

УДК 556.5:551.468.4
КП XXXXXX
№ держ.реєстр. 0113U000697
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Одеський державний екологічний університет
(ОДЕКУ)
65016, м. Одеса-16, вул. Львівська 15

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор ОДЕКУ
професор, д.ф.-м.н.

С. Степаненко

2014.12.20

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
КОМПЛЕКСНЕ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ТА БЕРЕГОВОЮ
ЗОНОЮ В ЄВРОПЕЙСЬКИХ ЛАГУНАХ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ
(заключний)

Керівник НДР
д.геогр.н., професор

В. Хохлов



2014

Рукопис закінчено 20 вересня 2014 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ,
протокол № 4 від 18.12.2014

СПИСОК АВТОРІВ

- Науковий керівник,
пров. наук. співроб.
д.геогр.н., професор
- Пров. наук. співроб.
д.екон.н., доцент
- Пров. наук. співроб.
д.геогр.н., професор
- Пров. наук. співроб.
д.біол.н., с.н.с.
- Пров. наук. співроб.
д.ф.-м.н., професор
- Пров. наук. співроб.
д.геогр.н., професор
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н., доцент
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н.
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н., доцент
- Ст. наук. співроб.
к.біол.н.
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н., доцент
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н.
- Ст. наук. співроб.
к.геогр.н., доцент
- Ст. наук. співроб.
к.філол.н., доцент
- Ст. наук. співроб.
- Ст. наук. співроб.
- Ст. наук. співроб.
- В. Хохлов
(вступ, розділи 1, 3, 5)
- О. Губанова
(розділ 1.3)
- Н. Лобода
(розділи 1.1, 1.2.1, 5.2)
- Г. Мінічева
(розділ 2.1.1)
- С. Степаненко
(розділи 1.3, 3)
- Ю. Тучковенко
(розділи 1, 2, 3.4, 6, 7,
висновки)
- В. Белов
(розділ 6.1.1)
- Ю. Богатова
(розділ 6.1.3)
- Г. Боровська
(розділ 3)
- С. Бушуєв
(розділи 2.2, 2.3)
- О. Гриб
(розділ 7)
- С. Доценко
(розділ 6.1.1)
- Е. Серга
(розділ 6.2)
- Г. Шотова-Ніколенко
(розділ 3)
- І. Попович
(розділ 3)
- І. Синьогуб
(розділ 2.1.2)
- О. Тучковенко
(розділи 1.1, 1.2, 2, 6)

Ст. наук. співроб.	О. Шаблій (розділ 2)
Наук. співроб.	Ю. Божок (розділи 5.2, 5.3, 6.2)
Наук. співроб.	О. Деменчук (розділ 3)
Наук. співроб.	О. Катеруша (розділ 3)
Наук. співроб.	Л. Міченко (розділ 3)
Наук. співроб.	Ю. Томашпольська (розділ 3)
Наук. співроб.	Т. Чорна (розділ 3)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 208 с., 85 рис., 40 табл., 97 джерел

Предмет дослідження – сучасний стан господарського використання та охорони природних ресурсів, проблеми водного та екологічного менеджменту, шляхи їх вирішення.

Об'єкт дослідження – Тилігульський лиман північно-західної частини Чорного моря та його водозбірний басейн.

Мета дослідження – розробка науково обґрунтованої стратегії і структур системи ухвалення рішень для комплексного управління Тилігульським лиманом в умовах зміни клімату.

Методи дослідження – традиційні статистичні методи аналізу інформації, SWOT та DPSIR аналіз, числові математичні моделі SWIM (Soil and Water Integrated Model), модифікована МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) доповнена хіміко-біологічним блоком (МЕССА-OSENU).

Представлені розділи проекту 7-ої Рамкової Програми Європейського Співтовариства FP7-ENV-2011 “Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – LAGOONS), які стосуються Тилігульського лиману Північно-Західного Причорномор'я. Надані фізико-географічна та соціально-економічна характеристики Тилігульського лиману та його водозбірного басейну, опис природних ресурсів лиману та проблем їх збереження, бентосних співтовариств, іхтіофауни екосистеми лиману. Приведені результати громадського обговорення якісних сценаріїв майбутніх соціально-економічних змін у зоні Тилігульського лиману з використанням SWOT та DPSIR аналізу. Обґрунтовано вибір регіональної кліматичної моделі для аналізу сучасного стану та прогнозу кліматичних змін в межах водозбору Тилігульського лиману у XXI сторіччі. Представлені результати адаптації та верифікації числової математичної моделі евтрофікації вод лиману, а також сценарного моделювання мінливості солоності вод та гідроекологічних характеристик екосистеми лиману у XXI сторіччі, з урахуванням змін клімату та різних варіантів водного та екологічного менеджменту.

ТИЛІГУЛЬСЬКИЙ ЛИМАН, ПРИРОДНІ РЕСУРСИ, ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ, КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ, МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Характеристика Тилігульського лиману та його водозбірного басейну .	12
1.1 Фізико-географічний опис водозбору Тилігульського лиману	12
1.2 Природні ресурси лиману та проблеми їх збереження	20
1.2.1 Характеристика землекористування на водозбірному басейні лиману	23
1.2.2 Гідроекологічні проблеми	25
1.3 Соціально-економічні умови у басейні Тилігульського лиману	27
1.3.1 Розвиток промисловості та сільського господарства	27
1.3.2 Природокористування на Тилігульському лимані	32
1.3.3 Чинне законодавство на території лиману	34
1.3.4 Конфлікти між користувачами природних ресурсів	37
2 Біотичні складові екосистеми Тилігульського лиману.....	40
2.1 Бентос.....	40
2.1.1 Характеристика макрофітобентосу.....	40
2.1.2 Характеристика макрзообентосу.....	51
2.2 Іхтіофауна.....	64
2.3 Рибицтво.....	73
3 Залучення громадськості для розробки сценаріїв майбутніх соціально- економічних змін у зоні Тилігульського лиману.....	77
3.1 Фокусні групи.....	77
3.2 Проведення журі.....	81
3.3 Якісні сценарії майбутніх соціально-економічних змін.....	83
3.3.1 Сценарій «Управління без змін».....	83
3.3.2 Сценарій «Повернення до природи».....	85
3.3.3 Сценарій «Збалансоване природокористування».....	86
3.3.4 Сценарій «Криза».....	86
3.4 SWOT і DPSIR аналізи.....	87
3.5 Заключний семінар.....	95
4 Вплив майбутніх змін клімату та антропогенного чинника на гідрохімічні характеристики водозбору Тилігульського лиману.....	100
4.1 Модель SWIM.....	100
4.2 Гідрохімічні характеристики водозбору Тилігульського лиману за кліматичними сценаріями.....	101
4.3 Гідрохімічні характеристики водозбору Тилігульського лиману за різними сценаріями майбутнього соціально-економічного розвитку.....	112

5 Обґрунтування вибору регіональної кліматичної моделі для аналізу сучасного стану та прогнозу кліматичних змін в межах водозбору Тилігульського лиману.....	117
5.1 Сценарії майбутніх змін клімату Землі.....	117
5.2 Оцінка кліматичних сценаріїв для Тилігульського лиману.....	120
5.3 Зміни режиму опадів та температури за реалізацією моделі REMO.....	126
6 Моделювання гідрологічних та гідроекологічних процесів в лимані.....	131
6.1 Гідротермодинамічна модель.....	131
6.1.1 Адаптація і верифікація гідротермодинамічної моделі.....	132
6.1.2 Хіміко-біологічний блок моделі евтрофікації.....	138
6.1.3 Калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку моделі.....	148
6.2 Умови сценарного моделювання гідроекологічних процесів в лимані з урахуванням кліматичних змін.....	154
6.3 Результати моделювання впливу кліматичних змін на гідроекологічні характеристики лиману.....	159
6.4 Результати моделювання змін гідроекологічних характеристик лиману за різними сценаріями менеджменту.....	168
7 Оцінка водно-сольового режиму Тилігульського лиману та його частин при різних варіантах функціонування водоймив умовах майбутнього клімату (до 2100 року).....	173
7.1 Валідація моделі водно-сольового балансу лиману.....	173
7.2 Аналіз відповідності виміряних і розрахованих по SWIM моделі витрат р. Тилігул за період 1970-2000 рр. для сценаріїв регіонального клімату, визначених з використанням різних кліматичних моделей.....	177
7.3 Оцінка середньомісячних значень рівнів і солоності води лиману в умовах майбутнього клімату за сценаріями M5, M10 та M11 при різних варіантах водообміну з морем та водного менеджменту в басейні лиману	181
Висновки.....	189
Перелік посилань.....	196
Додаток А.....	204

ВСТУП

Впродовж 2011-2014 рр. Одеський державний екологічний університет у складі консорціуму 9 партнерів з 8 європейських держав виконував дослідницький проект 7-ої Рамкової Програми Європейського Співтовариства «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах зміни клімату» (FP7-ENV-2011 № 283157 “Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – LAGOONS). Мета проекту полягала в розробці науково обґрунтованої стратегії і структур системи ухвалення рішень для комплексного управління лагунами в умовах зміни клімату.

До складу консорціуму, окрім Одеського державного екологічного університету, входили (рис. 1): Університет Авейру (Португалія), Інститут гідроінженерії і Інститут морського промислу Польської академії наук, Атлантична філія Інституту океанології ім. П.П. Ширшова (Росія), Університет Мурсії (Іспанія), Біофорськ – Норвезький інститут досліджень сільського господарства і довкілля, Університет Данді (Шотландія), Потсдамський інститут досліджень впливу клімату (Німеччина).

Для проведення наукових досліджень та відпрацювання методології комплексного управління водними ресурсами лагун і прибережною зоною в умовах змін клімату були обрані 4 європейських лагуни (рис. 2): Мар Менор (Іспанія), Вістула (Польща, Росія), Ріа де Авейру (Португалія), Тілігульський лиман (Україна).

Основні завдання проекту стосовно Тілігульського лиману полягають у наступному (рис. 3).

1. Збір і обробка вихідної інформації для аналізу кліматичних змін гідрометеорологічних характеристик, сценарного гідроекологічного моделювання з урахуванням антропогенних і кліматичних чинників.

2. Виконання додаткових досліджень для усунення існуючих прогалин в знаннях.

3. Розробка якісних сценаріїв майбутнього розвитку соціально-економічної ситуації, оптимального використання територій водозбірного басейну і природних ресурсів лиману з урахуванням європейського досвіду.

4. Сценарне гідроекологічне моделювання кількісних характеристик прісного стоку з водозбірного басейну р. Тілігул і Тілігульського лиману, його якісних гідрохімічних показників з урахуванням майбутніх змін клімату, земле- і водокористування.

5. Сценарне моделювання змін гідроекологічного режиму Тілігульського лиману в умовах водообміну з морем через штучний сполучний канал, змінного антропогенного навантаження, і очікуваних кліматичних змін.

6. Розробка науково обґрунтованої стратегії і елементів системи ухвалення рішень для комплексного управління водними ресурсами лиману з урахуванням антропогенної діяльності на водозборі і очікуваних кліматичних змін.

7. Поширення результатів проекту і розробленої методології на інші європейські лагуни та лимани північно-західного Причорномор'я.

При реалізації проекту був використаний європейський досвід і підходи до вирішення вище згаданих завдань.



Рисунок 1 – Географічне розташування партнерів консорціуму



Рисунок 2 – Європейські лагуни, які є об’єктами дослідження проекту LAGOONS: а) Мар Менор, б) Ріа де Авейру, в) Вістула, г) Тилігульський лиман

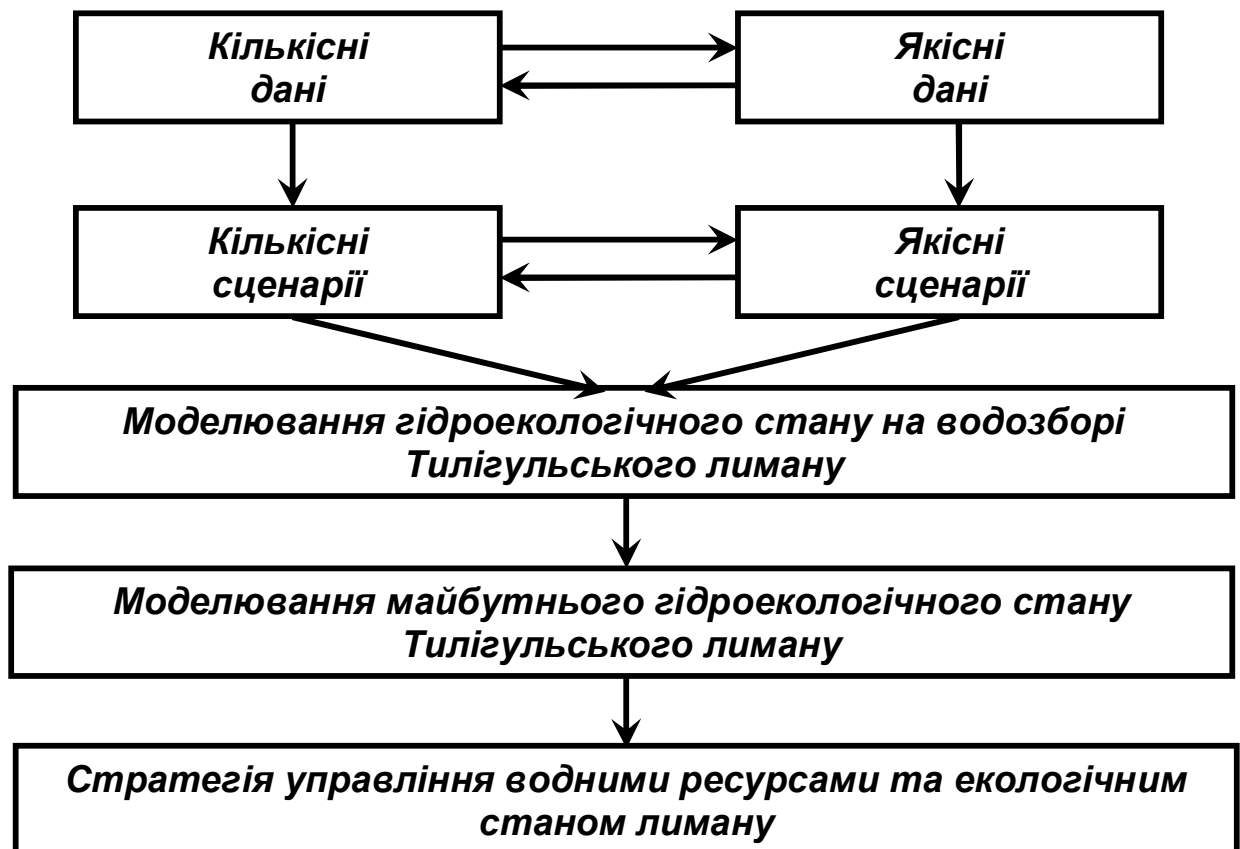


Рисунок 3 – Схема реалізації проекту LAGOONS.

Слід зазначити також, що проект FP7-Lagoons є логічним продовженням двох інших міжнародних проектів, присвячених проблемам Тилігульського лиману і прилеглих територій Одеської області: «Комплексне використання земель Євразійських степів. Менеджмент-план: Тилігульський регіональний парк» (проект в рамках регіональної програми ТАСИС Європейського Союзу); «Застосування принципів комплексного управління береговою зоною для оптимізації довгострокового економічного розвитку зони Тилігульського лиману» (проект Федерації EUROCOAST (Великобританія-Україна) SEPS 184), – які були реалізовані вченими Одещини в минулому десятиріччі.

Зокрема рекомендації, запропоновані в рамках попередніх проектів, включали в себе необхідність розробки складових плану гідроекологічного менеджменту Тилігульського лиману, як забезпечення водообміну лиману з морем через штучний шлюзований канал, визначення регламенту його функціонування, наукове обґрунтування природоохоронних заходів для відновлення стоку р.Тилігул та інших малих річок на водозбірному басейні лиману, зокрема, зменшення чисельності ставків і правил їх експлуатації. На вирішення цих завдань, з урахуванням існуючих перспективних планів

різних видів господарської діяльності на водозборі і акваторії лиману, очікуваних кліматичних змін був спрямований проект FP7-Lagoons.

У звіті приведена змістовна частина складових робочих пакетів проекту FP7-Lagoons, яка безпосередньо стосується Тилігульського лиману. Результати етапів проекту щодо усіх європейських лагун, які досліджувалися, розміщені на сайті <http://lagoons.biologiaatua.net>.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ ТА ЙОГО ВОДОЗБІРНОГО БАСЕЙНУ

1.1 Фізико-географічний опис водозбору Тилігульського лиману

Тилігульський лиман (рис. 1.1) розташований на українській частині узбережжя північно-західної частини Чорного моря, в 40 км від м.Одеса на кордоні Одеської та Миколаївської областей ($46^{\circ} 39,3' - 47^{\circ} 05,3'$ пн.ш., $30^{\circ}57,3' - 31^{\circ}12,7'$ сх.д.). Лиман являє собою затоплену морськими водами долину р.Тилігул витягнуту субмеридіально з північно-північного-заходу на південно-південний-схід. На сьогодні його довжина становить 45-52 км, ширина змінюється на окремих ділянках від 0,3 до 5,1 км. При відмітці рівня води в лимані мінус 0,4 м БС (метрів в Балтійській системі висот та глибин) площа дзеркала його водної поверхні дорівнює 129 млн. м², об'єм води – 693 млн. м³. Південна та центральна частини лиману являють собою улоговини з переважаючими глибинами в діапазоні 10-16 м, розмежовані підводним продовженням Чілової коси (рис. 1.2). Максимальна глибина в південній частині лиману становить 22,2 м. Північна частина лиману, в яку впадає р.Тилігул, мілководна, з глибинами менше 4 м. Середня глибина лиману становить 5,4 м.

Лиман відокремлений від моря природним піщаним пересипом шириною від 3,3 до 4 км і завдовжки до 6,6 км. В пересипу проритий штучний канал шириною 25-30 м і глибиною 0,25-1,5 м, який з'єднує лиман з морем. Експлуатація каналу в рибогосподарських цілях передбачає відкриття його навесні для запуску молоді риби в лиман для нагулу. Проте канал функціонує епізодично, оскільки інтенсивно замулюється піском з боку моря. До каналу примикають мілководні (глибиною 0,25-1,0 м) солоні озера, що пов'язані з ним. Вони розташовані на низинних ділянках пересипу і підживлюються водою з каналу (рис. 1.3).

Акваторія північно-західної частини Чорного моря, що примикає до Тилігульського пересипу, перебуває під впливом трансформованих річкових вод Дніпра і Південного Буга, які витікають з Дніпровсько-Бузького лиману (рис. 1.1). Цей вплив максимально проявляється в період весняної повені в квітні-червні.

