \text{ млн. м}^3$)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{\text{ПР}}, \text{ млн. м}^3$	61,2	11,8	3,70	6,08	77,9
	$Q_{\text{ПР}}, \text{ м}^3/\text{с}$	7,77	1,17	0,370	0,770	2,47
А1В	$W_{\text{ПР}}, \text{ млн. м}^3$	56,7	31,1	0,780	0,240	88,8
	$Q_{\text{ПР}}, \text{ м}^3/\text{с}$	7,20	3,96	0,100	0,030	2,82
В1	$W_{\text{ПР}}, \text{ млн. м}^3$	49,7	4,25	0,245	4,18	58,3
	$Q_{\text{ПР}}, \text{ м}^3/\text{с}$	6,31	0,530	0,030	0,530	1,85
А2	$W_{\text{ПР}}, \text{ млн. м}^3$	87,1	10,9	0,445	0,396	98,9
	$Q_{\text{ПР}}, \text{ м}^3/\text{с}$	11,1	1,38	0,060	0,050	3,14

Таблиця 3.14 – Внутрішньорічний розподіл природного стоку р. В. Куяльник у маловодний рік (75-відсоткової забезпеченості) за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,00\%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{ПР}$, млн.м ³	2,12	0,197	0,000	0,138	2,46
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	0,027	0,025	0,000	0,017	0,078
A1B	$W_{ПР}$, млн.м ³	3,06	0,000	0,000	0,034	3,11
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	0,386	0,000	0,002	0,004	0,098
B1	$W_{ПР}$, млн.м ³	0,680	0,000	0,000	0,034	0,716
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	0,087	0,000	0,000	0,005	0,023
A2	$W_{ПР}$, млн.м ³	3,51	0,008	0,359	1,49	5,36
	$Q_{ПР}$, м ³ /с	0,445	0,001	0,046	0,189	0,170

Таблиця 3.15 – Ординати кривих забезпеченостей річного стоку за сценаріями глобального потепління ($f_B = 0,30\%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарії	$\overline{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	$\overline{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	C_V	C_S	$\overline{W}_{ПОВ}$ та $\overline{Q}_{ПОВ}$ різної P	Забезпеченість, P , %			
						6,25	50	75	93,75
Вихідний стан	13,0	0,413	1,86	3,16	$\overline{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	61,1	3,08	0,000	0,000
					$\overline{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	1,94	0,098	0,000	0,000
A1B	18,6	0,590	1,50	2,55	$\overline{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	76,1	28,6	0,186	0,000
					$\overline{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	2,41	0,909	0,006	0,000
B1	5,58	0,177	3,09	5,25	$\overline{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	30,9	0,000	0,000	0,000
					$\overline{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	0,980	0,000	0,000	0,000
A2	24,2	0,767	1,28	2,18	$\overline{W}_{ПОВ}$, млн. м ³	88,6	14,0	2,83	0,000
					$\overline{Q}_{ПОВ}$, м ³ /с	2,81	0,440	0,090	0,000

Згідно із установленим внутрішньорічним розподілом у характерні за водністю роки (табл.3.11 і 3.12) були визначені сезонні величини стоку для багатоводних та маловодних років (табл. 3.16 і 3.17).

Таблиця 3.16 – Внутрішньорічний розподіл побутового стоку р. В. Куяльник у багатоводний рік за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30\%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	48,0	7,20	2,26	4,77	61,1
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	6,10	0,920	0,290	0,610	1,94
A1B	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	48,6	26,7	0,670	0,210	76,1
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	6,15	3,38	0,080	0,030	2,41
B1	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	26,3	2,26	0,130	2,22	30,9
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	3,34	0,290	0,016	0,280	0,980
A2	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	78,1	9,75	0,400	0,350	88,6
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	9,91	1,24	0,051	0,044	2,81

Таблиця 3.17 – Внутрішньорічний розподіл побутового стоку р. В. Куяльник у маловодний рік (75-відсоткової забезпеченості) за даними сценаріїв глобального потепління на 2011-2025 рр. ($f_B = 0,30\%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Параметри стоку	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)	Рік
Типовий розподіл до 1989 р.	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1B	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	0,180	0,000	0,001	0,002	0,186
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	0,020	0,000	0,000	0,000	0,006
B1	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A2	$W_{\text{ПОБ}}$, млн.м ³	1,85	0,004	0,190	0,790	2,83
	$Q_{\text{ПОБ}}$, м ³ /с	0,060	0,000	0,006	0,100	0,090

4 НАКОПИЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРІСНИХ ВОД У КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ВИКИДІВ

Водний баланс Куяльницького лиману складається із прихідних та витратних складових. До прихідних відносяться опади X_B , які випадають на водне дзеркало лиману, площа якого становить у середньому за багаторічний період 56 км^2 , та стік річок, до витратних – втрати на випаровування із водної поверхні E_B . За даними В.М. Тімченка [21] приплив поверхневих вод до Куяльницького лиману становить $13,2 \text{ млн. м}^3$, що узгоджується із розрахунками за моделлю «клімат-стік», згідно із якою об'єм побутового стоку при осереднених масштабах водогосподарської діяльності становить $13,8 \text{ млн. м}^3$. Надходження води за рахунок опадів оцінюється цим же автором у $28,0 \text{ млн. м}^3$, а витрати на випаровування – у $45,2 \text{ млн. м}^3$.

Випаровування з водної по метеостанції (м./ст.) «Болград» становило 850 мм у 60-ті роки ХХ ст., що у перерахунку до солоних вод Куяльницького лиману становить 530 мм [6, 7, 32-35] або $29,6 \text{ млн. м}^3$.

За просторовими узагальненнями моделі «клімат-стік» середня багаторічна сума річних опадів, які надходять на водне дзеркало Куяльницького лиману дорівнює 475 мм (до 80-х років ХХ ст.) [6, 13, 33]. При площі водного дзеркала у 56 км^2 об'єм надходження води від опадів дорівнює $26,6 \text{ млн. м}^3$. Випаровування з водної поверхні лиману за середній багаторічний період становить 700 мм по м./ст. «Болград», що у перерахунку до солоної води Куяльницького лиману дорівнює 435 мм . Таким чином, за рахунок втрат на випаровування з водної поверхні об'єм лиману поповнюється лише на 40 мм або $2,24 \text{ млн. м}^3$. Таким чином, приплив води від р. В. Куяльник до Куяльницького лиману має відігравати значну роль у формуванні його водного та екологічного режимів.

Для визначення об'єму вод, які знаходяться у лимані у різні за водністю роки, були визначені об'єми стоку річного та сезонного стоку, які надходять від р. В. Куяльник до лиману у різних кліматичних умовах, заданих сценаріями. Водні ресурси р. В. Куяльник розглядалися як при відсутності впливу водогосподарської діяльності ($f_B = 0,00 \text{ \%}$; $W_3 = 0,00 \text{ млн. м}^3$), так і при її середніх масштабах ($f_B = 0,30 \text{ \%}$; $W_3 = 7,00 \text{ млн. м}^3$). Середньомісячні та річні величини випаровування з водної поверхні E_B для Куяльницького лиману визначалися із використанням зв'язку (рис. 4.1) між випаровуванням з водної поверхні E_B , установленим для м./ст. «Болград», розташованої на оз. Ялпуг, та випаровуванням із водної поверхні лиману (E_K , мм). Обґрунтування залежності, наведеної на рис. 4.1, надане у роботі [7]. Різниця між випаровуванням обумовлена, насамперед, різницею у солоності вод розглядуваних водойм, води оз. Ялпуг – як прісні, а води Куяльницького лиману – як солоні.

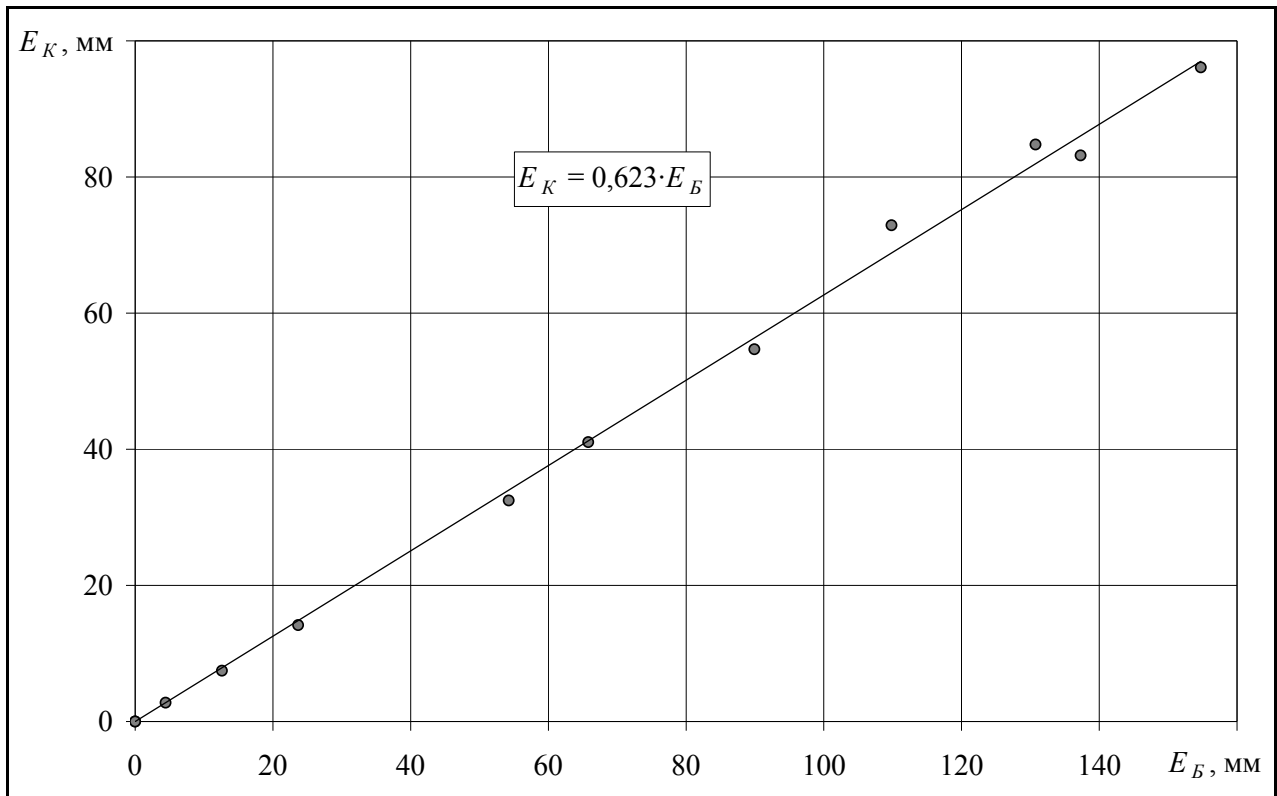


Рисунок 4.1 – Зв'язок $E_K = f(E_B)$ середніх багаторічних місячних величин випаровування з поверхні солоного Куяльницького лиману та прісного оз. Ялпуг [7]

Розрахунки виконувалися в два етапи. На першому етапі за залежністю, приведеною на рис. 4.2, визначалися величини E_B за середньомісячними температурами повітря по м./ст. «Одеса-ГМО». При цьому використовувалися дані про температуру повітря, наведені у сценаріях глобального потепління у вузлах сітки, що відповідають положенню м./ст. «Ізмаїл» та м./ст. «Вознесенськ». Ці дані були приведені до точки, яка відповідає координатам м./ст. «Одеса-ГМО» шляхом інтерполяції. На другому етапі визначалися значення випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману як солоної водойми в залежності від значень випаровування з водної поверхні прісного оз. Ялпуг при сценарних температурах повітря. В результаті були розраховані сумарні об'єми прісних вод, які надходять до лиману.

Об'єм води, який надходить від опадів, які частково або повністю витрачаються на випаровування, що описується формулою

$$W_{X_B - E_B} = W_{\text{ЛИМ}} \cdot (X_B - E_B) \cdot F_B, \quad (4.1)$$

де $W_{X_B - E_B}$ – об'єм прісних вод, які надходять до лиману;

X_B – опади, які випадають на водну поверхню лиману;

E_B – випаровування з водної поверхні;

F_B – площа водної поверхні лиману.

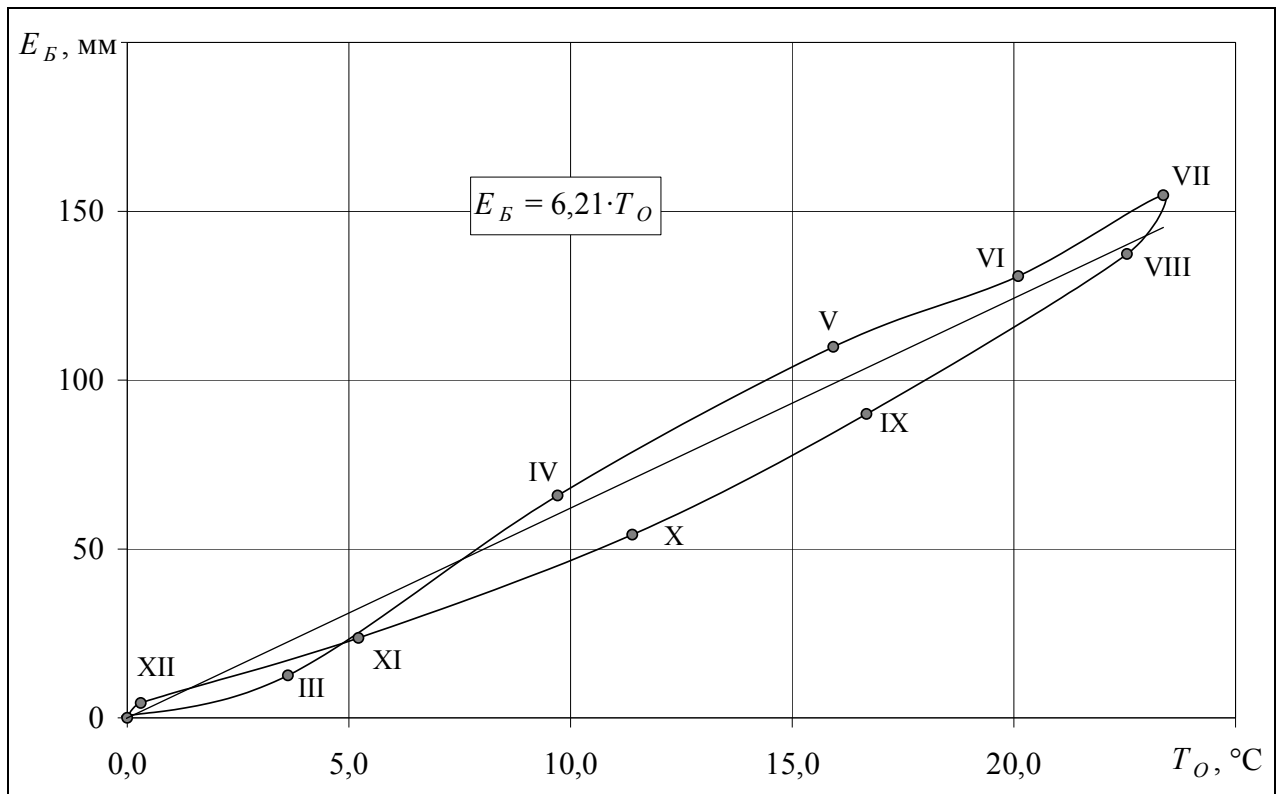


Рисунок 4.2 – Зв'язок місячних величин випаровування, E_B , мм (по м./ст. «Болград» на оз. Ялпуг) та середньомісячних температур повітря, T_O , °C (по м./ст. «Одеса-ГМО»), за 1960-2007 рр. [7]

Опис визначення об'ємів води, які надходять від р. В. Куяльник до лиману при різних кліматичних умовах $W_{ПР}$ та рівнях водогосподарської діяльності $W_{ПОБ}$, наведений у попередніх розділах.

Сумарний приплив води визначався як алгебраїчна сума об'ємів води, які сформувалися за рахунок стоку р. В. Куяльник у природних $W_{ПР}$ або порушених водогосподарською діяльністю $W_{ПОБ}$ умовах та випадіння опадів на водну поверхню лиману

$$\sum W = (X_B - E_B)F_B + W_{ПР}, \quad (4.2)$$

$$\sum W = (X_B - E_B)F_B + W_{ПОБ}. \quad (4.3)$$

При розрахунках припливу води по роках початковий (накопичений за попередні інтервали) об'єм приймався рівним нулю. При розрахунках по сезонах ураховувалося накопичення води у водоймі на протязі попереднього сезону.

За залежністю (рис. 4.3) були установлені значення рівнів води у лимані по роках різної водності та їх сезонах для різних сценаріїв глобального потепління (табл. 4.1-4.8).

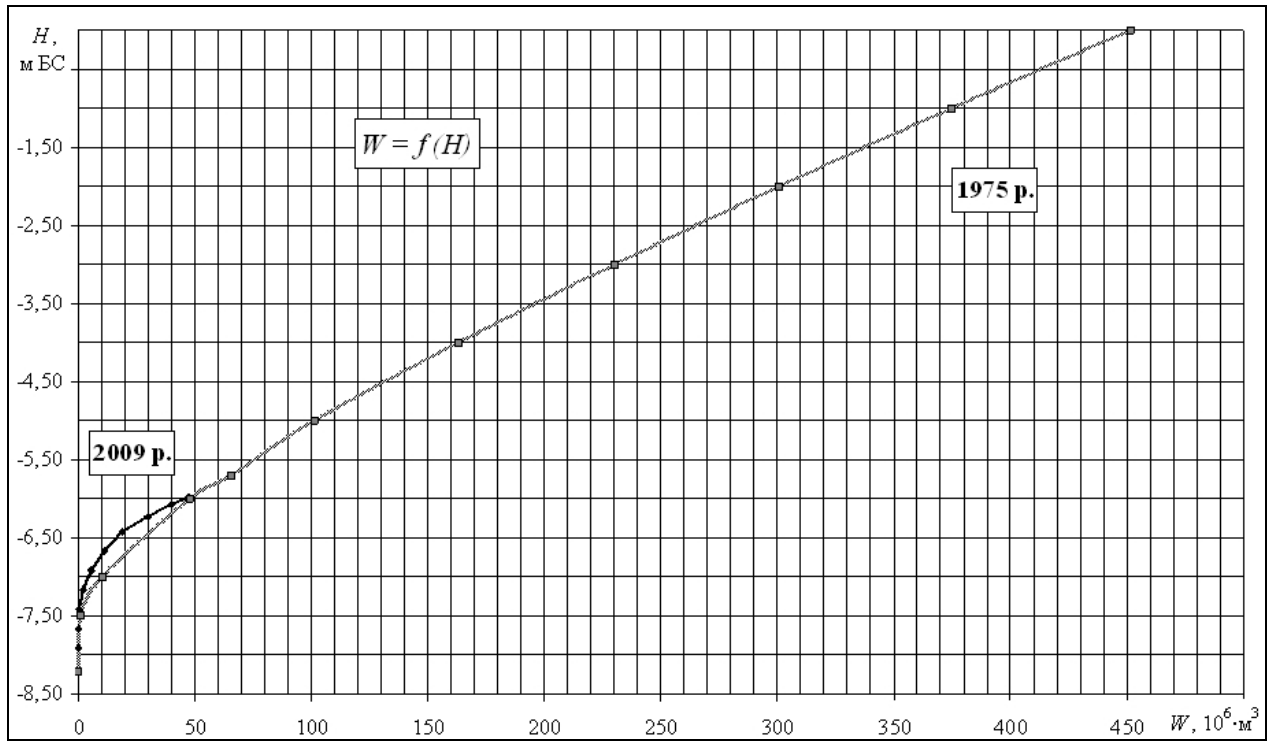


Рисунок 4.3 – Крива об’ємів води $W = f(H)$ Куяльницького лиману [6]

Таблиця 4.1 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління у різні за водністю роки для природних умов ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. m^3)

Водність	Сценарій	$(X_B - E_B)$, мм	F_B , км ²	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. m^3	$W_{\text{ПР}}$, млн. m^3	ΣW , млн. m^3	H , м ум.
Багатоводний	A1B	396	56	22,20	99,0	121,20	2,40
Середній	A1B	46	56	2,58	27,9	30,48	0,81
Маловодний	A1B	-289	56	-16,20	3,10	-13,10	-1,44
Багатоводний	A2	267	56	14,90	110	124,90	2,53
Середній	A2	15	56	0,84	33,5	34,34	0,91
Маловодний	A2	-97	56	-5,43	5,36	-0,07	-1,44
Багатоводний	B1	105	56	5,88	61,5	67,38	1,41
Середній	B1	-17	56	-0,95	14,3	13,35	0,49
Маловодний	B1	-276	56	-15,50	0,72	-14,78	-1,44

Таблиця 4.2 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління у різні по водності роки ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Водність	$(X_B - E_B)$, мм	F_B , км ²	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	ΣW , млн. м ³	Н, м ум.
A1B	Багатоводний	396	56	22,18	76,10	98,28	1,99
	Середній	46	56	2,58	18,60	21,18	0,66
	Маловодний	-289	56	-16,20	0,00	-16,20	-1,44
A2	Багатоводний	267	56	14,95	88,60	103,55	2,11
	Середній	15	56	0,84	24,20	25,04	0,74
	Маловодний	-97	56	-5,43	0,00	-5,43	-1,44
B1	Багатоводний	105	56	5,88	30,90	36,78	0,76
	Середній	-17	56	-0,95	5,58	4,63	0,12
	Маловодний	-276	56	-15,50	0,00	-15,50	-1,44

Таблиця 4.3 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік для природних умов ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	76	19,8	4,26	24,1	0,74	-116	4,85	-6,50	22,4	0,69
B1	66	11,9	3,70	15,6	0,51	-180	0,50	-10,1	6,00	0,17
A2	85	28,7	4,76	33,5	0,88	-123	2,45	-6,89	29,0	0,83

Продовження табл. 4.3

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_L + W_O + W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_L + W_O + W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-33	0,20	-1,85	20,8	0,66	112	3,04	6,27	30,1	0,86
B1	-47	0,09	-2,63	3,50	0,01	125	1,76	7,00	12,2	0,48
A2	-38	0,20	-2,13	27,1	0,79	129	2,10	7,22	36,4	0,94

Таблиця 4.4 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	76	18,5	4,26	22,8	0,70	-116	4,52	-6,50	20,8	0,66
B1	66	10,9	3,70	14,6	0,51	-180	0,455	-10,1	5,00	0,11
A2	85	27,1	4,76	31,9	0,88	-123	2,31	-6,89	27,3	0,79

Продовження табл. 4.4

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_{\text{Л}} + W_O)$, млн. м ³	Н, м ум.	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_{\text{Л}} + W_O + W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-33	0,18	-1,85	19,1	0,62	112	2,83	6,27	28,2	0,81
B1	-47	0,08	-2,63	2,40	-0,09	125	1,60	7,00	11,0	0,39
A2	-38	0,19	-2,13	25,3	0,76	129	2,02	7,22	34,6	0,90

Таблиця 4.5 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік для природних умов ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПР}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{\text{ПР}}$, млн. м ³	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B + W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	136	56,7	7,62	64,3	1,36	-58	31,1	-3,25	92,2	1,89
B1	140	49,7	7,83	57,5	1,28	-100	4,25	-5,61	56,2	1,26
A2	157	87,1	8,78	95,9	1,99	-91	10,9	-5,08	101,7	2,08

Продовження табл. 4.5

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л^+}+W_O)$, млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л^+}+W_O++W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-26	0,780	-1,45	91,5	1,88	147	0,24	8,26	100	2,06
B1	-46	0,245	-2,57	53,9	1,25	184	4,18	10,33	68,4	1,39
A2	2	0,445	0,10	102,2	2,08	182	0,396	10,21	112,8	2,31

Таблиця 4.6 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік ($f_B = 0,30\%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B+W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	136	48,6	7,62	56,2	1,26	-58	26,7	-3,25	79,7	1,60
B1	140	26,3	7,83	34,1	0,88	-100	2,26	-5,61	30,8	0,87
A2	157	78,1	8,78	86,9	1,81	-91	9,75	-5,08	91,5	1,88

Продовження табл. 4.6

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л^+}+W_O)$, млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л^+}+W_O++W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-26	0,67	-1,45	78,9	1,60	147	0,21	8,26	87,4	1,81
B1	-46	0,13	-2,57	28,3	0,81	184	2,22	10,33	40,9	1,01
A2	2	0,40	0,10	92,0	1,88	182	0,35	10,21	102,6	2,12

Таблиця 4.7 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік для природних умов ($f_B = 0,00 \%$; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B+W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-26	3,06	-1,45	1,61	-0,19	-263	0	-14,70	-13,1	-1,40
B1	0	0,68	0,02	0,70	-0,22	-283	0	-15,85	-15,2	-1,40
A2	100	3,51	5,61	9,12	0,38	-200	0,08	-11,23	-2,02	-1,40

Продовження табл. 4.7

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л}++W_O)$, млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{Л}++W_O++W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-74	0	-4,12	-17,2	-1,40	52	0,034	2,92	-14,3	-1,40
B1	-94	0	-5,27	-20,4	-1,40	46	0,034	2,58	-17,8	-1,40
A2	-28	0,36	-1,57	-3,2	-1,40	155	1,49	8,69	6,94	0,31

Таблиця 4.8 – Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік ($f_B = 0,30 \%$; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Сезон									
	Весна (III-V)					Літо (VI-VIII)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	ΣW_B , млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{ПР}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B+W_L)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-26	0,180	-1,45	-1,3	-1,40	-263	0	-14,70	-16,0	-1,40
B1	0	0	0,02	0	-1,40	-283	0	-15,85	-15,8	-1,40
A2	100	1,85	5,61	7,5	0,31	-200	0,004	-11,23	-3,8	-1,40

Продовження табл. 4.8

Сценарій	Сезон									
	Осінь (IX-XI)					Зима (XII-II)				
	(X_B-E_B) , мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{\text{Л}}++W_O)$, млн. м ³	Н, м ум.	(X_B-E_B) , мм	$W_{\text{ПОБ}}$, млн. м ³	$W_{(X_B-E_B)}$, млн. м ³	$\Sigma(W_B++W_{\text{Л}}++W_O++W_3)$, млн. м ³	Н, м ум.
A1B	-74	0	-4,12	-20,1	-1,40	52	0,002	2,92	-17,2	-1,40
B1	-94	0	-5,27	-21,1	-1,40	46	0	2,58	-18,5	-1,40
A2	-28	0,19	-1,57	-5,1	-1,40	155	0,790	8,69	4,3	0,08

Середній річний рівень Куяльницького лиману змінюється від 2,53 м ум. (у багатоводні роки, сценарій A2) до мінус 1,44 м ум. (всі сценарії) у природних умовах (табл. 4.1). При урахуванні впливу водогосподарської діяльності рівні води у лимані зменшуються за усіма сценаріями (табл. 4.2).

Оцінка надходження поверхневих вод по сезонах у середній за водністю рік (табл. 4.3) показала, що у сезони літо й осінь випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману перевищує опади за усіма розглянутими сценаріями. Найбільші перевищення можливі у сезон літо. Найгірші умови для формування гідрологічного стану Куяльницького лиману передбачаються в сценарії B1. Для побутового стоку рівні для сезону весна практично не змінюються, для сезону літо та осінь суттєво зменшуються за сценарієм B1. Для сезону зима навіть відбуватиметься деяке зростання рівнів (табл. 4.4).

У багатоводні роки зростає приплив води від р. В. Куяльник та зменшується переважання величин випаровування з водної поверхні над величинами опадів. Рівні води у лимані перебільшують 1,0 м ум. і в сценарії A2 досягають 2 м ум. (табл. 4.5). Вплив водогосподарської діяльності у багатоводні роки незначний (табл. 4.6) і найбільш виражений у сценарії B1.

У маловодні роки із забезпеченістю 75 % для сценаріїв A1B й B1 рівень води у лимані стає нижче 0 м ум. навіть у сезон весна вже в природних умовах (табл. 4.7 і 4.8). Рівні вище 0 м ум. спостерігатимуться лише при розвитку подій за сценарієм A2 – зберігатиметься певний рівень води у лимані для сезону весна та сезону зима як у природних, так і порушених водогосподарською діяльністю умовах.

5 МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ І ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ В БАСЕЙНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

5.1 Сучасний стан в галузі розрахунку максимального стоку річок

В Україні для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок використовується нормативний документ СНиП 2.01.14-83 [27]. Зокрема, максимальні модулі весняного водопілля q_p встановлюються за формулою

$$q_p = \frac{k_0 \cdot Y_p}{(F + b)^{n_1}} \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2, \quad (5.1)$$

де k_0 – коефіцієнт дружності водопілля;

Y_p – шар стоку водопілля забезпеченістю P , %;

F – площа водозборів;

b – додаток до F , за допомогою якого враховується зменшення редуції в області водозбірних площ $F \leq 10 \text{ км}^2$;

$\delta, \delta_1, \delta_2$ – поправкові коефіцієнти для врахування зниження модулів q_p під впливом руслової зарегульованості (водосховищами, озерами, ставками проточного типу), а також залісеності й заболоченості водозборів;

μ – коефіцієнт для врахування розбіжностей у статистичних параметрах часових рядів витрат води і шарів стоку.