Водний режим Тилігульського лиману визначається обсягами притоку вод з його водозбірного басейну, співвідношенням кількості атмосферних опадів, які випадають на водне дзеркало лиману, і обсягами випаровування з

нього, наявністю водообміну лиману з морем через штучний з'єднувальний канал.

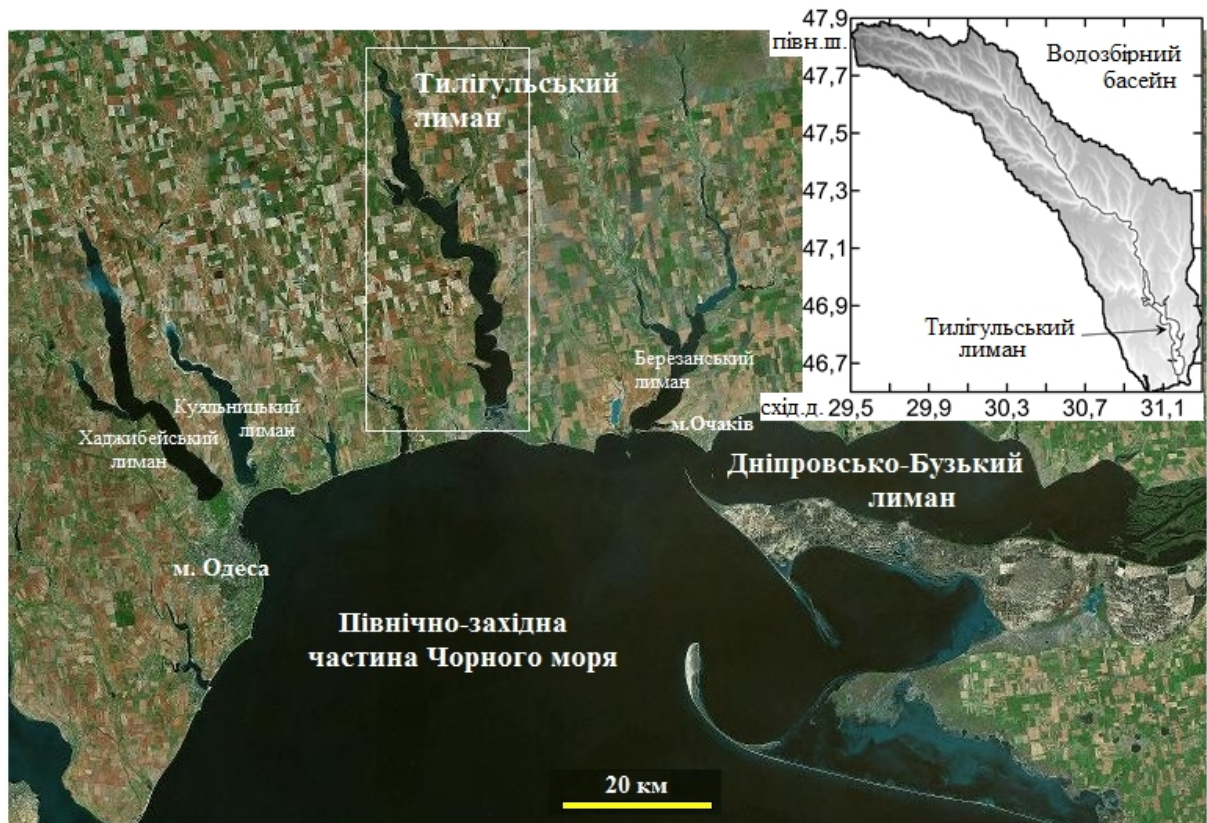
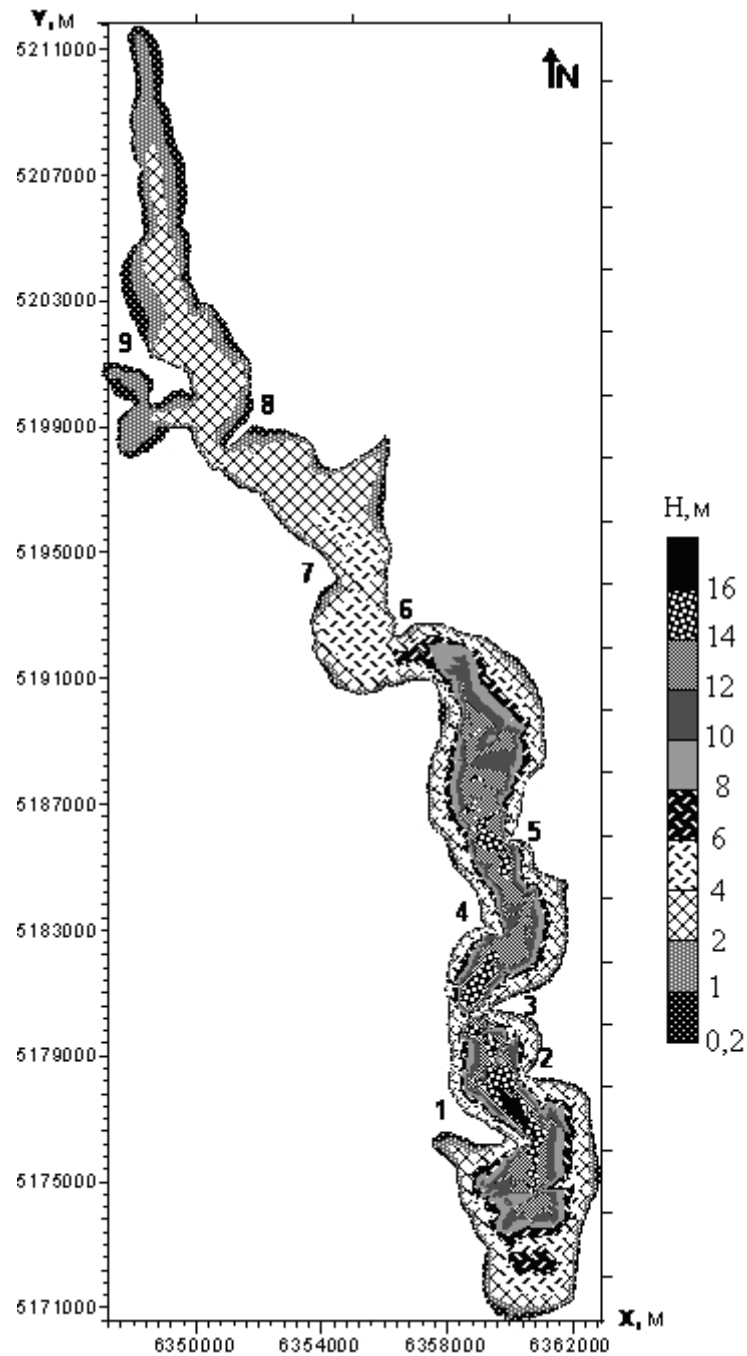


Рисунок 1.1 – Географічне розташування Тилігульського лиману та його водозбірного басейну

Площа водозбірного басейну Тилігульського лиману – 5420 км^2 (рис. 1.4). У лиман впадають річки: Тилігул (площа водозбору 3550 км^2 , довжина 173 км), Балайчук (площа водозбору 586 км^2 , довжина 52 км), Царєга (площа водозбору 657 км^2 , довжина 46 км), Хуторська (площа водозбору 108 км^2 , довжина 19 км) [1]. Поверхневий бічний приплив прісних вод по тимчасовим водотокам (балкам, ярам), які впадають в лиман, формується на площі 349 км^2 . Основна частина стоку в Тилігульський лиман (більше 90%) надходить від річки Тилігул.

Сумарний річний обсяг припливу поверхневих вод в Тилігульський лиман в сучасний період оцінюється в 24 млн. м^3 ($21,2 \text{ млн. м}^3$ – стік р.Тилігул, близько $4,0 \text{ млн. м}^3$ – інші водотоки). При загальній площі водного дзеркала лиману $128,85 \text{ км}^2$, випаровування з його водної поверхні становить 722 мм/рік (при солоності води рівній 20 ‰) або 93 млн. м^3 . Прибуткова складова зумовлена атмосферними опадами дорівнює 58 млн. м^3 . Отже, навіть у середній за водністю рік формується значний дефіцит водного балансу

(близько 11 млн.м³), що за відсутності водообміну з морем через штучний канал спричиняє зменшення рівня води в лимані.



Позначки: 1 – Любопільська коса, 2 – Червоноукраїнська коса, 3 – Чілова коса, 4 – Ранжева коса, 5 - Анатолівська коса, 6 - Кордонська коса, 7 – Широкинська коса, 8 – Калинівська коса, 9 – Стрілка коса.

Рисунок 1.2 – Батиметрична карта Тилігульського лиману (ізобати в метрах) при відмітці рівня води мінус 0,4 м БС. Система горизонтальних координат WGS-84



Рисунок 1.3 – Розташування штучного з'єднувального каналу лиман-море і солоних озер, пов'язаних з ним, в пересипу, що відокремлює лиман від моря

Середній багаторічний розмах сезонних коливань рівня води в лимані при функціонуванні з'єднувального каналу становить 0,35 м. Підвищення відміток рівня води відбувається з січня по квітень, а потім, починаючи з травня, позначки знижуються до мінімуму в листопаді. Максимальних значень (0,3 м БС) відмітки рівня води в лимані можуть досягати в роки з сильною весняною повінню (наприклад, у березні 2003 р.). У разі відсутності або дуже нетривалим зв'язком з морем, протягом кількох років рівень води в лимані може знизитися до позначки мінус 1,0 м БС, як це сталося, наприклад, у 2006-2007 рр.

Середній за багаторічний період річний приплив вод з водозбірного басейну до Тилігульського лиману в природних (непорушених господарською діяльністю) умовах, розрахований на основі водно-теплового балансу, дорівнює 56 млн.м³. З них річний стік р.Тилігул в цілому становить 46 млн.м³ (82 %), а через створ в нижній частині річки при впадінні її в лиман – 41,6 млн.м³. Однак, згідно з даними спостережень в створі смт.Березівка осередненими за період 1992-2007 рр., реальний обсяг вод р.Тилігул, які

надходять в лиман за рік, становить лише 21,2 млн.м³, що зумовлено сумісним впливом господарської діяльності і змінами клімату.

Основний тип живлення річок має змішане походження – тало-дощове. Інтенсивний поверхневий стік формується у разі накопичення значних запасів снігу на поверхні водозбору, що трапляється дуже рідко. Найбільш часто високе весняне водопілля формується у разі поєднання наступних чинників: промерзання або обмерзання земної поверхні, танення снігу, на тлі якого відбувається випадіння зливових опадів. Високі значення максимального стоку можуть спостерігатися і в теплий період року під час злив. Підземне живлення річок становить близько 2,5 мм/рік (8,8 млн. м³). За умови незначного вкладу підземного живлення у формування стоку річок, вони перемерзають взимку і пересихають в літньо-осінню межень.

Тривалість пересихання в нижній течії р. Тилігул може складати 90-240 діб [2]. В багатоводні роки тривалість пересихання становить 2 місяця, в середні по водності роки - 5 місяців, в маловодні – 6 місяців, в дуже маловодні – 8 місяців. Враховуючи зріст температури повітря протягом двох останніх десятиріч, тривалість пересихання дещо зросла.

Протягом року температура води в лимані може змінюватися в широкому діапазоні: від мінус 0,1-0,2 °С взимку до 30-33 °С на мілководді влітку. Найбільш прогрітими води Тилігульського лиману бувають у липні-серпні. В цей період добовий розмах змін температури води на мілководді може досягати 6 °С. В денний час температура води у відкритій частині акваторії на 1,5 - 2,0°С нижча, ніж у берега. Характерна особливість сезонної мінливості вертикальної термохалинної структури вод Тилігульського лиману полягає у формуванні в травні сезонного термокліну, який при певному поєднанні гідрометеоро-логічних факторів (опрісненні і сильному прогріві поверхневих вод, вітрових умовах) може зберігатися у глибоких частинах лиману до початку серпня. Наприклад, наприкінці липня 2010 р. в глибокій центральній частині лиману температура поверхневого шару води досягала 28 °С, а у дна на глибинах близько 15 м зберігала значення 8-10°С. Однак, у більшості зафіксованих випадків зруйнування різкого сезонного термокліну відбувало вже у липні.

У минулому сторіччі середня тривалість періоду з льодовими явищами складала 69 діб, а в деякі зими (1945-1946 рр.) лід в лимані міг зберігатися до 4 місяців. В теперішній час, в холодні зими лиман покривається льодом на період 1-2 місяці, а в теплі зими тривалість льодового періоду може складати всього один тиждень або лиман може не замерзати взагалі. Найбільша товщина льоду – 20-30 см спостерігається звичайно на початку лютого, а в суворі зими досягає 0,5 м, як, наприклад, взимку 2002/2003 рр.

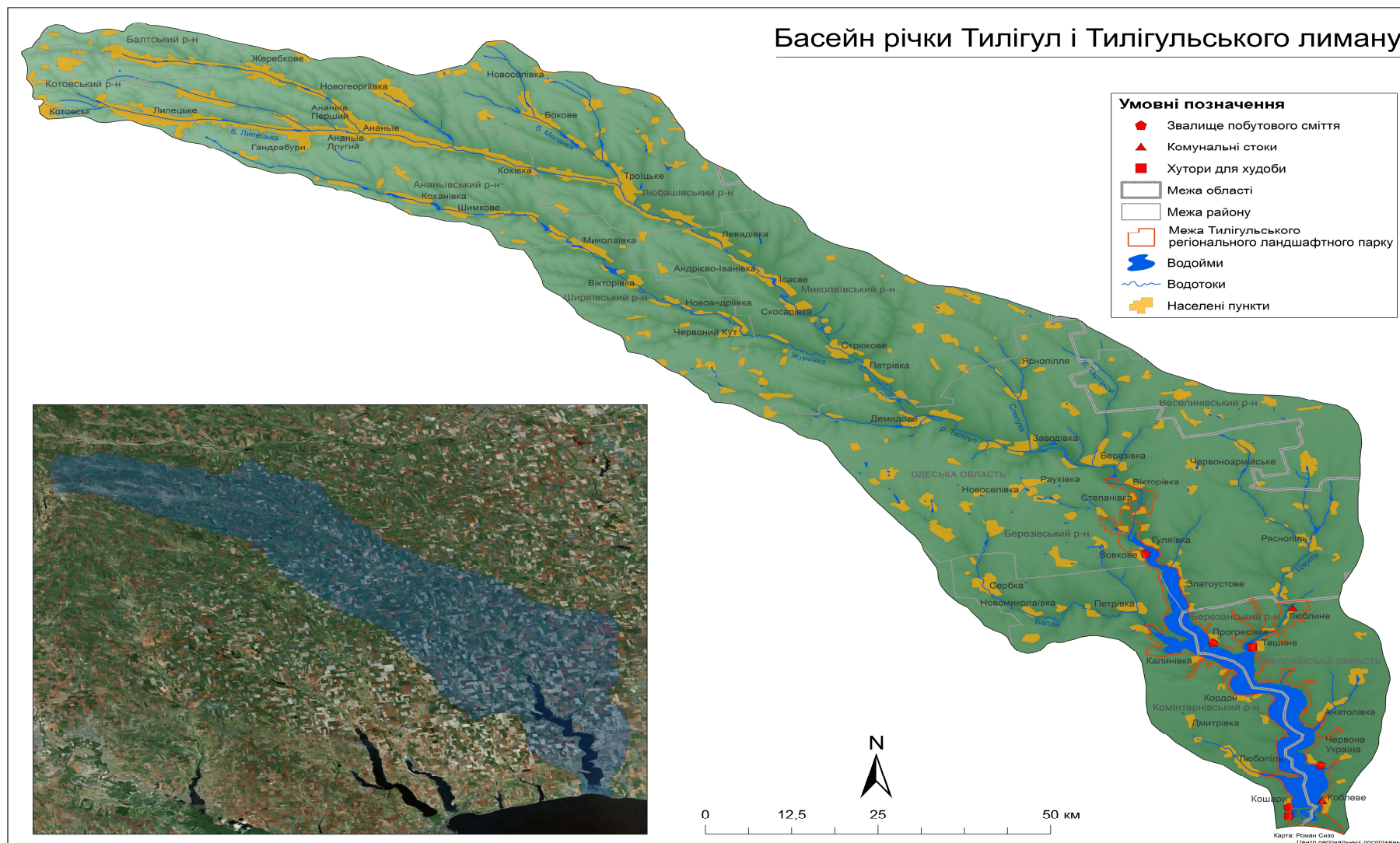


Рисунок 1.4 – Водозбірний басейн р.Тилігул і Тилігульського лиману

Для Тилігульського лиману характерна багаторічна тенденція підвищення солоності вод, наявність якої пояснюється зменшенням притоку прісних вод з водозбірного басейну лиману і акумуляцією солей, що надходять з морськими водами через з'єднувальний канал. У 60-х роках минулого століття, коли обсяги стоку річки Тилігул становили значну частину водного балансу лиману, середні значення солоності води в північній частині лиману становили 8,7 ‰, у центральній – 11,4 ‰, а в південній – 13-15 ‰ [3]. В сучасних умовах до кінця літа - початку осені солоність води як у південній, так і у центральній частинах лиману може зростати до 19-23 ‰, а в північній – до 27 ‰. Наприклад, у 2012 р. протягом усього періоду спостережень (травень - жовтень) солоність води в центральній частині лиману перевищувала 20 ‰, а в жовтні досягла своїх максимальних значень 23 ‰. Деяке зниження солоності вод в лимані відбувається в роки з сильними весняними паводками та повенями. Так, наприклад, у березні 2003 року, коли рівень води в лимані піднявся до 0,3 м БС, поверхневий шар навіть в південній частині лиману опріснівся до 6 ‰. Однак, через формування різкого сезонного пікнокліну в результаті опріснення поверхневого шару і весняно-літнього прогрівання вод, істотного зниження загальної солоності вод лиману не відбувається. Як правило, при підвищенні рівня води в лимані відбувається прорив перемички в каналі і опріснена поверхнева вода йде в море. Вже до кінця осені 2003 р. солоність вод поверхневого шару лиману досягла 17-19 ‰.

З метою внутрішньорічного регулювання водних ресурсів, на водозбірному басейні протягом десятиліть створювалися штучні водойми (ставки), розташовані переважно в руслах річок. Загальна кількість ставків на р.Тилігул дорівнює 105 (сумарний об'єм заповнення становить 10,2 млн.м³), а з урахуванням даних по інших річках (Балайчук, Царега, балка Хутірська), їх загальна кількість сягає 140, з сумарним об'ємом заповнення 14 млн.м³. Рівень технічного оснащення ставків досить низький: немає захисту дна і берегів від фільтрації, водозливи автоматичної дії часто не працюють, греблі слабо укріплені або частково зруйновані. Вісімдесят відсотків цих водойм щорічно пересихає. Втрати стоку на заповнення ставків і додаткове випаровування з їх водної поверхні зумовлюють зменшення водних ресурсів на 30-35 % (табл. 1.1). Вплив штучних водойм на водні ресурси зростає по мірі зменшення водності річок.