Для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків в СНиП 2.01.14-83 при $F > 200 \text{ км}^2$ використовується також редуційна структура, але у більш спрощеному варіанті, ніж (5.1), а саме

$$q_p = q_{200} \cdot \left(\frac{200}{F} \right)^{n_1} \cdot \lambda_p \cdot \delta \cdot \delta_2, \quad (5.2)$$

де q_{200} – максимальний модуль забезпеченістю $P = 1,0$ %, віднесений до площі $F = 200 \text{ км}^2$;

λ_p – коефіцієнт забезпеченості.

У випадках, коли $F < 200 \text{ км}^2$, розрахунки максимальних модулів q_p пропонується виконувати за формулою граничної інтенсивності опадів в редакції

$$q_p = A_{1\%} \cdot H \cdot \eta \cdot \lambda_p \cdot \delta, \quad (5.3)$$

де $A_{1\%} = 16,67 \cdot \bar{\psi}(\tau)$ – ординати редукційних кривих дощових опадів у часі в залежності від їх розрахункової тривалості τ , причому

$$\tau = 1,2 \cdot t_p^{1,1} + t_{cx}, \quad (5.4)$$

t_p – тривалість руслового добігання паводкових хвиль;

t_{cx} – тривалість схилового добігання;

H – добовий максимум дощових опадів у теплу пору року забезпеченістю $P = 1,0 \%$;

η – коефіцієнт паводкового стоку.

Базові параметри формул (5.1), (5.2) і (5.3) у діючому нормативному документі представлені у вигляді відповідних допоміжних таблиць і карт. При цьому необхідно зауважити, що картування розрахункових величин у межах Причорноморської низовини здійснено лише орієнтовно через відсутність на описуваній території систематичних спостережень за гідрологічним режимом річок. З точки зору картування добових опадів H слід прийняти до уваги їх локальне поширення, яке слід відображати не ізолініями, а узагальнювати по районах. Значною мірою таке зауваження можна віднести й до картування модуля q_{200} . Особливо суттєві недоліки притаманні структурі (5.3). У нашій роботі [36] показано, що

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{\varphi}{t_p}, \quad (5.5)$$

де φ – коефіцієнт повноти схилового стоку, який визначається співвідношенням між тривалістями T_0 і t_p :

а) при $t_p < T_0$

$$\varphi = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{t_p}{T_0} \cdot \left[1 - \frac{1}{n+1} \cdot \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right]; \quad (5.6)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\varphi = 1,0, \quad (5.7)$$

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

З урахування (5.6) і (5.7) $\bar{\psi}(\tau)$ набуває вигляду:

а) при $t_p < T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{\varphi}{t_p} \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \left[1 - \frac{1}{n+1} \cdot \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] = \tilde{\varphi} \left(\frac{t_p}{T_0} \right); \quad (5.8)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{1}{t_p} = \tilde{\varphi} \left(\frac{t_p}{T_0} \right). \quad (5.9)$$

З (5.8) і (5.9) очевидно, що використання редукційних кривих опадів $\bar{\psi}(\tau)$ замість трансформаційних функцій $\tilde{\varphi} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ є некоректним.

Якщо більш ретельно розглянути структуру (5.1), то слід звернути увагу на методичні підходи стосовно врахування уповільнення редукції q_m в області невеликих водозборів.

У відповідності з [36], чисельник (5.1) є модуль схилового припливу q'_m , тобто

$$k_0 \cdot Y_m = q'_m. \quad (5.10)$$

У такому разі

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + b)^{n_1}}. \quad (5.11)$$

Виходячи з (5.11), коефіцієнт редукції q_m / q'_m буде дорівнювати

$$\frac{q_m}{q'_m} = \frac{1}{(F + b)^{n_1}}. \quad (5.12)$$

Теоретично, верхньою межею для q_m / q'_m повинна бути одиниця (при $F = 0$), а нижньою 0 (при $F \rightarrow \infty$). Але таким вимогам (за любых значень b) відношення (5.12) відповідає лише нижньою границею.

Діючим СНиП 2.01.14-83 в залежності від географічного положення водозаборів b приймає значення: 1,0 – тундра і лісова зони; 2,0 – лісостепова зона; 10 – степова, посушливих степів і полупустель. Таким чином, для кожної з наведених географічних зон верхні значення q_m/q'_m будуть становити:

– тундрова і лісова зони ($n_1 = 0,17$; $b = 1,0$)

$$q_m/q'_m = 1,0; \quad (5.13)$$

– лісостепова зона ($n_1 = 0,25$; $b = 2,0$)

$$q_m/q'_m = 0,84; \quad (5.14)$$

– степова зона, посушливих степів і полупустель ($n_1 = 0,35$; $b = 10,0$)

$$q_m/q'_m = 0,45. \quad (5.15)$$

Величини q_m/q'_m при $F = 0$, згідно з (5.13)-(5.15), свідчать про те, що теоретичним умовам ($q_m/q'_m = 1,0$) відповідає лише варіант (5.13). У двох інших випадках мають місце суттєві заниження результатів, особливо у посушливих зонах. Саме до цієї категорії відносяться водозбори водотоків басейну Куяльницького лиману.

5.2 Методика, що пропонується для нормування характеристик максимального стоку

Враховуючи об'єктивні причини, викладені вище, слід вважати, що для басейну Куяльницького лиману розрахункова база в галузі максимального стоку СНиП 2.01.14-83 є недосконалою і тому не може використовуватись при вирішенні тих чи інших практичних задач.

З метою її удосконалення авторами роботи [37] пропонується за вихідну прийняти модель руслових ізохрон у «розгорнутому» вигляді зі складовими: функцією схилового припливу q'_i , функцією міжізохронних площадок f_i і функцією русло-заплавного зарегулювання ε_i .

У цьому випадку, враховуючи, що $f_t = B_t \cdot V \cdot \Delta t$:

а) $t_p < T_0$

$$Q_m = V \cdot \int_0^{t_p} q'_t \cdot B_t \cdot \varepsilon_t \cdot dt ; \quad (5.16)$$

б) $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \cdot \int_0^{T_0} q'_t \cdot B_t \cdot \varepsilon_t \cdot dt . \quad (5.17)$$

При інтегруванні (5.16) і (5.17) приймалось: q'_t – за рекомендаціями [35]

$$q'_t = q'_m \cdot \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (5.18)$$

а B_t – за А. М. Бефані [38]

$$B_t = B_m \cdot \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right], \quad (5.19)$$

де B_m – максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання.

Інтегрування (5.16) і (5.17) з наступними їх узагальненнями дозволяють отримати рівняння для визначення розрахункових модулів q_m

$$q_m = q'_m \cdot \psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \cdot \varepsilon_F , \quad (5.20)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу:

$\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ – трансформаційна функція розпластування паводків і водопіль

під впливом тривалості руслового добігання.

Для нормування q'_m доцільно спочатку проінтегрувати (5.18) по T_0 , тобто

$$Y_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m \cdot \frac{n}{n+1} \cdot T_0. \quad (5.21)$$

Звідки

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot Y_m. \quad (5.22)$$

Трансформаційна функція $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ визначається в залежності від співвідношення між t_p і T_0 та з урахуванням форми гідрографів схилового припливу і водозборів річок:

а) при $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1,0; \quad (5.23)$$

б) при $0 < \frac{t_p}{T_0} < 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \left(\frac{m+1}{(n+1) \cdot (m+n+1)} \right) \cdot \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n; \quad (5.24)$$

в) при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{T_0}{t_p} \cdot \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m \cdot (m+n+1)} \cdot \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]; \quad (5.25)$$

г) при $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (5.26)$$

На відміну від інших структур, у тому числі й СНиП 2.01.14-83, запропонований варіант розрахункової формули (5.20), є загальним як для дощових паводків, так і водопіль та усього діапазону водозбірних площ.

Між іншим необхідно зауважити, що практично реалізувати (5.20) на гідрологічних об'єктах в басейні Куяльницького лиману неможливо, через відсутність відповідних спостережень. У першу чергу це стосується параметрів, що входять до (5.20). Ось чому, для дощових паводків доцільно записати (5.20) у вигляді

$$q'_m = 0,28 \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot H \cdot \eta, \quad (5.27)$$

де 0,28 – коефіцієнт розмірності (при q'_m – у м³/(с·км²), T_0 – у год., H – у мм);
 η – коефіцієнт паводочного стоку.

Для весняного водопілля

$$q'_m = 0,28 \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot (S_m + x) \cdot \eta, \quad (5.28)$$

де S_m – максимальні снігозапаси перед початком сніготанення;

x – кількість опадів від дати S_m до кінця водопілля (мм), причому [36]

$$x = 5,0 + 7,5 \cdot \lg(F + 1). \quad (5.29)$$

До найбільших водотоків в басейні Куяльницького лиману, які суттєво можуть впливати на його гідрологічний режим, слід віднести рр. В. Куяльник, Кубанку і Довбоку. Морфометричні характеристики цих водотоків наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Морфометричні характеристики найбільших річок в басейні Куяльницького лиману

Річка	Площа водозбору, км ²	Довжина річки, км	Середній зважений похил річки, ‰
В. Куяльник	1860	170	0,63
Кубанка	129	17,0	2,60
Довбока	68,3	15,0	5,50

5.3 Отримані результати та їх аналіз

Максимальні витрати води весняного водопілля в басейні Куяльницького лиману розраховувались за базовою формулою (5.20) у такому порядку:

1. Тривалість руслового добігання t_p , год., визначається за співвідношенням

$$t_p = L / V_\partial, \quad (5.30)$$

де L – гідрографічна довжина річки, км;

V_∂ – швидкість руслового добігання, км/год

Обчислюється швидкість руслового добігання V_∂ за регіональною формулою

$$V_\partial = a_0 \cdot F^{\alpha_1} \cdot I_{36}^{0,33}. \quad (5.31)$$

Для басейну Куяльницького лиману, відповідно до [39]: $a_0 = 1,19$; $\alpha_1 = 0,14$, тобто

$$V_\partial = 1,19 \cdot F^{0,14} \cdot I_{36}^{0,33}. \quad (5.32)$$

2. Тривалість схилового припливу для усього басейну лиману становить 50 год. [36].

3. Модуль схилового припливу $q'_{1\%}$ визначається за формулою (5.28)

$$q'_{1\%} = 0,28 \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot (S_m + x)_{1\%} \cdot \eta. \quad (5.33)$$

3.1 Для рівнинної території України обґрунтоване нами значення коефіцієнта часової нерівномірності схилового припливу становить 6,0.

3.2 Розрахункова величина снігозапасів (у сумі з опадами періоду формування весняного водопілля – $(S_m + x)_{1\%}$) визначалась на базі використання кривої трипараметричного гама-розподілу, тобто

$$(S_m + x)_{1\%} = (\bar{S}_m + \bar{x}) \cdot k_p, \quad (5.34)$$

де $\bar{S}_m$ – середня величина снігозапасів, яка для території Причорноморської низовини картована [36], і для басейну Куяльницького лиману дорівнює 30 мм;

$\bar{x}$ – кількість опадів за період водопілля, визначається за (5.29);

k_p – модульний коефіцієнт, який визначається в залежності від коефіцієнта варіації C_v і співвідношення C_s/C_v .

У свою чергу C_v обчислюється за регіональною формулою [36]

$$C_v = 0,60 + 0,53 \cdot (\bar{S}_m - 20) \cdot 10^{-2}. \quad (5.35)$$

Для водотоків Куяльницького лиману $C_v = 0,65$, а нормативне співвідношення C_s/C_v дорівнює 3,5. Цим величинам статистичних параметрів часового ряду $(S_m + x)$ відповідає $k_{1\%} = 3,34$.

3.3 Коефіцієнти стоку в період весняного водопілля η визначаються в залежності від площі водозборів. Вони представлені таблицею у [36].

4. Коефіцієнт трансформації повеневих хвиль $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ в залежності від співвідношення між t_p і T_0 розраховується за формулами (5.24) або (5.25), причому при значеннях $\frac{t_p}{T_0}$, які мало відрізняються від одиниці, степеневий показник m у рівнянні кривих ізохрон рекомендується приймати на рівні одиниці.

5. Коефіцієнти русло-заплавного регулювання водопіль визначаються за таблицею [36] в залежності від розміру водозборів.

6. Для переходу від опорної 1%-ої забезпеченості у формулу (5.20) вводиться відповідний коефіцієнт λ_p , який представлено табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Перехідні коефіцієнти λ_p

$P, \%$	1,0	3,0	5,0	10,0
λ_p	1,00	0,77	0,66	0,53

Розрахункові характеристики весняного водопілля різної забезпеченості по річках басейну Куяльницького лиману представлені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні Куяльницького лиману ($n = 0,20$; $m = 1,0$; $T_0 = 50$ год.)

№ п/п	Річка	F , км ²	t_p , год.	$\bar{S}_m$, мм	C_V	$k_{1\%}$	$\bar{x}$, мм	$(S_m + \bar{x})_{1\%}$	η	$q'_{1\%}$, м/(с·км ²)	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	ε_F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	В.Куяльник	1860	57,8	30,0	0,65	3,34	29,5	199	0,20	1,35	0,22	0,34
2	Кубанка	129	5,29	30,0	0,65	3,34	20,8	170	0,30	1,73	0,52	0,36
3	Довбока	68,3	3,96	30,0	0,65	3,34	18,8	163	0,32	1,77	0,54	0,44

Продовження табл. 5.3

№ п/п	Річка	$q_{1\%}$, м ³ /(с·км ²)	$Q_{1\%}$, м ³ /с	$Q_{3\%}$, м ³ /с	$Q_{5\%}$, м ³ /с	$Q_{10\%}$, м ³ /с
1	2	14	15	16	17	18
1	В.Куяльник	0,10	188	145	124	99,6
2	Кубанка	0,32	41,8	32,2	27,6	22,2
3	Довбока	0,42	28,7	22,0	18,9	15,2

Максимальні модулі забезпеченістю $P = 1,00$ % дорівнюють: 0,10 м³/(с·км²) – р. В. Куяльник ($F = 1860$ км²), 0,32 м³/(с·км²) – р. Кубанка ($F = 129$ км²), 0,42 м³/(с·км²) – р. Довбока ($F = 68,3$ км²).

5.4 Максимальні витрати води дощових паводків в басейні Куяльницького лиману

Розрахунки виконувались за базовою формулою (5.27).

Тривалість руслового добігання t_p , год., обчислювалась, як і в попередньому випадку, за співвідношенням (5.30).

Тривалість схилового припливу паводкових вод до руслової мережі T_0 прийнята на рівні 2,5 год. [40];

Максимальний модуль схилового припливу опорної забезпеченості $P = 1\%$ розраховується за формулою (5.27):

$$q'_{1\%} = 0,28 \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot H \cdot \eta. \quad (5.36)$$

Враховуючи, що на Півдні України високі паводки пов'язані з локальними дощами зливого характеру, при статистичному аналізі вихідних даних по опадах доцільним є використання кривої забезпеченості забезпеченостей [41].

Саме за такою методикою було здійснено статистичний аналіз добових максимумів зливових опадів H у межах Півдня України. Розрахункове значення $H_{1\%}$ для Причорноморської низовини становить 98,5 мм.

Коефіцієнт стоку η нормований у вигляді залежності $\eta = f(F)$ і представлений у табличному вигляді [42].

Трансформаційна функція $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ обчислюється за допомогою формул (5.24) або (5.25). При цьому прийнято до уваги, що відношення $\frac{t_p}{T_0}$, наприклад, для р. В. Куяльник сягає 23,1, тобто значно виходить за межі одиниці. Таким чином, при розрахунку $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ необхідно враховувати й параметр m . Причому,

$$m = 2,0 - 0,26 \cdot \lg(F + 1). \quad (5.37)$$

Степеневий показник n у рівнянні редукційного гідрографа (5.18) становить 0,33.

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання визначається за допомогою таблиці $\varepsilon_F = f(F)$, наведеної у [42].

Розрахункові максимальні витрати води дощових паводків наведені у табл. 5.4.

Аналіз табл. 5.4 свідчить про те, що на відміну від весняного водопілля, дощові паводки в басейні Куяльницького лиману супроводжуються більш високими модулями схилового припливу $q'_{1\%}$ – від 8,4 м³/(с·км²) – р. В. Куяльник ($F = 1860$ км²), до 20,7 м³/(с·км²) – р. Довбока ($F = 68,3$ км²).

Порівняння величини $Q_{1\%}$ весняних водопілля і дощових паводків свідчить про те, що в басейні р. В. Куяльник розрахунковою є витрата води водопілля (вона майже в 6 разів перевищує $Q_{1\%}$ від дощового паводка). По рр. Кубанка і Довбока за розрахункові слід приймати дощові паводки, які в 2,2 і 2,6 рази перевищують $Q_{1\%}$ весняного водопілля.

Таблиця 5.4 – Розрахункові характеристики максимального стоку дощових паводків в басейні Куяльницького лиману ($n = 0,33$; $T_0 = 2,5$ год.)

№ п/п	Річка	F , км ²	I_{36} , ‰	L , км	t_p , год.	m	η	$q'_{1\%}$, м/(с·км ²)	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	ε_F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	В.Куяльник	1860	0,63	170	57,8	1,15	0,19	8,4	0,021	0,10
2	Кубанка	129	2,6	17,0	5,29	1,45	0,43	19,0	0,19	0,20
3	Довбока	68,3	5,5	15,0	3,96	1,52	0,47	20,7	0,24	0,22

Продовження табл. 5.4

№ п/п	Річка	$q_{1\%}$, м ³ /(с·км ²)	$Q_{1\%}$, м ³ /с	$Q_{3\%}$, м ³ /с	$Q_{5\%}$, м ³ /с	$Q_{10\%}$, м ³ /с
1	2	12	13	14	15	16
1	В.Куяльник	0,018	32,8	20,7	16,4	10,5
2	Кубанка	0,72	93,1	58,7	46,6	29,8
3	Довбока	1,09	74,6	47,0	37,3	23,7

Щоб перейти від витрат води дощових паводків забезпеченістю $P = 1$ % до інших, достатньо скористатись перехідним коефіцієнтом λ_p , початкове значення якого (при $P = 1$ %) дорівнює $\lambda_p = 1,00$, при визначенні дощових паводків забезпеченістю $P = 3$ % значення перехідного коефіцієнту буде дорівнювати $\lambda_p = 0,63$, при $P = 5$ % – $\lambda_p = 0,50$, при $P = 10$ % – $\lambda_p = 0,32$.

5.5 Про можливі зміни величин максимальних витрат води паводків і водопіль під впливом коливань клімату в басейні Куяльницького лиману

Регіональні проєкції змін клімату та їх прояв в гідрологічному циклі зводяться головним чином до підвищення ризиків внутрішньоконтинентальних бурних паводків і більш частого затоплення прибережних районів, посилення ерозії внаслідок інтенсивності та повторюваності штормів і підвищення рівня моря. З іншого боку, підвищення температури знизять водозабезпеченість, гідроенергетичний потенціал, продуктивність сільгоспкультур.

У високих широтах і деяких частинах тропіків майже у всіх моделей прогнозується збільшення опадів, тоді як в деяких субтропічних і середньоширотних районах моделі показують їх зменшення.

Слід також зауважити, що методики, які використовуються для розрахунку стоку річок як в нашій країні, так і за межами, ґрунтуються на припущеннях стаціонарності формування річного стоку. Але спеціалістами доводиться, що на сучасному етапі вже спостерігається статистична нестаціонарність гідрометеорологічних процесів, яка пояснюється потеплінням клімату. В Росії, спираючись на нормативний документ СП 33-101-2003 пропонуються відповідні розрахункові характеристики стоку відкорегувати за допомогою так званих «кліматичних поправок». Саме таку методику ми вважаємо на сучасному етапі найбільш ефективною. Але реалізувати і цей методичний підхід можливо лише в рамках тих теоретичних і модельних схем, які ґрунтуються на використанні кліматозалежних параметрів. Оскільки результативними характеристиками більшості моделей глобальних змін клімату є температури повітря і кількість опадів, то необхідно, щоб і моделі гідрологічних процесів були сприятливими до них. На наш погляд, достатньою мірою таким вимогам відповідає методика розрахунку характеристик максимального стоку паводків і водопіль в редакції (5.20). Базовим параметром в ній є максимальний модуль схилового припливу q'_m , який описується рівнянням (5.28) – для весняного водопілля і (5.27) – для дощових паводків.

Прогнозовані середні зміни річних опадів і температур повітря за моделлю CCSM3 (сценарій A1B) для території України на період 2010-2039 рр. по відношенню до 1980-1999 рр. представлені залежностями цих величин від географічних координат місцевості.

Зокрема, для басейну Куяльницького лимана (північна широта дорівнює $46^{\circ}34'$, східна довгота – $30^{\circ}45'$) передбачається, що річні опади зменшаться на 45-55 мм, тобто будуть у прогнозованому періоді становити від 400 до 500 мм (за сучасної норми по м./ст. «Одеса-ГМО» – 455 мм). Щодо річної температури повітря, то вона збільшиться на 3,2-4,2 $^{\circ}\text{C}$ по відношенню до норми, яка прийнята середньою по даних м./ст. «Одеса-ГМО» і «Затишшя» на рівні 9,2 $^{\circ}\text{C}$ (у тому числі по «Одеса-ГМО» – 9,8 $^{\circ}\text{C}$, а по «Затишшя» – 8,6 $^{\circ}\text{C}$). Таким чином, на прогнозований період (2010-2039 рр.) середня річна температура повітря в районі лиману буде коливатись від 13 до 14 $^{\circ}\text{C}$.

З метою обґрунтування методично-розрахункової бази для оцінки можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля і паводків на майбутнє на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ були побудовані залежності щорічних максимальних снігозапасів перед початком водопілля і добових максимумів опадів теплого періоду (III-V місяці) від річних опадів і температур повітря. Описуються вони лінійними рівняннями:

$$S_m = 2,04 \cdot \bar{X} - 68,31; \quad r = 0,88, \quad (5.38)$$

$$X(III - V) = 0,220 \cdot \bar{X}; r = 0,82 \quad (5.39)$$

та

$$S_m = 147,8 - 12,91 \cdot \bar{t}^\circ; r = 0,90, \quad (5.40)$$

$$X(III - V) = 489,9 - 8,47 \cdot \bar{t}^\circ; r = 0,73. \quad (5.41)$$

Високі коефіцієнти кореляції дозволяють використовувати рівняння (5.38)-(5.41) для прогнозування величин S_m і x на період 2010-2039 рр.

Аналогічні залежності були побудовані й для добових максимумів опадів H . Відповідні рівняння мають вигляд

$$H_{1\%} = 0,049 \cdot \bar{X}_{pic} + 60,4; r = 0,17, \quad (5.42)$$

$$H_{1\%} = 0,86 \cdot t^\circ + 80,5; r = 0,050. \quad (5.43)$$

Як видно, залежності виражені не чітко (коефіцієнти кореляції становлять усього 0,17 і 0,050), а тому нами не можуть рекомендуватися для практичного використання при оцінці змін характеристик максимального стоку дощових паводків на території України, взагалі, і в межах басейну Куяльницького лиману, зокрема.

У подальшому при моделюванні можливого впливу глобальних коливань клімату на розрахункові характеристики використані рівняння (5.38) і (5.39). Щодо рівнянь, побудованих на залежностях $S_m = f(t_0 C)$ і $X(III - V) = f(t^\circ C)$, то вони мають одне суттєве обмеження, пов'язане з тим, що у прогнозованій частині, тобто при $t^\circ > 13,0$ вони майже не обґрунтовані матеріалами спостережень.

Проте реалізація й цієї моделі потребує деяких попередніх визначень. Зокрема, необхідно методично здійснити перехід від $X(III - V)$ до $\bar{x}$ у формулі (5.29). З цією метою на сучасних матеріалах спостережень були встановлені перехідні коефіцієнти k_s (табл. 5.5)

$$k_s = \bar{x} / [\bar{x}(III - V)]. \quad (5.44)$$

В табл. 5.6 наведені й розрахункові складові $(\bar{S}_m + \bar{x})$, по яких особисто й проводилась оцінка впливу глобальних змін клімату.

Таблиця 5.5 – Вихідні данні по весняному водопіллю в басейні Куяльницького лиману (при $\bar{x}_{річ} = 455$ мм)

№ п/п	Річка	$F, \text{ км}^2$	$\bar{S}_m, \text{ мм}$	$\bar{x}, \text{ мм}$	$(\bar{S}_m + \bar{x}), \text{ мм}$	Забезпеченість витрати води, $P, \%$				k_s
						1,0	3,0	5,0	10,0	
1	В. Куяльник	1860	30,0	29,5	59,5	188	100,1	124	99,6	0,295
2	Кубанка	129	30,0	20,8	50,8	41,9	100,1	27,5	22,2	0,208
3	Довбока	68,3	30,0	18,8	48,8	28,7	100,1	18,9	15,2	0,188

Таблиця 5.6 – Характеристики весняного водопілля в басейні Куяльницького лиману на період 2010-2039 рр. (при $\bar{x}_{річ} = 400$ мм)

№ п/п	Річка	$F, \text{ км}^2$	$\bar{S}_m, \text{ мм}$	$\bar{X}(III - V), \text{ мм}$	$\bar{x}, \text{ мм}$	$(\bar{S}_m + \bar{x}), \text{ мм}$	$k_{зм}$
1	В. Куяльник	1860	13,3	88,0	26,0	39,3	0,66
2	Кубанка	129	13,3	88,0	18,3	31,6	0,62
3	Довбока	68,3	13,3	88,0	16,5	29,8	0,61

Якщо прийняти, що в сценарних варіантах коефіцієнти стоку η і тривалість схилового припливу T_0 зберігаються незмінними по відношенню до базових величин, то тоді досить просто можна встановити коефіцієнти змін витрат води весняного водопілля

$$k_{зм} = \frac{(\bar{S}_m + \bar{x})_{\text{прогн.}}}{(\bar{S}_m + \bar{x})_{\text{сучасн.}}} \quad (5.45)$$

Як видно з табл. 5.6, $k_{зм} < 1,0$, що свідчить про зменшення у прогнозованому періоді (2010-2039 рр.) $Q_{1\%}$ при опадах $\bar{x}_{річ} = 400$ мм по басейну Куяльницького лиману на величину в середньому від 61 % – р. Довбока, до 66 % – р. В. Куяльник.

Дещо інші результати отримані при сценарній величині $\bar{x}_{річ} = 500$ мм (табл. 5.7). В середньому спостерігається посилення водопілля на 11,1 %, порівняно з базовим періодом.

Тепер повернемося до прогнозування змін максимальних витрат води дощових паводків на період до 2039 р. Рівняння (5.42) і (5.43) по коефіцієнтах кореляції досить низькі, щоб по них можна було надійно моделювати часові зміни з використанням рівняння (5.27).

Таблиця 5.7 – Характеристики весняного водопілля в басейні Куяльницько лиману на період 2010-2039 рр. (при $\bar{x}_{річ} = 500$ мм)

№ п/п	Річка	F , км ²	$\bar{S}_m$, мм	$\bar{X}(III-V)$, мм	$\bar{x}$, мм	$(\bar{S}_m + \bar{x})$, мм	$k_{зм}$
1	В. Куяльник	1860	33,7	110	32,4	66,1	1,11
2	Кубанка	129	33,7	110	22,9	56,6	1,11
3	Довбока	68,3	33,7	110	20,7	54,4	1,11

На цій підставі ми робимо висновок, що у період 2010-2039 рр. розрахункові витрати паводкового стоку Q_p залишаться в басейні Куяльницького лиману незмінними.

Більш того, дані по добових опадах у межах Півдня України (до 2011 р.) свідчать про те, що визначні їх величини спостерігались в період 1970-1980 рр. (54,2 %), а найбільш ймовірні їх значення становлять 90-100 мм (43,4 %).

5.6 Оцінка максимальних витрат води в рр. Довбока і Кубанка в 2012 році

В зв'язку з тим, що стаціонарні гідрологічні спостереження в басейнах рр. Довбока і Кубанка не здійснюються, в 2012 р. ОДЕКУ були виконані натурні експедиційні дослідження гирлових ділянок цих річок з метою визначення максимальних витрат води підчас паводків, які пройшли на цих річках в кінці травні 2012 р. після інтенсивних зливових опадів 24.05.2012 р., з величиною 70,9 мм, що більш ніж в 2 рази вище місячної норми для травня (34,9 мм) по даними м./ст. «Одеса-ГМО». Для цього було використано гідравлічний метод визначення максимальних витрат води за позначками рівнів високих вод (РВВ), який засновано на гідравлічних розрахунках і використовується перш за все на річках, де відсутні гідрометричні пости.

Визначення витрати води (Q , м³/с) за цим методом базується на здійсненні польових робіт з метою забезпечення розрахунків витрат води за формулою Шезі [43-45]

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (5.46)$$

де ω – площа живого перерізу потоку, м²;

C – коефіцієнт Шезі;

R – гідравлічний радіус (приблизно дорівнює середній глибині $h_{сер}$), м;

I – похил водної поверхні.

При визначенні площі живого перерізу потоку ω , м^2 (за даними нівелювання поперечних профілів русел річок) також враховувалася, що в бурхливих потоках позначки РВВ відповідають гребням найбільш високих хвиль висотою $h_{xв}$, м. Тому, розрахункова площа живого перерізу $\omega_{xв}$, м, визначається за формулою

$$\omega_{xв} = \omega - B \cdot h_{xв}, \quad (5.47)$$

де ω – площа живого перерізу, яка відповідає РВВ, м^2 ;

B – ширина русла по поверхні води, м;

$h_{xв}$ – висота хвилі, м, яка розраховується за формулою

$$h_{xв} = 0,122 \cdot h_{сеп} \cdot C \cdot \sqrt{I / g}, \quad (5.48)$$

де g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

C – коефіцієнт Шезі, який за Маннінгом дорівнює

$$C = R^{1/6} / n, \quad (5.49)$$

де n – коефіцієнт шорсткості.

Коефіцієнт шорсткості n визначається з урахуванням впливу заворотів потоку та меандрування русла і для постійних водотоків дорівнює

$$n = K_m \cdot n_0, \quad (5.50)$$

де n_0 – довідникове значення коефіцієнту шорсткості, визначене за [46];

K_m – коефіцієнт меандрування, що враховує вплив заворотів потоку та меандрування русла, і при відчутному ступені меандрування приймається рівним 1,15, а при значному меандруванні – $K_m = 1,30$ [45].

Похили водної поверхні I визначалися (за даними нівелювання продольних профілів русел річок та позначок РВВ) як відношення різниці між відмітками РВВ в верхньому (ВС) та нижньому (НС) створах (ΔH , м) до довжини ділянки натурних польових гідрометричних вимірювань (L , м) – відстань від ВС до НС. Для русла і заплави річок похили водної поверхні приймалися однаковими.

Гідравлічний радіус R , м, приймався приблизно рівним середній глибині $h_{сеп}$, м, яка визначалась як відношення площі живого перерізу потоку $\omega_{xв}$, м, визначеної за (5.47) до ширини русла по поверхні води B , м, в період паводку

$$h_{сеп} = \omega_{xв} / B. \quad (5.51)$$

Встановлено, що русла рр. Довбока і Кубанка з піщано-мулистим дном і сприятливими умовами течії, а похили водної поверхні при РВВ в період паводку 24.05.2012 р. дорівнювали $I = 0,005$ – в руслі р. Довбока, та $I = 0,003$ – в руслі р. Кубанка. Величини n_0 прийняті однаковими в руслах обох річок і становлять $n_0 = 0,040$. Далі, враховуючи, що русла цих річок на ділянках польових гідрометричних вимірювань до паводку 24.05.2012 р. були з водою (за даними рекогносцирувальних досліджень ОДЕКУ в квітні-травні 2012 р.), а також те, що коефіцієнт меандрування K_m при відчутному ступені мандрування русла становить 1,15, коефіцієнт шорсткості n , розрахований за (5.50), дорівнює $n = 0,046$. Дані натурних польових досліджень русел рр. Довбока і Кубанка, виконаних ОДЕКУ в літку 2012 р. та результати визначення складових формули Шезі (5.46) і максимальних витрат води в паводок 24.05.2012 р. наведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Розрахунок максимальних витрат води за позначками РВВ в гирлових ділянках рр. Довбока і Кубанка в період паводку 24.05.2012 р.

Річка	I	ω , м ²	B , м	$h_{сер}$, м	K_m	n_0	n	C , м ^{1/2}	g , м/с ²	Q , м ³ /с	F , км ²	q , л/(с·км ²)
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
Довбока	0,005	6,52	7,20	0,91	1,15	0,04	0,046	21,40	9,81	9,41	68,3	138
Кубанка	0,003	79,8	95,3	0,84	1,15	0,04	0,046	21,12	9,81	84,6	129	656

Продовження табл. 5.8

Річка	$h_{хв}$, м	$\omega_{хв}$, м ²	$Q_{хв}$, м ³ /с	$q_{хв}$, л/(с·км ²)	$v_{хв} = Q_{хв}/\omega_{хв}$, м/с	$\Delta Q \quad \frac{Q - Q_{хв}}{Q_{хв}} \cdot 100, \%$
<i>I</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
Довбока	0,05	6,16	8,65	127	1,40	8,79
Кубанка	0,04	76,0	78,6	609	1,03	7,63

З табл. 5.8 видно, що з урахуванням похибок розрахунку витрат води ΔQ (від 7,63 % – на р. Кубанка, до 8,79 % – на р. Довбока), в період паводку 24.05.2012 р. максимальні витрати води склали від 8,65 м³/с – на р. Довбока, до 78,6 м³/с – на р. Кубанка.

Таким чином, визначені витрати та модулі стоку води на рр. Довбока і Кубанка (табл 5.8) дозволяють встановити, що паводок 24.05.2012 р. був дуже рідким, особливо для р. Кубанка – 1,5-відсоткової забезпеченості (табл. 5.4).

6 ОЦІНКА ВОДНО-СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ З УРАХУВАННЯМ ЗМІН ПРИПЛИВУ ПРІСНИХ ВОД ДО ВОДОЙМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

За солоністю (мінералізацією) води Куяльницький лиман можна поділити на три частини: північну, середню та південну [6, 49 й ін.]. Північна частина лиману навесні більш схильна до впливу річкового стоку, тому тут мінералізація нижча, ніж в південній і середній. У південній частині, де спостерігається дифузія солей з відкладень лиманового мулу, концентрація ропи найбільша. Центральна частина займає проміжне положення. Різниця в концентрації ропи між частинами лиману незначна (менше 1 г/дм^3 [6, 49 й ін.]), внаслідок мілководості лиману та сильного перемішування водних мас вітром.

В зв'язку з тим, що стаціонарні строкові спостереження за мінералізацією води Куяльницького лиману не виконуються (або не публікуються), як, наприклад, дані про рівні та температури води водойми, оцінити режим солоності ропи лиману можливо лише за даними наведеними в науковій літературі [6, 7, 15, 32, 33, 47-52 й ін.].

Солоність води Куяльницького лиману тісно пов'язана з водним режимом водойми [6, 49-52 й ін.], тому, з урахуванням цього, для визначення середньомісячних значень солоності води за період надійних стаціонарних спостережень за рівнем води в лимані (з січня 1936 р. по липень 2012 р.), використані емпіричні залежності $S = f(H)$ солоності від рівня води у водоймі.

Для періоду з січня 1936 р. по червень 1941 р. та з червня 1944 р. по грудень 2008 р. використана залежність $S = f(H)$, встановлена у 1995 р. в роботі [49], яка апроксимується в аналітичному виді наступним степеневим рівнянням

$$S = 23330 \cdot (10 + H)^{-3,5506}, \quad (6.1)$$

де S – солоність води (ропи), ‰;

H – рівень води (відмітка поверхні води), м БС.

Для періоду з січня 2009 р. по липень 2012 р. використана уточнена залежність $S = f(H)$, встановлена у 2009 р. в роботі [6], яка апроксимується в аналітичному виді наступним степеневим рівнянням

$$S = 161 \cdot H^{1,12}. \quad (6.2)$$

де S – солоність води (ропи), ‰;

H – рівень води над нулём гр. в./п., м ум.

З використанням середньомісячних рівнів води та залежностей (6.1) і (6.2) були визначені середньомісячні величини солоності ропи Куяльницького лиману для періоду з січня 1936 р. по липень 2012 р. (рис. 6.1).

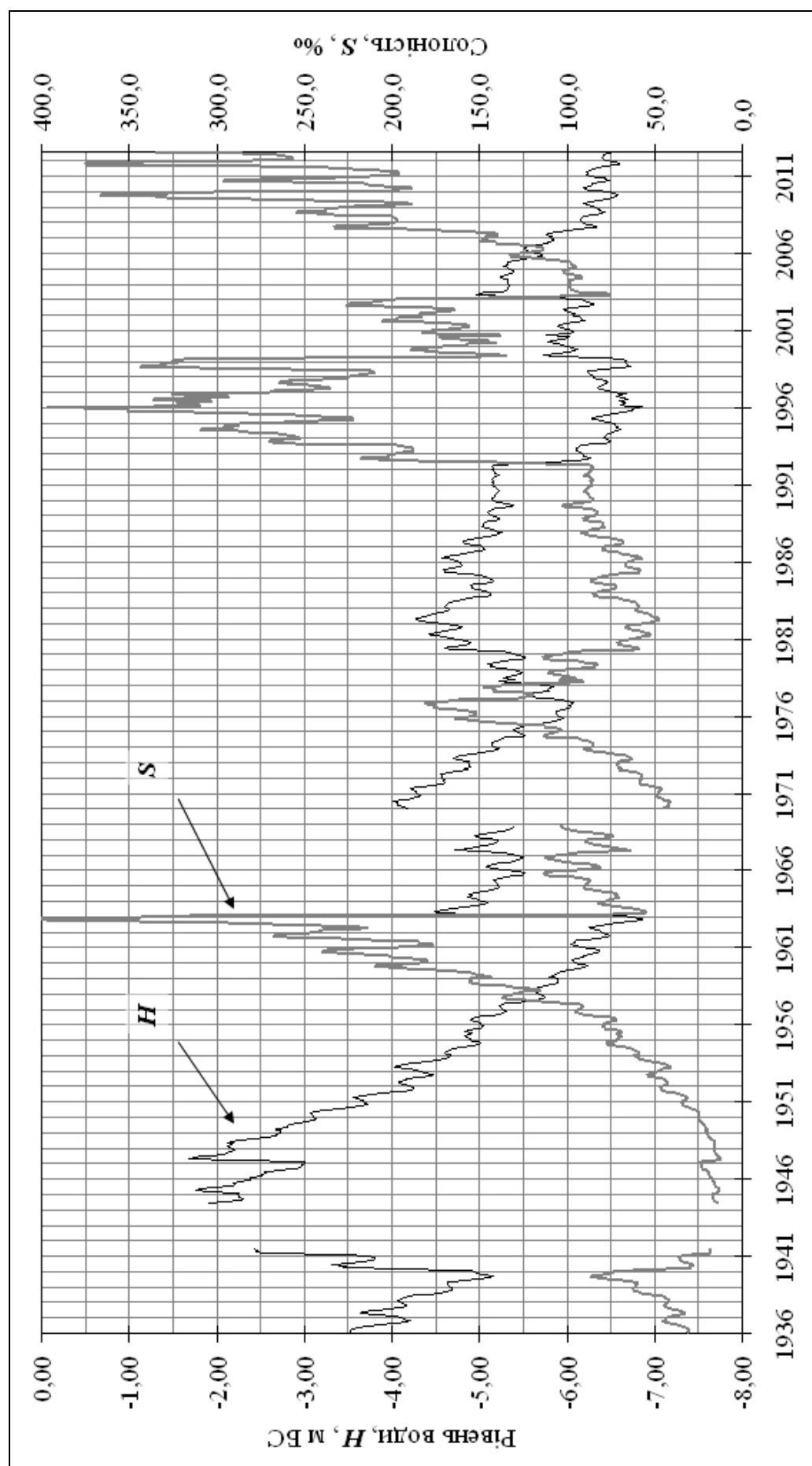


Рисунок 6.1 – Багаторічний хід середньомісячних рівнів і солоності води
Куяльницького лиману за період з січня 1936 р. по липень 2012 р.

З рис. 6.1 видно, що рівень води в Куяльницькому лимані з 2008 р. мав сталу тенденцію до зменшення, а відмітка рівня води в лимані в 2009-2012 рр. знижувалась до відміток мінус 6,50 м БС та нижче. Це призвело до катастрофічного обміління лиману і пересихання деяких частин його акваторії.

Ропи гіперсолоного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого за даними ОДЕКУ в серпні 2009 р. сягала 390 ‰ (рис. 6.1), а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 266 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короточасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, в кінці травня 2012 р., коли солоність ропи лиману зменшилась до 206 ‰ (рис. 6.2).

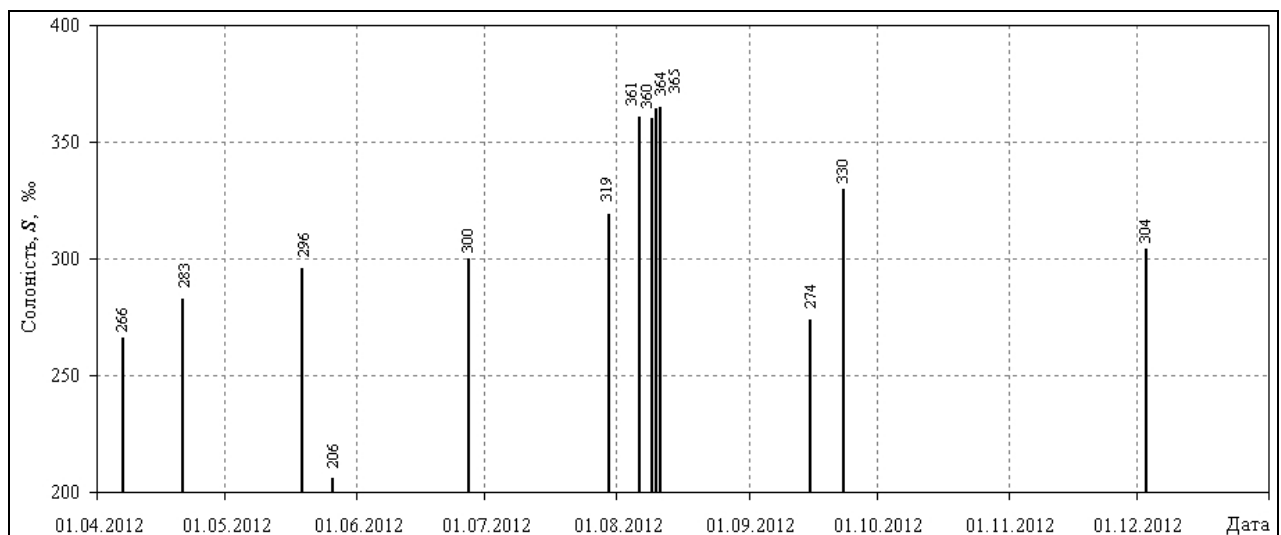


Рисунок 6.2 – Хід солоності ропи Куяльницького лиману за період з квітня по грудень 2012 р. (цифри над точками – солоність ропи, S , ‰)

В умовах такого водно-сольового режиму Куяльницького лиману в літні періоди у водоймі відбувається самосадка розчинених в ропі лиману солей та утворення «соляної пустелі» (насамперед у верхній частині), як, наприклад, в липні-серпні 2009-2012 рр. Отже, такий водно-сольовий режим Куяльницького лиману може привести до наступних головних наслідків для екосистеми та природних (насамперед, біологічних і бальнеологічних) ресурсів водойми:

– повне зникнення своєрідної флори та фауни лиману при солоності ропи більше 200 ‰, наприклад, зябраного рачка – артемія (*Artemia Salina*), та червоно-буре «цвітіння» води за рахунок масового розвитку та відмирання (деструкції) фітопланктонної зеленої водорості *Dunaliella Salina*, як, наприклад, в період з травня по жовтень 2012 р. (див. розділ 7);

- втрата унікальних за лікувальними властивостями запасів грязей та ропи лиману (пелоїди Куяльницького лиману визнані еталонними у світі) [53];
- зниження рекреаційного та бальнеологічного потенціалу Одеської області та України, втрата лиману як курорту державного значення [54], відомого на весь світ.

Для урахування можливого впливу водно-сольового режиму Куяльницького лиману на екологічний стан та природні біологічні й бальнеологічні ресурси водойми у майбутньому, були виконані розрахунки рівнів і солоності води лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах весна, літо, осінь і зима у різні за водністю роки.

Модель водного балансу Куяльницького лиману для сезонів року має такий вигляд

$$W_K = W_{\Pi} + W_{(X_B - E_B)} + W_{\text{ПОБ}}, \quad (6.3)$$

$$W_K = W_{\Pi} + W_{(X_B - E_B)} + W_{\text{ПР}}, \quad (6.4)$$

де W_{Π} – об'єм води в лимані на початку сезону, млн. м³;

W_K – об'єм води в лимані в кінці сезону, млн. м³;

$W_{(X_B - E_B)}$ – різниця між об'ємом атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману та об'ємом випаровування з водної поверхні лиману, млн. м³;

$W_{\text{ПОБ}}$ – об'єм побутового стоку води (поверхневого, схилового та підземного) з водозбірної басейну лиману в ложе водойми, млн. м³;

$W_{\text{ПР}}$ – об'єм природного стоку води (поверхневого, схилового та підземного) з водозбірної басейну лиману в ложе водойми, млн. м³.

Об'єм води в лимані на початку весни W_{Π} визначався за допомогою кривої об'ємів води (рис. 4.3) [6] та з використанням попереднього (початкового) заданого рівня наповнення лиману H , м (над нулем гр. в./п.).

В розрахунках приймалися три можливі попередні (початкові) задані рівні наповнення лиману (H , м над нулем гр. в./п.):

- а) максимальний – 5,00 м (мінус 2,06 м БС),
- б) середній – 2,00 м (мінус 5,06 м БС),
- в) мінімальний – 0,00 м (мінус 7,06 м БС).

В кінці кожного сезону за допомогою кривої об'ємів води (рис. 4.3) [6] та з використанням W_K визначався рівень води в лимані.

Далі за рівнянням (6.2) з використанням розрахованих рівнів води визначалася величина солоності ропи.

При моделюванні водно-сольового режиму у різні за водністю роки та при різних об'ємах перехоплення стоку на водозборі лиману, з табл. 4.3-4.8 (див. розділ 4) використанні такі дані:

а) $(X_B - E_B)$ – різниця між шаром атмосферних опадів, що випали на водну поверхню Куяльницького лиману та шаром води, що випаровувалася з його водної поверхні за розрахунковий сезон, мм (табл. 4.3-4.8);

б) $W_{\text{ПОБ}}$ – об'єм побутового стоку води (поверхневого, схилового та підземного) з водозбірного басейну Куяльницького лиману в ложе водойми, млн. м³ (табл. 4.4, 4.6, 4.8);

в) $W_{\text{ПР}}$ – об'єм природного стоку води (поверхневого, схилового та підземного) з водозбірного басейну Куяльницького лиману в ложе водойми, млн. м³ (табл. 4.3, 4.5, 4.7).

Різниця між об'ємом атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману та об'ємом випаровування з водної поверхні лиману $W_{(X_B - E_B)}$, млн. м³, визначалась за допомогою кривої площ водної поверхні лиману $F = f(H)$ (рис. 6.3) [6] та різниці величини $(X_B - E_B)$, попередньо переведеної з мм в м.

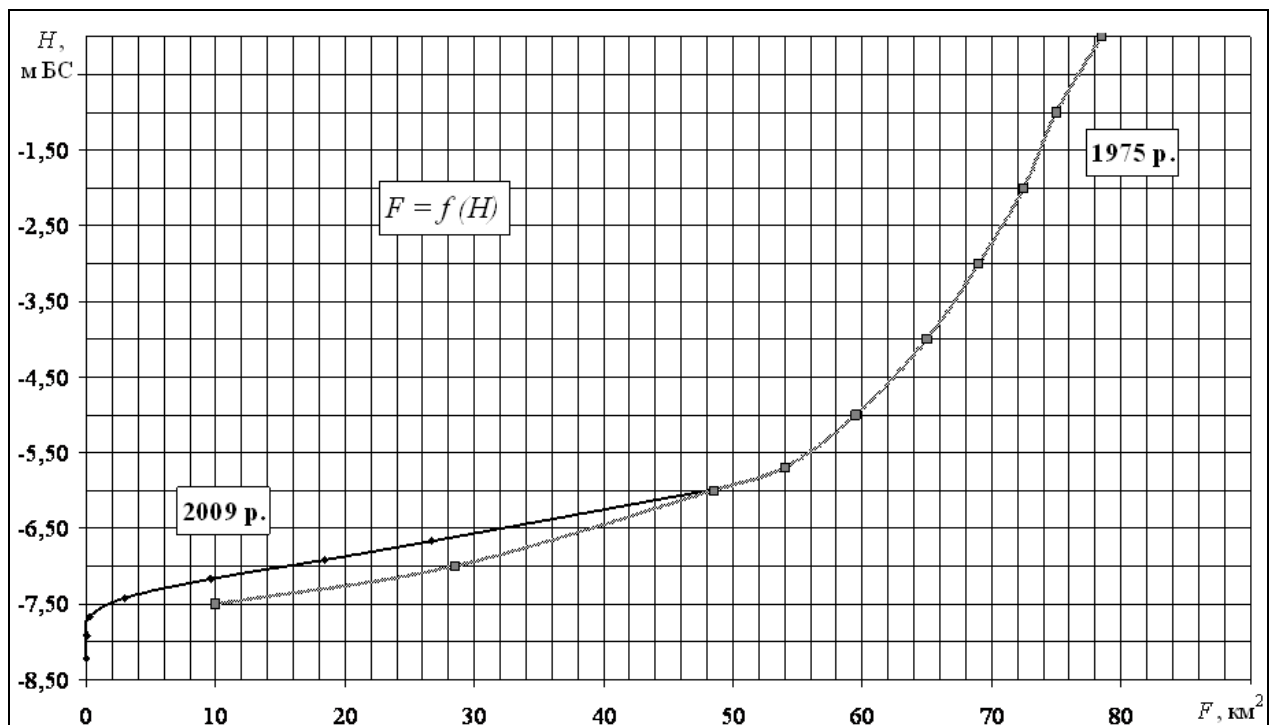


Рисунок 6.3 – Крива площ $F = f(H)$ водної поверхні Куяльницького лиману [6]

Результати розрахунків об'ємів наповнення, площ водної поверхні, рівнів і солоності води Куяльницького лиману за сценаріями глобального потепління по сезонах весна, літо, осінь і зима у різні за водністю роки (при різних рівнях наповнення водойми у попередні періоди) наведені в табл. 6.1-6.18.

Таблиця 6.1 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,0	13	76	0,99	18,5	24,5	0,65	261
B1	0,00	5,0	13	66	0,86	10,9	16,8	0,56	308
A2	0,00	5,0	13	85	1,11	27,1	33,2	0,86	191

Продовження табл. 6.1

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,65	24,5	36	-116	-4,18	4,52	24,8	0,65	261
B1	0,56	16,8	32	-180	-5,76	0,46	11,5	0,45	390
A2	0,86	33,2	42	-123	-5,17	2,31	30,3	0,81	204

Продовження табл. 6.1

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,65	24,8	36	-33	-1,19	0,18	23,8	0,67	252
B1	0,45	11,5	28	-47	-1,32	0,08	10,2	0,33	390
A2	0,81	30,3	40	-38	-1,52	0,19	29,0	0,78	213

Продовження табл. 6.1

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,67	23,8	38	112	4,26	2,83	30,9	0,81	204
B1	0,33	10,2	25	125	3,13	1,60	15,0	0,54	321
A2	0,78	29,0	39	129	5,03	2,02	36,1	0,88	186

Таблиця 6.2 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	76	4,48	18,5	119,0	2,35	62
B1	2,00	96,0	59	66	3,89	10,9	110,8	2,21	66
A2	2,00	96,0	59	85	5,02	27,1	128,1	2,51	57

Продовження табл. 6.2

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,35	119,0	61	-116	-7,08	4,52	116,4	2,31	63
B1	2,21	110,8	61	-180	-10,98	0,46	100,3	2,04	72
A2	2,51	128,1	60	-123	-7,38	2,31	123,0	2,44	59

Продовження табл. 6.2

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,31	116,4	61	-33	-2,01	0,18	114,6	2,29	64
B1	2,04	100,3	59	-47	-2,77	0,08	97,5	1,98	75
A2	2,44	123,0	62	-38	-2,36	0,19	120,8	2,41	60

Продовження табл. 6.2

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,29	114,6	61	112	6,83	2,83	124,2	2,46	59
B1	1,98	97,5	59	125	7,38	1,60	106,5	2,11	70
A2	2,41	120,8	62	129	8,00	2,02	130,9	2,56	56

Таблиця 6.3 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 5,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	76	5,47	18,5	322,0	5,20	25
B1	5,00	298,0	72	66	4,75	10,9	313,7	5,16	26
A2	5,00	298,0	72	85	6,12	27,1	331,2	5,50	24

Продовження табл. 6.3

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,20	322,0	73	-116	-8,47	4,52	318,0	5,29	25
B1	5,16	313,7	73	-180	-13,14	0,46	301,0	5,06	26
A2	5,50	331,2	74	-123	-9,10	2,31	324,4	5,38	24

Продовження табл. 6.3

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,29	318,0	73	-33	-2,41	0,18	315,8	5,36	25
B1	5,06	301,0	69	-47	-3,24	0,08	297,8	5,02	26
A2	5,38	324,4	73	-38	-2,77	0,19	321,8	5,31	25

Продовження табл. 6.3

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,36	315,8	73	112	8,18	2,83	326,8	5,44	24
B1	5,02	297,8	68	125	8,50	1,60	307,9	5,10	26
A2	5,31	321,8	72	129	9,29	2,02	333,1	5,52	24

Таблиця 6.4 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{П} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,0	13	-26	-0,34	0,18	4,8	0,15	390
B1	0,00	5,0	13	0	0,00	0,00	5,0	0,16	390
A2	0,00	5,0	13	100	1,30	1,85	8,2	0,26	390

Продовження табл. 6.4

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,15	4,8	19	-263	-4,99	0,00	0,0	-1,40	390
B1	0,16	5,0	19	-283	-5,38	0,00	0,0	-1,40	390
A2	0,26	8,2	22	-200	-4,41	0,00	3,7	0,06	390

Продовження табл. 6.4

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	-1,40	0,0	0	-74	0,00	0,00	0,0	-1,40	390
B1	-1,40	0,0	0	-94	0,00	0,00	0,0	-1,40	390
A2	0,06	3,7	12	-28	-0,34	0,19	3,6	0,05	390

Продовження табл. 6.4

Сценарій	Зима (XII-II)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	-1,40	0,0	0	52	0,00	0,00	0,0	-1,40	390
B1	-1,40	0,0	0	46	0,00	0,00	0,0	-1,40	390
A2	0,05	3,6	11	155	1,71	0,79	6,1	0,30	390

Таблиця 6.5 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{П} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	-26	-1,53	0,18	94,7	1,98	75
B1	2,00	96,0	59	0	0,02	0,00	96,0	2,01	74
A2	2,00	96,0	59	100	5,91	1,85	103,8	2,14	69

Продовження табл. 6.5

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,98	94,7	59	-263	-15,49	0,00	79,2	1,61	94
B1	2,01	96,0	59	-283	-16,70	0,00	79,3	1,61	94
A2	2,14	103,8	60	-200	-12,03	0,00	91,7	1,86	80

Продовження табл. 6.5

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,61	79,2	57	-74	-4,19	0,00	75,0	1,56	98
B1	1,61	79,3	57	-94	-5,37	0,00	74,0	1,55	99
A2	1,86	91,7	58	-28	-1,63	0,19	90,3	1,84	81

Продовження табл. 6.5

Сценарій	Зима (XII-II)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,56	75,0	56	52	2,92	0,00	77,9	1,58	96
B1	1,55	74,0	56	46	2,58	0,00	76,5	1,57	97
A2	1,84	90,3	58	155	9,00	0,79	100,0	2,05	72

Таблиця 6.6 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 5,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	-26	-1,86	0,18	296,3	4,91	27
B1	5,00	298,0	72	0	0,03	0,00	298,0	4,95	27
A2	5,00	298,0	72	100	7,22	1,85	307,1	5,11	26

Продовження табл. 6.6

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,91	296,3	72	-263	-18,91	0,00	277,4	4,65	29
B1	4,95	298,0	72	-283	-20,38	0,00	277,6	4,65	29
A2	5,11	307,1	73	-200	-14,63	0,00	292,4	4,88	27

Продовження табл. 6.6

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,65	277,4	71	-74	-5,22	0,00	272,1	4,60	29
B1	4,65	277,6	71	-94	-6,68	0,00	270,9	4,57	29
A2	4,88	292,4	72	-28	-2,02	0,19	290,6	4,86	27

Продовження табл. 6.6

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,6	272,1	71	52	3,70	0,00	275,8	4,64	29
B1	4,57	270,9	71	46	3,28	0,00	274,2	4,62	29
A2	4,86	290,6	72	155	11,17	0,79	302,5	5,08	26

Таблиця 6.7 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{П} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,00	13	136	1,77	48,6	55,4	1,16	136
B1	0,00	5,00	13	140	1,82	26,3	33,1	0,84	196
A2	0,00	5,00	13	157	2,04	78,1	85,1	1,71	88

Продовження табл. 6.7

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,16	55,4	50	-58	-2,90	26,7	79,2	1,58	96
B1	0,84	33,1	41	-100	-4,10	2,26	31,3	0,83	198
A2	1,71	85,1	58	-91	-5,26	9,75	89,6	1,88	79

Продовження табл. 6.7

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,58	79,2	56	-26	-1,45	0,67	78,4	1,58	96
B1	0,83	31,3	40	-46	-1,83	0,13	29,6	0,82	201
A2	1,88	89,6	58	2	0,10	0,40	90,1	1,88	79

Продовження табл. 6.7

Сценарій	Зима (XII-II)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОВ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,58	78,4	56	147	8,26	0,21	86,9	1,72	88
B1	0,82	29,6	40	184	7,38	2,22	39,2	0,93	175
A2	1,88	90,1	58	182	10,58	0,35	101,0	2,06	72

Таблиця 6.8 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{П} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	$W_{ПОВ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	136	8,03	48,60	152,6	2,86	50
B1	2,00	96,0	59	140	8,25	26,30	130,6	2,56	56
A2	2,00	96,0	59	157	9,25	78,10	183,3	3,35	42