З кінця 80-х років ХХ століття [4], на водні ресурси річок великий вплив мають зміни клімату. Середній багаторічний річний стік р.Тилігул зменшився за період 1989-2011 рр. на 37 % порівняно з періодом 1953-1988 рр. Зміни середнього багаторічного річного ходу середньомісячних витрат

р.Тилігул в період до і після початку кліматичних змін, за даними спостережень в створі смт.Березівка, наведені на рис. 1.5.

Таблиця 1.1 – Водні ресурси річок басейну Тилігульського лиману в природних та порушених господарською діяльністю умовах (до 1989 р.) [5]

Річки, притоки	Річний стік \bar{W} , млн.м ³	
	В природних умовах	При наявності штучних водойм
Тилігул	46,00	33,0
Царега	3,90	1,91
Балайчук (Балай)	4,10	2,75
Хуторська	0,46	0,00
Боковой приплив	1,60	1,06
Сума	56,06	38,7

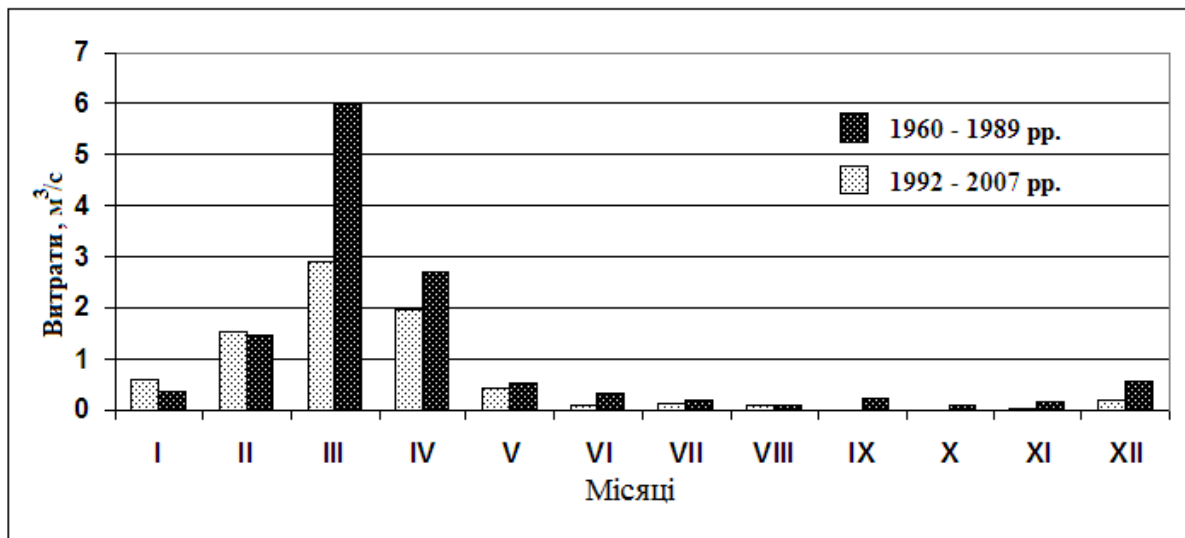


Рисунок 1.5 – Середній багаторічний річний хід середньомісячних витрат р.Тилігул в створі смт.Березівка, м³/с, у період до і після початку кліматичних змін

Водозбір на господарсько-побутові потреби здійснюється лише з підземних джерел. На території водозбірного басейну Тилігульського лиману зосереджені підземні води, які є складовою Причорноморського артезіанського басейна. Верхні водоносні горизонти живляться за рахунок атмосферних опадів. Через відсутність близько розташованого до земної поверхні водоутримуючого шару, атмосферне живлення підземних вод розповсюджується й на неогенні відклади [6]. Найбільш розповсюджені

водоносні горизонти сарматських відкладів. Підземні води середньосарматського водоносного горизонту розвантажуються в долинах річок і безпосередньо в Тилігульській лиман. Глибина залягання підземних вод у верхній частині дренажного басейну Тилігульського лиману становить 5-10 м, на більшій його частині – 3-5 м.

Вилучення підземних вод у басейні р.Тилігул і Тилігульського лиману здійснюють 150 водокористувачів. Зокрема, в 2011 р. було забрано 3,62 млн.м³ підземних вод, з них використано: на господарське та питне водопостачання – 2,93 млн.м³, на сільськогосподарське водопостачання - 0,6 млн.м³, на виробничі потреби – 0,09 млн.м³. Спожиті підземні води скидаються в р.Тилігул без очищення.

1.2 Природні ресурси лиману та проблеми їх збереження

Узбережжю Тилігульського лиману притаманний багатий ландшафтний різновид: кліфи, хвилеприбійні ніші, бенчі узбережжя, піщані коси і острова, мілководдя і заливні луки, очеретяні зарості, степові ділянки і лісові ділянки, також акваторія лиману створює сприятливі умови для біологічного різноманіття. Флора узбережжя лиману нараховує не менш 650 видів судинних рослин, з яких не менш 70 є домінантами рослинних угруповань, а 22 види занесені в національну та міжнародну Червоні книги. З корисних рослин, що складають цінний генофонд рослинних ресурсів, на узбережжі лиману зафіксовано 140 лікарських видів, 110 медоносних, 103 кормових, 93 харчових, 92 декоративних, 80 олієвмісних, 40 фарбувальних та ін. Ресурси деяких з них дозволяють їх заготовляти [7].

Цінність рослинного покриву узбережжя Тилігульського лиману полягає в його репрезентативності для степової зони півдня України, наявності рослинних угруповань, занесених в Зелену книгу України та видів рослин, занесених в різні охоронні списки міжнародного, державного та місцевого рівня.

Тилігульський лиман характеризується також високим рівнем біологічного багатства фауни. Він є місцем існування 70 % орнітофауни водно-болотних угідь України. В різні сезони року, в період міграцій, гніздування і зимівлі тут зустрічаються приблизно 300 видів птахів, з яких 26 видів птахів занесені в Червону книгу України та 3 види (*Phalacrocorax rugmeus* Pall. – що гніздяться; *Haliaeetus albicilla* – перелітний, що зимують; *Rufibrenta ruficollis* Pall. – перелітний) – в Європейський червоний список.

Поза гніздового періоду, особливо в період весняної та осінньої міграції, на акваторії лиману, мілководдях і плесах мешкає більше 70 видів водно-болотних птахів [7]. Загальна кількість птахів становить від 2000 до 7000 пар. Кількість птахів, що зимують, дорівнює приблизно 10 000 особин, а перелітають – приблизно 8 000 особин [8].

Враховуючи значення Тилігульського лиману як місця нагулу, гніздування та відпочинку мігруючих птахів, він включений до переліку ІВА-територій, а також в міжнародний список Рамсарської конвенції про захист водно-болотних угідь, як водно-болотне угіддя міжнародного значення, що відіграє важливу роль для існування водоплавних птахів.

На узбережжі лиману мешкає не менш 1500 видів безхребетних тварин. 23 види комах занесені в Червону книгу України, а 2 види (*Saga pedo* (Pallas, 1771), *Zerynthia polyxena* (Denis et Schiffermuller, 1775) – включені також до Європейського червоного списку. Тут зустрічаються 7 видів амфібій та 7 видів рептилій, 31 вид ссавців, 6 з яких занесені в Червону книгу України [7].

Тилігульський лиман – це один з небагатьох ветландів, які зберегли сьогодні природні приморські ландшафти; його екологічна система має унікальні умови для життя тваринного і рослинного світу, акваторія лиману має велику цінність для підтримання біологічної рівноваги регіону.

У водах Тилігульського лиману виявлені 118 видів планктонних мікроводоростей, 51 вид донної рослинності, включаючи багатоклітинні водорості і квіткові макрофіти, 30 видів мезо- та макрзоопланктону, 46 видів макрзообентосу, 25-30 видів риб [9].

Тилігульський лиман і прилегла територія володіють значними рекреаційними ресурсами. Унікальний ландшафт узбережжя, багатство флори і фауни акваторії лиману, а також прилеглих територій, сприяють розвитку екологічного («зеленого») туризму і обмеженим напрямком аматорського рибальства.

Високим балом пляжної привабливості характеризується морська сторона піщаного пересипу, що відокремлює лиман від моря, з її широким піщаним пляжем і прибережним мілководдям, а також ділянки узбережжя лиману розташовані вздовж зовнішнього контуру пересипу, кіс і терас, а також у підніжжя прилеглих до них активних кліфів. Малі пляжі зустрічаються на вершинах увігнутостей берега і заток, особливо в південній частині лиману. Загалом, лиманні пляжі є невеликими, порівняно з морськими. Їх ширина не перевищує 5-10 м, а висота зазвичай дорівнює 0,3-0,5 м.

Центральне місце в сучасному туристично-рекреаційному комплексі території морського узбережжя, прилеглої до Тилігульського лиману,

займають приморські кліматичні курорти Коблево, Рибаківка, Сичавка. Вони мають у своєму розпорядженні певну кількість туристичних баз відпочинку, кемпінгів та пансіонатів. Курорти профільовані на кліматотерапії в комфортний період (приблизно 130 днів на рік – з середини травня до середини вересня), оздоровленні хворих з неінфекційними ураженнями легень і верхніх дихальних шляхів та з серцево-судинними захворюваннями. Додатковими факторами рекреації тут слугують виноградолікування за спеціальними дістами для хворих з порушеннями ендокринної системи, спортивне рибальство в Чорному морі і Тилігульському лимані, різні види екологічного туризму на території регіональних ландшафтних парків.

Великий потенціал для розвитку рекреаційної лікувально-оздоровчої діяльності представляють бальнеологічні ресурси Тилігульського лиману. Тут розташоване одне з найбільших в Причорномор'ї родовище мінеральних лікувальних магнієво-натрієвих мулових грязей, запаси яких сягають 15,8 тис. м³. Його загальна площа становить 23,2 км². Лікувальні грязі являють собою візуально чорну або темно-сіру масу, що складається з води, мінеральних та органічних інгредієнтів, має тонкодисперсну структуру, однорідність, мазеподібну консистенцію, жирний блиск і запах сірководню. Грязь характеризується об'ємною вагою 1,23-1,31, вмістом вологи – 62-70 %, сірководню – 0,05-0,07 %, органічних речовин – 1,7-2,1 %, рН – 8,25-8,5. Грязьовий розчин магнієво-натрієвого типу з мінералізацією 13,5-15,6 г/л [10]. Грязі можуть використовуватися для лікування захворювань органів опорно-рухового апарату, нервової системи, гінекологічного профілю та ін.

Для збереження вищевказаних природних ресурсів Тилігульського лиману на його берегах і акваторії створені 2 однойменних регіональних ландшафтних парки в межах Одеської (3973 га суші та 9981 га акваторії лиману) та Миколаївської (3440,1 га суші та 4755,3 га акваторії лиману) областей, а також заказники місцевого значення: ботанічний «Калинівський» (92 га), орнітологічний «Тилігульський пересип» (390 га), ландшафтні «Каїрівський» (150 га) і «Новомиколаївський» (315 га) – в Одеській області, та орнітологічний «Пониззя Тилігульського лиману» (120 га) – в Миколаївській області. Крім цього, на берегах лиману знаходиться створений в 1974-1985 рр. орнітологічний заказник загальнодержавного значення «Коса стрілка» (394 га, Одеська область). Ці об'єкти включені до природно-заповідного фонду України.

1.2.1 Характеристика землекористування на водозбірному басейні лиману

Ґрунти в басейні Тилігульського лиману визначаються приналежністю території до підзони південного степу, для якої властиві високі температури та незначне зволоження, в умовах підвищеного випаровування вологи. Ґрунти формуються на глинистих осадових породах неогену і антропогену, причому поза територією четвертинного заледеніння. В якості материнських порід виступають леси, лесовидні суглинки, делювіальні червоно-бурі глини, алювіально-озерні супіски і піски [7].

Ґрунти міжлиманно-міждолинних вододілів представлені високо родючими чорноземами і темно-каштановими типами, з потужністю ґрунтового покриву до 1,2-1,5 м. Середній вміст гумусу 3,3 %, максимальний – 5-6 %. На схилах річкових долин, балок і лиману розташовуються змиті і частково змиті чорноземи. Складний рельєф схилів, розчленованість його глибокою яружно-балочною мережею, значна строкатість ґрунтового покриву і мікрокліматичних умов зволоження істотно ускладнюють використання схилівих земель.

Контур лиману оточений аквально-аеральною прибережною смугою, утвореною сучасними терасами лиману, гирлами балок і річок. У періоди підвищення рівня води в лимані та морі ці смуги затоплюються водою. Влітку і восени смуги підживлюються ґрунтовими водами. Тут утворилися солончаки, лучні та лучно-болотні, засолені в різному ступені і солонцюваті ґрунти. Вони використовуються зазвичай як малопродуктивні природні кормові угіддя [11].

Згідно з ґрунтово-географічним районуванням, верхні дві третини водозбору Тилігульського лиману розташовані в степовій зоні звичайних і південних чорноземів, а нижня третина відноситься до сухостепової зони темно-каштанових і каштанових ґрунтів [12].

На початку минулого століття верхню частину басейна Тилігульського лиману займали формації дуба з домішками граба та байрачні ліси. У середній і нижній частинах басейну переважали типчаково-ковилові степи. Біля узбережжя Чорного моря і до сьогодні знаходяться полиново-типчаківі степи в комплексі з солонцями. На даний час дуби в більшій частині вирубані, а степи розорані і на їх місці знаходяться сільськогосподарські угіддя. У структурі посівних площ переважають зернові та зернобобові (близько 60 %), кормові та технічні культури, серед яких значне місце займають соняшник і ріпак (близько 20 %), овочево-баштанні також

займають 20 %. Серед зернових культур основною є озима пшениця, значну частку складають площі зайняті озимим ячменем і кукурудзою [12].

Сільськогосподарські угіддя в басейні Тилігульського лиману складають 75,4% від загальної площі водозбору. У верхній та нижній частинах басейну Тилігульського лиману частка сільськогосподарських угідь становить 70-85%, у середній – 86-90%. Частка розораних земель від загальної площі сільськогосподарських угідь змінюється від 65-70 % - поблизу витоку річки Тилігул до 80-85 % – у середній частині водозбору і до 75-80 % - у нижній течії. Навколо Тилігульського лиману частка ріллі становить 75-85% [12].

У 1994 р. на території басейну річки Тилігул знаходилося 65 великих колективних сільських господарств – колгоспів і радгоспів [13]. У теперешній час в басейні знаходяться 205 сільгосппідприємств, з яких тільки 54 підприємства обробляють землі загальною площею понад 1000 га.

Наявність потенційно-родючих чорноземів на вододільних полях навколо лиману, достатня кількість сонячного світла і тепла забезпечують в роки оптимального атмосферного зволоження високий врожай зернових, баштанних та інших культур. Однак у регіоні бувають часті і тривалі посухи, які суттєво зменшують врожайність вирощуваних культур. Вони є однією з головних причин значних коливань валових зборів зерна та інших сільськогосподарських продуктів. На території, прилеглої до узбережжя Тилігульського лиману, широко поширені садівництво та виноградарство. Велике виноградарсько-виноробне господарство розташоване в районі Коблево.

У 90-х роках минулого століття на узбережжі Тилігульського лиману з боку Одеської області (західному) були створені численні дачні, садові і садово-городні товариства (головним чином на території Калинівської, Любопольської, Петровської сільрад), які складаються з ділянок площею 0,06 -0,12 га з невеликими будівлями. Чисельність жителів дачних масивів у комфортний сезон може досягати одночасно 10 тис.чол.

Раніше скотарство молочного та м'ясного напрямків було галуззю спеціалізації аграрних виробників в басейні Тилігульського лиману. Однак в останні десятиліття тваринництво регіону занепало. Лише в деяких господарствах та індивідуально місцевим населенням підтримується свинарство, вівчарство і розведення великої рогатої худоби молочного напрямку. Територія схилів лиману використовується місцевими жителями для випасу худоби.

1.2.2 Гідроекологічні проблеми

Завдяки віддаленості від великих міст і, супутніх їм, промислових об'єктів Тилігульський лиман зберіг свій природний статус, проте відчуває негативний вплив сільськогосподарської діяльності на його водозборі і, особливо, на берегових схилах. Розорювання земель і випас худоби в прибережній захисній смузі, використання добрив і пестицидів в рослинництві та садівництві призводять до забруднення вод лиману, додаткового надходження до лиман в період весняної повені і інтенсивних літніх злив зважених наносів і гумусу, біогенних речовин в мінеральній і органічній формі, зменшенню прозорості та перегріву вод, розвитку евтрофікації з усіма негативними її наслідками.

Додаткове антропогенне навантаження на екосистему лиману надає господарсько-побутова і стихійна рекреаційна діяльність населення, чисельність якого істотно зросла за останні десятиліття в результаті інтенсивного дачного освоєння прилеглих до лиману територій. До числа негативних наслідків цієї діяльності слід віднести порушення природних ландшафтів, місць проживання та гніздування птахів, знищення унікальної флори і фауни, створення смітєвих звалищ через відсутність системи утилізації сміття, побутових відходів, відсутність систем каналізації дачних селищ.

При сучасному режимі водогосподарського використання Тилігульський лиман є фактично непроточною водоймою, тобто вода із зовнішніх джерел (ріки Тилігул та ін. водотоків, розташованих на водозбірному басейні лиману, моря – через сполучний канал) в лиман тільки втікає, разом з біогенними речовинами, солями, які містяться в ній, а витікає у відносно малих об'ємах в періоди сильних весняних водопіль та при значних пониженнях рівня моря внаслідок вітрових згонів. Втрати водного об'єму лиману забезпечуються інтенсивним випаровуванням влітку. Період повного зовнішнього водообновлення лиману становить близько 8 років. Це призводить до акумуляції впродовж багатьох років солей і біогенних речовин в лимані та підвищенню їх концентрацій.

Наслідком багаторічної тенденції збільшення солоності вод в лимані є зміна домінування у видовому складі водної флори і фауни прісноводно-солонатоводних і солонатоводних комплексів на морські і солонатоводні-морські. Порівняно з початком 80-х років минулого сторіччя кількість морських видів фітопланктону збільшилася з 14 до 64 %, морського та солонатоводно-морського макрофітобентосу – з 40 до 83 %,

морського зоопланктону – з 40 до 90 % [9, 14]. Якщо в 60-80 роки ХХ століття в лимані зустрічалося від 12 до 25 видів прісноводних риб, то в 2013 р. їх кількість скоротилася до 4 видів. Внаслідок кліматичних змін існує реальна небезпека перетворення лиману у ХХІ сторіччі в гіпергалинну водойму, що спричинить за собою значне зменшення біорізноманіття водної флори і фауни.