Продовження табл. 6.8

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	$W_{ПОВ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,86	152,6	64	-58	-3,72	26,70	175,6	3,24	43
B1	2,56	130,6	62	-100	-6,21	2,26	126,6	2,49	58
A2	3,35	183,3	66	-91	-5,99	9,75	187,1	3,46	40

Продовження табл. 6.8

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	$W_{ПОВ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	3,24	175,6	65	-26	-1,68	0,67	174,6	3,23	43
B1	2,49	126,6	62	-46	-2,84	0,13	123,8	2,45	59
A2	3,46	187,1	65	2	0,12	0,40	187,6	3,47	40

Продовження табл. 6.8

Сценарій	Зима (XII-II)								
	$H_{П}$, м	$W_{П}$, млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	$W_{ПОВ_3}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	3,23	174,6	65	147	9,59	0,21	184,4	3,42	41
B1	2,45	123,8	62	184	11,43	2,22	137,5	2,61	55
A2	3,47	187,6	65	182	11,86	0,35	199,8	3,58	39

Таблиця 6.9 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 5,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,30$ %; $W_3 = 7,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	136	9,80	48,60	356,4	5,74	23
B1	5,00	298,0	72	140	10,07	26,30	334,4	5,50	24
A2	5,00	298,0	72	157	11,28	78,10	387,4	6,23	21

Продовження табл. 6.9

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,74	356,4	74	-58	-4,30	26,70	378,8	6,08	21
B1	5,50	334,4	73	-100	-7,31	2,26	329,3	5,47	24
A2	6,23	387,4	76	-91	-6,90	9,75	390,2	6,25	21

Продовження табл. 6.9

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	6,08	378,8	75	-26	-1,94	0,67	377,5	6,07	21
B1	5,47	329,3	73	-46	-3,35	0,13	326,1	5,43	24
A2	6,25	390,2	76	2	0,14	0,40	390,7	6,26	21

Продовження табл. 6.9

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	$W_{ПОБ}$, млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	6,07	377,5	75	147	11,06	0,21	388,8	6,24	21
B1	5,43	326,1	73	184	13,46	2,22	341,7	5,59	23
A2	6,26	390,7	76	182	13,86	0,35	404,9	6,47	20

Таблиця 6.10 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,0	13	76	0,99	19,80	25,8	0,76	219
B1	0,00	5,0	13	66	0,86	11,90	17,8	0,57	302
A2	0,00	5,0	13	85	1,11	28,70	34,8	0,94	173

Продовження табл. 6.10

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,76	25,8	38	-116	-4,41	4,85	26,2	0,76	219
B1	0,57	17,8	32	-180	-5,76	0,50	12,5	0,46	390
A2	0,94	34,8	42	-123	-5,17	2,45	32,1	0,86	191

Продовження табл. 6.10

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,76	26,2	38	-33	-1,25	0,20	25,2	0,75	222
B1	0,46	12,5	28	-47	-1,32	0,09	11,3	0,45	390
A2	0,86	32,1	42	-38	-1,60	0,20	30,7	0,81	204

Продовження табл. 6.10

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,75	25,2	38	112	4,26	3,04	32,5	0,87	188
B1	0,45	11,3	28	125	3,50	1,76	16,5	0,56	308
A2	0,81	30,7	40	129	5,16	2,10	38,0	0,91	179

Таблиця 6.11 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	76	4,48	19,80	120,3	2,42	60
B1	2,00	96,0	59	66	3,89	11,90	111,8	2,19	67
A2	2,00	96,0	59	85	5,02	28,70	129,7	2,56	56

Продовження табл. 6.11

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,42	120,3	62	-116	-7,19	4,85	117,9	2,40	60
B1	2,19	111,8	61	-180	-10,98	0,50	101,3	2,05	72
A2	2,56	129,7	62	-123	-7,63	2,45	124,5	2,46	59

Продовження табл. 6.11

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,40	117,9	62	-33	-2,05	0,20	116,1	2,31	63
B1	2,05	101,3	59	-47	-2,77	0,09	98,6	2,01	74
A2	2,46	124,5	61	-38	-2,32	0,20	122,4	2,43	60

Продовження табл. 6.11

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,31	116,1	61	112	6,83	3,04	125,9	2,48	58
B1	2,01	98,6	59	125	7,38	1,76	107,7	2,14	69
A2	2,43	122,4	61	129	7,87	2,10	132,3	2,57	56

Таблиця 6.12 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у середній за водністю рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	76	5,47	19,80	323,3	5,35	25
B1	5,00	298,0	72	66	4,75	11,90	314,7	5,18	26
A2	5,00	298,0	72	85	6,12	28,70	332,8	5,54	24

Продовження табл. 6.12

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,35	323,3	73	-116	-8,47	4,85	319,7	5,33	25
B1	5,18	314,7	72	-180	-12,96	0,50	302,2	5,08	26
A2	5,54	332,8	74	-123	-9,10	2,45	326,2	5,44	24

Продовження табл. 6.12

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,33	319,7	73	-33	-2,41	0,20	317,4	5,31	25
B1	5,08	302,2	72	-47	-3,38	0,09	298,9	5,03	26
A2	5,44	326,2	73	-38	-2,77	0,20	323,5	5,37	25

Продовження табл. 6.12

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,31	317,4	73	112	8,18	3,04	328,6	2,48	58
B1	5,03	298,9	72	125	9,00	1,76	309,6	2,14	69
A2	5,37	323,5	73	129	9,42	2,10	335,1	2,57	56

Таблиця 6.13 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,0	13	136	1,77	56,70	63,5	1,36	114
B1	0,00	5,0	13	140	1,82	49,70	56,5	1,15	138
A2	0,00	5,0	13	157	2,04	87,10	94,1	1,95	76

Продовження табл. 6.13

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,36	63,5	54	-58	-3,14	31,10	91,4	1,85	81
B1	1,15	56,5	51	-100	-5,11	4,25	55,7	1,14	139
A2	1,95	94,1	59	-91	-5,36	10,90	99,7	2,05	72

Продовження табл. 6.13

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,85	91,4	58	-26	-1,50	0,78	90,7	1,84	81
B1	1,14	55,7	51	-46	-2,34	0,25	53,6	1,11	143
A2	2,05	99,7	60	2	0,11	0,45	100,2	2,06	72

Продовження табл. 6.13

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,84	90,72	58	147	8,55	0,24	99,5	2,05	72
B1	1,11	53,57	50	184	9,22	4,18	67,0	1,37	113
A2	2,06	100,2	60	182	10,94	0,40	111,5	2,23	66

Таблиця 6.14 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	136	8,03	56,70	160,7	3,02	47
B1	2,00	96,0	59	140	8,25	49,70	154,0	2,86	50
A2	2,00	96,0	59	157	9,25	87,10	192,3	3,49	40

Продовження табл. 6.14

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	3,02	160,7	65	-58	-3,78	31,10	188,1	3,47	40
B1	2,86	154,0	62	-100	-6,21	4,25	152,0	2,85	50
A2	3,49	192,3	67	-91	-6,08	10,90	197,2	3,56	39

Продовження табл. 6.14

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	3,47	188,1	67	-26	-1,73	0,78	187,1	3,46	40
B1	2,85	152,0	62	-46	-2,84	0,25	149,4	2,84	50
A2	3,56	197,2	67	2	0,12	0,45	197,7	3,56	39

Продовження табл. 6.14

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	3,46	187,1	67	147	9,88	0,24	197,2	2,05	72
B1	2,84	149,4	62	184	11,43	4,18	165,0	1,37	113
A2	3,56	197,7	67	182	12,22	0,40	210,4	2,23	66

Таблиця 6.15 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у багатоводний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 5,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	136	9,80	56,70	364,5	5,95	22
B1	5,00	298,0	72	140	10,07	49,70	357,8	5,74	23
A2	5,00	298,0	72	157	11,28	87,10	396,4	6,31	20

Продовження табл. 6.15

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,95	364,5	75	-58	-4,36	31,10	391,2	6,25	21
B1	5,74	357,8	74	-100	-7,41	4,25	354,6	5,72	23
A2	6,31	396,4	76	-91	-6,90	10,90	400,4	6,46	20

Продовження табл. 6.15

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	6,25	391,2	76	-26	-1,96	0,78	390,0	6,25	21
B1	5,72	354,6	74	-46	-3,39	0,25	351,4	5,70	23
A2	6,46	400,4	76	2	0,14	0,45	400,9	6,46	20

Продовження табл. 6.15

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	6,25	390,0	76	147	11,21	0,24	401,5	6,46	20
B1	5,70	351,4	74	184	13,65	4,18	369,2	6,01	22
A2	6,46	400,9	76	182	13,86	0,40	415,2	6,58	20

Таблиця 6.16 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та мінімального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 0,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,00	5,0	13	-26	-0,34	3,06	7,7	0,21	390
B1	0,00	5,0	13	0	0,00	0,68	5,7	0,17	390
A2	0,00	5,0	13	100	1,30	3,51	9,8	0,31	390

Продовження табл. 6.16

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	0,21	7,7	21	-263	-5,51	0,00	2,2	-0,10	390
B1	0,17	5,7	19	-283	-5,38	0,00	0,3	-0,50	390
A2	0,31	9,8	24	-200	-4,81	0,08	5,1	0,16	390

Продовження табл. 6.16

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	-0,10	2,2	0	-74	0,00	0,00	2,2	-0,10	390
B1	-0,50	0,3	0	-94	0,00	0,00	0,3	-0,50	390
A2	0,16	5,1	19	-28	-0,53	0,36	4,9	0,16	390

Продовження табл. 6.16

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{II} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	-0,10	2,2	0	52	0,00	0,03	2,2	-0,10	390
B1	-0,50	0,3	0	46	0,00	0,03	0,3	-0,50	390
A2	0,16	4,9	19	155	2,95	1,49	9,4	0,30	390

Таблиця 6.17 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та середнього наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 2,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,00	96,0	59	-26	-1,53	3,06	97,5	2,02	73
B1	2,00	96,0	59	0	0,02	0,68	96,7	2,01	74
A2	2,00	96,0	59	100	5,91	3,51	105,4	2,15	68

Продовження табл. 6.17

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	2,02	97,5	59	-263	-15,49	0,00	82,0	1,65	92
B1	2,01	96,7	59	-283	-16,70	0,00	80,0	1,60	95
A2	2,15	105,4	60	-200	-12,03	0,08	93,5	1,97	75

Продовження табл. 6.17

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,65	82,0	57	-74	-4,19	0,00	77,9	1,58	96
B1	1,60	80,0	56	-94	-5,27	0,00	74,7	1,56	98
A2	1,97	93,5	59	-28	-1,65	0,36	92,2	1,96	76

Продовження табл. 6.17

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	1,58	77,9	56	52	2,92	0,03	80,8	1,61	94
B1	1,56	74,7	56	46	2,58	0,03	77,3	1,58	96
A2	1,96	92,2	59	155	9,15	1,49	102,8	2,12	69

Таблиця 6.18 – Оцінка рівнів і солоності води Куяльницького лиману з урахуванням припливу прісних вод до водойми за сценаріями глобального потепління по сезонах у маловодний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману на початок весни ($H_{II} = 5,00$ м над нулем гр. в./п.; $f_B = 0,00$ %; $W_3 = 0,00$ млн. м³)

Сценарій	Весна (III-V)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	5,00	298,0	72	-26	-1,86	3,06	299,2	4,96	27
B1	5,00	298,0	72	0	0,03	0,68	298,7	4,95	27
A2	5,00	298,0	72	100	7,22	3,51	308,7	5,12	26

Продовження табл. 6.18

Сценарій	Літо (VI-VIII)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,96	299,2	72	-263	-18,91	0,00	280,3	4,75	28
B1	4,95	298,7	72	-283	-20,38	0,00	278,3	4,73	28
A2	5,12	308,7	73	-200	-14,63	0,08	294,2	4,90	27

Продовження табл. 6.18

Сценарій	Осінь (IX-XI)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,75	280,3	71	-74	-5,22	0,00	275,0	4,64	29
B1	4,73	278,3	71	-94	-6,68	0,00	271,6	4,57	29
A2	4,9	294,2	72	-28	-2,02	0,36	292,5	4,88	27

Продовження табл. 6.18

Сценарій	Зима (XII-II)								
	H_{II} , м	W_{II} , млн. м ³	F_{B_2} , км ²	$(X_B - E_B)$, мм	$W_{(X_B - E_B)_3}$, млн. м ³	W_{IIIP} , млн. м ³	W_K , млн. м ³	H_K , м	S , ‰
A1B	4,64	275,0	71	52	3,70	0,03	278,8	4,74	28
B1	4,57	271,6	71	46	3,28	0,03	274,9	4,64	29
A2	4,88	292,5	72	155	11,17	1,49	305,1	5,05	26

Найбільш несприятливим для формування режиму рівнів та солоності води Куяльницького лиману є сценарій В1. У природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах рівень води у лимані може понизитися до мінус 0,5 м нижче «0» гр. в/п (мінус 7,56 м БС) у сезони літо-осінь-зима, що відповідає солоності 390 ‰ (табл. 6.16). Така ситуація можлива лише у маловодні роки 75-відсоткової забезпеченості за умови мінімального наповнення лиману у попередній водогосподарський рік. Водогосподарська діяльність у виді штучних водойм значно погіршує водно-сольовий режим лиману, знижуючи за тих же умов рівень наповнення водойми до мінус 1,4 м нижче «0» гр. в/п (мінус 8,46 м БС), що відповідає стану пересихання лиману. Навіть у весняний сезон рівень води в лимані у такий рік становитиме 0,16 м над «0» гр. в/п (табл. 6.4), що дорівнює відмітці мінус 6,90 м БС. Найвищий рівень води в лимані за сценарієм В1 спостерігатиметься у природних умовах весняного сезону у багатоводний рік, при максимальному попередньому наповненні, та дорівнюватиме 5,74 м над «0» гр. в/п (мінус 1,32 м БС), при якому значення солоності становитиме лише 23 ‰ (табл. 6.15).

Слід зазначити, що у багатоводні роки, при максимальному попередньому наповненні лиману, рівні та солоність води у водоймі для різних сценаріїв відрізняються мало. Рівні води змінюються від 5,70 до 6,58 м над «0» гр. в/п (від мінус 1,36 м БС до мінус 0,48 м БС), а солоність – від 20 до 23 ‰ (табл. 6.15). У багатоводні роки, при середньому попередньому наповненні лиману, значення рівнів води у водоймі змінюються від 1,37 м над «0» гр. в/п (мінус 5,69 м БС) – сценарій В1, зима, до 3,56 м над «0» гр. в/п (мінус 3,50 м БС) – сценарій А2, літо-осінь, що приводить до значної різниці у можливих значеннях солоності води: від 113 до 39 ‰. Якщо ж попереднього наповнення лиману перед початком весняного водопілля не спостерігалось (рівень води у лимані становив 0,00 м над «0» гр. в/п або мінус 7,06 м БС), то розбіжності між різними сценаріями стають дедалі більшими навіть у багатоводні роки: рівні води змінюються від 1,11 м над «0» гр. в/п (мінус 5,95 м БС) – сценарій В1, зима, до 2,23 м над «0» гр. в/п (мінус 4,83 м БС) – сценарій А2, зима, що відповідає змінам солоності від 143 до 66 ‰ (табл. 6.15).

Найбільша водність у басейні Куяльницького лиману відповідає сценарію А2. Згідно із цим сценарієм найбільший рівень води у лимані спостерігатиметься взимку за умови максимального попереднього наповнення і становитиме 6,58 м (табл. 6.15). Водогосподарська діяльність здатна знизити цей рівень до 6,46 м. При мінімальному попередньому наповненні (табл. 6.13) рівень зимового сезону у багатоводний рік досягатиме лише 2,23 м (солоність – 66 ‰), а завдяки водогосподарській діяльності (табл. 6.7) знизиться до 2,06 м (солоність – 72 ‰). Найнижчих позначок рівні води за цим сценарієм досягнуть у сезони літо та осінь маловодного року за відсутності попереднього наповнення лиману і становитимуть 0,16 м (солоність – 139 ‰).

Розглядаючи осередні умови наповнення лиману у природних умовах (табл. 6.11) можна зазначити, що рівні коливатимуться від 2,00 до 2,50 м, із солоністю води 70-57 ‰ – у межах всіх сценаріїв. Наявність штучних водойм на басейні лиману змінить цей діапазон у його нижній частині: рівні води коливатимуться від 1,9 до 2,5 м із солоністю води 75-57 ‰ – у межах всіх сценаріїв (табл. 6.2). За сценарієм A1B найвищий рівень води для середніх за водністю умов спостерігатиметься у сезон зима, найнижчий – у сезон осінь. За сценарієм B1 найвищий рівень спостерігатиметься у сезон весна, найнижчий – у сезон осінь. Згідно із сценарієм A2 найвищий рівень води спостерігатиметься у сезон зима, а найнижчий – у сезон осінь (табл. 6.2).

Таким чином, найбільш небезпечними для гідрологічного, а, отже, гідрохімічного та біологічного стану Куяльницького лиману слід визнати угруповання маловодних років, які спостерігаються певний посушливий період, забезпечуючи ситуацію мінімального попереднього наповнення, що приводить до граничного значення рівнів та солоності води у лимані на протязі всіх сезонів року як у природних, так і порушених господарською діяльністю умовах (табл. 6.4 і 6.16). Складна ситуація може також виникнути в лимані у середні по водності роки, коли попереднє наповнення мінімальне, особливо для сценарію B1 (табл. 6.1 і 6.10).

7 ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ТА МОЖЛИВИХ ЗМІН ЖИВИХ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ І БІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

Сучасний стан екосистеми Куяльницького лиману є відображенням попереднього впливу природних зональних мезокліматичних змін на фоні потужного антропогенного тиску. Саме ці вектори обумовлюють умови екосистеми басейну Куяльницького лиману, які привели її до нищівної трансформації.

Актуальність загостреної уваги до Куяльницького лиману в останній час обумовлена реальною загрозою його зникнення як природного об'єкту та унікального бальнеологічного джерела. Обставини ускладнюються тим, що дана екосистема у своїй руйнації майже пройшла «точку неповернення» і може виявитись не здатною до самовідновлення. У зв'язку з цим зусилля на відновлення Куяльницького лиману стають в значній мірі інженерними, що орієнтовані на створення життєвих умов для специфічної біоти гіпергалінних континентальних водойм бальнеологічного значення.

Дана проблематика не є притаманною виключно для Куяльницького лиману: природні сукцесії в купі з недбалим природокористуванням породжують аналогічні проблеми в інших регіонах з подібними водоймами. Для вирішення цих проблем розробляються і виконуються відповідні заходи з тією ж метою – відновлення життєвих умов для гіпергалінної бальнеологічної біоти, так як це робиться на прикладі Великого Солоного озера – в США, Мертвого моря, озера Асал – в Сомалі, Сонячного озера – в Синаї, озерах Західної Австралії, озера Ельтон – в Росії, кримських солоних озерах, Аралі та ін. [55, 56]. Відповідно до задач виправлення ситуації, що склалась навколо Куяльницького лиману і зважаючи на світовий досвід, метою дослідження є аналіз сучасного стану біоти екосистеми даного водного об'єкту та визначення перспектив її відновлення в тому числі за умов очікуваних кліматичних змін [8, 57-59]. Результати роботи повинні бути врахованими при стратегічному плануванні реабілітації Куяльницького лиману як складової екологічної мережі Півдня України та як діючої бальнеологічної водойми.

7.1 Оцінка сучасного стану живих природних ресурсів і гідробіологічного режиму Куяльницького лиману, річок і водойм його басейну

Загальні фауністичні та флористичні описи для Куяльницького лиману та його наземного оточення наведені в численних публікаціях різного призначення, в тому числі і у природоохоронному напрямку [60], але чіткого уявлення про екологічну структуру біоти у ієрархії екологічних профілів немає.

Між тим, потреба у розкритті такої структури існує перш за все через вірогідні вікаріальні зміни біоти, пов'язані з кліматом.

Тому виникає потреба не стільки у переліках видів з тим чи іншим природоохоронним або фармакологічним значенням (для рослин), скільки у визначенні екологічних типів (екобіоморф), що обумовлюють існуюче і вірогідне біорізноманіття при змінах мезоклімату.

Важливо відмітити, що накопичені до 2012 р. відомості про наземну, навколоводну та водну біоту на поточний час в значній мірі застаріли через швидкоплинність дегресій, пов'язаних з висиханням лиману, еоловим засоленням прилеглих територій, екстремальними літніми температурами, тощо.

7.1.1 Ландшафтно-екологічна структура типового біому лиману

Ландшафтним осередком Куяльницького лиману розглядається безпосередньо лиман з береговою смугою, гирловими частинами річок, що впадають у водойму, та схили його долини.

В прилеглих ділянках долин річок, що впадають до лиману, типовим є луговий тип ґрунтів з різним ступенем засолення.

Відповідно до умов цих угідь формується декілька типів біоти: степова ксеротермофільна флора і фауна з певною часткою напівпустельного ефемероїдного елементу, галофільна наземна солончакова біота, ультрагалінна болотяна біота гіперсолоних підтоплень берегової смуги.

Безпосередньо Куяльницький лиман як гіпергалінна водойма формує специфічну галобіонтну флору і фауну, притаманну водоймам такого типу.

7.1.2 Екологічна структура рослинності в наземних біотопах лиману

У відповідності з сучасним геоботанічним районуванням України, дана місцевість відноситься до Одеського округу злакових і полиново-злакових степів, засолених луків, солончаків і рослинності карбонатних відслонень.

Округ відноситься до Чорноморсько-Азовської степової підпровінції Понтічної степової провінції Степової підобласті Євразійської степової області [61]. Тут відзначалась степова, петрофітна (петрофітно-степова), лісова, чагарникова, галофітна, прибережно-водна, лугова рослинність.

Всього було зареєстровано близько 800 видів судинних рослин [62].

З них 17 видів занесені до Червоної книги України, по 4 види – в Європейський червоний список і червоний список МСОП, 15 видів – охороняється на території Одеської області.

За геоботанічною характеристикою [63] для регіону типовими є на плакорні степи (до їх розорювання) з дернинними злаками, такими як:

ковил Лессінга (*Stipa lessingiana* Trin. et Rupr.), ковил український (*Stipa ucrainica* P. Smirn.), на сході – ковил Залеського (*Stipa zalesskii* Wilensky-S. rubentifformis P. Smirn.), костриця (*Etuca sulcata* Hack.), стоколос прибережний (*Zerna riparia* Rehm) та ін.

Із різнотрав'я – півонія (воронець) вузьколиста (*Paeonia tenuifolia* L.), кермек широколистий (*Limonium latifolium* (Sm.) Ktze.), катран татарський (*Crambe tataria* Sebeok.), шавлія поникла (*Salvia nutans* L.), шавлія австрійська (*Salvia austriaca* Jacq.) та ін.

В смузі полиново-злакових степів поширені фітоценози з перевагою житняка гребінчастого (*Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult), полину Бошняка (*Artemisia boschniakiana* (Bess.) DC), полину кримського (*Artemisia taurica* Willd.) тощо.

За сучасними оцінками типовою залишається степова рослинність з розширенням площ рудеральної, виникаючих під впливом пасовищної дегресії. Вагому частину лугових площ починають займати спільноти галофітів.

У степовій рослинності залишаються спільноти з пануванням ковилів (ковил Лессінга – *Stipa lessingiana*, ковил волосистий – *Stipa capillata*, і ковил український – *Stipa ucrainica*) і типчака валіського (*Festuca valesiaca*).

На виходах вапняків поширена петрофітно-степова рослинність з домінуванням келери короткої (*Koeleria brevis*), чебрецю двоформенного (*Thymus dimorphus*) та ін.

Лісова рослинність представлена штучними посадками з акації (*Robinia pseudoacacia*), гледічії (*Gleditsia triacanthos*), ясеню (*Fraxinus lanceolata*), в'язу (*Ulmus pumila*), клену татарського (*Acer tataricum*), жимолості татарської (*Lonicera tatarica*), бирючини звичайної (*Ligustrum vulgare*), бузини чорної (*Sambucus nigra*), терену (*Prunus spinosa*), шипшини собачої (*Rosa canina*) та ін.

Уздовж берега лиману на підтопленій смузі поширена галофітна рослинність з солеросу європейського (*Salicornia europaea*), покісниці розставленої (*Puccinellia distans*), покісниці гігантської (*Puccinellia gigantea*), зведени (*Suaeda prostrate*), галіміоне (*Galimione pedunculata*) та ін. солянок.

Прибережно-водна рослинність представлена, в основному, в місцях впадіння в лиман прісних вод. Це зарості очерету (*Phragmites australis*), осок (*Carex acutiformis*) та ін.

На сьогодні, в зв'язку з пересиханням р. В. Куяльник, у верхів'ї Куяльницького лиману прибережно-водна рослинність заміщена солянками.

Рудеральні спільноти формуються дурнишниками (*Xanthium albinum*, *Xanthium strumarium*), анізантою покрівельної (*Anisantha tectorum*). У місцях утримання худоби панують татарник колючий (*Onopordum acanthium*) і чортополох (*Carduus acanthoides*), мятлик вузьколистий (*Poa bulbosa*), який місцями домінує у рослинному покриві.

З різнотрав'я зустрічаються шавлії (*Salvis austriaca*, *Salvia nutans*, *Salvia nemorosa*), Коров'як фіолетовий (*Verbascum phoeniceum*), різні види бобових – астрагал еспарцетний (*Astragalus onobrychis*), астрагал ріжковий (*Astragalus corniculatus*), астрагал австрійський (*Astragalus austriacus*), горошок вузьколистий (*Vicia angustifolia*), чина клубненосна (*Lathyrus tubeosus*), вязель мінливий (*Coronilla varia*), еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) та ін.

Показовим для флористичних змін останнього часу є висновок про те, що у структурі фітоценозів на узбережжі Куяльницького лиману більшість видів флори є рудеральною [64]. Наприклад, була встановлена наявність лише фрагментів степової рослинності у вигляді ділянок ковилово-типчакових степів з участю видів родів ковила і костриці, житняка.

Частка апофітної флори переходить на трансформовані ділянки. Натомість рудеральна рослинність заходить до узбережжя лиману на солончакові луки.

Загалом в місцевості було зареєстровано 350 видів судинних рослин, з них 184 – рудеральні. До адвентивної фракції було віднесено 86 видів, з них нестійкими, які вимагають щорічного занесення ззовні, є 9 видів, стійкими – 72 види, натуралізуватися в природних ценозах – 5 видів.

До апофітів віднесені 98 видів рослин, де провідною групою є евапофіти – рослини місцевої флори, які майже або повністю переселилися до трансформованих екотопів.

Серед видів адвентивної фракції у флорокомплексах Куяльницького лиману спостерігається домінування епекофітов – видів заносних рослин, які натуралізуватися на повністю трансформованих ділянках і молодих покладах.

Були виявлені також види рослин, які натуралізуватися в природних і напівприродних середовищах існування (агріофіти), а також здичавілі культивовані рослини, які натуралізувались поблизу місць культивування (ергазіофіти).

7.1.3 Екологічна структура фауни в наземних біотопах лиману

Фауністична складова тісно пов'язана флористичною і нарівні з нею відображає ступінь трансформації екосистем. Наземна фауна Куяльницького лиману до недавнього часу оцінювалася як унікальна, що мала в складі види, які занесені до Світового Червоного списку, списку Бернської конвенції, Червоної книги України, Європейського червоного списку.

Прибережні території Куяльницького лиману були віднесені до числа степових рефугіумів Правобережжя України.

У степовій біотопічній структурі схилів лиману додатково представлені солончакові, чагарникові місцепроживання.

Природоохоронний статус на цій території мають такі види як: дибка степова (*Saga pedo*), красотіл пахучий (*Calosoma sycophanta*), махаон (*Papilio machaon*), падалірій (*Jphiclidespadalirius*), павлиноочка грушева (*Saturnia pyri*), бражник обліпиховий (*Hyles hippophaes*), бражник мертва голова (*Acherontia atropos*), медведиця Гера (*Callimorpha quadripunctaria*), сколія гігант (*Scolia maculata*), сколія степова (*Scolia hirta*), лярра анафемська (*Larra anathema*), бджола-тесля звичайна (*Xylocopa valga*).

Наземна степова екосистема Куяльницького лиману була природним резерватом корисних комах – ентомофагів і запилювачів.

Серед запилювачів культурних видів рослин на території схилів Куяльницького лиману виявлено бджіл з родини справжніх бджіл (*Apidae*), мегахілід (*Megachilidae*) і галактід (*Halictidae*). Більшість видів цих родин формують гнізда тільки на цілих ділянках.

Куяльницький лиман був визнаний унікальною екосистемою, що відрізняється за видовою різноманітністю амфібій і рептилій від навколишнього її степової зони. Тут зустрічалися 7 видів амфібій і 7 видів рептилій. Деякі з них, будучи типовими мешканцями лісостепової та лісової зон, проникали на південь по долині р. В. Куяльник. Наприклад, сіра жаба і звичайний тритон.

З амфібій в гирловій зоні р. В. Куяльник і в прісноводних водоймах на пересипу між лиманом і морем мешкав звичайний тритон (*Triturus vulgaris*), червоночерева жерлянка (*Bombina bombina*), часничниця звичайна (*Pelobates fuscus*), сіра жаба (*Bufo bufo*), зелена жаба (*Bufo viridis*), квакша звичайна (*Hyla arborea*), озерна жаба (*Rana ridibunda*). З рептилій – болотяна черепаха (*Emys orbicularis*), вуж звичайний (*Natrix natrix*), вуж водяний (*Natrix tessellata*), зелена ящірка (*Lacerta viridis*), прудка ящірка (*Lacerta agilis*), червонокнижні полози жовточеревий (*Coluber jugularis*) і чотирьохсмугий (*Elaphe quatuorlineata*). У відтворенні популяцій амфібій, водяного і звичайного вужів грають верхів'я і пониззя лиману з прісноводними водоймами (у верхів'ї їх вже немає). Для таких видів рептилій, як жовточеревий і чотирьохсмугий полози, а також ящірок важливу роль відіграють схилі степові ділянки лиману.

Для птахів Куяльницький лиман служив унікальним ланкою міграційного ланцюга водно-болотних птахів у Афро-Євразійському коридорі їх прольоту [65]. Станом на 2004 р. тут у періоди міграцій, гніздування і зимівлі відмічено більше 200 видів птахів фауни України [66].

Мозаїчність і багатство водно-болотних біотопів, що межують зі степовими ділянками надзаплавних терас і плакору, зумовили мешкання тут багатьох навколоводних і сухопутних видів ссавців. В попередні роки було зареєстровано ряд видів ссавців, які є вкрай рідкісними або зникаючими не тільки для Одеської області, але також України і Європи. Ссавців цієї території, крім кажанів налічує 28 видів: звичайний їжак – *Erinaceus europaeus* L.,

звичайний кріт – *Talpa europaea* L., мала бурозубка – *Sorex minutus* L., звичайна бурозубка – *Sorex araneus* L., мала білозубка – *Crocidura suaveolens* Pall., лисиця – *Vulpes vulpes* L., єнотоподібний собака – *Nyctereutes procyonoides* Schl., горностай – *Mustela erminea* L., ласка – *Mustela nivalis* L., куниця кам'яна – *Martes foina* Erxl., тхір – *Mustela eversmanni* Less., борсук – *Meles meles* L., кабан – *Sus scrofa* L., європейська козуля – *Capreolus capreolus* L., заєць-русак – *Lepus europaeus* Pall., сирій пацюк – *Rattus norvegicus* Berk., курганчикова миша – *Mus spicilegus* N., домовиша – *Mus musculus* L., мала азіатська миша – *Apodemus microps* Krat., лісова миша – *Apodemus sylvaticus* L., миша-крихітка – *Micromys minutus* Pall., звичайний хом'як – *Cricetus cricetus* L., сирій хом'ячок – *Cricetulus migratorius* Pall., звичайна полівка – *Microtus arvalis* Pall., водяна полівка – *Arvicola terrestris* L., сліпак білозубий – *Nannospalax leucodon* Nord., крапчастий ховрах – *Citellus suslicus* Guld., степова мишівка – *Sicista subtilis* Pall.

Розглянуті за літературними даними особливості наземної біоти Куяльницького лиману в контексті явних і різких змін безумовно потребують корекції. Для повної картини потрібні спеціальні комплексні флористичні та фауністичні дослідження.

7.1.4 Ценотична оцінка наземної біоти в басейні Куяльницького лиману за результатами натурних польових досліджень в 2012 році

В даній роботі, з причини обмеженого часу, стан наземної екосистеми оцінювався лише за одним таксоном бджолиних (*Hymeniptera*, *Apoidea*). Підставою для такого вибору послужив попередній досвід подібної роботи (міжнародний проект «Збереження біологічного різноманіття в українській частині дельти Дунаю», 1993-1995), наявні особисті матеріали більш ніж за тридцятирічний період і безумовна біологічна репрезентативність цієї групи та її практичне значення в якості ресурсу запилювачів дикоростучої флори і сільгоспкультур.

Особливо відзначимо безумовну залежність числа видів бджолиних від числа видів рослин [67, 68] або окремих біотопів [69-72]. Ця обставина пояснюється трофічними (кормовими) зв'язками бджолиних як в окремих компонентах біоценозу, так і у геобіоценозі в цілому: чим вони різноманітніші, тим вище стійкість екосистеми.

У побуті під «бджолами» зазвичай мається на увазі свійська медоносна бджола (*Apis mellifera*), тоді як в екологічному і біологічному розумінні бджолині – це велика таксономічна одиниця, яка об'єднує сотні видів поодиноких і суспільних диких бджіл.

У сучасній класифікації бджолиних (*Apoidea*) поділяють на дві несистематичні групи (секції): *Sphaciformes* – сфекоїдні оси (*Heterogynaidae*,

Ampulicidae, *Sphecidae*, *Crabronidae*) та *Apiformes* – бджоли (родини: *Stenotritidae*, *Colletidae*, *Andrenidae*, *Halictidae*, *Melittidae*, *Megachilidae*, *Apidae*). Серед них домашня бджола – це єдиний вид, що разом з джмелями відноситься до родини *Apidae*, а решта (більш ніж 17 тис. видів) зазвичай лишаються поза увагою більшості необізнаного населення. У цьому зв'язку буде доречним навести деякі риси їх біології та екології для розуміння особливостей диких бджіл як індикаторів стану рослинності та екосистеми у цілому.

За типом трофічних зв'язків їх поділяють на 2 основні групи: полілектичні (лат. – «*polylectic*») види, самки яких збирають пилок з широкого кола рослин (широкі полілекти) або з небагатьох видів рослин, що належать до різних родин рослин (вузькі полілекти) і оліголектичні (лат. – «*oligolectic*») види, самиці яких збирають пилок переважно або виключно з однієї родини рослин (широкі оліголекти). Іноді пилок береться тільки з квіток рослин одного або ряду близьких родів (вузькі оліголекти) або навіть одного виду (монолекти).

Наступним моментом в біології диких бджіл є їх залежність від умов для гніздування. За способом гніздування бджоли поділяються на гніздобудуючих і клептопаразитів (що займають чужі гнізда, виганяючи або вбиваючи господиню). Гніздо диких поодиноких бджіл складається з нечисленних осередків, влаштованих в різних субстратах.

При виборі бджолою місця для будівництва гнізда істотне значення мають рельєф поверхні ґрунту, експозиція схилів, наявність і густина рослинного покриву, вологість ґрунту та інші фактори.

Деякі види риють гніздові нори в ґрунті на рівній поверхні – геофіли плакору. Ряд видів влаштовує гнізда в вигризених ними рослинних матеріалах. Зазвичай такі бджоли віддають перевагу зламанім або тріснутиім стеблам високорослих трав'янистих рослин, що забезпечує прямий доступ до м'якої серцевини і полегшує початок будівництва гнізда. Інші види будують гнізда в порожнинах. Для цього частіше всього вони використовують ходи комах-ксілофагів в деревині, пустотілі стебла рослин, порожнечі під деревною корою, старі ходи бджіл і ос тріщини у каменях тощо. Особливу групу складають види, які влаштовують гнізда в порожніх раковинах черевоногих молюсків на відкритих місцях або ліплять гнізда з глини і смолистої речовини на каменях, стеблах і листках рослин.

Таким чином, мається на увазі, що мова йде про великий таксон екологічних генералістів, серед якого є чимало видів, спеціалізованих до харчування тільки на певних рослинах. Крім того, залежність від середовища проживання підтримується не тільки харчуванням, але і гніздуванням. Іншими словами структура даного таксоцену здатна відбивати структурну організацію біотопів. Важливим також є та додаткова обставина, що бджолині в повній мірі відповідають вимогам щодо індикаторів біорізноманіття [73].

Основним критерієм оцінок в цій частині нашої роботи було виявлення співвідношень видів, які представляють різні екологічні типи. Зміни в наземній екосистемі Куяльницького лиману порівнювалися за осередненими даними 2005-2008 рр. та за 2012 р. Вибірки здійснювалися згідно фенологічним періодам: весняний (квітень-травень), літній (червень-липень), пізньолітній (серпень-вересень).

За результатами вибірок аналізувалося співвідношення числа видів за відношенням до гідротермічного режиму: мезофілів (пристосовані до існування в помірних умовах температури, зволоження), мезо-ксерофілів (займають проміжне положення), ксерофілів (пристосовані до існування в умовах нестачі вологи – степу, пустелі, напівпустелі). Даний показник вказує на мезокліматичні зміни в екосистемі. На тлі мезокліматичних умов розглядалося співвідношення видів за біотопічним розподілом (вибір біотопу визначається способом гніздування, звідси діапазон способів гніздування вказує на біотопічне різноманіття екосистеми).

Співвідношення видів за типом трофіки вказує на різноманітність антофільної флори. При цьому чим більша питома вага монолектів і оліголектів – тим стабільніше стан екосистеми. При першому порівнянні складу апідофауни в попередні роки і станом на 2012 р. звертає на себе увагу різке зменшення загального числа видів (рис. 7.1).

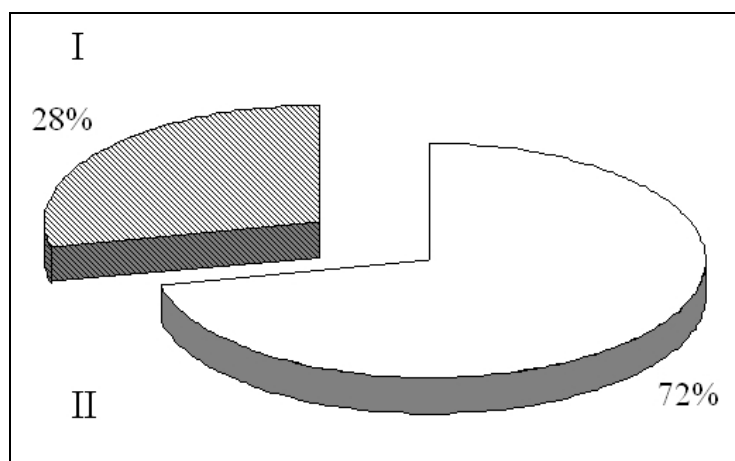


Рис. 7.1 – Залишкова апідофауна (кількість видів) екосистеми Куяльницького лиману станом на 2012 р.: I – залишок; II – зникла частка

З рис. 7.1 видно, що станом на 2012 р. зникло більше 70 % видового складу. Такого роду зміни для провідного компонента біоти всього за чотири роки вже відносяться до розряду катастрофічних і вимагають встановлення їх реальних причин.

Для їх з'ясування були задіяні параметри співвідношень видів за показниками комплексів видів певного екологічного стандарту.

Гіротермічний тип комплексу видів (Гт) має в своєму складі три групи видів: ксерофіли (ks) – тип екстремофілів, адаптованих до умов високої сухості повітря в поєднанні з високою температурою; мезофіли (mph) – тварини, пристосовані до життя в умовах середньої вологості повітря і ґрунтів; мезо-ксерофіли (mph-ks) – займають проміжне положення.

За зональним розподілом (приуроченість сполучена з гідротермічною адаптацією) виділяються: лісостепові (лс), степові (ст), полізональні (пз). Ксерофільний комплекс складають степові види, мезофільний – полізональні, мезо-ксерофільний – лісостепові.

Ці ж характеристики в певній мірі обумовлюють сезонні періоди льоту бджолиних, на основі чого серед них визначаються фенологічні типи (Фт): весняні (вс) – квітень-травень, раньолітній (рл) – червень, літні (лт) – липень, пізньолітній (плт) – серпень-вересень.

Період льоту часто сполучений з типом розвитку (Тр): моновольтинний (mv) – одна генерація на рік; бівольтинний (bv) – дві генерації; полівольтинний (pv) – більше двох генерацій.

Моновольтинні види мають виражену гідротермічну залежність, тому вони активні лише в ті сезонні періоди, коли навколишні умови відповідають їх екологічному стандарту. Наприклад, мезофіли в більшості – це весняні або пізньолітні угруповання моновольтинних видів, ксерофіли – приурочені до посушливих періодів з середини літа і можуть бути бівольтинними або полівольтинними тощо.

За біотопічним розподілом (приуроченість до певного біотопічного виділу екосистеми, яка обумовлюється наявністю в них тих абіотичних умов, до яких адаптований вид) визначені наступні градації типових біотопів (Тб): горизонтальна поверхня ґрунту (рп), схили (сх), ярово-балкові (яб), евритопні (ет) – комплекси видів, що не мають певної приуроченості.

Біотопічний розподіл видів напряду залежить від типу гніздування або стаціональної приуроченості (Стг). За цим показником бджолині долини Куяльницького лиману та прилеглих гирлових ділянок долин малих річок поділяються на: плакорні геофіли (пг) – риють гніздові нори на горизонтальних поверхнях ґрунту; схилово-урвищні геофіли (суг) – вигризують гнізда у прямовисних стінах урвищ; хортобіонти (хб) – гніздяться в стеблах багаторічних рослин; тамноксильобіонти (т-ксб) – гніздяться в деревині кущів або дерев; ліпнинники (лп) – ліплять гнізда з глини або смолистої речовини на різних поверхнях; порожнинник (пр) – гніздяться в різних порожнинах (покинуті гнізда інших видів, тріщини прямовисних урвищ), а деякі – у пустих мушлях моллюски тощо.

Одними з найважливіших факторів присутності бджолиних є наявність відповідної трофічної бази. Безумовним фактом є пряма взаємозалежність існування бджолиних і вищою квітковою рослинністю. Причому склад рослинності напряду залежить від складу їх запилювачів і навпаки.

За спектром кормових рослин або типом трофічних відносин (Тф) бджолині підрозділяються на: монолектів (ml) – один або декілька видів кормових рослин, існування яких залежить саме від цих бджолиних; оліголектів (ol) – взаємоприурочені до відносно вузького кола рослин однієї систематичної родини; полілектів (pl) – мають дуже широкий спектр кормових рослин.

Дані табл. 7.1 дають змогу проаналізувати склад бджолиних за означеними параметрами і на цій основі визначити сучасний стан наземної екосистеми Куяльницького лиману.

Таблиця 7.1 – Характеристика апідофауни водозбору Куяльницького лиману за екологічним стандартом видів

Таксономічна належність	Гт	Тф	Антофільні рослини (родини, види)	Тр	Фт	Стг	Тб	Зт	до 2012 р.	2012 р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Родина <i>Colletidae</i>										
<i>Colletes punctatus</i> Mocs.	ks	ml	Виключно чорнушки польової (<i>Nygella arvensis</i>)	mv	л	пг	cx	ст	+	–
<i>Colletes cunicularius</i> (Linnaeus)	mph	pl	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Asteraceae</i> та ін.	mv	еф	пг	cx	пз	+	+
<i>Colletes</i> (C.) <i>marginatus</i> Sm.	mph-ks	pl	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Asteraceae</i>	mv	лт	пг	cx	пз	+	–
<i>Colletes</i> (C.) <i>mlokoszewiczi</i> Rad.	ks	pl	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Cucurbitaceae</i> , <i>Euphorbiaceae</i>	л-пл	bv	пг	cx	ст	+	+

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Colletes hylaeiformis Eversmann</i>	ks	ml	<i>Eryngium planum (Umbelliferae)</i>	mv	плт	пг	сх	ст	+	–
<i>Colletes nasutus Sm.</i>	mph-ks	ol	<i>Vicia villosa, Trifolium, ambiguum, Symphytum officinale</i>	mv	лт	пг	сх	ст	+	–
Родина <i>Prosopinae</i>										
<i>Prosopis (Abrupta) cornuta Sm.</i>	mph-ks	ol	<i>Brassicaceae, Euphorbiaceae</i>	bv	лт	хб	яб	пз	+	–
<i>Prosopis (Navicularia) variegata F.</i>	ks	pl	<i>Fabaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae</i>	bv	лт	хб	сх	ст	+	+
<i>Prosopis (P.) pratensis Geoffe</i>	ks	pl	<i>Fabaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae</i>	bv	лт	хб	сх	ст	+	+
<i>Prosopis (Dentigera) brevicornis Nyl</i>	mph	pl	<i>Fabaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae</i>	bv	лт	хб	сх	пз	+	–
<i>Prosopis pictipes Nyl</i>	mph-ks	pl	<i>Fabaceae, Euphorbiaceae</i>	bv	плт	хб	яб	пз	+	–
Родина <i>Andrenidae F.</i>										
<i>Andrena (Chlorandrena) taraxaci Gir.</i>	mph	ol	<i>Taraxacum officinale, Tragopogon, Lagoseris macrantha</i>	mv	еф	пг	сх	ст	+	–

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Andrena</i> (<i>Orandrena</i>) <i>oralis</i> F. Mor.	mph	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	вс	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (Lep.) <i>curvungula</i> Thorns	mph	ol	<i>Campanuláceae</i> (<i>Campanula</i> , <i>Lavatera</i> , <i>Veronica</i> , <i>Potentilla</i>)	mv	рл	пг	яб	лс	+	—
<i>Andrena</i> (Lep.) <i>florivaga</i> Eversm.	mph-ks	ol	<i>Campanuláceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Ulandrena</i>) <i>abbreviate</i>	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (U.) <i>elegans</i> Gir.	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i> , <i>Achillea</i> , <i>Melilotus</i>	bv	рл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Nobandrena</i>) <i>nobilis</i> F. Mor.	mph-ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	вс	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (N.) <i>anatolica</i> Alf.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (N.) <i>flavobila</i> War.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	вс	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> <i>truncatilabris</i> F. Mor.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	яб	ст	+	—
<i>Andrena</i> <i>hattorfiana</i> (F.)	mph-ks	ml	Свербіжниця (<i>Knaulia</i> <i>arvensis</i>)	mv	рл	пг	яб	пз	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Scitandrena</i>) <i>scita</i> Eversm.	mph-ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	суг	яб	ст	+	+

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Andrena</i> (<i>Melanapis</i>) <i>fuscata</i> Erichs	ks	ol	<i>Brassicaceae</i> , <i>Fabaceae</i> , <i>Valerianoideae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Plastandrena</i>) <i>tibialis</i> (Kby.)	mph-ks	pl	більше 100 видів рослин	bv	рл	пг	сх	пз	+	+
<i>Andrena</i> (Pl.) <i>bimaculata</i> (Kby.)	mph	pl	більше 100 видів рослин	bv	рв-рл	пг	ет	пз, ут	+	+
<i>Andrena</i> (Pl.) <i>carbonaria</i> (L.)	mph-ks	pl	50 видів рослин з 19 родин	bv	рв-пл	пг	ет	пз, ут	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Micrandrena</i>) <i>minutula</i> (Kby.)	mph-ks	pl	більше 100 видів з різних родин	bv	рв-пл	пг	ет	пз, ут	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Micrandrena</i>) <i>tringa</i> War.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> <i>enslinella</i> <i>Stftckhert</i>	ks	ol	<i>Brassicaceae</i> , <i>Umbelliferae</i>	bv	рл-пл	пг	яб	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Graecandrena</i>) <i>graecella</i> War.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Aciandrena</i>) <i>aciculata</i> F. Mor.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	bv	вс-л	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Cordandrena</i>) <i>cordialis</i> F. Mor.	mph-ks	ol	<i>Brassicaceae</i> , <i>Umbelliferae</i>	bv	вс-л	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Aen.</i>) <i>bisulcata</i> F. Mor.	mph-ks	ol	<i>Brassicaceae</i> , <i>Umbelliferae</i>	bv	рл	пг	сх солонці	ст	+	+

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Andrena</i> (<i>Parandrenella</i>) <i>figurata</i> F. Mor.	ks	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Biareolina</i>) <i>haemorrhoea</i> (F.)	mph-ks	pl	більше 100 видів рослин	mv	рв	пг	яб	пз	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Poliandrena</i>) <i>limbata</i> Eversm.	mph-ks	ol	<i>Campanulaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Campylogaster</i>) <i>erberi</i> F. Mor.	ks	ol	<i>Euphorbiaceae</i> , <i>Umbelliferae</i> , <i>Asteraceae</i>	bv	в-пл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Holandrena</i>) <i>labialis</i> (Kby.)	mph-ks	pl	більше 100 видів рослин	mv	рл	пг	сх	пз	+	—
<i>Andrena</i> (Hoi.) <i>variabilis</i> Sm.	ks	pl	більше 100 видів рослин	bv	л-пл	пг	сх	ст	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Zonandrena</i>) <i>flavipes</i> Panz.	ks	pl	більше 100 видів рослин	bv	л-пл	пг	ет	пз	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Taeniandrena</i>) <i>ovatula</i> (Kby.)	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз, ут	+	+
<i>Andrena</i> <i>humilis</i> <i>Imhoff</i>	ks	pl	більше 100 видів з різних родин	bv	л-пл	пг	ет	пз	+	+
<i>Andrena</i> (Mel.) <i>vaga</i> Panz	mph	ol	<i>Salix</i> , <i>Ficaria verna</i> , <i>Spirea</i> , <i>Cerasus vulgaris</i> , <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i>	mv	рв	пг	сх	пз	+	—
<i>Andrena</i> (<i>Euandrena</i>) <i>bicolor</i> F.	mph	pl	13 родин	mv	рв	пг	сх	пз, ут	+	—

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Andrena</i> (<i>Thysandrena</i>) <i>hypopolia</i> <i>Schmied.</i>	mph-ks	pl	резедових, губоцвітних, бобових, хрестоцвітних	bv	л	пг	ет	пз	+	+
<i>Andrena</i> (<i>Simandrena</i>) <i>dorsata</i> (Kby.)	ks	pl	14 родин кормових рослин	bv	л	пг	ет	пз	+	+
Родина <i>Panurginae</i>										
<i>Panurginus</i> <i>lactipennis</i> <i>Friese</i>	ks	ol	виключно <i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	сх	ст	+	—
<i>Panurginus</i> <i>labiatus</i> (<i>Eversm.</i>)	mph-ks	ol	виключно квітки <i>Brassicaceae</i>	mv	л	пг	сх	пз	+	—
<i>Panurginus</i> <i>sculpturatus</i> <i>F. Mor.</i>	mph-ks	ol	виключно квітки <i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пг	яб	ст	+	—
<i>Panurgus</i> <i>calcaratus</i> (<i>Scop.</i>)	ks	ol	виключно квітки <i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	ет	пз, ут	+	—
Родина <i>Halictidae</i>										
<i>Halictus</i> <i>maculatus</i> <i>Smith</i>	mph-ks	pl	більше 100 видів з різних родин	bv	л	пг	сх	пз	+	+
<i>Nomioides</i> <i>minutisslma</i> <i>Hossi</i>	mph-ks	pl	більше 100 видів з різних родин	mv	л	пг	яб	пз	+	+
<i>Nomioides</i> <i>variegata</i> <i>Oliv.</i>	ks	pl	більше 100 видів з різних родин	mv	л	пг	сх	ст	+	—
<i>Nomia</i> <i>diversipes</i> <i>Lair.</i>	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз	+	—

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Nomia femoralis Pallas</i>	mph-ks	pl	більше 100 видів з різних родин	mv	л	пг	сх	пз	+	–
<i>Rhophites trispinosus Perez</i>	ks	pl	більше 100 видів з різних родин	bv	л-пл	пг	яб	ст	+	+
<i>Rophitoides canus Eversin.</i>	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз	+	–
<i>Syslropa planidens Gir.</i>	mph-ks	ol	<i>Convolvulus.</i>	mv	рл	пг	яб	пз	+	–
Родина <i>Melittidae</i>										
<i>Melitta budensis (Mocsary)</i>	ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	яб	ст	+	+
<i>Melitta leporina (Panzer)</i>	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз	+	–
<i>Dasypoda argentata (Panzer)</i>	ks	ml	квітки <i>Scabiosa</i>	mv	л	гу	сх	сп	+	–
<i>Dasypoda plumipes (Panzer)</i>	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	яб	пз	+	–
Родина <i>Anthophoiidae</i>										
<i>Tetralonia gungarica Giese</i>	ks	pl	<i>Asteraceae, Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	ст	+	+
<i>Tetralonia pollioosa Lep.</i>	ks	pl	<i>Asteraceae, Lentibulariaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз	+	+
<i>Amegilla ulbigena Lep.</i>	ks	pl	<i>Asteraceae</i>	mv	пл	пр	у	ст	+	+

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Amegilla ochroleuca</i> Perez	mph-ks	pl	<i>Asteraceae</i>	mv	пл	пл	у	ст	+	—
<i>Anthophora pedata</i>	mph-ks	ol	<i>Astragalus</i>	mv	л	пг	сх	ст	+	—
<i>Anthophora testaceipes</i> F. Mor.	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	mv	л	пг	яб	ст	+	—
<i>Anthophora fulvitaris</i> Brulle	ks	ol	<i>Fabaceae</i>	mv	л	пг	сх	ст	+	—
Родина <i>Megachilidae</i>										
<i>Lithurgus cornutum</i> (Fabricius)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	т-ксіб	яб	пз	+	—
<i>Chelostoma proximum</i> (Schlett)	ks	ml	<i>Convolvulus</i>	mv	рл	т-ксіб	яб	ст	+	+
<i>Heriades creniculatus</i> (Nylander)	ks	ol	<i>Asteraceae</i>	bv	л-пл	пр	яб	ст	+	+
<i>Heriades truncorum</i> (Linnaeus)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	bv	л-пл	пр	яб	пз	+	—
<i>Hoplitis spinulosa</i> Kirby	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	рв	пр	яб	ст	+	—
<i>Hoplitis bidentata</i> (Morawitz)	ks	ol	Бобові	mv	л	пр	сх	пз	+	—
<i>Hoplitis adunca</i> Pz.	mph-ks	ol	<i>Echium</i> (губоцвітні)	mv	л	лп	яб	пз	+	—

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Anthocopa laeviformis</i> (Morawitz)	mph-ks	ol	<i>Fabaceae,</i> <i>Asteraceae</i>	-	-	-	-	-	+	-
<i>Anthocopa andrenoides</i> Spin.	mph	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	рв	пр	яб	ст	+	+
<i>Anthocopa papaveris</i> (Latreille)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пр	яб	пз	+	-
<i>Osmia rufa</i> L.	mph	pl	<i>Asteraceae</i> та ін.	mv	в	пр	яб	пз	+	-
<i>Osmia alrocoerulea</i> Schilling	mph	ol	<i>Brassicaceae</i>	mv	рл	пр	сх	пз	+	-
<i>Osmia confusa</i> (Morawitz)	mph-ks	pl	<i>Asteraceae</i> та ін.	mv	рл	пр	сх	пз	+	-
<i>Osmia cornuta</i> (Latreille)	mph	pl	<i>Asteraceae</i> та ін.	mv	рл	пр	яб	пз	+	-
<i>Chalicodoma huagaricum</i> Mocs.	mph	ol	<i>Fabaceae,</i> <i>Lentibulariaceae</i>	mv	л	лп	яб	пз	+	-
<i>Megachile apicalis</i> Spinola	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пр	сх	пз	+	-
<i>Megachile maritima</i> Kirby	mph	pl	<i>Asteraceae</i>	bv	л-пл	пр	яб	пз	+	-
<i>Megachile argentata</i> Fabricius	mph	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	сх	ст	+	-

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Megachile bombicina</i> <i>Radoszkowski</i>	mph	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	сх	пз	+	–
<i>Megachile melanopyga</i>	mph	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	·	сх	пз	+	–
<i>Megachile circumcincta</i>	mph	ol	<i>Fabaceae</i>	mv	л	пг	яб	пз	+	–
<i>Megachile lagopoda</i> (<i>Linnaeus</i>)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	л	пг	сх	ст	+	+
<i>Megachile rotundata</i> <i>Fabricius</i>	mph-ks	ol	Бобові	bv	л	пр	сх	пз	+	+
<i>Megachile versicolor</i>	ks	ol	<i>Asteraceae</i>	bv	л	пр	сх	ст	+	+
<i>Megachile entuncularis</i>	ks	ol	<i>Asteraceae</i>	bv	л	пр	сх	ст	+	
<i>Aiithidiellum strigatum</i> (<i>Panzer, 1805</i>)	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i>	mv	лт	лп	яб, чг	пз	+	–
<i>Anthidium angulation</i> (<i>Latreille, 1809</i>)	mph-ks	pl	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Asteraceae</i>	bv	лт	хб	яб	ст, лс	+	+
<i>Anthidium florentinum</i> (<i>Fabricius, 1775</i>)	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i>	mv	лт	хб	яб	ут	+	+
<i>Anthidium smanicatum</i> (<i>Linnaeus, 1758</i>)	mph-ks	ol	<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i>	mv	лт	пр	яб	пз	+	–

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Anthidium punctatum</i> (Latreille, 1809)	mph-ks	pl	<i>Fabaceae,</i> <i>Asteraceae,</i> <i>Malvaceae</i>	bv	лт	пр	сх	пз, ут	+	+
<i>Anthidium oblongatum</i> (Illiger, 1806)	mph-ks	ol	<i>Fabacea</i>	mv	лт	пр	яб	пз	+	—
<i>Icteranthidium laterale</i> (Latreille, 1809)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	лт	суг	сх	пз	+	+
<i>Pseudoanthidium lituratum</i> (Panzer, 1801)	mph-ks	ol	<i>Asteraceae</i>	mv	лт	хт	·	·	+	—
<i>Trachusa interrupta</i> (Fabricius, 1781)	ks	pl	<i>Fabaceae,</i> <i>Lamiaceae,</i> <i>Asteraceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	ст	+	—
<i>Trachusa (s. str.) byssina</i> (Panzer, 1798)	ks	ol	<i>Lotus corniculatus</i> (<i>Fabaceae</i>)	mv	л	пг	·	·	+	—
Родина <i>Apidae</i>										
<i>Bombus agrillaceus</i> (Scopoli)	mph	ol	<i>Fabaceae</i>	pv	л-пл	пг	сх	пз	+	—
<i>Bombus agrorum</i> (Linnaeus)	mph-ks	pl	<i>Lamiáles,</i> <i>Fabaceaeu</i> <i>Asteraceae</i>	pv	л-пл	пр	сх	лс	+	+
<i>Bombus lapidarius</i> (Linnaeus)	mph	pl	<i>Lamiáles,</i> <i>Fabaceaeu</i> <i>Asteraceae</i>	pv	в-пл	пр	яб	лс	+	—
<i>Bombus laesus</i> (Linnaeus)	mph-ks	pl	<i>Lamiáles,</i> <i>Fabaceaeu</i> <i>Asteraceae</i>	pv	в-пл	пр	яб	ст	+	—
<i>Bombus lucorum</i> (Linnaeus)	mph-ks	pl	<i>Lamiáles,</i> <i>Fabaceaeu</i> <i>Asteraceae</i>	pv	в-пл	гп	сх	пз	+	—

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Bombus muscorum</i> (Fabricius)	mph	pl	<i>Lamiáles, Fabaceaeue, Scrophulariáceae, Boraginaceae</i> та <i>Rosaceae</i>	pv	в-пл	гп	яб	лс	+	–
<i>Eucera cinerea</i> Lep.	ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	ст	+	+
<i>Eucera chrysopyga</i> Perez	ks	ol	<i>Scrophulariáceae, Fabaceae</i>	mv	л	пг	яб	ст	+	+
<i>Eucera clypeala</i> Erichson	ks	ol	<i>Fabaceae</i>	bv	л-пл	пг	сх	пз	+	+
<i>Xylocopa valga</i> Gerstaecker	mph-ks	pl	<i>Asteraceae, Lamiáles, Fabaceaeue, Scrophulariáceae, Boraginaceae</i> та <i>Rosaceae</i>	mv	л	т-кб	яб	пз	+	

Примітки: Гт – гігротермічний тип (ks – ксерофіл, mph – мезофіл, mph-ks – мезо-ксерофіл); Тф – трофіка (ml – монолект, pl – полілекти, ol – оліголекти); Тр – тип розвитку (mv – моновольтинний, bv – бівольтинний, pv – полівольтинний); Фт – фенологічний тип (еф – ефемероїд, рл – ранньолітній, лт – літній, плт – пізньолітній), Стг – стаціональний тип гніздування (пг – плакорний геофіл, суг – схилово-урвищний геофіл, хб – хортобіонт, т-кб – тамноксилобіонт, лп – лепщик, пр – порожнини різних субстратів); Тб – типовий біотоп (рп – рівна поверхня ґрунту, сх – схили, у – урвища, яб – ярово-балковий, чг – чагарники, ет – евритопний); Зт – зональний тип (лс – лісостеповий, ст – степовий, пз – полізональний, ут – урботолерантний).