Значні запаси в лимані біогенних речовин у воді і донних відкладах лиману сприяють високій швидкості продукування органічної речовини фітопланктоном і донними макрофітами у весняно-літній період. При сприятливих умовах, в період цвітіння влітку біомаса фітопланктону у фотичному шарі може досягати значень 40-160 г/м³ (2010 р). Середня за літній сезон біомаса донних макрофітів в мілководній прибережній зоні лиману глибиною до 2 м досягає значень більше 2 кг/м². Середньомісячні значення концентрації розчиненої органічної речовини (за перманганатною окислюваністю) змінюються від 6 до 11,3 мгО/дм³. Концентрація органічної речовини в порових водах донних відкладень лиману становить 23-33 мгО/ дм³ [9].

Високий вміст органічних речовин у воді і донних відкладах зумовлює другу проблему для екосистеми лиману – можливість розвитку гіпоксії і аноксії кисню в придонному шарі глибоких ділянок акваторії лиману, а також на мілководді в нічний час при штилі і сильному прогріві вод, в результаті «цвітіння» фітопланктону і донних макрофітів в літній період року. Розвиток дефіциту кисню у воді призводить до загибелі гідробіонтів. У різних районах лиману масова загибель риби спостерігалася влітку 1999, 2000, 2001, 2006, 2007, 2010, 2013 рр. Влітку 2010 р. на окремих ділянках узбережжя було виявлено 20 кг мертвої риби на квадратний метр.

Водообмін лиману з морем через з'єднувальний штучний канал має як позитивні, так і негативні сторони. Позитивний вплив полягає в тому, що функціонування каналу запобігає значному падінню рівня води в лимані до кінця літнього періоду, запобігає обміліттю мілководних ділянок лиману (північної частини, підводних продовжень кос, які поділяють лиман на частини), сприяє оновленню забруднених вод лиману відносно чистими морськими, інтенсифікації водообміну між глибокими частинами лиману, розділеними мілководними косами. Функціонування каналу у весняний період дає можливість заходити в лиман молоді морських риб для нагулу, що сприяє збільшенню його рибних ресурсів і розвитку промислового і аматорського рибальства.

При низькому рівні води в лимані, в наслідок осушування і зникнення прибережних мілководь, зменшується площа кормових ділянок для деяких

видів птахів, що охороняються, зростає доступність гніздівель для наземних хижаків [15].

Негативний вплив каналу полягає в тому, що при сучасному режимі водообміну з морем, коли з'єднувальний канал відкривається у квітні – на початку травня і функціонує 2-3 місяці до занесення його морської частини піском, відбувається накопичення солей в лимані і підтримується багаторічна тенденція збільшення солоності його вод. Це може призвести до поступового перетворення лиману в гіпергалінну водойму зі значно меншим біорізноманіттям водної флори і фауни, ніж в теперішній час.

1.3 Соціально-економічні умови у басейні Тилігульського лиману

1.3.1 Розвиток промисловості та сільського господарства

Тилігульський лиман знаходиться на території двох південних областей України. За територіально-адміністративною підпорядкованістю його північна частина відноситься до Березівського району Одеської області, західна – до Комінтернівського району Одещини, а східна – до Березанського району Миколаївській області.

Загальна площа цих адміністративних районів становить приблизно 5 тис. км², на якій проживає майже 130 тис. чол. [16, 17]. Найважливіші показники, які характеризують соціально-економічний розвиток мезорегіону Тилігульського лиману станом на 01.01.2011р., наведені в таблиці 1.2. За 2011 рік соціально-економічна ситуація в регіоні стабілізувалась, про що свідчать дані звітів районних держадміністрацій [18-20].

Так, в Березівському районі обсяг природного скорочення населення зменшився на 67,6%, що сталося внаслідок збільшення кількості народжених на 9,2% і зменшення кількості померлих на 2,3%.

Рівень зареєстрованого безробіття в цілому по району на 01.01.2012р. склав 1,74%, показник працевлаштування зріс на 17,9%. Середньомісячна заробітна плата штатного працівника проти 2010 року підвищилась на 13,5%.

Обсяги промислового виробництва збільшились на 3,3%, загальний обсяг реалізованої продукції становив 9,7 млн. грн.

Під урожай 2011 року в районі було засіяно 27,5 тис. га озимої пшениці, 17,1 тис. га озимого ячменю, 6,3 тис. га озимого ріпаку. Загальна площа ярових зернових склала 15,8 тис. га, при цьому збільшились площі посіву гороху, гречки, зернової кукурудзи, сорго, кормових культур, а саме

зернобобових сумішей, силосної кукурудзи, багаторічних трав. За підрахунками (з урахуванням господарств населення), валовий збір зерна склав на 6,4 тис. тонни більше, ніж в 2010 році. Середня врожайність зернових в Березівському районі дорівнювала 31,6 ц/га.

Таблиця 1.2 – Основні показники соціально-економічного становища адміністративних районів зони Тилігульського лиману

Показник	Район		
	Комінтернівський	Березівський	Березанський
Площа, тис. км ²	1,49	1,64	1,38
Кількість населених пунктів	66	65	50
Населення, тис. осіб	69,4	34,4	24,0
міське	14,3	12,5	4,1
сільське	55,1	21,9	19,9
Щільність населення, осіб/км ²	46,6	21,0	17,4
Демографічні показники, на 1000 осіб:			
кількість народжених	13,3	13,2	12,3
кількість померлих	14,6	18,2	15,1
природний приріст	-1,3	- 5,0	-2,8
Середня заробітна плата, грн.	1773	1313	1708
Рівень безробіття, %	0,5	2,2	3,5
Площа с/г угідь, тис. км ²	1,141	1,364	1,127
Посівна площа, тис. км ²	0,819	0,955	0,567
Валовий збір зерна, тис. т	124, 7	165,3	92,1
Врожайність зернових, ц/га	24,8	26,6	22,6
Поголів'я с/г тварин, тис.гол.:			
корови	3,3	3,1	5,3
свині	7,3	9,6	5,9
вівці, кози	4,0	2,2	3,7
птиця	783,2	173,5	109,8
Виробництво с/г продукції:			
м'яса, т	6771	3534	2061
молока, тис. т	13,4	27,6	21,6
яєць, тис. шт.	183186	15474	7538
Рентабельність с/г виробництва, %	1,9	15,3	28,2

Валовий збір основної продовольчої культури – озимої пшениці склав 95,7 тис. га при середній врожайності 35,1 ц/га.

Значно більше, ніж в попередні роки, господарствами району було заготовлено кормів для відгодівлі худоби, що позитивно вплинуло чисельність поголів'я сільськогосподарських тварин; наприклад, приріст великої рогатої худоби склав 10,8%, овець та кіз - 11,3%.

За 2011р. підприємствами та організаціями району за рахунок усіх джерел фінансування освоєно 20 млн. 940 тис. грн. капітальних інвестицій, з них 91,7% становили інвестиції в основний капітал, найвагомішу частку яких було вкладено в розвиток сільського господарства - 87,3%.

Робота господарського комплексу Березівського району вплинула на виконання показників наповнення бюджетів усіх рівнів у 2011 році. Так, до зведеного бюджету району надійшло 32 млн. 149 тис. грн., в тому числі, до державного бюджету – 4 млн. 566 тис. грн., до місцевих бюджетів – 27 млн. 582 тис. грн., що відповідно на 13,2% та 11,2% більше від запланованих показників бюджетних надходжень попереднього року. Деяко покращився фінансовий результат діяльності підприємств, організацій, установ Березівського району: прибутково спрацювало 75% підприємств, сума одержаного ними прибутку становила 1 млн. 537 тис. грн.

Позитивні тенденції соціально-економічного розвитку у 2011 році спостерігались також у Комінтернівського району Одеської області.

Обсяг природного скорочення населення порівняно з 2010 роком зменшився на 95,8 %. Це сталося внаслідок зменшення кількості народжених (на 0,1%) і кількості померлих (на 18,6%), проте наявне населення району зменшилось 59 осіб.

За даними державної служби зайнятості, рівень зареєстрованого безробіття по Комінтернівському району на 01.01.2012р. склав 0,3%, працевлаштованими було 418 осіб. Середньомісячна заробітна плата проти 2010 року підвищилась майже на 43%.

Промисловими підприємствами району було реалізовано продукції на 890 млн. 645 тис. грн., що на одну особу становило 12837,6 грн.

Зернові та зернобобові культури усіма категоріями господарств були зібрані на площі 28,074 тис. га і намолочено майже 76 тис. т зерна. Середня урожайність зернових культур становила 27,1 ц/га і зросла на 9,2% проти 2010 року. Під урожай 2012 року було посіяно озимих культур на площі 30,264 тис. га, що на 3,1% більше ніж у 2010 році.

Виробництво основних видів тваринницької продукції у 2011 році характеризувалося такими показниками: загальні обсяги виробництва м'яса збільшились на 1,3%, молока на 20,0%, вовни на 6%, проте, виробництво яєць зменшилось на 76,8%. Надій молока від однієї корови порівняно з попереднім роком зріс на 9,3%.

В розвиток економіки Комінтернівського району у 2011 році суб'єктами господарювання за рахунок усіх джерел фінансування вкладено 178 млн. 616 тис. грн. капітальних інвестицій, найвагомішу частку яких (89,3% загального обсягу) склали інвестиції в основний капітал (капітальне

будівництво, придбання машин та обладнання).

Протягом 2011 року в районі значна увага приділялася будівництву газопроводів та газифікації сільських населених пунктів; проведенню капітального ремонту та введенню в експлуатацію об'єктів соціальної інфраструктури; дошкільних закладів, шкіл, медично-лікувальних закладів; використовувалися всі наявні можливості для вирішення проблеми водопостачання. На 1 січня 2012 року рівень газифікації району становив 50,4%, природний газ був підведений до 33 населених пунктів; в районі його мають 83% жителів, у тому числі понад 62,7% тих, хто живе в сільській місцевості. Всього в Комінтернівському районі прокладено та експлуатується 603,53 км газових мереж. У 2011 році на газифікацію населених пунктів витрачено 1млн. 401,3 тис. грн.

Загальна сума прямих іноземних інвестицій в економіку району становила 86 млн. 575 тис. дол. США. Обсяг прямих іноземних інвестицій на одну особу населення району дорівнював 1249,1 дол. США.

Обсяг роздрібного товарообороту в Комінтернівському районі за 2011 рік склав 534 млн. 178 тис. грн. і на одну особу становив 7697,1 грн. Загалом у сфері торгівлі, ресторанного господарства та побутового обслуговування району протягом 2011 року було створено 27 нових робочих місць.

На 1 січня 2012 року в доход бюджету Комінтернівського району надійшло 308 млн. 730 тис. грн., що на 6,6 % більш запланованого показника.

Про соціально-економічне становище Березанського району Миколаївської області свідчать дані звіту райдержадміністрації [20]. Так, на кінець 2011 року в районі проживало 23,9 тис. осіб, зокрема, міського населення – 4,1 тис., сільського – 19,8 тис. В порівнянні з 2010 роком чисельність наявного населення скоротилася на 69 осіб. Його зменшення відбулось за рахунок природного та міграційного скорочення, яке становило 36 та 33 особи відповідно.

Рівень безробіття в Березанському районі у 2011 році скоротився на 0,5%. Службою зайнятості було працевлаштоване 9 осіб, отже протягом року показник працевлаштування не змінився.

Середня заробітна плата в районі зросла на 16,2%.

За 2011 рік підприємствами Березанського району було реалізовано промислової продукції (товарів, послуг) на суму 170,2 млн. грн., що на 22% менше ніж у 2010 році. Обсяг реалізованої промислової продукції у розрахунку на одну особу становив 7101,5 грн.

В усіх категоріях господарств у 2011 році валовий збір зернових та зернобобових культур склав 129,84 тис. т (на 5,5% більше ніж у 2010р.). У

середньому з 1 га обмолоченої площі одержано 24 ц зерна (на 0,6 ц більше ніж у 2010р.). Загальне поголів'я великої рогатої худоби становило 7700 голів (на 4,3% більше ніж на 01.01.2011 року), також на 4% проти попереднього року збільшилось поголів'я свиней, кількість овець зросла на 15%.

Протягом 2011р. автомобільним транспортом району перевезено 129,5 тис. т вантажів, що на 91,6% більше ніж за 2010 рік. Послугами автомобільного пасажирського транспорту скористалося 250,2 тис. осіб, що на 20,9% більше порівняно з 2010 роком.

В районі газифіковано 23 населених пункти (49% загальної кількості), довжина газових мереж – 305 км.

Річний обсяг роздрібного товарообороту в Березанському районі на 13% перевищив рівень 2010 року і в розрахунку на 1 особу становив 5525,6 грн., що на 14,8% більше показника 2010 року.

Рівень виконання доходів загального фонду місцевих бюджетів у 2011 році становив 104,7%, проти 103,2% у 2010 році. Доходи місцевих бюджетів (без трансфертів) в 2011 році збільшилися на 14,0% (у 2010 році - збільшення на 3,4%). Обсяг податкових надходжень до місцевих бюджетів у розрахунку на одиницю населення у 2011 році становив 950,21 грн., що більше ніж на 123,21 грн. у 2010 році

Порівняння показників соціально-економічного стану адміністративних районів, які формують мезосередовище Тилігульського лиману вказує на те, що найбільш розвинутим серед них є Комінтернівський район, на території якого знаходяться такі потужні промислові об'єкти як-то Одеський припортовий завод та Морський торговельний порт Южний.

Через акваторію Тилігульського лиману проходять 3 магістральні трубопроводи. Це аміакопровід Тольяті — Горлівка — Одеса, потужність якого розрахована на перекачування 340 т аміаку/годину, газопровід Шебелинка – Одеса і нафтопровід Херсон – Снігірівка – Одеса), пропускною спроможністю 9,2 млрд. м³ газу та 19 млн. т нафти на рік відповідно [23-25].

Сільськогосподарська спеціалізація мікрорегіону Тилігульського лиману впливає на ступень розораності земель, яка досягає 70-75%. Земельні ресурси використовуються для вирощування зернових, овочевих, баштанних та технічних культур, садівництва, виноградарства, птахівництва та тваринництва. Проявом антропогенного впливу сільськогосподарської діяльності на природне середовище Тилігульського лиману є змив в лиман хімічних препаратів, внаслідок їх застосування в рослинництві, та потрапляння в акваторію відходів тваринництва, що суттєво погіршує гідрохімічні показники води лиману.

До чинників, що впливають на стабілізаційні процеси та гальмують

економічний розвиток мезорегіону Тилігульського лиману, належать:

- недостатня енергоефективність та високий рівень енергозатрат галузей економіки;
- значний ступінь зносу основних засобів та їх моральна застарілість;
- велика енергоресурсоемність основних виробничих фондів, що знижує конкурентоспроможність продукції місцевих виробників;
- недостатність власних коштів у підприємств для здійснення інвестування;
- залежність підприємств від кон'юнктури зовнішніх ринків;
- обмежений доступ та висока вартість кредитних ресурсів;
- недостатнє ресурсне забезпечення агропромислового комплексу;
- низький рівень впровадження сучасних агротехнологій у сільському господарстві;
- дисбаланс між попитом та пропозиціями на ринку праці, наявність тіньової зайнятості;
- вкрай низька якість доріг та застарілий стан транспортної та енергетичної інфраструктури;
- кризовий стан житлово-комунального господарства та необхідність проведення реформування галузі;
- нераціональне використання земельних ресурсів та неефективне використання земель сільськогосподарського призначення.

1.3.2 Природокористування на Тилігульському лимані

Проте вплив мезосередовища на ситуацію в зоні Тилігульського лиману опосередкований. Стан екосистеми лиману, перш за все, пов'язаний з розвитком мікрорегіону, до складу якого входять населені пункти, дачні масиви, курортно-рекреаційні об'єкти та території природно-заповідного фонду, а галузева структура представлена сільським господарством, рекреацією і транспортом.

На західному березі Тилігульського лиману розташовані населені пункти: Кошари, Любополь, Пшенянове, Кордон, Мар'янівка, Червона нива, Широке, Калинівка, Каіри, Волкове, Донська балка, Косівка, Степанівка, Гуляївка, Софіївка, Златоустове, на східному – Прогресівка, Ташине, Анатолівка, Червона Українка та курортна зона «Коблево».

Чисельність населення, що постійно мешкає в зоні Тилігульського лиману, становить приблизно 10 тис. осіб. Кількість рекреантів, які одночасно можуть відпочивати у більш ніж 100 пансіонатах та базах

відпочинку, що відносяться до курорту «Коблево», становить майже 17 тис. осіб [21].

Починаючи з 90-х років минулого століття, поблизу сіл Каїри, Калинівка, Пшенянове та Любополь почали створюватися великі дачні масиви, що натеper нараховують близько 37 тис. дач, якими щосезону користується до 115 тис. осіб [22]. Проте, за іншими джерелами, кількість дачників становить 50 тисяч [7].

У 1995 році 4755,3 га акваторії лиману і 3440,1 га прилеглої території Березанського району Миколаївській області одержали статус регіонального ландшафтного парку, до якого увійшли землі Ташинської, Краснопільської, Анатолівської, Червоноукраїнської та Коблевської сілрад. В 1997 році аналогічний статус було надано територіям, що розташовані на західному березі Тилігульського лиману і відносяться до Комінтернівського та Березівського районів Одещини. Площа регіонального ландшафтного парку, який знаходиться в Одеській області, дорівнює 13954 га, з них 9981 га – акваторія лиману. Загальна площа Тилігульського регіонального ландшафтного парку, до якого входить 5 заказників («Коса стрілка», «Калинівський», «Тилігульська пересип», «Новомиколаївський», «Каїровський»), становить 22149,4 га.

Деякі показники природокористування в зоні Тилігульського лиману наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники природокористування в зоні Тилігульського лиману

Показник	Характеристика
Чисельність населення, тис. осіб:	
постійні мешканці	10
дачники	50
Площа ТРЛП, га:	
акваторія	14736,3
земля	7413,1
Виллов риби, т/рік:	
Комінтернівський та Березівський райони	Ліміт – 72,0; факт. – 348,6
Березанський район	Ліміт – 72,0; факт. – 9,73
Обсяги водоспоживання (мешканці сіл, дачники)*, тис. м ³ /рік	9551
Обсяги утворення твердих побутових відходів (мешканці сіл, дачники)*, т/рік	16526

*- розрахункові дані

Поряд з кліматичними та іншими природними ресурсами, міцним фактором розвитку рекреаційного комплексу в зоні Тилігульського лиману є наявність лікувальних грязей, запаси яких, за оцінками фахівців, становлять 14 млн.т. Використання їх потенціалу дозволить щорічно проходити грязелікування більш ніж 100 тисячам рекреантів та одержувати соціально-економічний ефект в розмірі до 2 млн. дол. США [26]. Крім того, додатковою статтею доходу (понад 10 млн. Дол. США на рік) може стати переробка грязей та ропи на заводі, будівництво якого в зоні лиману, з урахуванням витрат на природоохоронні заходи, оцінюється в 1,5 млн. дол. США, а термін окупності інвестицій – в 1,5 роки [7].