7.1.5 Сучасна структура індикаторного таксоцену бджолиних за відношенням до комплексу діючих факторів

В узагальненому вигляді відображення змін гідротермічного режиму в структурі апідофауни (числа видів) бджолиних ілюструє рис. 7.2.

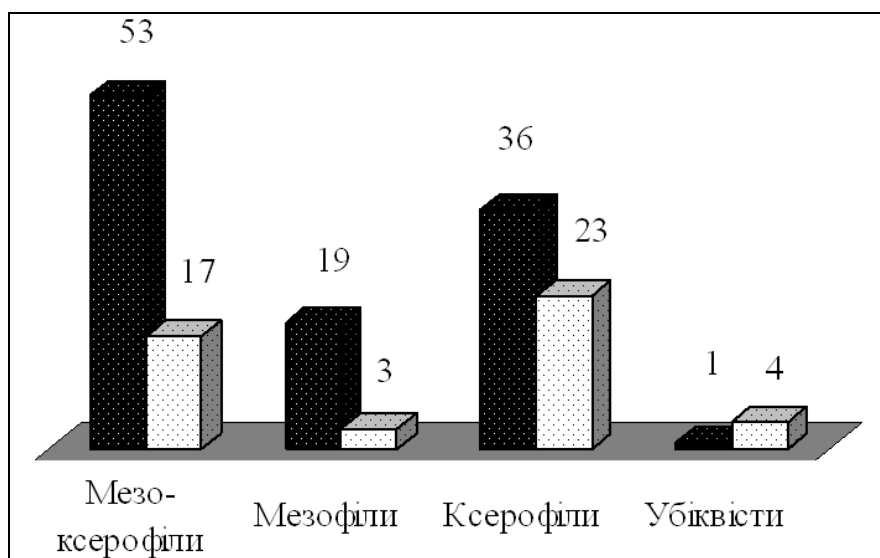


Рис. 7.2 – Структура апідофауни (число видів) за відношенням до гідротермічного режиму: ▲ – до 2008 р.; ▨ – станом на 2012 р.

З рис. 7.2 видно, що на фоні тотального зменшення числа видів бджолиних у 2012 р. співвідношення питомої ваги мезофілів, мезо-ксерофілів та ксерофілів лишається подібною до 2008 р.

Гіпотетично очікуваною причиною змін у чисельності видів може бути глобальне підвищення температури. За такою логікою повинен зникнути перш за все мезофільний елемент з підвищенням питомої ваги ксерофільного. Між тим в структурі 2012 р. мезофільний залишається майже в однаковій пропорції і лише при деякому підвищенні питомої ваги ксерофілів. Також звертає на себе увагу підвищення частки убіквістів (пристосовані до широкого діапазону гідротермічних умов).

Мезофільна складова – це інтразональні види лісостепової та зони помірного поясу, які проникають в південні зони вздовж долин річок з луговою мезофітною рослинністю. Тому, зменшення долі мезофілів за абсолютною кількістю (рис. 7.3) є безумовним слідством мікрокліматичної трансформації долин річок басейну Куяльницького лиману (причому це зменшення лінійне).

В мезо-ксерофітній складовій трансформація структури апідофауни ще більш наглядна. Так, при загальному зменшенні кількості видів раніше домінуючий степовий елемент різко падає і станом на 2012 р. серед мезо-ксерофілів домінантом стають полізональні види. Такий характер трансформації у цій групі не відповідає тенденції зміни клімату у бік підвищення температур. Причина такої трансформації вбачається у змінах біотопічної структури самої екосистеми.

В групі ксерофілів зберігається домінування за кількістю видів степових автохтонних, що є закономірним для південного степу.

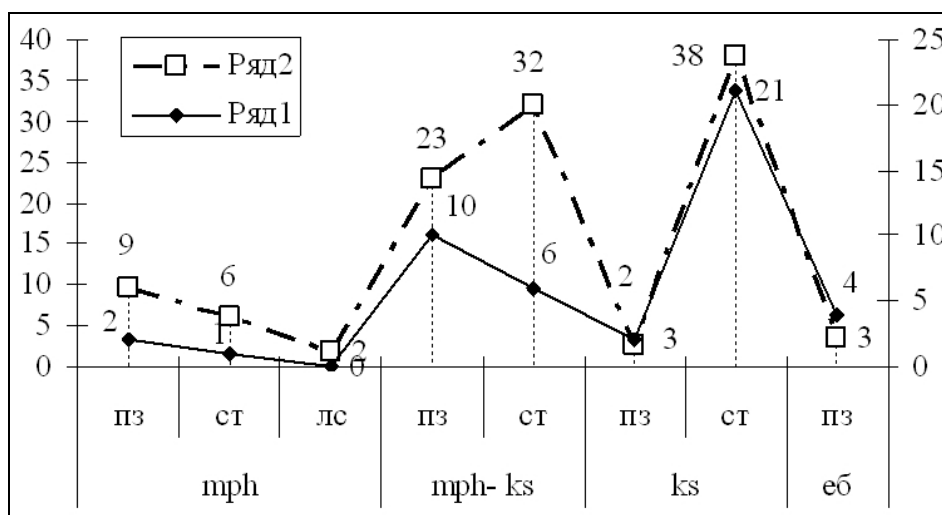


Рис. 7.3 – Співвідношення за кількістю видів екотипів індикаторного таксоцену бджолиних долини Куяльницького лиману за даними до 2008 р. (ряд 2) та станом на 2012 р. (ряд 1)

Загалом в структурі таксоцену бджолиних, крім суттєвого зменшення видового складу, якісної трансформації зазнала група мезо-ксерофілів – мешканців переважно долин малих річок та балок долини лиману. Тобто змінам в наземній екосистемі Куяльницького лиману підлягають не стільки кліматичні умови, скільки загальна біотопічна трансформація екосистеми.

Напрямки біотопічної трансформації в певній мірі відображають тенденції в стаціальному (стація – місце розвитку організму) розподілі видів індикаторного таксоцену (рис. 7.4).

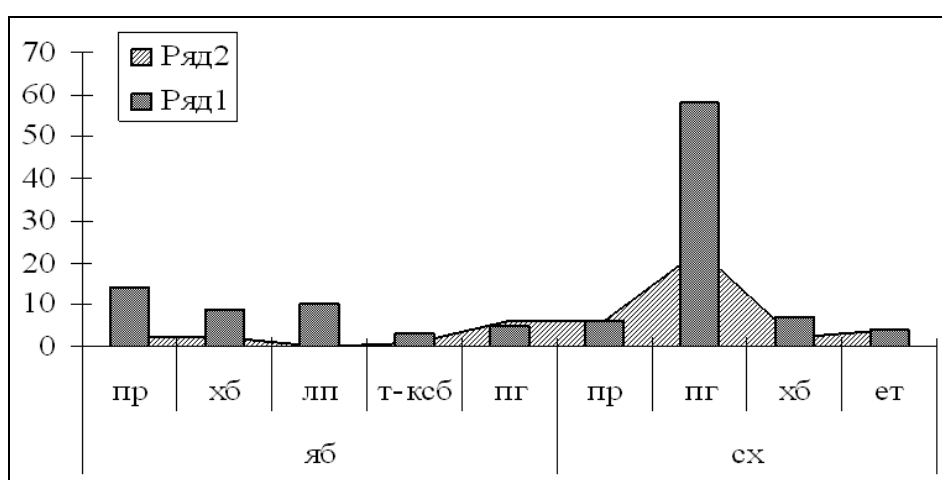


Рис. 7.4 – Тенденції біотопічної та стаціальної трансформації (місць гніздування) природних екотипів індикаторного таксоцену бджолиних долини Куяльницького лиману за даними на 2008 р. (ряд 1) та станом на 2012 р. (ряд 2)

З рис. 7.4 видно, що видове різноманіття обумовлювалось різноманіттям умов для бджолиних з різним типом гніздування в двох головних типах біотопів – пологі схили долини та ярово-балкові утворення (до їх складу відносимо також і поверхню сримких урвищ) з чагарниковою рослинністю.

В типовій структурі стаціонального розподілу присутній весь спектр форм гніздування (табл. 7.1) з характерною для степу перевагою видів, що гніздяться в ґрунті з горизонтальною поверхнею на пологих схилах. Станом на 2012 р. явно помітне випадання багатьох вразливих видів, що потребують особливих гніздових субстратів. В більшій мірі це відобразилось на порожнинниках, хортобіонтах, ліпнинниках в ярово-балковій системі. Що стосується схилів, то тут трансформація в більшій мірі виражена тотальним зменшенням кількості видів при зберіганні структури типової для степового біотопу за виключенням зникнення хортобіонтів.

Вище було зазначено, що бджолині є умовою існування вищої квіткової антофільної рослинності. Тобто, зміни у складі бджолиних неминуче ведуть до зміни стану рослинності. В цьому з візку в літературі неодноразово відмічалось, що для степової зони нормальному стану екосистеми відповідає співвідношення оліголектів та полілектів як 2:1.

З рис. 7.5 видно, що до 2008 р. ця закономірність в повній мірі стосувалась екосистеми Куяльницького лиману. Однак, станом на 2012 р. співвідношення оліголектів і полілектів майже рівне, що свідчить про зникнення значної частки флори, до якої приурочені оліголекти.

В цьому зв'язку показовою є динаміка числа спеціалізованих оліголектів, лінійно пов'язаних з певними родинами рослин.

На цій основі можна стверджувати про зменшення рослинного покриття (рис. 7.6): в 2,5 рази – серед капустяних (*Brassicaceae*), в 3 рази – серед складноцвітних (*Asteraceae*), в 4,6 рази – серед бобових (*Fabaceae*).

7.1.6 Сучасний стан водної біоти Куяльницького лиману

Згідно класифікації [74, 75] Куяльницький лиман відноситься до категорії гіперсолоних аталасогенних водно-болотних угідь, які одночасно включають елементи водних ценозів і наземних спільнот, пристосованих до життя як в аквальних, так і аеральних умовах. Такі водойми з природним високим рівнем мінералізації географічно широко поширені в аридних зонах світу, і є об'єктами численних досліджень, пов'язаних з різними аспектами екологічних змін під зовнішніми впливами [76-82]. Під цими впливами утворена екологічна група організмів, яким властива широка амплітуда солестійкості, а їх спільна життєдіяльність визначає утворення лікувального грязьового шару.

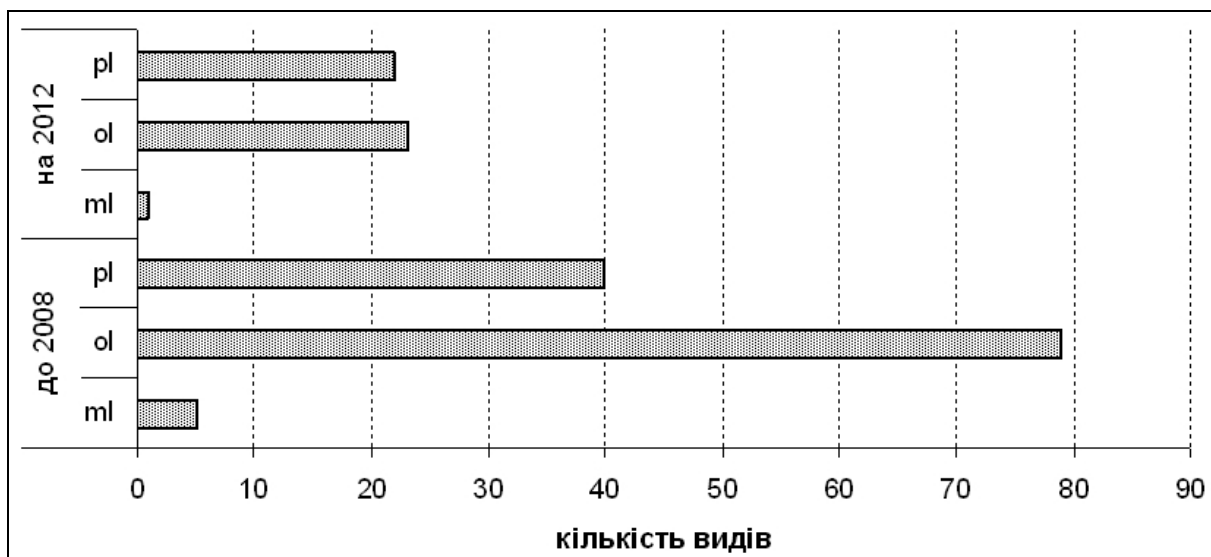


Рис. 7.5 – Зміни у трофічній структурі за кількістю видів таксоцену бджолиних долини Куяльницького лиману

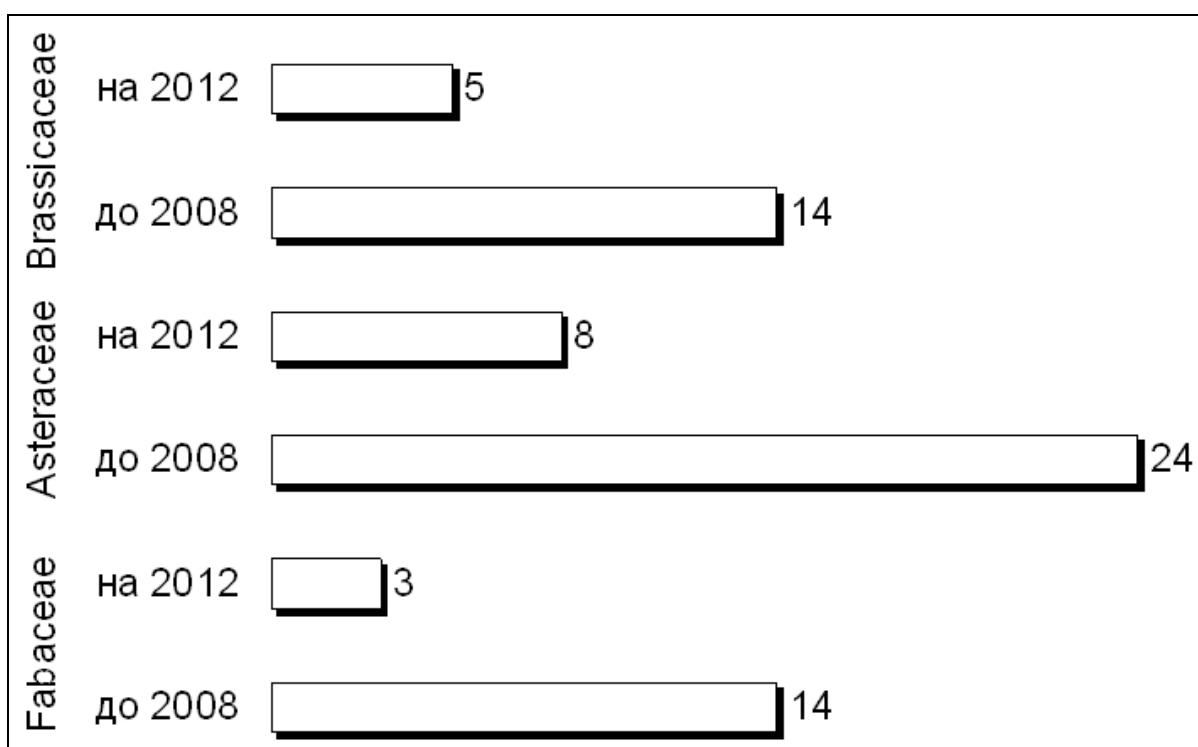


Рис. 7.6 – Зміни співвідношень вузьких оліголектів Куяльницького лиману за числом видів

Сучасною проблемою Куяльницького лиману є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупинилось існування повноцінного біоценозу. Дана обставина в цілому властива всім водоймам такого типу і у цьому не вбачається особливо катастрофічна ситуація.

Так, наприклад, вважається, що сильне всихання, підвищення солоності та випадання солі в осад з формуванням солоної кірки на донних відкладеннях, відносяться до числа необхідних умов анаеробної трансформації мулів у лікувальну грязь. Також доречно зауважити, що в історії Куяльницького лиману вже були періоди пересихання його окремих ділянок, за якими слідувало відновлення рівня води водойми [83-86 тощо]. Такі коливання рівня води в цілому притаманні мілководним солоним водоймах озерного типу через залежить від погодних умов.

Чергування посушливих і дощових періодів призводить до великих сезонних і міжрічних коливань солоності та як наслідок – до істотних змін структурно-функціональної організації біотичної компоненти [83-86], що і спостерігається в водній екосистемі Куяльницького лиману.

У літературі [89, 90] вказується, що основними компонентами поверхневого припливу води та джерелами надходження водоростей були: стік р. В. Куяльник (приблизно 10 %), що надходить до північної частини лиману, та стік з водойм (ставків) пересипу і Корсунцівської балки (приблизно 5 %), що надходить в південну і центральну частини лиману. Чинником, що лімітує та обумовлює розвиток водоростей, є солоність ропи лиману (табл. 7.2). Домінуючою була група евригаліних і еврitherмних видів *Amphora coffeaeformis*, *Tabularia tabulata*, *Cocconeis kujalnitzkensis*, *Cylindrotheca closterium*, *Hantzschia ucrainica*, але вже при солоності води 180-230 ‰ (2007-2008 рр.) число видів скоротилося до 5 – *Oscillatoria amphibia*, *Amphora angusta*, *Navicula gregaria*, *Dunaliella (D.) salina*, *Surirella ovalis*. При солоності більше 200 ‰, зустрічався тільки один вид – *D. salina*.

Таблиця 7.2 – Список видів водоростей Куяльницького лиману та їх екологічні особливості (відповідно до [89] – з доповненнями та змінами)

Таксон	Lf	Gb	Ph	S
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>CYANOPHYTA</i>				
<i>Chroococcophyceae</i>				
<i>Chroococcales</i>				
<i>Aphanothece salina</i> Elenkin et K. Daniels	пл	м	алк	п
<i>Hormogoniophyceae</i>				
<i>Oscillatoriales</i>				
<i>Lyngbya confervoides</i> C. Agardh	об	м	алк	п
<i>L. lutea</i> (C. Agardh) Gomont	об	м	алк	б
<i>Oscillatoria amoena</i> Gomont	об	п	-	п
<i>O. amphibia</i> C. Agardh	об	гл	алк	б

Продовження табл. 7.2

1	2	3	4	5
<i>O. brevis</i> (Kiitz.) Gomont	об	гл	алк	а
<i>O. kisselevii</i> Anissimova	об	п	п	п
<i>O. komarovii</i> Anissimova	об	п	алк	п
<i>O. limosa</i> C. Agardh	об	м	алк	b-a
<i>O. margaritifera</i> (Kiitz.) Gomont	об	м	алк	п
<i>O. nigro-viridis</i> Phw.	об	п	п	п
<i>O. quadripunctulata</i> Bruehl.	об	п	п	п
<i>Phormidium</i> sp.	об	п	п	п
<i>Spirulina major</i> Kiitz.	об	гл	алк	b
<i>S. meneghiniana</i> Zanardini	об	м	алк	b
<i>Nostocales</i>				
<i>Anabaena constricta</i> Geitler	пл	п	алк	п
<i>Calothrix fusca</i> (Kiitz.) Bornet et Fl	об	п	алк	п
<i>Nostoc sphaeroides</i> Kiitz.	об	п	п	п
<i>BACILLARIOPHYTA</i>				
<i>Coscinodiscophyceae</i>				
<i>Thalassiosirales</i>				
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kitz.	пл.	гл	алк	b-a
<i>Thalassiosira</i> sp.	пл.	м	алк	п
<i>Melosirales</i>				
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Mull.)	пл.	м	алк	а
- var. <i>subglobosa</i> Grunow	пл.	м	алк	а
<i>Fragilariophyceae</i>				
<i>Fragilariales</i>				
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs) D.M. Williams et Round	об	м	алк	b
<i>Diatoma vulgare</i> Bory				
- var. <i>breve</i> Grunow	об	инд	алк	b
- var. <i>lineare</i> Grunow	об	инд	алк	b
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kiitz.) Boye Pet.	об	инд	инд	b
<i>Tabularia fasciculate</i> (C. Agardh) D.M. Williams et Round	об	м	инд	а
<i>T. tabulata</i> (C. Agardh.) Snoeijis	об	м	инд	а
<i>Licmophorales</i>				
<i>Licmophora dalmatica</i> (Kiitz.) Grunow	об	пг	алк	п
<i>Bacillariophyceae</i>				
<i>Cymbellales</i>				
<i>C. helvetica</i> Kiitz.	об	инд	алк	о
<i>C. ventricosa</i> Kiitz.	об	инд	инд	о

Продовження табл. 7.2

1	2	3	4	5
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.	об	инд	алк	b
<i>Rhoicosphenia abbreviate</i> (C. Agardh) Lange-Bert.	об	гл	алк	b
<i>Achnanthes</i>				
<i>Achnanthes brevipes</i> C. Agardh	об	пг	алк	b
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenb.	об	инд	алк	b
<i>C. kujalnitzkensis</i> Gusl. et Gerasimiuk	об	м	алк	b
<i>Naviculales</i>				
<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentep.) Grunow	об	гл	алк	b
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve	д	гл	алк	b-a
<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G. Mann	д	м	алк	п
<i>Diploneis smithii</i> (Breb.) Cleve	д	гл	алк	п
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kiitz.) Stickle et D.G. Mann	д	м	алк	а
<i>Gyrosigma spenceri</i> (E.I. Quekett) J.W. Griff. et Henfr.	д	м	инд	b
<i>Navicula digitoradiata</i> (W. Greg.) Ralfs	д	м	алк	п
<i>Navicula gomphonemoides</i> Gusl.	д	гл	алк	п
<i>N. pennata</i> A.W.F. Schmidt	п	п	п	п
- var. <i>pontica</i> Mereschk.	д	м	алк	п
<i>N. peregrina</i> (Ehrenb.) Kiitz.	д	м	алк	п
<i>N. salinarum</i> Grunow	д	м	инд	а
<i>N. veneta</i> Kiitz.	д	инд	алк	а
<i>Pleurosigma angulatum</i> (E.I. Quekett) W. Sm.	д	п	п	п
<i>P. elongatum</i> W. Sm.	д	пг	алк	п
<i>P. salinarum</i> Grunow	д	пг	алк	п
<i>Proschkinia complanatoidea</i> (Hust.)	д	п	п	п
<i>Stauroneis salina</i> W. Sm.	д	м	алк	п
<i>Thalassiophysales</i>				
<i>Amphora angusta</i> W. Greg.				
- var. <i>kujalnitzkensis</i> (Gusl. et Gerasimiuk)	д	п	п	п
<i>Amphora caroliniana</i> Giffen	д	пг	алк	-
<i>A. coffeaeformis</i> (C. Agardh) Kiitz.	д	м	инд	а
<i>A. staurophora</i> (Castrac) Cleve	д	м	алк	п
<i>Bacillariales</i>				
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O. Mull.)	д	м	алк	b
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.)	пл	м	алк	b
<i>Reimer</i> et R.C. Lewis.	п	п	п	п
<i>Hantzschia ucrainica</i> Gerasimiuk	д	пг	алк	п
<i>Nitzschia communis</i> Rabenh.	д	инд	алк	b

Продовження табл. 7.2

1	2	3	4	5
<i>N. filiformis</i> (W. Sm.) Hust.	д	гл	-	п
<i>N. frustulum</i> (Kiitz.) Grunow	п	п	п	п
- var. <i>subsalina</i> Hust.	д	гл	инд	п
<i>N. gracilis</i> Hant.	д	инд	алк	б
<i>N. lorenziana</i> Grunow	д	п	п	п
<i>N. pseudohybrida</i> Hust.	д	пг	алк	п
<i>N. scalpelliformis</i> (Grunow) Grunow	д	м	алк	п
<i>N. sigma</i> W. Sm.	д	м	алк	о
<i>Tryblionella apiculata</i> W. Greg.	д	м	инд	а
<i>T. hungarica</i> Grunow	д	м	инд	а
<i>T. levidensis</i> W. Sm.	д	гл	алк	а
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O. Mull.)	д	м	алк	б
<i>Epithemia sorex</i> Kiitz.	д	гл	алк	б
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenb.) O. Mull.	д	гл	алк	о
<i>Rh. gibberula</i> (Ehrenb.) O. Mull.	д	гл	алк	п
<i>Surirellales</i>				
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenb.) Ehrenb.	пл	пг	алк	п
<i>E. paludosa</i> (W. Sm.) Reimer	пл	пг	алк	п
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer et Lange-Bert.	д	гл	алк	б
- var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bert.				
<i>S. ovalis</i> Breb.	д	гл	инд	б
<i>S. striatula</i> Turpin	д	м	алк	п
<i>CHLOROPHYTA</i>				
<i>Chlorophyceae</i>				
<i>Dunaliellales</i>				
<i>D. salina</i> Teodor.	пл	м	алк	п
<i>Chlorococcales</i>				
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrunk) Menegh.	пл	инд	алк	п
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G. Richt.) Hegew.	пл	инд	п	б
<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda	пл	инд	п	п
<i>Ulvophyceae</i>				
<i>Ulotrichales</i>				
<i>Enteromorpha intestinalis</i> (L.) Link	об	м	алк	п
<i>Ulothrix implexa</i> Kiitz.	об	м	алк	п
<i>Cladophorales</i>				
<i>Cladophora siwaschensis</i> K.I. Mey.	об	пг	алк	п
<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harv.	об	м	алк	п
<i>Rh. tortuosum</i> (Dillwyn) Kiitz.	об	м	алк	п

Примітки: Lf – життєва форма (об – обростання, пл – планктонний, д – донний); Gb – галобність (пг – полігалоб, м – мезогалоб, гл – галофіл, инд – индифферент); Ph – ацидофільність (алк – алкаліфіл); S – сапробність (а – альфамезосапроб, б – бетамезосапроб, о – олігосапроб, п – полісапроб); n – немає відомостей.

У місцях розпріснення спільноти водоростей являли собою сукупність прісноводних олігогалобів (33 %), галлофілів (18 %), индиферентів (15 %).

У відношенні зообентосу відзначено, що найбільше його різноманіття зафіксовано в 1946-1947 рр. – при солоності 24-25 ‰. Після осолонення водойми в 60-их роках ХХ ст. до 70 ‰ і вище його донна фауна складалася з личинок *Chironomus salinarius*, але вже у 2002 р. – при солоності 263 ‰, цей вид не виявлений.