На даний час в межах мікрорегіону Тилігульського лиману існує три типи територій: заповідні, рекреаційні та господарського призначення. Враховуючи особливості ландшафту, потребу в збереженні біорізноманіття, а також інтереси мешканців сіл та інших користувачів, функціональне зонування земель, прилеглих до лиману, залишається мозаїчним тобто території природно-заповідного фонду перемежуються з рекреаційними зонами та землями, на яких здійснюється господарська діяльність, що призводить до виникнення проблем природоохоронного характеру (розораність ділянок заповідних територій, утворення нелегальних ставків та водоймищ, неконтрольований випас тварин, підпали очерету, поява несанкціонованих сміттєзвалищ тощо). Отже, неупорядкована структура землекористування є одним з факторів порушення сталості екосистеми Тилігульського лиману та погіршення якості його водних ресурсів.

1.3.3 Чинне законодавство на території лиману

Структура управління мікрорегіоном Тилігульського лиману вкрай складна та неефективна, що є однією з важливих причин порушення сталості його екосистеми.

Територія, яка віднесена до зони лиману, підпорядковується двом Державним обласним адміністраціям – Одеській та Миколаївській.

Питаннями функціонування та розвитку населених пунктів та господарств безпосередньо займаються районні адміністрації та сільради, а також відповідні обласні управління (економіки; праці та соціально захисту населення; розвитку інфраструктури та енергозбереження; регіонального розвитку, містобудування та архітектури; культури та туризму тощо) та

підрозділи районного підпорядкування.

Управління агропромисловим комплексом, транспортним сектором та рекреаційною сферою здійснюється галузевими структурними підрозділами держадміністрацій обласного та районного рівнів.

Аналогічна вертикаль управління діє в сфері природокористування. Наприклад, в Одеській області управління водними ресурсами покладено на Одеське обласне виробниче управління по водному господарству «Облводгосп»; земельними – на Головне управління Держземагентства в Одеській області; лісовими – на Одеське обласне управління лісового та мисливського господарства; ресурсами природно-заповідного фонду – на Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Одеській області тощо (рис. 1.6).

Тилігульський регіональний ландшафтний парк, поділений на дві територіально-адміністративні одиниці, та має два центра управління – Одеську та Миколаївську адміністрації, що негативно впливає на якість управління територією, частина якої за Рамсарською конвенцією віднесена до водно-болотних угідь міжнародного значення.

Таким чином, проблеми природоохоронного характеру в зоні Тилігульського лиману, значною мірою, зумовлені порушенням басейнового принципу управління водними ресурсами та відсутністю єдиного суб'єкта управління тобто мають інституційне походження.

Функціонування соціо-економіко-екологічної системи в зоні Тилігульського лиману здійснюється у відповідності до Конституції України, Міжнародних конвенцій (Рамсарська конвенція про водно-болотні угіддя, Конвенції про біорізноманіття, Картахенський протокол про біобезпеку, Бернська конвенція про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі), Водного, Лісового та Земельного Кодексів України, а також Законів України, зокрема:

- Про охорону навколишнього природного середовища (1991 р.);
- Про охорону атмосферного повітря (1992 р.);
- Про відходи (1998 р.);
- Про природно-заповідний фонд України (1992 р.);
- Про екологічну мережу України (2004 р.)
- Про екологічну експертизу (1995 р.);
- Про ліцензування певних видів господарської діяльності (2000 г.);
- Про особисте селянське господарство (2003 р.);
- Про фермерське господарство (2005 р.);
- Про охорону земель (2003 р.);
- Про державний контроль за використанням та охороною земель (2003 р.);

- Про землеустрій (2003 р.);
- Про планування та забудівлю території (2006 р.);
- Про місцеве врядування в Україні (2007 р.);
- Про курорти (2000 р.);
- Про туризм (2003 р.).

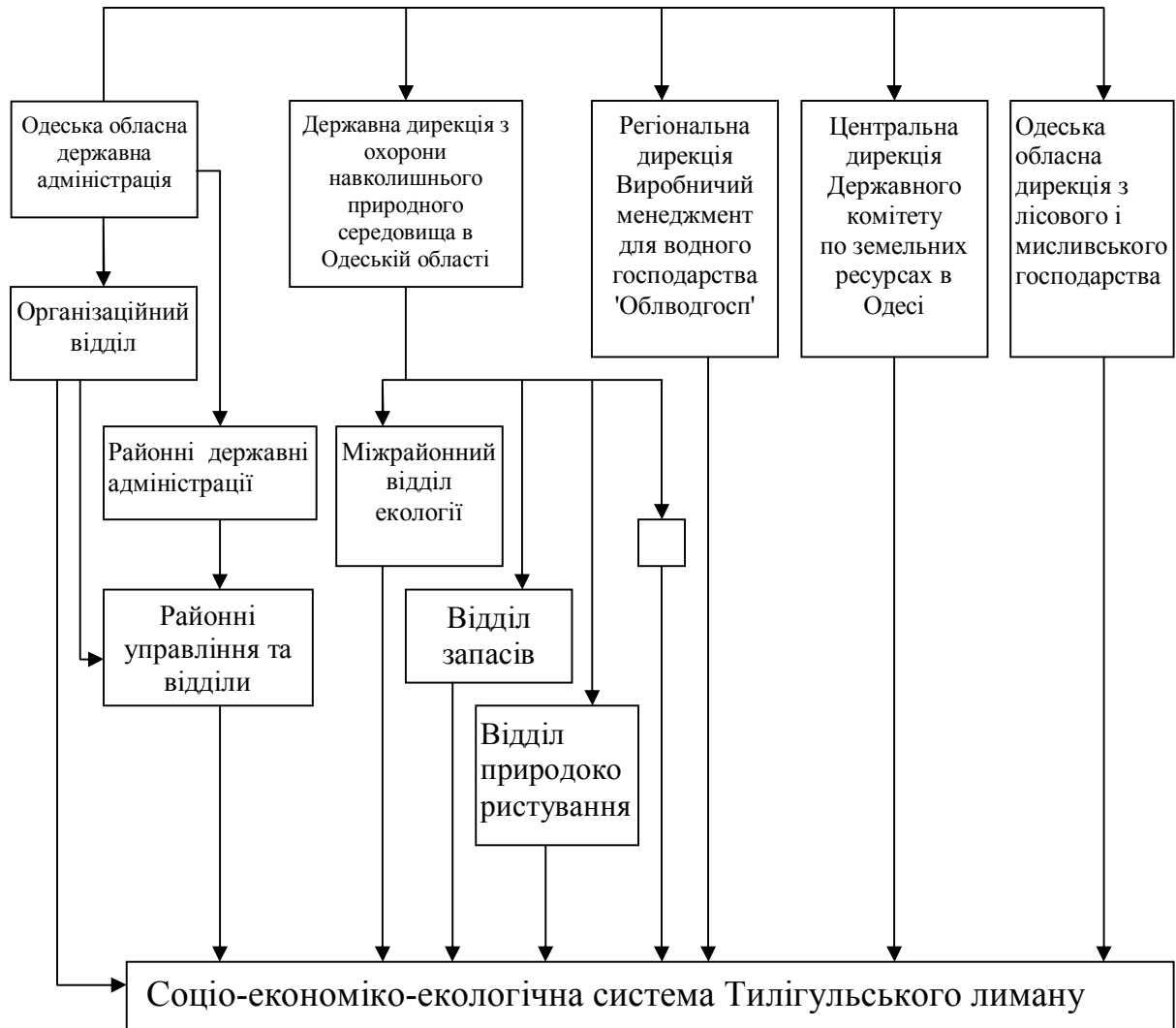


Рисунок 1.6 – Організаційно-функціональна структура управління Тилігульського лиману в Одеській області.

В збалансованому розвитку мікрорегіону Тилігульського лиману загалом зацікавлені представники всіх цільових груп (стек-холдерів):

- владні структури на обласному, районному та місцевому рівнях;
- суб'єкти господарювання (мешканці прибережних сіл, дачники, колектив Державного підприємства «Одеське лісове господарство», керівництво та працівники курорту «Коблево» тощо);
- адміністрації та співробітники Одеського та Миколаївського регіональних ландшафтних парків;

- рекреанти (відпочиваючі, туристи, рибалки та інші);
- партнери (науковці, представники природоохоронних громадських організацій).

1.3.4 Конфлікти між користувачами природних ресурсів

Проте неузгодженість інтересів зацікавлених осіб та організацій зумовлює виникнення низки конфліктів, що напряду впливають на сталий розвиток зони Тилігульського лиману (табл.1.4).

Серед них слід виділити такі:

- змив у лиман забруднюючих речовин внаслідок використання в сільському господарстві регіону мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин та утворення відходів тваринництва;
- забруднення акваторії та прилеглих до лиману земель побутовим сміттям, каналізаційними стоками, що утворюється через відсутність в населених пунктах та дачних масивах централізованої системи збору твердих побутових відходів та каналізації;
- небезпека щодо збереження рідких видів флори та фауни, порушення умов гніздування птахів як результат неконтрольованого перебування рекреантів, туристів, дачників та мешканців сіл на заповідних територіях;
- дефіцит та розмивання коштів, потрібних для утримання Тилігульського регіонального ландшафтного парку внаслідок існування двох адміністрацій, що є наслідком неузгодженості дій з боку владних структур;
- неможливість реалізації стратегії сталого розвитку мікрорегіону Тилігульського лиману через відсутність єдиного центру управління, а саме, басейнової ради лиману, що також має інституційну природу.

Таблиця 1.4 – Конфлікти природокористування у басейні Тилігульського лиману

Ініціатори конфлікту	Причини виникнення конфлікту	Суть конфлікту
1	2	3
Користувачі ставків і водосховищ на водозборі	Неконтрольоване вилучення води на наповнення як діючих, так і занедбаних водойм.	Значне (до 50 %) зменшення припливу прісних вод в лиман. Підвищення солоності вод в лимані. Осушення мілководних ділянок акваторії лиману і водно-болотних угідь в заплаві р.Тилігул і верхів'я лиману.
Агропромислові господарства	Сільськогосподарська діяльність	Змив в лиман забруднюючих і біогенних речовин, органіки внаслідок розорювання земель у прибережній смузі, використання мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин і утворення відходів тваринництва.
Місцеве населення, дачники	Відсутність централізованої системи збору твердих побутових відходів та каналізації.	Забруднення акваторії і прилеглих до лиману земель неочищеними господарсько-побутовими стоками і сміттям.
	Використання в садово-городніх дачних ділянках мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин.	Змив в лиман забруднюючих і біогенних речовин, органіки.
	Нерегламентоване викошування луговий рослинності, очерету та їх випалювання, збір охоронних видів квіткових рослин, лікарської рослинної сировини. Нерегламентований випас худоби на берегових схилах лиману. Порушення місць перебування і гніздування птахів. Браконьєрство	Нанесення збитку флорі і фауні територій природно-заповідного фонду, загроза зменшення біорізноманіття.
	Створення кар'єрів для видобутку піску та глини, засипання балок, дачна та господарська забудова прибережних територій	Порушення природних ландшафтів.
Рекреанти	Неконтрольоване перебування на територіях природно-заповідного фонду, Порушення місць перебування і гніздування птахів. Засмічення території. Ініціація випадкових пожеж.	Нанесення збитку флорі і фауні територій природно-заповідного фонду, загроза зменшення біорізноманіття

Продовження таблиці 1.4

1	2	3
Промислове рибальство	Вилов риби в лимані понад встановлених лімітів. Не регулярне забезпечення функціонування з'єднувального каналу з морем, виходячи тільки з рибогосподарських цілей.	Значні коливання рівня води в лимані, нестабільність гідроекологічного режиму лиману, загроза зменшення біорізноманіття.
Органи державної влади та місцевого самоврядування	Поділ єдиної екосистеми Тилігульського лиману та прилеглих територій на дві територіально-адміністративні одиниці у межах Одеської та Миколаївської областей.	Не ефективне управління охороною довкілля та природокористуванням, відсутність єдиного плану водного та екологічного менеджменту лиману, розбазарюванні коштів, відсутність єдиного плану моніторингу екосистеми лиману і природоохоронних заходів.
	Водоохоронні зони і прибережні захисні смуги не встановлено на місцевості і не враховані в землевпорядних документах.	Не виконуються вимоги природоохоронного законодавства України щодо обмеження господарської діяльності в межах водоохоронної зони і прибережної захисної смуги, на землях природно-заповідного фонду.

2 БІОТИЧНІ СКЛАДОВІ ЕКОСИСТЕМИ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

Співтовариства макрофітобентосу і макрозообентосу входять до складу біоценозів Тилігульського лиману, відіграють важливу роль в збереженні видового різноманіття його водної екосистеми, а також у кругообігу мінеральних і органічних речовин, процесах біологічного самоочищення, у підтримці кормової бази, в першу чергу для риб. Водні макрофіти слугують початковою ланкою у кругообігу речовин і енергії як первинні продуценти органічної речовини. Вони впливають на гідрохімічний режим, служать потужним біологічним фільтром в процесі природного самоочищення водойм. Макробентос відіграє важливу роль у функціонуванні водних екосистем, у забезпеченні трофічних взаємозв'язків видів, тому зміни у структурі бентосних співтовариств можуть здійснювати вплив на більш високі трофічні рівні. Чутливо реагуючий на зміну параметрів навколишнього середовища, але при цьому стійкий і добре пристосований навіть до екстремальних впливів, зообентос є відмінним індикатором всіх процесів, які проходять у водоймі, викликаних антропогенними або природними чинниками. З огляду на те, що відгук зообентосу на зовнішні зміни відбувається не зразу, а через деякий час, бентосне співтовариство є відображенням не короткострокових змін показників середовища, а їх систематичного впливу протягом тривалого часу.

2.1 Бентос

2.1.1 Характеристика макрофітобентосу

Результати досліджень макрофітобентосу Тилігульського лиману, проведених до 1965 р., узагальнені у роботі [27]. В цей період у лимані було встановлено 213 таксонів водоростей, серед яких синьо-зелені склали 42, зелені – 22, діатомові – 128, бурі – 3, червоні – 8. З квіткових зустрічалися 5 видів. В 50-60-х рр. ХХ століття були розповсюджені 7 водоростевих асоціацій. Прибережна зона з кам'янистим дном була зайнята асоціацією *Cladophora vagabunda*. Мулисто-піщані прибережні ґрунти південної частини лиману були зайняті асоціацією *Potamogeton pectinatus* (разом з *Zanichellia major* and *Ruppia spiralis*). В південній і середній частинах лиману на

піщаному ґрунті розповсюджена асоціація *Zostera minor*, а поблизу пересипу – *Zostera marina*. Мулисті ґрунти, які розташовані на віддалені від узбережжя, бідні на макрофіти. Тут мешкають синьо-зелені водорості з роду *Oscillatoria*: *O. brevis*, *O. amphibia*, *O. tenuis*, *O. nigroviridis*, *Spirulina tenuissima*.

Ретельні дослідження фітобентосу Тилігульського лиману в період 1990-2005 рр. і порівняння їх з історичними даними виконані О.А. Ковтуном [14]. В період досліджень ним були знайдені 69 видових і внутрішньо-видових таксонів водоростей макрофітів і 10 видів вищих водних рослин, які представлені 5 відділами, 8 класами, 16 порядками та 35 родами.

Основу видового багатства макрофітобентосу у період 1990-2005 рр. склали види відділів *Chlorophyta* and *Rhodophyta* (30 і 24 види, відповідно). Менш значуща роль бурих і жовто-зелених водоростей (12 і 2 види відповідно). Вищі водні квіткові рослини, які домінували за біомасою практично по всьому лиману, представлені 10 видами. Систематичний склад макрофітобентосу наведено в табл. 2.1.

У порівнянні з даними [27], в роботі [14] виділені 10 нових видів зелених водоростей: *Enteromorpha maeotica*, *Percursaria percursa*, *Ulothrix limnetica*, *Cladophora glomerata*, *C. siwaschensis*, *C. vadorum*, *Rhizoclonium tortuosum*, *Bryopsis plumosa*, *Spirogyra decimina*, *S. hassallii*. Серед представників *Chlorophyta* не виявлені 4 види: *Entocladia viridis* Reinke, *Gomontia polyrrhiza* (Lagerh.) Born. Et Flah., *Ulothrix tenuissima* Kutz. and *Chaetomorpha chlorotica* (Mont.) Kutz.), на які вказував І.І. Погребняк [27].

Видовий склад бурих водоростей *Rhodophyta* в 1990-2005 рр. поповнився 9 новими видами: *Pylaiella littoralis*, *Corynophlaea umbellate*, *Leathesia difformis*, *Scytosiphon lomentaria*, *Stictyosiphon adriaticus*, *Desmotrichum undulatum*, *Punctaria latifolia*, *Striaria attenuate*, *Cystoseira barbata*. Однак не знайдено *Cladosiphon contortus*, який визначали раніше.

Клас *Cyclosporophyceae* представлений тільки одним видом *Cystoseira barbata*, який був знайдений в лимані в кінці 90-х років ХХ століття. Жовто-зелені водорості раніше для лиману не вказувались. Видовий склад відділу *Xanthophyta* представлено 3 видами: *Vaucheria dichotoma* f. *submarina*, *V. geminate*, *V. litorea*.

У 40-50-х рр. ХХ ст., коли солоність води у лимані була в 2 і більше разів нижче сучасної, визначали 5 видів вищих водних квіткових рослин. В результаті осолонення лиману їх видовий склад поповнився ще 5 солестійкими видами, а галофобні види були відтіснені в верхню частину лиману.

Таблиця 2.1 – Систематичний склад макрофітобентосу Тилігульського лиману [14]

Таксон	Число таксонів, од.		
	Родів	Видів	Внутрішньовидових таксонів
CHLOROPHYTA			
ULVOPHYCEAE			
ULOTRICYHALES Bohl.	7/6*	14/14	-/-
CLADOPHORALES Fritsch	3/3	7/10	-/-
SIPHONALES (Endl.)Blackm.et Tansl.	1/1	1/2	-/-
ZYGNEMATOPHYCEAE			
ZIGNEMATALES Krieq	1/1	1/3	-/-
CHAROPHYCEAE			
CHARALES Dumor.	1/1	1/1	-/-
RHODOPHYTA			
BANGIOPHYCEAE			
CONIOTRYCHALES Skuja	2/2	2/2	-/-
BANGIALES Schmitz	-/3	-/3	-/-
FLORIDEOPHYCEAE			
ACROCHAETIALES Garb.	1/3	1/4	-/-
CORALLINALES Silva et Johansen	1/-	1/-	-/-
CERAMIALES Oltm.	3/4	7/16	1/2
PHAEOPHYTA			
PHAEOSPOROPHYCEAE			
ECTOCARPALES Oltm.	1/2	2/3	-/-
CHORDARIALES Setch. et Gardn	1/2	1/2	-/-
SCYTOSIPHONALES Feldm.	-/1	-/1	-/-
PUNCTARIALES Kylin	-/4	-/4	-/-
CYCLOSPOROPHYCEAE			
FUCALES Kylin	-/1	-/1	-/-
XANTHOPHYTA			
XANTHOPHYCEAE			
VAUCHERIALES Bohl.	-/1	-/3	-/1
MAGNOLIOPHYTA			
NYMPHAEALES			
CERATOPHYLLACEAE	1/1	1/1	
HIPPURIDALES			
HALORAGACEAE	-/1	-/1	-/-
NAJADALES			
POTAMOGETONACEAE	1/1	1/1	-/-
ZOSTERACEAE	1/1	2/2	-/-
RUPPIACEAE	1/1	1/2	-/-
ZANNICHELLIACEAE	1/1	1/1	-/-
POALES			
POACEAE	1/1	1/1	-/-
TYPHALES			
TYPHACEAE	-/1	-/1	-/-

Примітка: по чисельнику – кількість відомих видів за даними літературних джерел, по знаменнику – за оригінальними даними.

У розподілі різних систематичних груп донної рослинності в Тилігульському лимані чітко просліджується зменшення видового різноманіття при віддаленні від морського каналу в південній частині до верхів'я лиману, при одночасному збільшенні загальної частки зелених водоростей і зменшенні червоних. Найбільш сильно в теперішній час під вплив змінних гідрологічних умов підпадає верхня (північна) частина лиману, яка в період весняного водопілля в деякі роки дуже розпріснюється.

Різке, але короткочасне зменшення солоності з 18-23 ‰ до 3-10 ‰ призводить до зменшення числа солонуватоводних і морських видів та знижує, в цілому, видове різноманіття північної частини майже в 2 рази у порівнянні з південною (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Розподіл макрофітів в фітоценозах Тилігульського лиману по районам [14]

Відділ	Район			Всього видів в лимані
	Південний (с.Любополь)	Центральний (с.Петрівка)	Північний (с.Волково)	
<i>CHLOROPHYTA</i>	32	26	24	34 (39,1 %)
<i>RHODOPHYTA</i>	27	15	6	28 (32,2 %)
<i>PHAEOPHYTA</i>	10	6	3	12 (13,8 %)
<i>XANTHOPHYTA</i>	2	1	2	3 (3,5 %)
<i>MAGNOLIOPHYTA</i>	8	5	4	10 (11,5 %)
Всього	79	53	39	87 (100 %)

В південному і центральному районах лиману переважають морські і солонуватоводно-морські види (100 і 82,8 % відповідно), а в північному – зростає роль прісноводно-солонуватоводних. В теперішній час прісноводні види, на відміну від 40-60-х років ХХ століття, практично повністю втратили своє значення і збереглися лише в гирлі пересихаючої р.Тилігул (рис. 2.1).

Розподіл екологічних груп макрофітів для всього лиману до 1965 року [27] та в період 1990-2004 рр. [14] наведено в табл. 2.3.

В період 2001-2011 рр. дослідження макрофітів Тилігульського лиману проводились Одеським філіалом Інституту біології південних морів НАН України. Проби відбирались з берега (на глибинах 0-0,7 м) та з використанням легкої водолазної техніки (на глибинах 0,7-4,0 м) на трьох ботанічних розрізах, які розташованих в північній мілководній частині лиману (розріз – Калинівка), в центральній частині – на межі її мілководної і глибокої зон (розріз – Мар'янівка) і в південній частині (розріз – Кошари,

південна частина) Тилігульського лиману (рис. 2.2). При відборі рослинності використовувались стандартні методи водної геоботаніки. На моніторингових станціях прокладались розрізи від заплеску в глибоку частину лиману. На ботанічних горизонтах (виділяються за характером розповсюдження домінуючих популяцій) за допомогою перифітонної рамки (10x10 см) або (20x20 см) відбирались кількісні проби донної рослинності. Візуально проводилась оцінка проективного покриття дна макрофітами. Для ідентифікації видового складу макроводоростей Тилігульського лиману застосовувався визначник зелених, бурих і червоних водоростей південних морів [28]. Банк даних за період 2000-2011 рр. включає 21 ботанічну зйомку, 576 кількісних проб макрофітобентосу.

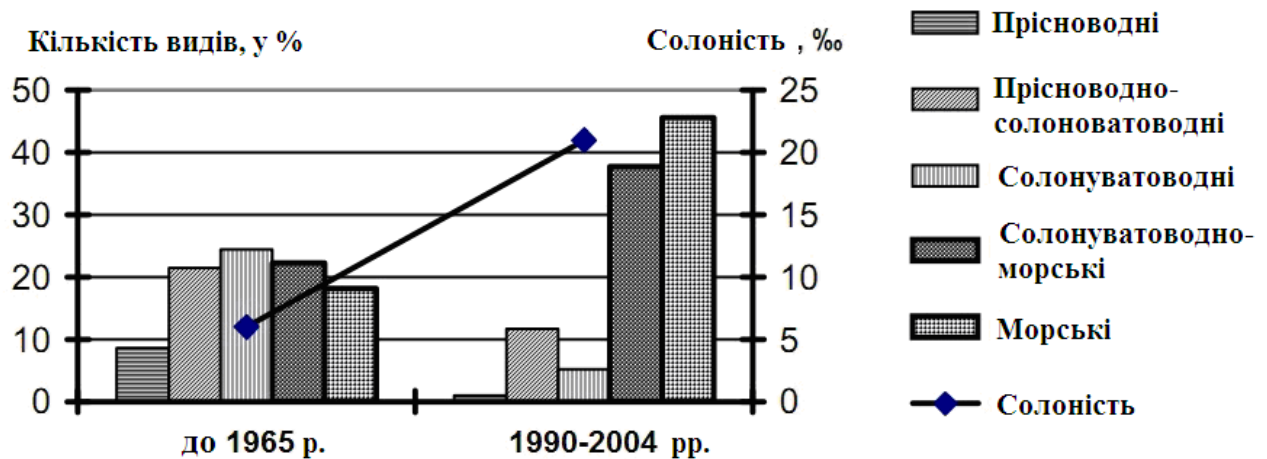


Рисунок 2.1 – Залежність кількості видів (у %) екологічних груп макрофітів від солоності в різні періоди дослідження: 1 – дані до 1965 р.[27]; 2 – дані 1990-2004 рр. [14]

Відмінність термохалинних умов (насамперед солоності), прозорості вод, переважаючих типів донних ґрунтів, кисневого режиму, концентрацій біогенних речовин в різних частинах лиману зумовлюють відмінності у флористичному складі макрофітобентосу в нижній (Кошари), середній (Мар'янівка) і верхній (Калинівка) частинах лиману (табл. 2.4).

Нижня (південна) частина лиману (розріз – Кошари) характеризується найбільш високим флористичним різноманіттям, тут росте максимальна у порівнянні з середньою і верхньою частинами лиману кількість видів макроводоростей і квіткових макрофітів 46 (табл.2.4). Дана ділянка найбільш підпадає під вплив морських вод, які надходять через з'єднувальний канал, тому тут спостерігається максимальна кількість типових видів

макрофітобентосу, які характерні для прилеглої до Тилігульського лиману ділянки прибережної зони моря. Ще однією відмінністю нижньої частини Тилігульського лиману, є зростання тут локальної популяції бурої (*Phaeophyta*) водорості *Cystoseira barbata*. В 80-х роках минулого століття, у зв'язку з евтрофікацією, даний вид повністю зник з морського узбережжя в районі Дунай-Дніпровського узбережжя. Єдиним місцем в даному регіоні, де впродовж останніх 30-років продовжила розвиток *Cystoseira*, є нижня частина акваторії Тилігульського лиману.

Таблиця 2.3 – Екологічні групи макрофітобентосу в різних районах Тилігульського лиману (фактор солоності)

Екологічна група	Дані за літературою до 1965 р. %	Район			Всього по лиману
		Південний (с.Любополь)	Центральний (С. Петрівка)	Північний (с.Волково)	
Морські	18,1	35 (100)	30 (85,7)	15 (42,9)	35 (45,6)
Солонуватоводні морські	22,3	24 (82,3)	25 (86,2)	18 (62,1)	29 (37,7)
Солонуватоводні	24,5	4 (100)	2 (50,0)	-	4 (5,2)
Прісноводно-солонуватоводні	21,4	5 (55,6)	3 (33,3)	3 (33,3)	9 (11,7)
Прісноводні	8,6	-	-	-	-

Примітка: в дужках – значення в відсотках від загального числа таксонів

Виходячи з особливостей розподілення домінуючих видів макрофітів, на розрізі Кошари можна виділити 4 діапазони глибин розвитку донної рослинності (табл. 2.5). Ця особливість горизонтального розподілу макрофітобентосу визначається особливостями берегового профілю, значно більшим перепадом глибин в прибережній зоні і прозорістю вод в південній частині лиману у порівнянні з розрізами Калинівка і Мар'янівка.

Особливістю горизонтального розподілу макрофітів на розрізі Кошари є проізростання на верхньому горизонті (0-0,3 м) біля урізу води короткоциклічних, дрібних видів зелених (*Chlorophyta*) і червоних (*Rhodophyta*) водоростей. *Cystoseira barbata* росповсюджена до глибини 2 м, при цьому максимального розвитку вона досягає на глибинах 0,3-1,2 м. З глибини 0,3 - 0,5 м на м'яких ґрунтах починається зона розвитку квіткового макрофіта *Zostera noltii*, з глибиною його замінює більш великий квітковий макрофіт *Zostera marina* і *Potamogeton pectinatus*. Поміж листям квіткових

макрофітів в неприкріпленому стані розвиваються зелені нитчасті водорості *Chaetomorpha chlorotica*, *C. Linum*, *Rhizoclonium riparium*, *Cladophora liniformis*. Вони можуть утворювати значні за біомасою скупчення «тини» в діапазоні глибин 0,5 до 2,5 м, які переносяться течіями в мілководні кутові області лиману.

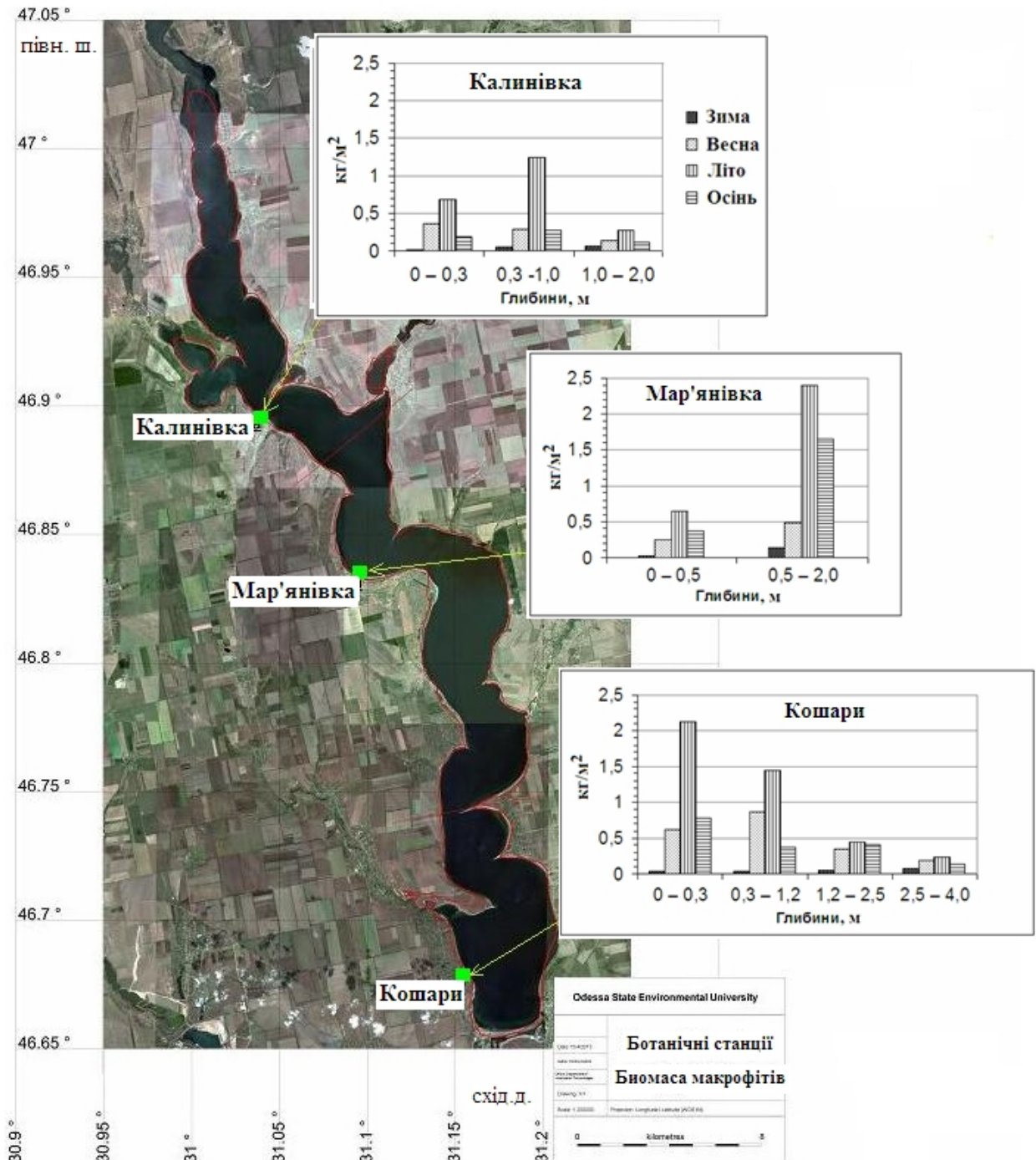


Рисунок 2.2 – Місце розташування ботанічних станцій моніторингу макрофітів в Тилігульському лимані і мінливість біомаси макрофітів на них, в залежності від глибини і сезону року, встановлена за даними спостережень за період з 2001 по 2011 рр.

Таблиця 2.4 – Просторовий розподіл видового різноманіття макрофітів в Тилігульському лимані

N	Видовий склад	Просторовий розподіл		
		Калинівка	Мар'янівка	Кошари
Chlorophyta				
1	2	3	4	5
1.	<i>Bryopsis hypnoides</i> Lamour.			+
2.	<i>B. plumosa</i> (Huds.) Ag.			+
3.	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillw) Kutz.	+		+
4.	<i>Ch. chlorotica</i> (Mont.) Kutz.	+	+	+
5.	<i>Ch. linum</i> (Mont.) Kutz.	+		+
6.	<i>Cladophora albida</i> (Huds.) Kutz.	+		+
7.	<i>C. laetevirens</i> (Dillw.) Kutz.	+		+
8.	<i>C. liniformis</i> Kutz.	+	+	+
9.	<i>C. sericea</i> (Huds.) Kutz.			+
10.	<i>C. vadorum</i> (Aresch.) Kutz.			+
11.	<i>C. vagabunda</i> (L.) Hoek.	+	+	+
12.	<i>Enteromorpha ahlneriana</i> (Bliding)	+		+
13.	<i>E. clathrata</i> (Roth.) Grev.	+	+	+
14.	<i>E. flexuosa</i> (Wulf.) J. Ag.			+
15.	<i>E. intestinalis</i> (L.) Link.	+	+	+
16.	<i>E. linza</i> (L.) J. Ag.			+
17.	<i>E. prolifera</i> (O. Mull) J. Ag.			+
18.	<i>Rhizoclonium implexum</i> (Dillw.) Kutz.			+
19.	<i>Rh. riparium</i> (Roth) Harv.			+
20.	<i>Ulotrix flacca</i> (Dillw.) Thur.			+
21.	<i>U. implexa</i> (Kutz.) Kutz.			+
22.	<i>U. tenerrima</i> (Kutz.) Kutz.			+
23.	<i>U. zonata</i> (Web., Mohr) Kutz.			+
24.	<i>Ulva rigida</i> Ag.			+
25.	<i>Vaucheria litorea</i> Horm.-Bang. Ag.	+		
Phaeophyta				
26.	<i>Cystoseira barbata</i> (Good., Wood.) Ag.			+
27.	<i>Ectocarpus confervoides</i> (Roth.) Le Jolis			+
28.	<i>E. siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngb.			+
Rhodophyta				
29.	<i>Callithamnion corymbosum</i> (J.E. Smith.) Lyngb.	+	+	+
30.	<i>Ceramium arborescens</i>	+		+
31.	<i>Ceramium diaphanum</i>	+	+	+
32.	<i>Ceramium elegans</i>	+	+	+
33.	<i>Ceramium rubrum</i>	+		+
34.	<i>Ceramium strictum</i>	+		
35.	<i>Ceramium tenuissimum</i>	+		+

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
36.	<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne	+	+	+
37.	<i>Goniotrichum elegans</i> (Chauv.) Zanard.	+		+
38.	<i>Kylinia virgatula</i> (Harv.) Papenf.		+	+
39.	<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillw.) Kutz.	+	+	+
40.	<i>P. elongata</i> (Huds.) Harv.			+
41.	<i>P. opaca</i> (C. Ag.) Zanardini	+		+
42.	<i>P. sanguinea</i> (Ag.) Zanard.			+
43.	<i>P. subulifera</i> (Ag.) Zanard.	+		+
Сyanophyta				
44.	<i>Lyngbia confervoides</i> C. Agardh			+
45.	<i>L. lutea</i> (Ag.) Gomont			+
Thallassiophyta				
46.	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	+		+
47.	<i>Zostera marina</i> L.		+	+
48.	<i>Zostera noltii</i> Hornem.	+		+
Загальне число видів		25	12	46

Таблиця 2.5 – Розподіл по глибинам домінуючих видів макрофітів на ботанічній станції Кошари.