В лимані завжди був присутній представник зяброногих рачків артемія (*A. salina*). У 2000 р. їх загальний запас склав 8400 кг, у тому числі 7800 кг в товщі води і 600 кг в берегових викидах. У сезон 2012 р. (за даними ОДЕКУ) окремі особини зустрічалися в місцях розпріснення ропи Куяльницького лиману стоком з Корсунцовських ставків.

В цілому спільноти гіпергалінних водойм не відрізняються видовим різноманіттям. Ключове місце в таких спільнотах займає рачок-артемія, 1-5 видів фітопланктону, 1-5 видів зоопланктону, 1-2 види зообентосу. Проте в даний час говорити про таку спільноту не доводиться.

7.2 Оцінка можливих змін біологічних показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, річок і водойм його басейну в умовах глобального потепління

Безпрецедентно зросла за останні кілька десятиліть увага до проблем клімату, яка дає дійові підстави для досягнення розуміння причин сучасних змін клімату, закономірностей палеоклімату в обґрунтуванні сценаріїв можливих змін клімату в майбутньому [91-93]. Існують дві основні точки зору на причини глобального потепління: антропогенний «парниковий ефект» і думка, що це природний процес, який вже не раз траплявся в історії Землі. Не вдаючись в аналіз спроможностей цих точок зору, дотримуємося думки, що для розуміння закономірностей сучасного клімату і прогнозу клімату важливе значення мають історичні приклади, особливо таких змін палеоклімату, які відбувалися за порівняно короткі проміжки часу і які можна порівняти з сучасними тенденціями [94-97].

7.2.1 Проблеми оцінки впливу на біоту глобальних кліматичних змін

Проблеми глобальних кліматичних змін та їх вплив на біоту за винятком окремих публікацій поки що не отримали належного відгуку серед українських біологів [98]. Між тим, зміни у складі біоти, пов'язані з кліматом вже мають відчутні прояви. Так, для українських Карпат відмічено, що за останні 100-120 років чисельність ряду популяцій знизилась до критичної межі вимирання (наприклад: *Erigeron atticus*, *Oreochloa disticha*, *Veronica bellidioides* та ін.). Цілковито з території України зникло принаймні два гірські холодолюбні таксони – *Saxifraga oppositifolia* та *S. pedemontana subsp. cymosa* [99]. Загалом вимирання аркто-альпійських видів на південній межі їх ареалів у горах помірних широт є досить поширеним явищем [100, 101].

Для степових екосистем вважається, що кліматичні зміни становлять особливу небезпеку як для нестійких, високодинамічних і дуже чутливих до будь-яких екологічних змін. Адже степи як окремих біом існують в умовах обмежених, нерідко сублетальних рівнів ресурсів – водозабезпечення, температурного режиму, пасовищної дегресії, кліматичної контрастності тощо. Дійсно, степові екосистеми по своїй природі є аридними і тому вони дуже чутливі до екстремальних значень параметрів такого екофактора як вологозабезпеченість. В зв'язку з цим в механізмах саморегуляції степових екосистем адаптації до мінливих умов полягають у певних структурних зміщеннях одних видів на інші вслід за змінами мезоклімату довкілля [102].

За останні 100 років процес глобального потепління на території України відзначається специфічними ефектами вирівнювання кліматичних полів температури і річної суми атмосферних опадів [103, 104]. Наприклад, внаслідок вирівнювання середньорічного температурного поля у поліських регіонах за 100 років річна температура піднялася на 1 °C, а в степових південних і південно-західних – лише на 0,5 °C, або навіть незначно знизилася. Загальне вирівнювання кліматичного поля річних сум опадів мало наслідком зменшення на 10-15 % річної суми опадів у північно-західних регіонах та таке ж збільшення річної суми опадів у зоні недостатнього зволоження, в південно-східних областях.

Беручи до уваги оцінки кліматологів, за якими до кінця ХХІ ст., середньорічна температура буде перевищувати 2-3 °C, безумовно слід очікувати структурні перебудови степових біомів пов'язаних саме з зниженням опадів. До цього слід враховувати, що географічні зони характеризуються впорядкованими сполученнями тепла і вологи та підкоряються відомій періодичній системі географічної зональності [105]. Зокрема, при річних сумах опадів менше 350-400 мм формуються аридні ландшафти (пустельні та напівпустельні підтипи), а у діапазоні середніх сум опадів 350-500 мм – субаридні (степові, шиблякові та напівпустельні ландшафти).

У діапазоні опадів від 500 до 1000 мм формуються субгумідні субсередземноморські ландшафти. Потім, вказується, що на тлі глобального потепління зміна кліматичних умов різних зон буде мати регіональний характер [106, 107], де головною причиною різноманіття реакції клімату різних регіонів є місцеві ландшафтно-природні умови, вплив яких на річний хід основних елементів клімату було доведено давно. При цьому помічено, що на глобальне потепління найбільш реагують рівнинні субгумідні та субарідні, а також перехідні до субгумідних ландшафти. Крім того, широке визнання набуло поняття біокліматичної зональності, в якій вважається, що біотичні зони збігаються з зонами кліматичними на тій підставі, що між рослинністю і кліматом простежується дуже тісний взаємозв'язок. Також зазначено, що всередині зон, розрізняються підзони, які відрізняються ритмом сезонного розвитку спільнот біомів. У зоні степів виділяють підзони сухих і типових степів, що також пов'язано з опадами. У цілому тенденція підвищення температури та зміни опадів повинна спричинити вагомі зміни в структурі, видовому складі, сезонній динаміці і просторовому розподілі ландшафтних фітоценозів з інтенсивним розселенням одних видів і пригніченням інших аж до їх вимирання.

На підставі викладеного можна сказати, що зміни клімату у бік аридності додатково позначаються переважно на встановленні термінів весняних і осінніх фенофаз рослин в більш ранні і більш пізні строки відповідно і слабо позначиться на термінах настання фенофаз в літній період [108].

В сучасний період найбільш відповідають очікуванім змінам клімату фітоценози південних субтропічних аридних областей Азербайджану та півдня Середньої Азії, Ірану та Афганістану. Тоді, виходячи з положення про кліматичний вікаріат, можна припустити майбутнє формування структури і видового складу фітоценозів степу і екосистеми водозбору Куяльницького лиману за рахунок заміщуючої інвазії саме з цих регіонів.

У флорі Ірану панують представники Ірано-Туранської флористичної області, яка характеризується континентальним кліматом з низькою кількістю опадів і охоплює Центральну Азію з Близьким Сходом, включаючи Мавританський степову провінцію в Північній Африці. До Туранської провінції цієї області відноситься майже дві третини Ірану, Афганістану та Пакистанський Белуджистан. Тут переважає клімат з жарким сухим літом і холодною зимою, опади випадають взимку і на початку весни. Для області характерна велика таксономічне різноманіття в родах *Amygdalus*, *Astragalus*, *Onobrychis*, *Haplophyllum*, *Pistacia*, *Ferula*, *Ferulago*, *Nepeta*, *Phlomis*, *Verbascum*, *Acanthophyllum*, *Dionysia*, *Acantholimon*, *Echinops*, *Cousinia*, *Eremurus*. Для Туранської провінції цієї області характерні види пісків і солоних депресій – представники родів *Ephedra*, *Calligonum*, *Salsola*, *Haloxylon*, *Ferula*, *Eremostachys*, *Stipa*.

Велика частина степової рослинності Афганістану – це сухі та пустельні степи, де домінує полин південний *Artemisia herba-alba* та інші полини, парнолистянники (*Zygophyllum spp.*). Звичайними видами є колючий мигдаль, деякі акантолимони (*Acantholimon spp.*), акантофілуми (*Acanthophyllum spp.*), солянки (*Atriplex spp.*). В степах характерні деякі осоки, а зі злаків – мятлики, житняк, ковили та вівсяниці (*Poa, Agropyrum, Stipa, Festuca*).

Для Азербайджану характерними зональними типом рослинності є пустельно-напівпустельний [109]. Домінуючими формаціями є: *Salsoletum-nodososum*, *Suaeda-eto-microphyllum*, *Kalidumeto-Salsoleaetum*, *Artemisietum-Salsolaetum*, *Salsola nodulosa-eto-Ephemeretum*, *Artemisietum-Ephemeretum*, *Aristidetum*, *Aeluropetum*, *Salsolea-eto-Artemisietum-Camphorosmaetum*, *Suaeda-eto-Petrosimoniaetum*, *Alhagietum*, *Artemisietum-Salsoleaetum*, *Festuceto-Artemisietum*, *Bortyochloa-eto-Artemisietum*, *Agropyretum-Artemisietum*, *Stipeto-Artemisietum*.

Групування пустельних типів рослин спостерігається, в основному, на березі Каспію. Залежно від засоленості земель, тут широко поширені такі види, як: сарсазан, соляноколосник, петросимонія, чорноземні, м'ясисті та трав'янисті рослини. З інших формацій найбільш характерні гараган і денгіз. Інші рослини, найпоширеніші в напівпустелі – цибулинний мятлик, японське багаття, твердий плевел, мортук східний, зернові трави й деякі трави (шведка, соляноколосник, поташник, петросимонія тощо).

7.2.2 Прогноз змін гіпергалінної гідрофауни в умовах глобального потепління

Вплив потепління щодо прісноводної (водотоки та ставки басейну Куяльницького лиману) гідрофауни також як і на берегову рослинність має відчутні прояви як на ценотичному, так і на популяційному рівнях. У цьому відношенні показові тенденції до змін серед водних молюсків [110]. Основні показники цих змін наступні:

- скорочення загальної кількості популяцій найбільш вразливих видів, насамперед зябродихаючих (*Neritidae, Valvatidae, Viriparidae, Melanopsidae*, а з *Unionidae – Anodonta* та *Pseudanodonta*);
- зменшення щільності популяцій багатьох раніше вельми звичайних для України видів, які тепер повинні бути зараховані до категорій видів рідкісних і зникаючих (*Lymnaea dariana, L. davata, L. glutinosa, Codiella leachi*);
- зміна діапазону глибин, заселених великими двостулковими (25-30 років тому *Unionidae* переважали на глибинах 1,0-2,5 м, зараз – на 0,2-1,0 м);
- подовження естивації та зростання смертності особин, що живуть в невеликих пересихаючих водоймах степової зони (*Sphaeriidae, Bithyniidae, Valvatidae, Planorbidae*);

- пригнічення темпів зростання («карликовість» *Unionidae*, *Lymnaeidae*, *Planorbidae*, *Valvatidae*);
- зрушення в життєвих циклах (тварини на 1-4 тижні раніше виходять зі стану гібернації та раніше приступають до розмноження, пізніше – на 1-2 місяці, йдуть на зимівлю);
- розмноження в теплий період року особин не однієї (як це було раніше), а двох вікових груп – торішньої генерації та сьогорічної (*Neritidae*, *Physidae*);
- зміна якісного складу трематодофауни молюсків у зв'язку з просуванням на північ України південних видів гельмінтів;
- зрушення показників екстенсивності інвазії деяких видів.

Для гіпергалінних водойм, Куяльницького лиману зокрема, в умовах підвищення температур та зниження рівня опадів очікується сезонне пересихання і в зв'язку з цим – прояв закономірностей гідробіологічної динаміки за прикладом ефемерних водойм з підвищеною солоністю.

Так, ранньою весною, внаслідок надходження талих вод в субліторалі можлива поява навіть прісноводних видів з числа коловерток, гіллястовусих рачків та ін. планктонних форм, які пережили зиму у покоячихся зимувальних стадіях. Це можуть бути навіть типово прісноводні форми, що переносять деяке осолонення.

Особливостями життєвого циклу таких видів, що забезпечують їх життєздатність є партеногенетичний тип розмноження, короткий цикл розвитку, висока плодючість, швидкі темпи розвитку до сезонного надходження хорогалінного порогу підвищення солоності вище 20 ‰ у їх життєвій зоні.

До адаптацій, що дозволяють мешкати в умовах пересихаючих водойм, відноситься здатність утворювати діапаузні стадії, які дають можливість переживати в стані спокою несприятливі умови (літнє підвищення солоності, зимовий час, пересихання водойми) [111].

В цілому підвищення температури найбільш сильно впливає на ріст і розвиток гідробіонтів і часто регулює репродуктивний цикл і поведінку. Крім того, зміни температури можуть модифікувати вплив хижацтва, паразитизму, а також впливати на чутливість до хвороб. Зміни температури води можуть впливати на концентрацію кисню та на первинну продукцію у водоймі, принципово важливу для личинкових стадій, і тим самим обумовлювати зростання, розвиток і виживання.

Атмосферні опади також чинять сильний вплив особливо на активність гідробіонтної та амфібіальної біоти (характер розподілу та розселення, репродуктивні цикли, темпи зростання і розвитку). Посухи можуть викликати високу концентрацію земноводних у вологих місцях, підвищуючи ризик інфекційних захворювань, міжвидового хижацтва і канібалізму [111, 112]. Саме така тенденція спостерігається вже в даний час для автохтонної біоти.

Зміна фауни, що пов'язана з кліматом, існує і в гіпергалінних водах. Прикладом може бути вселення в басейн Чорного моря – оз. Кояшське (Крим), іранського ендеміка *Artemia urmiana* (Gimther, 1890) оз. Урмія [113]. Це при тому, що оз. Кояшське знаходиться на відстані більше 1 тис. км від оз. Урмія. Особливо цікаво те, що оз. Кояшське, як і Куяльницький лиман є замкнутою таласогенною водоймою, відокремленою від Чорного моря піщаною косою. Середня глибина оз. Кояшського становить 1 м.

Вода озера характеризується постійною високою солоністю, яка не зменшується нижче 160 ‰, а влітку – перевищує 350 ‰. Іонний склад ропи близький до чорноморського. Температура води влітку піднімається до 40 °С, а взимку знижується до 0 °С. Озеро характеризується низьким біорізноманіттям: фітопланктон представлений 8 видами, а зоопланктон – одним *Artemia*, що характерно і для Куяльницького лиману [114].

Шлях проникнення *Artemia urmiana* в Крим – біологічна інвазія птахами: «...ймовірними векторами перенесення цист артемії під час весняної міграції з Ірану на Кримський півострів слід визнати коловодника звичайного (*Tringa totanus*), чоботаря (*Recurvirostra avosetta*) і галагаза (*Tadorna tadorna*). Ці птахи кримської гніздової орнітофауни зимують у районі оз. Урмія, або відвідують його під час весняної міграції. Для цих видів харчування артемією на міграції або зимівлі є характерним.

Для подолання дистанції між оз. Урмія і оз. Кояшським, з урахуванням використання попутних вітрів і висоти міграції на шляху оз. Урмія – оз. Кояшське, побережники, за нашими оцінками, витратять на безупинний переліт від 23 до 11 годин (побережники з середньою власною швидкістю міграції – від 18 до 23 годин; побережники за умовою погожого вітру – 13-11 годин; качки – 11-18 годин в залежності від швидкості погожого вітру.

На підставі опублікованих матеріалів за деякими видами птахів щодо часу, який потрібен для наповнення повністю порожнього травного тракту цистами артемії, ми прийшли до висновку, що занесення цист *A. urmiana* до оз. Кояшське цілком могло відбутися під час нічного міграційного кидка зграї одного з розглянутих вище видів птахів від оз. Урмія до оз. Кояшське» [115].

Таким чином, для Куяльницького лиману є ресурси відновлення при кліматичній трансформації якщо не автохтонними видами, то їх алохтонними екологічними аналогами і не тільки у відношенні фонового виду з числа артемії, але і евригалінних водоростей, еолове розселення яких ще більш ймовірне. Однак, необхідною умовою залишається рівень солоності, який не повинен перевищувати хорогалиного порогу для гіпергалиної біоти.

7.3 Узагальнення результатів оцінки сучасного стану та прогнозних змін живих природних ресурсів і біологічних показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману

Потреба в оцінках існуючого стану екосистеми Куяльницького лиману на поточний час спонукали візуально помітні зміни, пов'язані з пересиханням його окремих ділянок, надмірним засоленням та пасовищною дегресією луків і берегових схилів. В попередні роки (до 2008 р.) наземна біота екосистеми Куяльницького лиману відрізнялась високим видовим різноманіттям, до складу якої входили численні рідкісні види флори і фауни. За геоморфологічними та мезокліматичними умовами берегові схили являли собою місцеіснування лісостепової (інтразональної) степової флори і фауни з певною часткою напівпустельного елементу. На осолонених ділянках формувалась унікальна наземна солончакова біота, а на гіперсолоних підтопленнях берегової смуги – ультрагалінна болотяна. В долинах малих річок розташовувались лукові біотопи, а в балках – інтразональні лісостепові. Відповідно, прибережні території Куяльницького лиману були віднесені до числа рефугіумів Правобережжя України. А безпосередньо в лимані ще до 2008 р. існував гідробіологічний комплекс організмів, завдяки якому води та донні відкладення лиману мають особливе бальнеологічне значення.

Для оцінки стану наземної частини екосистеми показовим було визначення змін у структурі індикаторного таксоцену диких бджолиних, існування яких знаходиться в прямій залежності від різноманіття та продуктивності антофільної рослинності та наявності умов гніздування. В результаті встановлено, що на 2012 р. зникло більше 70 % загального видового складу бджолиних. Аналіз екологічної структури залишкових видів показав відносну пропорційність мезофільного комплексу (середнє зволоження) при деякому підвищенні питомої ваги ксерофілів (сухолюбні) і тенденцію до збільшення частки убиквістів (пристосовані до широкого діапазону гідротермічних умов).

Зменшенні за абсолютною кількістю мезофільної складової (інтразональні види лісостепової та зони помірного поясу, які проникають до південної аридної зони вздовж долин річок з луковою мезофітною рослинністю) можна вважати слідством мезокліматичної трансформації в долинах річок басейну Куяльницького лиману в бік аридності.

В мезо-ксерофітній складовій трансформація в структурі апідофауни, де раніше був домінуючим степовий елемент, різко падає і станом на 2012 р. серед мезо-ксерофілів домінантом стають полізональні види. Такий характер трансформації групи свідчить про тотальні зміни біотопічної структури самої екосистеми.

В групі ксерофілів зберігається домінування степового автохтонного елементу, що є закономірним для південного степу.

Загалом в структурі таксоцену бджолиних як показника стану екосистеми найбільшої трансформації зазнала група мезо-ксерофілів – мешканців переважно долин малих річок та балок долини лиману.

Між тим, причинами змін в наземній екосистемі Куяльницького лиману є не тільки кліматичні умови, оскільки трансформується сам осередок. Так, станом на 2012 р. явно помітне випадання багатьох вразливих видів, що потребують особливих гніздових субстратів (цілинні ділянки поверхні ґрунту, стебла багаторічних трав, чагарниковий та деревний сухостій тощо). Ця обставина свідчить про екологічну руйнацію наземної поверхні, що пов'язується з надмірним неконтрольованим пасовищним навантаженням. На схилах та в долинах річок витолочують землю тисячні отари овець, кіз та корів, яких випасають на ділянках водоохоронної зони.

Таким чином, наземна берегова екосистема (як і безпосередньо лиман) знаходиться на межі існування і причина вбачається в більшій мірі не в кліматичних змінах, а в антропогенному навантаженні. Важливо відмітити, що при кліматичних змінах у перехідний період (заміщення більш вологолюбних видів на сухостійкі є природно закономірним) екосистема сама по собі природно вразлива і тому додатковий антропогенний фактор стає особливо нищівним.

Проблемою гідроекосистеми Куяльницького лиману є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупинилось існування повноцінного біоценозу. Однак дана обставина в цілому властива всім водоймам такого типу і не в цьому вбачається катастрофічна ситуація. Лімітуючим чинником, що обумовлює розвиток ультрагалінних гідробіонтів є солоність, яка регулюється надходженням прісних вод. Відповідно, для Куяльницького лиману умовою його існування є потрібне водозабезпечення, яким регулюється мінералізація. Тобто, самовідновлення біоти лиману безумовно можливе і воно відбудеться при мінералізації в межах 50-270 ‰.

У плані вірогідних змін у структурі, видовому складі, сезонній динаміці біоти Куяльницького лиману, пов'язаних із глобальними кліматичними змінами, можна очікувати закономірне розселення одних видів і вимирання аборигенної складової. Для автохтонних ксерофільних степових і напівпустельних рослин такі зміни клімату позначаються переважно на зсуві весняних і осінніх фенофаз в більш ранні і більш пізні терміни відповідно і слабо позначиться на термінах настання фенофаз в літній період. Основним джерелом майбутнього формування біоти Куяльницького лиману в складі зміщуючої флори і фауни вірогідні біоти сучасних аридних субтропиків Азербайджану, півдня Середньої Азії, Ірану та Афганістану. Тоді, виходячи із закономірного кліматичного вікаріату, можна припустити майбутнє

формування фітоценозів та тваринного населення екосистеми водозбору Куяльницького лиману за рахунок інвазії видів саме з цих регіонів. Ця тенденція намітилася вже в даний час. Так, прикладом вселення в басейн Чорного моря служить поява в оз. Кояшське (Крим) іранського ендеміка *Artemia urmiana* з оз. Урмія в Ірані. Оз. Кояшське, як і Куяльницький лиман, є замкнутою таласогенною ультрагалінною водоймою, відокремленою від Чорного моря вузькою піщаною косою (пересипом). Середня глибина оз. Кояшське становить 1 м, солоність ропи – 160-350 ‰. Іонний склад ропи в озері близький до чорноморського. Температура води влітку піднімається до 40 °С, фітопланктон представлений 8 видами, а зоопланктон – одним *Artemia urmiana* з Ірану. Шлях проникнення *Artemia urmiana* до Криму – біологічна інвазія птахами.

Таким чином, передумови існування біоти Куяльницького лиману при глобальному підвищенні температури за рахунок заміщення більш теплолюбними екологічними аналогами цілком закономірні. Але є групи організмів, які не винесуть таких кліматичних змін. Це стосується насамперед амфібій та мезо-гігрофільних запилювачів з числа джмелів для яких зволоження є головним лімітуючим фактором. Натомість слід очікувати збагачення різноманіття напівпустельних рептилій з високою вірогідністю появи отруйних змій, характерних для півдня Середньої Азії та півночі Близького сходу.

Безпосереднім лімітуючим фактором для галобіонтної фауни і альгофлори є рівень мінералізації, який в умовах Куяльницького лиману є похідним від водності.

За даними ряду публікацій бальнеологічне значення має лише та біота, що функціонує в діапазоні солоності води 100-180 ‰. Тоді за розрахованими сценаріями динаміки сполучень водності та мінералізації (розділ 6) витікає, що бальнеологічний оптимум очікується при вищих порогах солоності за сценаріями А2 (табл. 6.7 і 6.10) і нижнім – за сценаріями А1В (табл. 6.5 і 6.7), В1 (табл. 6.5).

Однак, слід зауважити, що реальний діапазон існування бальнеологічної біоти значно ширший. Його можна окреслити в межах 75-250 ‰, що приблизно відповідає сценаріям: А1В і А2 – у середній за водністю рік за умови мінімального наповнення лиману на початок весни (табл. 6.1); В1 – у середній за водністю рік за умови середнього наповнення лиману на початок весни (табл. 6.2); А1В, В1, А2 – у маловодний рік за умови середнього наповнення лиману на початок весни (табл. 6.5).

Критичними за розпрісненням можна назвати умови, що можуть скластись за сценаріями: А1В, В1, А2 – у середній за водністю рік при максимальному наповненні лиману на початок весни (табл. 6.3); А1В, В1, А2 – у маловодний рік за умови максимального наповнення лиману (табл. 6.6);

A1B, B1, A2 – у багатоводний рік за умови максимального наповнення лиману на початок весни (табл. 6.9); A1B, B1, A2 – у середній за водністю рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману (табл. 6.12); A1B, B1, A2 – у багатоводний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману на початок весни (табл. 6.15); A1B, B1, A2 – у маловодний рік за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимального наповнення лиману на початок весни (табл. 6.18).

Критичними за надмірною мінералізацією треба визначити умови, що можуть скластись у маловодні роки за умови мінімального наповнення (табл. 6.4, 6.16).

ВИСНОВКИ

Основні результати, висновки та рекомендації, отримані при виконанні НДР:

1. Об'єм припливу прісних вод до Куяльницького лиману від р. В. Куяльник, розрахований за короткий період спостережень, який припадає на маловодну фазу коливань стоку, становить 9,0 млн. м³. Відносна середня квадратична похибка розрахунку середньої багаторічної величини стоку становить 37 %, що свідчить про недостатність даних спостережень для обґрунтування ролі річки у формуванні гідроекологічного стану Куяльницького лиману.

2. Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману на основі моделі «клімат-стік» показала, що основна їх частина надходить від р. В. Куяльник. Загальний об'єм припливу вод річок у природних умовах (непорушених водогосподарською діяльністю умов) становить 24,0 млн. м³, з цієї величини на р. В. Куяльник припадає 22,3 млн.м³, тобто 92,9 %.

3. Середня багаторічна сума річних опадів на водне дзеркало Куяльницького лиману дорівнює 475 мм (до 80-х рр. ХХ ст.). При площі водного дзеркала у 56,0 км² об'єм надходження води від опадів дорівнює 26,6 млн. м³. Випаровування з водної поверхні лиману за середній багаторічний період становить 700 мм по метеостанції «Болград», що у перерахунку до солоної води Куяльницького лиману дорівнює близько 435 мм. Таким чином, за рахунок втрат на випаровування з водної поверхні об'єм лиману поповнюється лише на 40 мм або 2,24 млн. м³. Отже, саме р. В. Куяльник є головним джерелом надходження прісних вод до Куяльницького лиману.

4. Водний режим р. В. Куяльник значно трансформований водогосподарською діяльністю. Якщо середній багаторічний об'єм припливу у природних умовах дорівнює 22,3 млн.м³, то розрахований приплив стоку при осереднених розмірах водогосподарських перетворень досягає 13,0 млн. м³, тобто понад 50 % природного стоку втрачається за рахунок водогосподарської діяльності.

5. Головним чинником водогосподарської діяльності є штучні водойми, які в умовах зони недостатнього зволоження відіграють роль штучних випарників. Відносна площа водної поверхні штучних водойм змінюється за даними з різних джерел від 0,20 % до 0,40 %. Втрати на додаткове випаровування при цьому не викликають статистично значущих змін характеристик стоку у багатоводні та середні за водністю роки (менш ніж 10 %) і сприяють суттєвому зменшенню річного стоку у маловодні роки 75-відсоткової забезпеченості, яке досягає 40 %.

6. Додаткове випаровування з водної поверхні не є головною причиною зменшення стоку р. В. Куяльник. Більшість штучних водойм знаходиться у пересохлому стані, наповнюючись епізодично у весняний період або при зливах. На заповнення штучних водойм у середньому витрачається близько 35-40 % норми річного стоку р. В. Куяльник. Вплив втрат на заповнення посилюється у маловодні роки і може становити 90 % від природного стоку, тобто стік річки повністю поглинається штучними водоймами.

7. За сценаріями глобального потепління А1В та А2 передбачається збільшення середньої величини стоку за період 2011-2025 рр. по відношенню до середньої багаторічної величини. Найбільш несприятливим для водних ресурсів є сценарій В1, згідно з яким р. В. Куяльник буде пересихати у маловодні роки 75%-ої, 95%-ої та 99%-ої забезпеченості.

8. За трьома розглянутими сценаріями у маловодні роки втрати на випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману будуть значно перевищувати опади на його поверхню. Для сценарію В1 зменшення об'єму лиману за рахунок втрат на випаровування буде відбуватися й у середні за водністю роки.

9. У багатоводні роки для природних умов середній рівень води у лимані досягатиме відміток від мінус 6,06 м БС до мінус 5,76 м БС у всі сезони року – для сценаріїв А1В та В1, і від мінус 5,06 м БС до мінус 4,66 м БС – за сценарієм А2. Наслідки водогосподарської діяльності будуть найбільш впливовими у сценарії В1 для осіннього сезону.

10. У маловодні роки об'єм припливу прісних вод досягне значень менших за мінус 7,06 м БС, що означає перевагу витратних складових водного балансу над приходними. У цьому випадку зниження рівня води у Куяльницькому лимані досягне найнижчих позначок, тобто лиман майже повністю пересихатиме. Лише при розвитку подій за сценарієм А2 можливо будуть додаткові надходження води у зимовий та осінній сезони.

11. У середні за водністю роки для природних умов найвищий рівень води за сценарієм А2 дорівнюватиме мінус 6,12 м БС і спостерігатиметься у зимовий сезон, а за сценарієм В1 – мінус 7,05 м БС, у осінній сезон. За рахунок впливу водогосподарської діяльності за сценарієм В1 відбудеться зменшення рівня для осіннього сезону до відміток від мінус 7,05 м БС до мінус 7,15 м БС.

12. Встановлено, що максимальні модулі весняного водопілля на річках басейну Куяльницького лиману забезпеченістю $P = 1,00$ % дорівнюють: $0,10 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ – р. В. Куяльник ($F = 1860 \text{ км}^2$), $0,32 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ – р. Кубанка ($F = 129 \text{ км}^2$), $0,42 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ – р. Довбока ($F = 68,3 \text{ км}^2$).

13. На відміну від весняного водопілля, дощові паводки в басейні Куяльницького лиману супроводжуються більш високими модулями схилового припливу $q'_{\%}$ – від $8,4 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р. В. Куяльник, $F = 1860 \text{ км}^2$) до $20,7 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р. Довбока, $F = 68,3 \text{ км}^2$).