Глибина, м			
0 – 0,3	0,3 – 1,2	1,2 – 2,5	2,5 – 4,0
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	<i>Chaetomorpha chlorotica</i>	<i>Chaetomorpha linum</i>	<i>Chaetomorpha linum</i>
<i>E. ahlnieriana</i>	<i>Rhizoclonium</i>	<i>Cladophora liniformis</i>	<i>Polysiphonia subulifera</i>
<i>Chaetomorpha chlorotica</i>	<i>riparium</i>	<i>Cystoseira barbata</i>	<i>Zostera marina</i>
<i>Cladophora albida</i>	<i>Enteromorpha linza</i>	<i>Ceramium rubrum</i>	<i>Potamogeton pectinatus</i>
<i>C. liniformis</i>	<i>Cladophora laetevirens</i>	<i>Chondria capillaris</i>	
<i>Cystoseira barbata</i>	<i>Cystoseira barbata</i>	<i>Polysiphonia subulifera</i>	
<i>Ectocarpus confervoides</i>	<i>Ceramium rubrum</i>	<i>Zostera marina</i>	
<i>Ceramium diaphanum</i>	<i>Chondria capillaries</i>	<i>Potamogeton pectinatus</i>	
<i>C. elegans</i>	<i>Polysiphonia subulifera</i>		
<i>Polysiphonia denudata</i>	<i>Zostera noltii</i>		
<i>Callithamnion corymbosum</i>			
<i>Zostera noltii</i>			

Район ботанічного розрізу Мар'янівка відрізняється невеликими глибинами – до 2 метрів. Домінуючим макрофітом в цьому районі є *Zostera*

marina, яка утворює підводні луки на глибинах 0,3-0,5 м. Тільки біля берега на невеликих глибинах в зарості *Zostera marina* включаються багатоклітинні зелені і червоні водорості. Популяція *Cystoseira barbata* в цьому районі відсутня. У зв'язку з вказаними особливостями розподілу донної рослинності, в цьому районі виділяють тільки два горизонти (табл. 2.6).

У зв'язку з широким розвитком в середній частині Тилігульського лиману *Zostera marina*, в цьому ж районі розповсюдженим видом є червона мікроскопічна водорість *Kilinia virgatulla*, яка епіфітно розвивається на листі *Zostera marina* і, при масовому розвитку, утворює на них багрово-рожеві «бархатисті» чохла.

В районі ботанічного розрізу Калинівка глибини також не перевищують 2 метри, однак, в горизонтальному розподілі макрофітів спостерігається велика кількість ботанічних поясів. Для даного району виділяється горизонт поблизу урізу води на берегових каменях понтичного вапняку до 0,3 м, а також ще два більш глибоких горизонти (табл. 2.7). Домінуючим видом квіткових макрофітів в даному районі є *Zostera noltii*. Проростання *Zostera noltii* спостерігається вже з глибини 0,3 м і розповсюджується до глибини 2 метри. На глибинах 1,0-1,5 м в зарості *Zostera noltii* включаються рослини *Potamogeton pectinatus*. Поблизу берега на каменях розповсюджені червоні і зелені водорості (табл. 2.7). Поміж листям квіткових макрофітів, також як і в південній частині Тилігульського лиману, розвиваються нитчасті зелені водорості, які можуть утворювати скупчення тини. В верхній (північній) частині Тилігульського лиману не спостерігається масового проізростання *Zostera marina*.

Таблиця 2.6 – Розподіл по глибинам домінуючих видів макрофітів на ботанічній станції Мар'янівка.

Глибина, м	
0 – 0,5	0,5 – 2,0
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	<i>Chaetomorpha chlorotica</i>
<i>E. clathrata</i>	<i>Chondria capillaries</i>
<i>Chaetomorpha chlorotica</i>	<i>Kilinia virgatulla</i>
<i>Cladophora liniformis</i>	<i>Zostera marina</i>
<i>Ceramium elegans</i>	
<i>C. diaphanum</i>	
<i>Polysiphonia opaca</i>	
<i>Chondria capillaries</i>	
<i>Zostera marina</i>	

Особливості сезонної динаміки біомаси макрофітів на ботанічних розрізах представлені на рис. 2.2, з якого видно, що максимальні біомаси макрофітів в нижній (Кошари) частині Тилігульського лиману в літній період можуть перевищувати $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ поблизу урізу води. Для середньої частини лиману (Мар'янівка), також як і для нижньої, характерним є розвиток максимальних значень біомаси, які перевищують $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, в літній період. Однак в цій частині лиману максимальні біомаси утворюються на більш глибоких горизонтах – 0,5-2,0 м, в основному за рахунок не водоростей, а квіткового макрофіта *Zostera marina*. При цьому, продукція в літній період вища на горизонті 0-0,5 м, за рахунок функціонування екологічно більш активних у порівнянні з *Zostera marina* багатоклітинних коротоциклічних видів зелених і червоних водоростей.

Таблиця 2.7 – Розподіл по глибинам домінуючих видів макрофітів на ботанічній станції Калинівка

Глибина, м		
0 – 0,3	0,3 – 1,0	1,0 – 2,0
<i>Enteromorpha clathrata</i> <i>E. ahlneri</i> <i>Cladophora albida</i> <i>C. vagabunda</i> <i>Ceramium diaphanum</i> <i>Polysiphonia denudata</i> <i>Callithamnion corymbosum</i> <i>Zostera noltii</i>	<i>Chaetomorpha aerea</i> <i>Rhizoclonium riparium</i> <i>Chondria capillaries</i> <i>Zostera noltii</i>	<i>Chaetomorpha linum</i> <i>Polysiphonia subulifera</i> <i>Zostera noltii</i> <i>Potamogeton pectinatus</i>

На ботанічному розрізі Калинівка в північній частині лиману в літній період спостерігаються декілька менші абсолютні значення біомаси макрофітів у порівнянні з середньою і нижньою частинами (рис. 2.2). Також, як і в середній частині, в районі ботанічного розрізу Калинівка максимальні біомаси макрофітів утворюються на другому від урізу води горизонті (0,3-1,0м). Однак, домінуючим видом тут виступає не *Zostera marina*, а *Zostera noltii*. Цим можна пояснити менші значення абсолютної біомаси, так як рослина *Zostera noltii* характеризується більш малими розмірами у порівнянні з *Zostera marina*. При цьому, абсолютна продукція донної рослинності у верхів'ї лиману вище, так як тут у більшій кількості представлені екологічно більш активні види. А саме продуктивність *Zostera noltii* майже в два рази вища, ніж у *Zostera marina*.

2.1.2 Характеристика макрозообентосу

Характеристика макрозообентосу Тилігульського лиману виконана на основі даних спостережень на 59 станціях під час 12 експедицій Одеського філіалу Інституту біології південних морів НАН України, зібраних у період 2001-2006 рр. на 59 станціях. Проби відбирали в східній частині лиману: від села Калинівка – на півночі, до автомобільного мосту Одеса – Миколаїв – на півдні. Найбільш повно була досліджена донна макрофауна мілководної прибережної зони з глибинами < 1 м, де виконано 45 станцій (76,3 % від загальної кількості), з них весною (квітень-травень) виконано 7 станцій, а 38 – літом (червень-вересень). В діапазоні глибин 1,3 – 13,0 м проби зібрані всього на 14 станціях. З них на весняний період приходить всього 1 станція, а інші 13 виконані влітку. Схема розташування всіх станцій приведена на рис. 2.3.

Проби донної макрофауни відбирали стандартними знаряддями лову: в прибережній зоні – рамкою кількісного обліку з площею захвату $0,01 \text{ м}^2$ (по 4 проби на станції, які об'єднували в одну і обробляли разом); на глибинах більш 1 м – малою моделлю дночерпака Петерсена с площею захвату $0,04 \text{ м}^2$ (по одній пробі на станції). Зібраний матеріал у польових умовах промивали через набір сит з мінімальним розміром ячеї 1 мм і фіксували чотирьохвідсотковим розчином формаліну. Камеральну обробку зібраного матеріалу проводили за стандартними методиками [29, 30].

При виділенні трофічних груп використані літературні дані [31-33]. Для оцінки складності трофічної структури розраховані індекси її одноманітності [34].

Одним з найважливіших чинників, які формують склад і просторовий розподіл кількісних показників донної макрофауни водойми є характер донних накопичень. В прибережній зоні лиману (< 1 м) донні накопичення були різноманітними та розподілялись дуже мозаїчно, про що наглядне уявлення дає табл. 2.8. На глибинах 1,3-13,0 м виділені всього три типи донних накопичень, з них на більшості станцій (71,4 %) – мул з черепашкою.

Узагальнені відомості про видовий склад і кількісні показники різних видів макрозообентосу Тилігульського лиману в період 2001-2006 рр. наведені в табл. 2.9. Для кожного виду визначались: середня чисельність – N , екз. $\cdot\text{м}^{-2}$; середня біомаса – B , г $\cdot\text{м}^{-2}$; зустрічаємість у відсотках – P , %. До основних віднесені види, які зустрічались не менше ніж на 50 % станцій, до другорядних – види, відмічені на 25- 50 % станцій, до випадкових – види, знайдень менш ніж на 25 % станцій.

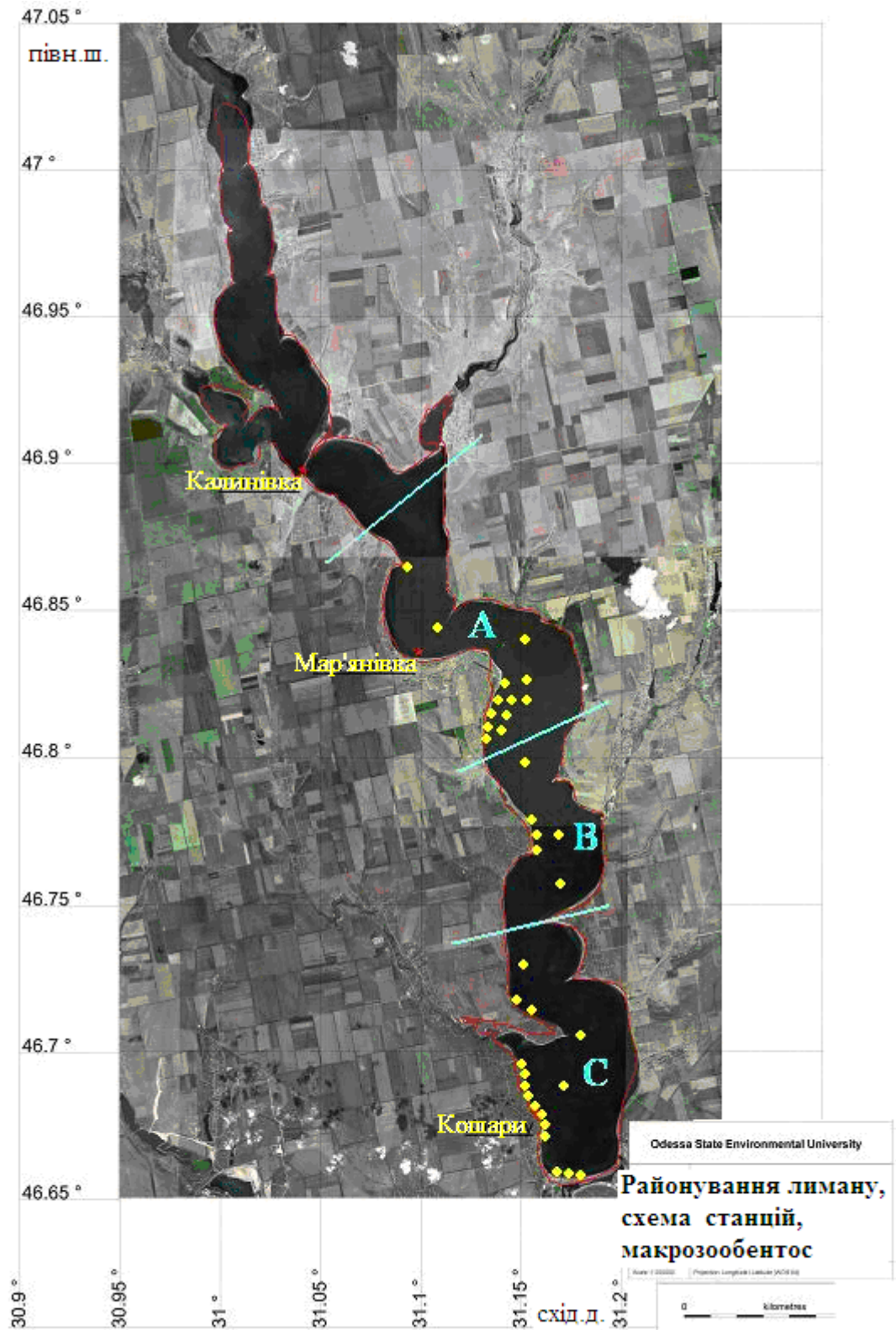


Рисунок 2.3 – Схема станцій відбору проб макрозообентосу в Тилігульському лимані в період 2001–2006 рр. Районування лиману по частинах.

Таблиця 2.8 – Порівняльна характеристика кількості бентосних станцій з різним характером донних накопичень, виконаних в Тилігульському лимані в період 2001-2006 рр.

Характер донних накопичень	Кількість станцій	
	глибина < 1,0 м	глибина 1,3 – 13,0 м
Мул (місцями з піском і черепашкою)	5	-
Мул	1	2
Мул з піском	6	-
Мул з черепашкою	3	10
Мул з піском і черепашкою	9	2
Каміння з піском і галькою	2	-
Промитий пісок	1	-
Пісок замулений	6	-
Пісок замулений з донними макрофітами	3	-
Пісок з черепашкою	4	-
Черепашка з піском	3	-
Черепашка з детритом	2	-
Всього	45	14

В таблицях 2.10-2.12 представлені відомості про видовий склад, середню чисельність та біомасу макрозообентосу в трьох різних частинах лиману, які виділені на рис. 2.3.

Всього в лимані було зареєстровано 35 таксонів: хробаків – 10, молюсків – 6, ракоподібних – 14, інших (личинок комах) – 5, в тому числі 34 таксони – в прибережному мілководді лиману (глибина < 1 м), і 16 – на глибинах 1,3-13,0 м (табл. 2.13). Кількісні показники макрозообентосу на станціях варіювали у широких межах, що є наслідком ряду чинників, у тому числі характеру донних накопичень та їх мозаїчного розподілу. Так, в цілому по лиману (59 станцій), кількість таксонів на одній станції варіювала від 3 до 20, склавши в середньому 9; чисельність – від 350 до 77150 екз. \cdot м⁻² (середня – 18561 екз. \cdot м⁻²), біомаса – від 5 до 3274 г \cdot м⁻² (середня – 352 г \cdot м⁻²).

В прибережному мілководді лиману кількість таксонів (34) і середня чисельність (20737 екз. \cdot м⁻²) бентосу були, відповідно, в 2,1 і 1,8 раз (16 таксонов, 11569 екз. \cdot м⁻²) вище, ніж на глибинах 1,3 – 13,0 м, а середня біомаса (218 і 784 г \cdot м⁻²) – в 3,6 рази нижча.

Основу чисельності (95,5 %) і біомаси (99,6 %) донної макрофауни лиману формували 29 таксонів (82,9 %) евригалінного морського комплексу. Солоновато-водна фауна була представлена 6 таксонами – понто-каспійським реліктом, бокоплавом *Pontogammarus maeoticus*, і личинками комах *Chironomus salinaris*, *Chironomus sp.*, *Clunio marinus*, *Cricitopus vitripennis*, *Eristalis sp.*

Таблиця 2.9 – Склад і кількісні показники (N – середня чисельність, екз.·м⁻²; B – середня біомаса, г·м⁻²; P – частота зустрічаємості, %) макрзообентосу Тилігульського лиману на різних глибинах в період 2001 – 2006 рр.

Таксон	Весь лиман			Глибина < 1,0 м			Глибина 1,3 – 13,0 м		
	N, екз.·м ⁻²	B, г·м ⁻²	P, %	N, екз.·м ⁻²	B, г·м ⁻²	P, %	N, екз.·м ⁻²	B, г·м ⁻²	P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Turbellaria</i> g. sp.	19,5	0,012	3,4	25,6	0,016	4,4	-	-	-
<i>Harmothoe imbricata</i> (L.)	11,6	0,102	10,2	7,2	0,038	6,7	25,7	0,309	21,4
<i>Harmothoe reticulata</i> Claparede	0,8	0,006	1,7	1,1	0,008	2,2	-	-	-
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuch)	60,2	1,650	20,3	47,8	1,192	24,4	100,0	3,120	7,1
<i>Hediste diversicolor</i> O.F. Muller	582,3	12,179	69,5	681,7	14,006	71,1	262,9	6,305	64,3
<i>Spio filicornis</i> (Muller)	86,0	0,108	32,2	112,8	0,142	42,2	-	-	-
<i>Polydora cornuta</i> Bosc	872,0	0,659	54,2	894,4	0,697	55,6	800,0	0,537	50,0
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	41,1	0,017	16,9	53,9	0,022	22,2	-	-	-
<i>Capitomastus minimus</i> (Landerhans)	6,8	0,003	3,4	8,9	0,004	4,4	-	-	-
<i>Oligochaeta</i> g. sp.	435,7	0,422	39,0	547,2	0,543	46,7	77,1	0,034	14,3
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud)	6863,9	15,289	86,4	8218,9	18,519	84,4	2508,6	4,909	92,9
<i>Setia valvatoides</i> (Milachevitch)	566,1	0,326	10,2	742,2	0,427	13,3	-	-	-
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin)	4254,2	203,114	66,1	4108,3	89,482	68,9	4722,9	568,360	57,1
<i>Cerastoderma glaucum</i> Poiret	256,4	38,100	54,2	307,8	47,564	60,0	91,4	7,677	35,7
<i>Abra ovata</i> (Philippi)	923,7	59,025	84,7	633,3	18,147	82,2	1857,1	190,417	92,9
<i>Mya arenaria</i> L.	14,7	0,053	1,7	19,3	0,069	2,2	-	-	-
<i>Palaemon elegans</i> Rathke	0,8	0,458	1,7	1,1	0,600	2,2	-	-	-
<i>Rhithropanopeus harrisi tridentata</i> (Maitland)	1,7	0,088	3,4	2,2	0,116	4,4	-	-	-
<i>Paramysis kroyeri</i> (Czerniavsky)	1,4	0,003	1,7	-	-	-	5,7	0,011	7,1
<i>Iphinoe maeotica</i> (Sowinskyi)	47,5	0,044	28,8	62,2	0,058	37,8	-	-	-
<i>Sphaeroma pulchellum</i> (Colosi)	685,2	5,285	47,5	898,3	6,929	62,2	-	-	-

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Idotea baltica basteri</i> Audouin	572,5	3,281	64,4	737,2	4,262	75,6	42,9	0,129	28,6
<i>Ampelisca diadema</i> A.Costa	16,5	0,042	8,5	21,7	0,056	11,1	-	-	-
<i>Gammarus aequicauda</i> Martynov	1191,3	10,267	61,0	1513,9	13,323	73,3	154,3	0,446	21,4
<i>Marinogammarus olivii</i> M.-Edwards	7,6	0,022	5,1	10,0	0,029	6,7	-	-	-
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu)	20,8	0,026	16,9	27,2	0,034	22,2	-	-	-
<i>Pontogammarus maeoticus</i> (Sowinskyi)	0,8	0,001	1,7	1,1	0,001	2,2	-	-	-
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa	76,3	0,104	23,7	95,6	0,131	26,7	14,3	0,017	14,3
<i>Corophium bonelli</i> (M.-Edwards)	38,8	0,030	23,7	45,6	0,031	22,2	17,1	0,026	28,6
<i>Corophium volutator</i> (Pallas)	78,8	0,077	11,9	103,3	0,101	15,6	-	-	-
<i>Chironomus salinaris</i> (Kieffer)	772,2	1,491	61,0	737,8	1,562	51,1	882,9	1,261	92,9
<i>Chironomus sp.</i>	37,3	0,044	10,2	48,9	0,058	13,3	-	-	-
<i>Clunio marinus</i> (Haliday)	0,8	0,002	1,7	1,1	0,002	2,2	-	-	-
<i>Cricitopus vitripennis</i> (Meigen)	15,8	0,009	11,9	18,9	0,010	11,1	5,7	0,006	14,3
<i>Eristalis sp.</i>	0,4	0,007	1,7	0,6	0,009	2,2	-	-	-
Всього	18561,2	352,346	-	20736,7	218,189	-	11568,6	783,564	-

Таблиця 2.10 – Порівняльна характеристика складу та середніх показників чисельності (N , екз. \cdot м⁻²) і біомаси (B , г \cdot м⁻²) макрозообентосу в частині А (рис.2.3) Тилігульського лиману на різних глибинах в 2001- 2006 рр.