14. Порівняння величини $Q_{1\%}$ весняних водопіль і дощових паводків свідчить про те, що в басейні р. В. Куяльник розрахунковою є витрата води водопілля (вона майже в 6 разів перевищує $Q_{1\%}$ від дощового паводка). Для рр. Кубанка і Довбока за розрахункові слід приймати дощові паводки, які в 2,2 і 2,6 рази перевищують $Q_{1\%}$ весняного водопілля.

15. У прогностному періоді (2010-2039 рр.) $Q_{1\%}$ при опадах $\bar{x}_{річ} = 400$ мм по басейну Куяльницького лиману на величину в середньому від 61 % – р. Довбока, до 66 % – р. В. Куяльник, а при сценарній величині $\bar{x}_{річ} = 500$ мм – спостерігається посилення водопіль в середньому на 11,1 %, порівняно з базовим періодом.

16. У період 2010-2039 рр. розрахункові витрати паводкового стоку Q_p залишаться в басейні Куяльницького лиману незмінними. Більш того, дані по добових опадах у межах Півдня України (до 2011 р.) свідчать про те, що визначні їх величини спостерігались в період 1970-1980 рр. (54,2 %), а найбільш ймовірні їх значення становлять 90-100 мм (43,4 %).

17. За даними натурних спостережень ОДЕКУ встановлено, що 24.05.2012 р., після інтенсивних зливових опадів шаром 70,9 мм, що по даними метеостанції «Одеса-ГМО» більш ніж в 2 рази вище місячної норми для травня (34,9 мм), на р. Кубанка пройшов дуже рідкий дощовий паводок 1,5-відсоткової забезпеченості з максимальною витратою води 78,6 м³/с. Інтенсивні зливові опади, що випали на водну поверхню Куяльницького лиману, і приплив паводкових вод з басейну водойми спричинили добовий приріст рівнів води у лимані на 23 см (з мінус 6,46 м БС – 24.05.2012 р., до мінус 6,23 м БС – 25.05.2012 р.) та зменшення солоності води на 90 ‰ (з 296 ‰ – 19.05.2012 р., до 206 ‰ – 25.05.2012 р.), але вже через місяць (27.06.2012 р.) солоність води лиману знову становила 300 ‰.

18. Роба гіперсолонного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого за даними ОДЕКУ в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 266 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короткочасних інтенсивних зливових опадів. В умовах існуючого водно-сольового режиму Куяльницького лиману в літні періоди у водоймі відбувається самосадка розчинених в ропі лиману солей та утворення «соляної пустелі» (насамперед у верхній частині), як, наприклад, в липні-серпні 2009-2012 рр.

19. Найбільш несприятливим, але, нажаль, найбільш вірогідним, для формування режиму рівнів та солоності води Куяльницького лиману на період з 2011 по 2025 рр. є сценарій В1. За цим сценарієм у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах рівень води у лимані може понизитися до мінус 7,56 м БС у сезони літо-осінь-зима, що відповідає солоності 390 ‰.

Така ситуація можлива у маловодні роки 75-відсоткової забезпеченості за умови мінімального наповнення лиману у попередній водогосподарський рік. Водогосподарська діяльність у виді штучних водойм буде значно погіршувати водно-сольовий режим лиману, знижуючи за тих же умов рівень наповнення водойми до мінус мінус 8,46 м БС, що відповідає стану пересихання лиману. Навіть у весняний сезон рівень води в лимані у такий рік буде становитиме мінус 6,90 м БС (солоність ропи – 390 ‰). Найвищий рівень води в лимані за сценарієм В1 спостерігатиметься лише у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах у весняний сезон у багатоводний рік, при максимальному попередньому наповненні лиману (мінус 2 м БС), та дорівнюватиме відмітці мінус 1,32 м БС, при якій значення солоності води становитиме лише 23 ‰.

20. У багатоводні роки, при середньому попередньому наповненні Куяльницького лиману (мінус 5 м БС), значення рівнів води у водоймі будуть змінюватися від мінус 5,69 м БС (сценарій В1, зима) до мінус 3,50 м БС (сценарій А2, літо-осінь), що приводить до значної різниці у значеннях солоності води, відповідно, від 113 до 39 ‰. Якщо ж рівень попереднього наповнення лиману перед початком весняного водопілля буде мінімальним (мінус 7 м БС), то розбіжності між різними сценаріями стають дедалі більшими навіть у багатоводні роки: рівні води змінюються від мінус 5,95 м БС (сценарій В1, зима) до мінус 4,83 м БС (сценарій А2, зима), а зміни солоності – відповідно, від 143 до 66 ‰.

21. Найбільша водність у басейні Куяльницького лиману відповідає сценарію А2. Водогосподарська діяльність здатна знизити рівень води в лимані. При мінімальном попередньому наповненні лиману рівень води зимового сезону у багатоводний рік досягатиме лише мінус 4,83 м БС (солоність води – 66 ‰), а завдяки водогосподарській діяльності знизиться до мінус 5,00 м БС (солоність води – 72 ‰). Найнижчих позначок рівні води за сценарієм А2 досягнуть у сезони літо та осінь маловодного року при мінімальном попередньому наповненні лиману і становитимуть мінус 6,90 м БС (солоність ропи – 390 ‰).

22. Найбільш небезпечними для гідрологічного, а, отже, гідрохімічного та біологічного стану Куяльницького лиману слід визнати угруповання маловодних років, які спостерігаються певний посушливий період, забезпечуючи ситуацію мінімального попереднього наповнення водойми, що приводить до граничного значення рівнів та солоності води у лимані на протязі всіх сезонів року як у природних, так і порушених господарською діяльністю умовах. Складна ситуація може також виникнути в лимані у середні за водністю роки, при мінімальном попередньому наповненні лиману, особливо для сценарію В1.

23. За природними умовами, місцевість водозбірного басейну Куяльницького лиману є зосередженням різноманітних степових, петрофітних (петрофітно-степових), чагарникових, галофітних, прибережно-водних лугових місцеіснувань. На цій основі наземна екосистема Куяльницького лиману визнана рефугіумом для численних видів флори та фауни, в тому числі, природоохоронного значення. Сам Куяльницький лиман є національним надбанням в якості унікального природного бальнеологічного утворення.

24. В період з 2009 по 2011 рр. в водній екосистемі Куяльницького лиману почали відбуватися зміни з ознаками катастрофічної трансформації через пересихання водойми. Ці зміни стосуються підвищення мінералізації до межі, за якою існування біоти (крім бактеріальної) неможливе. Важливо те, що трансформація відбувається на фоні глобального підвищення температури, що є можливою причиною вказаних змін.

25. Проведені оцінки стану наземної біоти у 2012 р. за допомогою такої провідної складової екосистеми як запилювачі вищої рослинності, показали суттєве зменшення (на 72 %) їх видового складу, що вказує на пропорційні флористичні втрати з всіма відповідними наслідками.

26. Аналіз причин трансформації наземної екосистеми Куяльницького лиману показав, що головним нищівним фактором є антропогенний, у вигляді пасовищного навантаження через витолочування фермерськими тисячними отарами овець, кіз та корів водоохоронної берегової смуги. Зважаючи на те, що при кліматичних змінах екосистеми в період становлення в нових умовах є дуже вразливі та потребують особливо дбайливого відношення, тому існуюче антропогенне навантаження буде для них вбивчим.

27. Для безпосередньо Куяльницького лиману проблемою є висихання з підвищенням мінералізації до рівня, за яким зупинилось існування повноцінного біоценозу. Дана обставина властива всім водоймам такого типу з циклічними падіннями рівня води і підвищення солоності та у цьому не вбачається особливо катастрофічна ситуація. В цілому спільноти гіпергалінних водойм нараховують по декілька видів фітопланктону, фіто-зообентосу і зоопланктону. В таких спільнотах ключове місце займає рачок-артемія. На даний час він зник через позамежну мінералізацію. Але, як вказує світовий досвід, при наповненні Куяльницького лиману і зменшенні мінералізації його ропи відновлення ультрагалінної біоти – безумовне.

28. Важливим для розуміння перспектив відновлення гіпергалінної біоти є прогноз реакції на глобальне потепління. Відомо, що на зональне підвищення температур найбільш реагують рівнинні субгумідні та субаридні, ландшафти, до яких належить Південь України. Глобальне підвищення температури на ландшафтному рівні спричиняє вагомі зміни в структурі, видовому складі, сезонній динаміці та просторовому розподілі одних видів і вимиранні інших. Суттєвість змін, пов'язаних з кліматом, полягає в заміщенні частки видів

аборигенної біоти на види, що в сучасний період існують південніше у субтропічних аридних ландшафтах, які вже адаптовані до очікуваного глобального підвищення температури.

29. Для гіпергалінних водойм, і Куяльницького лиману зокрема, в умовах підвищення температур та зниження рівня атмосферних опадів очікується сезонне висихання деяких його ділянок і в зв'язку з цим – прояв закономірностей гідробіологічної динаміки за прикладом ефемерних водойм з підвищеною солоністю. Так, внаслідок зовнішнього надходження вод будуть розвиватись види з числа коловороток, гіллястовусих рачків та ін. планктонних форм, які пережили зиму у стадіях покою.

30. Стосовно гіпергалінних видів можна зауважити, що процес заміщення вже протікає. Наприклад, в кримському аналогу Куяльницького лиману – оз. Кояшське, провідне місце гіпергалінної біоти зайняв рачок *Artemia urmiana* (Gimther, 1890), раніше відомий як ендемік оз. Урмія в Ірані. Встановлено, що шлях проникнення *Artemia urmiana* у солоні водойми Кримського півострова – біологічна інвазія птахами. Тобто, за зміщенням на північ зони аридних субтропиків зміниться видовий склад біоти, але залишиться її екологічна структура, від якої залежить формування лікувальних грязей.

31. Діапазон існування бальнеологічної біоти можливий у середні за водністю роки за умови мінімального і середнього наповнення лиману та у маловодні рік за умови середнього наповнення лиману. Оптимальними умовами для бальнеологічної біоти будуть умови, що описуються сценаріями маловодного року за умови середнього наповнення лиману на початок весни, багатоводного року при мінімальному наповненні, у середні за водністю роки за умови мінімального наповнення лиману.

32. Загальними критичними порогами є надмірне розпріснення вод Куяльницького лиману (нижче 50 ‰) та осолонення (вище 250 ‰). Критичному розпрісненню відповідають умови, що можуть скластись за сценаріями середньорічної водності з максимальним весняним наповненням лиману (табл. 6.3), малої водності за умови максимального наповнення лиману (табл. 6.6), у багатоводні та середні за водністю роки за умови максимального наповнення лиману (табл. 6.9, 6.12, 6.15) та у маловодні роки за умови відсутності штучних водойм на басейні та максимальному наповненню лиману на початок весни (табл. 6.18). Критичні рівні мінералізації відповідають умовам, що описані сценаріями для маловодних років з мінімальним весняним наповненням Куяльницького лиману.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Массей Ерік Е. Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні. Бюро Координатора з економічної та довкільної діяльності ОБСЕ. – 2012. – 36 с.
2. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата / Под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф., Осадчего В.И. и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
3. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). –К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
4. Feyen L., Dankers R. Impact of global warming on stream flow drought in Europe // Geophys. Res. – 2009. – V. 114. – D17116. – 17 p.
5. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиол. журн. - 2000. – Т. 36. – № 3. – С. 67-78.
6. Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: Звіт з НДР. Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 90 с.
7. Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: Звіт з НДР. Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2011. – 165 с.
8. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки: Рішення Одеської обласної ради VI скликання від 28.10.2011 р. № 270-VI.
9. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Теоретичні підходи до визначення можливих змін водних ресурсів за сценаріями глобального потепління на базі моделювання природного та порушеного антропогенною діяльністю стоку річок України // Матер. наради-сем. організацій гідрометеорол. служ. Мін. охор. навкол. серед. України «Гідрологічне обслуговування та використання моделей у гідрологічному прогнозуванні» (м. Ужгород, 21-25 червня 2004 р.). – 2004. – С. 71-80.
10. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под ред. В.С. Мезенцева. – М.: Колос, 1974. – 240 с.
11. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 75 с.
12. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами // Зб. наук. пр. Укр. географ. тов. Україна: географічні проблеми сталого розвитку. – 2004. – С. 144-146.

13. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.

14. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Нормирование характеристик естественного годового стока рек Украины // Докл. всерос. гидролог. съезда (28 сентября – 1 октября 2004 г.). Секция 5. Гидрофизические явления и процессы. Формирование и изменчивость годового стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты. – 2006. – Ч. 2. – С. 134-137.

15. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: Коллективная монография / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одесса: ТЭС, 2012. – 223 с.

16. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: Навч. посіб. – Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.

17. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: ИВП РАН, 1997. – 262 с.

18. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climate and Water. – 1998. – Vol. 1. – P. 1486-1494.

19. Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наук. зап. Терноп. нац. педагог. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: біологія. – 2010. – № 3 (44). – С. 143-145.

20. Швебс Г.И., Игошин М.И. Каталог річок і водойм України: Навч.-довід. посіб. / Під ред. Є.Д. Гопченка. – Одеса: Астропринт, 2003. – 390 с.

21. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины: Монография. – К.: Наук. думка, 2006. – 383 с.

22. Шерешевский А.И., Вишневский П.Ф. Норма и изменчивость годового стока рек Украины // Гидробиол. журн. – 1997. – Т. 3. – С. 81-91.

23. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка-Центр, 2003. – С. 136-137.

24. Лобода Н.С., Гриб О.М., Сіренко А.М. Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману // Гідрол., гідрохім. і гідроекол. – 2011. – Т. 1 (22). – С. 51-59.

25. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – С. 102-103.

26. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях): Монография. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.

27. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

28. Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: Довід. посіб. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 392 с.
29. Climate Change 2007: The Physical science basis / S. Solomon et. el. (eds.) Contribution of Working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change // Cambridge University Press. – 2007. – 996 p.
30. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: Монографія / Під ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
31. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Куза А.М., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на живлення лиманів північно-західного Причорномор'я прісними водами за сценаріями глобального потепління // Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 12-14 вересня 2012 р.). – 2012. – С. 24-27.
32. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Гриб О.М. Сучасний стан Куяльницького лиману та рекомендації по гідроекологічному менеджменту водойми // Матер. всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 12-14 вересня 2012 р.). – 2012. – С. 44-47.
33. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорол., кліматол. та гідрол. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.
34. Ресурсы поверхностных вод СССР. Западная Украина и Молдавия. – 1969. – Т. 6. – Вып. 1. – 884 с.
35. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Розрахункове випаровування з водної поверхні на території України / Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2003. – Вип. 252. – С.27-32.
36. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности: Монография. – К.: КНТ, 2005. – 148 с.
37. Гопченко Е.Д. О редукции максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорол. и гидрол. – 1975. – № 2. – С. 66-71.
38. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Тр. ОГМИ. – 1958. – Вып. 14. – Ч. 2. – 305 с.
39. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Методика расчета скорости руслового добега на реках Украины // Причорномор. екол. бюл. – 2007. – № 1 (23). – С. 53-55.
40. Андриевская Г.М., Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть // Метеорол., кліматол. та гідрол. – 1996. Вип. 33. – С. 106-110.

41. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 376 с.
42. Гопченко Є.Д., Романчук М.Є., Романчук О.К. Науково-методична база та розрахункові характеристики максимального стоку в басейні Тузловських лиманів // Причорномор. екол. бюл. – 2007. – № 1 (23). – С. 56-62.
43. Карасёв И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия: Учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.
44. Колодеев Є.І. Гідроекологічна експертиза водогосподарських комплексів: Конспект лекцій. – Одеса: ТЕС, 2009. – 95 с.
45. Колодеев Є.І. Визначення максимальних витрат води з допомогою позначок рівнів високих вод: Методичні вказівки. – Одеса: ОДЕКУ, 2007. – 31 с.
46. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.
47. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
48. Бицилли М.В. Годовой сток бассейна Куяльницкого лимана // Тр. ОГМИ. – 1958. – Т. XII. – С. 235-243.
49. Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: Отчёт о НИР. Од. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. – Одесса, 1995. – 190 с.
50. Энэн А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Кирюшкина А.Н. Экологическое состояние природной среды лиманно-морского курортного комплекса «Куяльник-Лузановка» и водной экосистемы Куяльницкого лимана. Перспективы развития // Матер. всеукр. науч.-практ. конф. «Екологія міст та рекреаційних зон». – 2009. – С. 216-221.
51. Энэн А.А., Шихалеева Г.Н., Адобовський В.В., Бабинец С.К., Чурсина О.Д. Современное гидроэкологическое состояние Куяльницкого лимана (Северо-Западное Причерноморье) // Зб. наук. ст. / За ред. В.М. Небрата. – 2009. – С. 247-249.
52. Гопченко Є.Д, Гриб О.М., Белов В.В., Гриб К.О., Медведева Ю.С. Аналіз сучасних морфометричних та деяких фізико-хімічних характеристик лиману Куяльник // Зб. наук. ст. / За ред. В.М. Небрата. – 2009. – С. 63-65.
53. Про затвердження переліку водних об'єктів, що відносяться до категорії лікувальних: Постанова Кабінету Міністрів України № 1499 від 11.12.1996 р.
54. О границах округа и зон санитарной охраны курорта Куяльник в Одесской области: Постанова Ради Міністрів УРСР № 102 від 07.03.1985 р.
55. Williams W.D. Inland salt lakes: An introduction // Hydrobiology. – 1981. – V. 81. – P. 1-14.
56. Аладин И.С., Плотников М.Н. Современная фауна остаточных водоемов, образовавшихся на месте бывшего Аральского моря // Тр. Зоол. ин-та РАН. – 2008. – Т. 312. – № 1/2. – С. 145-154.

57. Хохлов В.Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века // Укр. гідрометеорол. журн. – 2007. – Вип. 2. – С. 35-42.
58. Хохлов В.М., Латиш Л.Г., Цимбалюк К.С. Возможні зміни температурного режиму в Україні у 2011-1025 роках // Вісн. Од. держ. екол. ун-ту. – 2009. – Вип. 8. – С. 70-78.
59. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії // Вісн. НАН України. – 2009. – № 2. – С. 34-44.
60. Полищук В.С., Замбриборщ Ф.С., Тимченко В.М. и др. Лиманы Северного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 204 с.
61. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій // Укр. ботан. журн. – 2003. – Т. 60. – № 1. – С. 6-17.
62. Обоснование создания природоохранной территории «Куяльник» (Justification for developing a protected area «Kuialnik»). Региональная программа ТАСИС Европейского Союза. Технический отчет. – Одесса, 2004. – 70 с.
63. Геоботанічне районування Української РСР. – К.: Наук. думка, 1977. – 304 с.
64. Бондаренко О.Ю., Васильєва Т.В., Петрушенко В.В., Шихалєєва Г.М., Кірюшкіна Г.М. Синантропні види рослин у структурі фітоценозів узбережжя Куяльницького лиману. // Аграрний вісн. Причорномор'я. – 2012. – Вип. 61. – С. 30-34.
65. Корзюков А.И., Русев И.Т., Гержик И.П. Побережье Северо-Западного Причерноморья как миграционный путь птиц Европы и Африки // Матер. междунар. симпоз. «Упр. и охрана побережий Северо-Западного Причерноморья» (г. Одесса, 30 сентября – 6 октября 1996 г.). – 1996. – С. 83.
66. Русев И.Т., Корзюков А.И., Соколовский Д.С., Овчаров А.А., Артамонов В.А., Рединов К.А., Вобленко А.С. Результаты учетов птиц на Одесских лиманах: Сухом, Хаджибейском, Куяльницком, Большом и Малом Аджалыке, Тилигульском и Соленом озере у с. Морское // Бюл. РОМ: Итоги регион. орнитол. мониторинг. Азово-Черномор. побер. Украины. – 2005. – Вып. 2. – 28 с.
67. Banaszak J. Patterns of distribution of Apoidea in agricultural land scape // Colloq. INRA. – 1984. – V. 21. – P. 223-227.
68. Pavlikowski T. Structura zgrupowan dzikich pszczolowatych (Hymenoptera, Apoidea) z obszarow rolnych o guncnych typach parcelacji powierzchni uprawnej // Acta Univ. N. Copmnic. Biol. – 1989. – 33. – S. 31-46.
69. Гиляров М.С., Чернов Ю.И. Охрана животного мира СССР. Наземные беспозвоночные // Природа. – 1977. – № 11. – С. 105-115.
70. Гребенников В.С. О путях экологической оптимизации агроценозов Западной Сибири // Сб. науч. тр.: Биол. методы борьбы с вредными организмами. – 1990. – С. 8-11.

71. Bales G.L. The honey bee's environmental role // *Amer. Bee J.* – 1985. – V. 125. – № 4. – P. 234-235.
72. Stephen W.P., Bohart G.E., Torchio P.F. The biology and external morphology of bees with a synopsis of the genera of northwestern America. – Corvallis: Agric. Exper. Station Oregon State Univ, 1969. – 140 p.
73. Pearson D.L. Selecting indicator taxa for the quantitative assessment of biodiversity // *Philosph. Transact. Royal Soc. London, Series B: Biol. Scs.* – 1994. – V. 345. – P. 75-79.
74. Стойловский В.П. Водно-болотные угодья Черноморского региона в системе природоохранных и управленческих решений. – Одесса: Феникс, 2003. – 309 с.
75. Выхованец Г.В., Борисевич Т.Д. О классификации водно-болотных угодий на побережье Черного и Азовского морей // *Вісн. Од. нац. ун-ту ім. І.І. Мечникова: Геогр. та геол. науки.* – 2010. – Т. 15. – Вип. 10. – С. 32-44.
76. Балущкина Е.В., Петрова НА. Функционирование популяций хирономид в гипергалинных озерах Крыма // *Тр. Зоол. ин-та АН СССР.* – 1989. – Т. 205. – С. 129-138.
77. Батушкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С., Лишинчук Л.Ф. Структурно-функциональные характеристики экосистем малых соленых озер Крыма // *Биол. внутр. вод.* – 2007. – № 2. – С. 11-19.
78. Laprise R., Dodson J. Nature of environmental variability experienced by benthic and pelagic animals in the St. Lawrence Estuary. Canada // *Mar. Ecol Prog. Ser.* – 1993. – V. 94. – P. 129-139.
79. Williams W.D. Sahnizanon of nvers and streams: an important environment hazard // *Ambio.* – 1987. – V. 16. – P. 180-185.
80. Williams W.D. Salinity as a detemunant of the structure of biological communities in salt lakes // *Hydrobiology.* – 1998. – V. 381. – P. 191-201.
81. Williams W.D. Chinese and Mongolian saline lakes: hymnological overview // *Hydrobiology.* – 1991. – V. 210. – 1-2. – P. 39-66.
82. Williams W.D. Anthropogenic salimsation of inland waters // *Hydrobiology.* – 2001. – V. 466. – 1-3. – P. 329-337.
83. Williams W.D. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes // *Hydrobiology.* – 1998a. – V. 381. – P. 191-201.
84. Williams W.D. Guidelines of lake management. Management of inland saline waters // *Int. lake Environment Committee, United Nations Environment Program.* – 1998b. – V. 6. – 108 p.
85. Balushkina E.K., Golubkov S.M, Golubkov M.S., Liivinchuk L.F., Shadrin N.V. Characteristic features of ecosystems of hyperhaline lakes of the Crimea // *Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci. B.* – 2005. – V. 308. – P. 5-12.

86. Golubkov S., Kemp P., Golubkov M., Balmhkina E., Liivinchuk L., Giibelii K. Biodiversity and the functioning of hypersaline lake ecosystems from Crimea Peninsula (Black Sea) // *Archive fur Hydrobiology*. – 2007. – 9/1. – P. 79-87.
87. Адобовский В.В., Шихалеева Г.Н. Шурова Н.М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницкого лимана // *Сб. науч. тр.: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. – 2002. – Вып. 1 (6). – С. 71-82.
88. Герасимюк В.П., Эннан А.А., Шихалеева Г.Н. Видовой состав водорослей бентоса Куяльницкого лимана (северо-западное Причерноморье, Украины) // *Algological*. – 2011. – V. 21. – № 2. – P. 226-240.
89. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Кирюшкина А.Н. Экологическое состояние природной среды лиманно-морского курортного комплекса «Куяльник-Лузановка» и водной экосистемы Куяльницкого лимана // *Мат. науч.-практ. конф. «Мониторинг окружающей среды» (с. Коктебель, 18-22 сентября 2006 г.)*. – К.: НПЦ «Экология, наука, техника», 2006. – С. 35-38.
90. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Чурсина О.Д. Экологическое состояние Куяльницкого лимана // *Мат. Всеукр. наук.-практ. конф.* – Одеса: ІНВАЦ, 2009. – С. 216-221.
91. Адаменко В.Н., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата и их эмпирическая диагностика // *Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия: Кольский НЦ РАН*. – 1999. – С. 17-34.
92. Горшков В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость окружающей среды // *Итоги науки и техн. Теор. и общ. вопр. геогр.* – 1990. – Т. 7. – 238 с.
93. Кондратьев К.Я. Ключевые проблемы глобальной экологии / К.Я. Кондратьев // *Итоги науки и техн. Теор. и общие вопр. геогр.* – 1990. – Т. 9. – 454 с.
94. Найденов В.И. Гидрология суши: новый взгляд // *Вестник РАН*. – 2001. – Т. 71. – № 5. – С. 405-414.
95. Кондратьев К.Я. Экодинамика и геополитика. Глобальные проблемы. – С.-Пб.: С.-Пб. НИЦ РАН, 1999. – 1040 с.
96. Kondratyev K.Y. *Multidimensional Global Change* // Wiley / PRAXIS. Chichester. – U. K. – 1998. – 761 p.
97. Kukla G. The last interglacial // *Science*. – 2000. – V. 287. – P. 987-988.
98. Царик Й. Найімовірніші фактори загрози існуванню біосистем високогір'я Українських Карпат // *Зб. пр. НТШ*. – 2008. – Т. 23. – С. 258-263.
99. Кобів Ю.Й. Глобальні кліматичні зміни як загроза видовій біорізноманітності високогір'я Українських Карпат // *Укр. ботан. журн.* – 2009. – Т. 66. – 4. – С. 34-37.
100. Lesica P., Mc Cune B. Decline of arctic-alpine plants at the southern margin of their range following a decade of climatic warming // *Journ. of Vegetation Science*. – 2004. – V. 15. – № 5. – P. 679-690.

101. Klanderud K., Birks H.J.B. Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants // *The Holocene*. – 2003. – V. 13. – № 1. – P. 1-6.
102. Ткаченко В.С. Втрати енергії степовими екосистемами за різних видів їх експлуатації та енергетичні основи сукцесійної стабільності степу // *Укр. фітоценол. зб. Сер. С: Фітоєкологія*. – 2007. – Вип. 25. – С. 4-18.
103. Волощук В.М., Бойченко С.Г. Сценарії можливих змін клімату України в ХХІ ст. (під впливом глобального антропогенного потепління) // *Клімат України*. – 2003. – С. 319-330.
104. Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату. – К.: Наук. думка, 2008. – 311 с.
105. Григорьев А.А., Будыко М.И. О периодическом законе географической зональности // *Докл. АН СССР*. – 1956. – ПО № 1. – С. 129-132.
106. Винников К.Я. Чувствительность климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 116 с.
107. Ефимова Н.А., Строкина Л.А. Эмпирические оценки изменений климата на континентах северного полушария в конце XX века // *Изменения климата и их последствия*. – 2002. – С. 93-104.
108. Парилова Т.А., Кастрикин В.А., Бондарь Е.А. Многолетние тенденции сроков наступления фенофаз растений в условиях потепления климата (Хинганский заповедник, Среднее Приамурье) // *Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур*. – М: WWF России, 2006. – С. 47-51.
109. Гурбанов Э.М. Новейшие таксоны растительности Азербайджана // *BAKI Universitetinin Xoborlorl*. – 2009. – № 3. – С. 107-116.
110. Стадниченко А.П., Богачова А.М., Шубрат Ю.В. Вплив антропогенної трансформації навколишнього середовища на стан прісноводної малакофауни України // *Біологія*. – 2008. – Вип. 1. – С. 139-161.
111. Кузьмин С.Л. Сокращение численности земноводных и проблема вымирания таксонов // *Успехи современной биол.* – 1995. – Т. 115. – Вып. 2. – С. 141-155.
112. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. – М.: КМК, 1999. – 298 с.
113. Litvinchuk L., Moscatello S., Shadrin N., Belmoute G. Zooplankton from coastal salt lakes of the Crimea (Ukraine) // *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.* – 2007. – P. 38-530.
114. Шадрин Н.В., Дробецкая И.В., Чичикова И.Н., Терентьева Н.В. Каротиноиды в красной соли гиперсолёного Кояшского озера (Крым, Чёрное море): предварительное сообщение // *Морской екол. журн.* – 2003. – С. 85-87.
115. Хоменко С.Б., Шадрин Н.В. Иранский эндемик артемия урмиана в гиперсолёном озере Кояшское (Крым, Украина): предварительное обоснование заноса птицами // *Сб. науч. тр. Аз.-Черномор. орнитол. станции*. – 2009. – Вып. 12. – С. 81-91.