Таксон	Глибина, м			
	< 1,0		> 1,0	
	N , екз. \cdot м ⁻²	B , г \cdot м ⁻²	N , екз. \cdot м ⁻²	B , г \cdot м ⁻²
<i>Harmothoe imbricata</i> (L.)	-	-	4,4	0,044
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuch)	145,8	5,233	155,6	4,853
<i>Hediste diversicolor</i> O.F. Muller	616,7	4,192	151,1	2,733
<i>Spio filicornis</i> (Muller)	316,7	0,408	-	-
<i>Polydora cornuta</i> Bosc	4212,5	2,417	400,0	0,222
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	54,2	0,029	-	-
<i>Capitomastus minimus</i> (Landerhans)	58,3	0,025	-	-
<i>Oligochaeta</i> g. sp.	166,7	0,063	120,0	0,053
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud)	5162,5	13,946	3151,1	6,342
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin)	1708,3	25,942	1448,9	251,884
<i>Cerastoderma glaucum</i> Poiret	266,7	39,892	111,1	10,960
<i>Abra ovata</i> (Philippi)	645,8	7,667	1995,6	224,738
<i>Iphinoe maeotica</i> (Sowinskyi)	125,0	0,100	-	-
<i>Sphaeroma pulchellum</i> (Colosi)	270,8	3,071	-	-
<i>Idotea baltica basteri</i> Audouin	208,3	2,092	48,9	0,182
<i>Gammarus aequicauda</i> Martynov	416,7	4,042	120,0	0,582
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu)	8,3	0,017	-	-
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa	216,7	0,525	13,3	0,009
<i>Corophium bonelli</i> (M.-Edwards)	4,2	0,008	26,7	0,040
<i>Corophium volutator</i> (Pallas)	8,3	0,042	0,0	0,000
<i>Chironomus salinaris</i> (Kieffer)	58,3	0,100	324,4	0,400
<i>Chironomus</i> sp.	191,7	0,092	-	-
<i>Cricitopus vitripennis</i> (Meigen)	29,2	0,003	8,9	0,009
<i>Eristalis</i> sp.	4,2	0,067	-	-
Всього	14895,8	109,969	8080,0	503,053
переважаючий характер донних накопичень	пісок, мул, черепашка		мул сірий з черепашкою	

Таблиця 2.11 – Порівняльна характеристика складу та середніх показників чисельності (N, екз. \cdot м⁻²) і біомаси (B, г \cdot м⁻²) макрозообентосу в частині В (рис.2.3) Тилігульського лиману на різних глибинах в 2001-2006 рр.

Таксон	Глибина, м			
	< 1,0		> 1,0	
	N, екз. \cdot м ⁻²	B, г \cdot м ⁻²	N, екз. \cdot м ⁻²	B, г \cdot м ⁻²
<i>Harmothoe imbricata</i> (L.)	-	-	40,0	0,760
<i>Harmothoe reticulata</i> Claparede	16,7	0,117	-	-
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuch)	16,7	0,133	-	-
<i>Hediste diversicolor</i> O.F. Muller	1150,0	40,667	510,0	13,218
<i>Polydora cornuta</i> Bosc	250,0	0,667	1730,0	1,300
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	100,0	0,067	-	-
<i>Oligochaeta</i> g. sp.	666,7	0,767	-	-
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud)	716,7	1,233	1620,0	2,710
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin)	12783,3	79,417	8580,0	677,520
<i>Cerastoderma glaucum</i> Poiret	50,0	1,333	70,0	2,210
<i>Abra ovata</i> (Philippi)	133,3	8,767	1410,0	90,800
<i>Iphinoe maeotica</i> (Sowinskyi)	16,7	0,017	-	-
<i>Sphaeroma pulchellum</i> (Colosi)	400,0	0,833	-	-
<i>Idotea baltica basteri</i> Audouin	1200,0	3,467	40,0	0,040
<i>Ampelisca diadema</i> A.Costa	33,3	0,067	-	-
<i>Gammarus aequicauda</i> Martynov	616,7	4,167	270,0	0,250
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa	-	-	20,0	0,040
<i>Chironomus salinaris</i> (Kieffer)	1983,3	3,433	2130,0	3,135
Всього	20133,3	145,150	16440,0	792,023
переважаючий характер донних накопичень	пісок, черепашка, каміння		мул сірий з черепашкою	

Основу чисельності (90,3 %) і біомаси (98,3 %) донної макрофауни прибережного мілководдя лиману формували 10 таксонів, які за частотою зустрічаємості ($P \geq 50$ %) були віднесені до основних. До їх складу увійшли поліхети *Hediste diversicolor*, *Polydora cornuta*, молюски *Hydrobia acuta*, *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata*, ракоподібні *Sphaeroma pulchellum*, *Idotea baltica basteri*, *Gammarus aequicauda*, личинки хірономід *Chironomus salinaris*.

Таблиця 2.12 – Порівняльна характеристика складу та середніх показників чисельності (N, екз.·м⁻²) і біомаси (B, г·м⁻²) макрозообентосу в частині С (рис.2.3) Тилігульського лиману на різних глибинах в 2001-2006 рр.

Таксон	Глибина, м			
	< 1,0		> 1,0	
	N, екз.·м ⁻²	B, г·м ⁻²	N, екз.·м ⁻²	B, г·м ⁻²
<i>Turbellaria</i> g. sp.	31,9	0,019	-	-
<i>Harmothoe imbricata</i> (L.)	9,0	0,047	160,0	0,880
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuch)	34,0	0,607	-	-
<i>Hediste diversicolor</i> O.F. Muller	653,5	13,420	280,0	10,800
<i>Spio filicornis</i> (Muller)	88,2	0,110	-	-
<i>Polydora cornuta</i> Bosc	395,1	0,413	680,0	0,320
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	50,0	0,017	-	-
<i>Capitomastus minimus</i> (Landerhans)	1,4	0,001	-	-
<i>Oligochaeta</i> g. sp.	600,7	0,604	-	-
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud)	9353,5	20,722	280,0	0,800
<i>Setia valvatoides</i> (Milachevitch)	927,8	0,534	-	-
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin)	3785,4	100,911	18760,0	2980,000
<i>Cerastoderma glaucum</i> Poiret	336,1	52,696	-	-
<i>Abra ovata</i> (Philippi)	672,9	20,676	2400,0	280,000
<i>Mya arenaria</i> L.	23,6	0,087	-	-
<i>Palaemon elegans</i> Rathke	1,4	0,750	-	-
<i>Rhithropanopeus harrisi tridentata</i> (Maitland)	2,8	0,144	-	-
<i>Iphinoe maeotica</i> (Sowinskyi)	55,6	0,054	-	-
<i>Sphaeroma pulchellum</i> (Colosi)	1044,4	8,081	-	-
<i>Idotea baltica basteri</i> Audouin	786,8	4,690	-	-
<i>Ampelisca diadema</i> A.Costa	24,3	0,064	-	-
<i>Gammarus aequicauda</i> Martynov	1771,5	15,633	-	-
<i>Marinogammarus olivii</i> M.-Edwards	12,5	0,036	-	-
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu)	32,6	0,040	-	-
<i>Pontogammarus maeoticus</i> (Sowinskyi)	1,4	0,001	-	-
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa	83,3	0,076	-	-
<i>Corophium bonelli</i> (M.-Edwards)	56,3	0,038	-	-
<i>Corophium volutator</i> (Pallas)	127,8	0,119	-	-
<i>Chironomus salinaris</i> (Kieffer)	747,2	1,650	920,0	1,520
<i>Chironomus</i> sp.	29,2	0,057	-	-
<i>Clunio marinus</i> (Haliday)	1,4	0,003	-	-
<i>Cricitopus vitripennis</i> (Meigen)	18,8	0,013	-	-
Всього	21760,4	242,312	23480,0	3274,320
переважаючий характер донних накопичень	пісок, черепашка, мул		мул сірий з черепашкою	

Таблиця 2.13 – Порівняльна характеристика кількісних показників макрозообентосу Тилігульського лиману на різних глибинах.

Індекс	Лиман взагалі	Глибина, м	
		< 1.0	1.3 – 13.0
Кількість станцій	59	45	14
Загальна кількість таксонів: <i>в тому числі:</i>	35	34	16
хробаки	10	10	5
молюски	6	6	4
ракоподібні	14	14	5
інші	5	4	2
Кількість таксонів на одній станції	3 – 20	3 – 20	3 – 14
Середня кількість таксонів на одній станції	9.4	10.3	6.4
Чисельність бентосу на одній станції, екз.·м ⁻²	350 – 77150	350 – 77150	1200 – 33480
Середня чисельність бентосу на одній станції, екз.·м ⁻²	18561.2	20736.7	11568.6
хробаки	11.4	11.5	7.7
молюски	69.4	67.7	79.8
ракоподібні	14.8	20.5	12.5
інші	4.4	0.3	-
Біомаса бентосу на одній станції, г·м ⁻²	4.80 – 3274.32	4.80 – 1304.10	5.24 – 3274.32
Середня біомаса бентосу, г·м ⁻² <i>в тому числі (%) :</i>	352.346	218.189	783.564
хробаки	4.3	10.9	1.3
молюски	89.7	79.4	98.4
ракоподібні	5.6	2.0	0.1
інші	0.4	7.7	0.2
Середня біомаса кормового бентосу, г·м ⁻²	350.854	216.278	783.564
Частка кормового бентосу, %	99.6	99.1	100.0
<i>Інвазійні види:</i>			
Кількість таксонів	3	3	1
Чисельність, екз.·м ⁻²	888.1	915.6	800.0
Частка від загальної чисельності, %	4.8	4.4	6.9
Біомаса, г·м ⁻²	0.800	0.882	0.537
Частка від загальної біомаси, %	0.2	0.4	0.1

На глибинах 1,3 – 13,0 м основу чисельності (95,4 %) і біомаси (98,5 %) бентосу формували ті ж самі основні таксони, що і на мілководді, однак їх

кількість зменшилась з 10 до 6, головним чином, за рахунок ракоподібних, що пояснюється напруженим газовим режимом у теплу пору року, коли і відбувалися всі зйомки.

Серед основних таксономічних груп за чисельністю і біомасою домінували молюски, склавши відповідно 67,7 % і 79,7 % на глибинах < 1,0 м і 79,4 % і 98,4 % – на глибинах 1,3 – 13,0 м.

Найбільш масовими як в окремих зонах, так і в цілому по лиману, були одні й тіж самі види молюсків. Так, сумарна чисельність двох видів – *Hydrobia acuta* и *Mytilaster lineatus* – склала 59,4 % в прибережній мілководній зоні і 59,9 % в цілому по лиману; сумарна біомаса трьох видів – *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata* – 71,1 % на мілководді і 85,2 % в цілому по лиману. В діапазоні глибин 1,3 – 13,0 м сумарна чисельність трьох таксонів – *Hydrobia acuta*, *Mytilaster lineatus*, *Abra ovata* – складала 78,6 %, сумарна біомаса двох таксонів – *Mytilaster lineatus* і *Abra ovata* – 96, 8 %.

По кількісному і розмірно-масовому складу майже увесь марко зообентос району дослідження, за виключенням одиничних екземплярів *Cerastoderma glaucum* з довжиною мушлі < 20 мм, відносився до кормового (для риб) бентосу. В прибережній зоні біомаса кормового компонента складала 99,1 % від середньої, а на глибинах 1,3 – 13,0 м – 100 %; в цілому по лиману – 99,6 %.

Серед 6-х основних трофічних груп (табл. 2.14), як на мілководді лиману, так в цілому на його акваторії, за кількістю таксонів (відповідно 19 і 20) і чисельності (59,5 і 59,0 %) переважали детритофаги, а за біомасою (62,9 і 68,5%) – сестонофаги. На глибинах 1,3 – 13,0 м кількість трофічних груп зменшилась з 6 до 4-х (випали фітофаги и поліфаги), але за кількістю (11) і чисельністю (56,5 %) також домінували детритофаги, а за біомасою (73,5 %) – сестонофаги. Індекс одноманітності харчової структури склав в прибережній зоні 0,37, на глибинах 1,3 – 13,0 м – 0,48, а в цілому по району дослідження – 0,45.

Кількість таксонів інфауни декілька перевищує кількість таксонів епіфауни, за чисельністю і біомасою переважають безхребетні епіфауни. Так, на глибинах < 1 м сумарна доля епіфауни складала 79,0 % чисельності і 61,4 % біомаси; на глибинах 1,3 – 13,0 м – відповідно 64,6 і 73,3 %; в цілому по лиману – 76,9 і 67,7 %.

Незважаючи на наявність у лимані жорстких субстратів, зареєстровано всього один сесильний вид – *Mytilaster lineatus*. За чисельністю домінували вагільні гідро біонти, складаючи на мілководді 80,2 %, на глибинах 1,3 – 13,0 м – 59,2 %, в цілому по лиману – 77,1 %. За біомасою (59,0 %) на мілководді

переважали вагільні безхребетні, на глибинах 1,3 – 13,0 м і в цілому по лиману – сесильні (відповідно 72,5 і 57,6 %).

Таблиця 2.14 – Порівняльна характеристика основних трофічних груп макрозообентосу Тилігульського лиману на різних глибинах

Головні трофічні групи	Кількість таксонів	Чисельність		Біомаса	
		екз·м ⁻²	%	екз·м ⁻²	%
Весь лиман					
Сестонофагі	3	4525.3	24.4	241.267	68.5
Детритофагі	20	10957.5	59.0	91.205	25.9
Плодоїдні	4	33.6	0.2	0.208	0.1
Рослино - детритоїдні	5	2457.4	13.2	18.856	5.3
Фітофаги	2	586.9	3.2	0.352	0.1
Поліфаги	1	0.8	0	0.458	0.1
Всього	35	18561.2	100.0	352.346	100.0
глибина < 1.0 м					
Сестонофагі	3	4435.4	21.4	137.115	62.9
Детритофагі	19	12334.6	59.5	55.290	25.3
Плодоїдні	4	36.1	0.2	0.178	0.1
Рослино - детритоїдні	5	3160.5	15.2	24.544	11.2
Фітофаги	2	769.4	3.7	0.461	0.2
Поліфаги	1	1.1	-	0.600	0.3
Всього	34	20736.7	100.0	218.189	100.0
глибина 1.3 – 13.0 м					
Сестонофагі	2	4814.3	41.6	576.037	73.5
Детритофагі	11	6531.4	56.5	206.643	26.4
Плодоїдні	1	25.7	0.2	0.309	-
Рослино - детритоїдні	2	197.2	1.7	0.575	0.1
Всього	16	11568.6	100.0	783.564	100.0

Зареєстровано три інвазійних види, які вперше в Чорному морі були знайдені порівняно недавно: краб *Rhithropanopeus harrisi tridentata* (Maitland) – в Дніпро-Бузькому лимані в 1937р. [36], поліхета *Polydora cornuta* – в Сухому лимані ПЗЧМ в 1962 р. [37], двостулковий молюск *Mya arenaria* – в Одеській затоці в 1966 р [38]. Вважається, що в Чорне море ці екзотичні види потрапили традиційним шляхом - у баластних водах суден на стадії пелагічної личинки, або на стадії яйця в обростаннях на корпусах суден.

На глибинах < 1 м відмічені всі три інвазійних види, а в діапазоні глибин 1,3 – 13,0 м – тільки *Polydora cornuta*. Це найбільш масовий інвазійний вид, який за частотою зустрічаємості, як на окремих глибинах (Р = 50,0 – 55,6 %), так і в цілому по лиману (Р = 54,2 %) входив до числа основних видів. Кількісні показники вселенців у лимані були низькими, На

мілководді їх сумарний відсоток складав 4,4 % чисельності і 0,4 % біомаси; на глибинах 1,3 – 13,0 м – 6,9 і 0,1 %, в цілому по лиману – 4,8 і 0,2 %.

Для характеристики співтовариства макрозообентосу Тилігульського лиману за даними табл. 2.10-2.12 були розраховані (за чисельністю) значення індексів видового різноманіття Сімпсона D, загальної різноманітності Шенона H (log₂), видового багатства за Маргалєфом (d), вирівненості Пієлу (e), наведені в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Індеси видової та екологічної різноманітності макрозообентосу Тилігульського лиману

Індекс		Зони частини А		Зони частини В		Зони частини С	
		A1	A2	B1	B2	C1	C2
Загальна кількість видів	S	23	15	16	11	32	7
Загальна чисельність	N	14895,9	8080	20133,4	16420	21760,4	23480
Видового багатства (за Маргалєфом)	d	2,289	1,556	1,514	1,030	3,104	0,596
вирівненості Пієлу	e	0,628	0,630	0,513	0,632	0,584	0,402
Різноманітності Шенона	H'(log ₂)	2,841	2,460	2,051	2,188	2,922	1,128
Видового різноманіття Сімпсона	D	0,780	0,749	0,576	0,681	0,768	0,348
АМВІ	АМВІ	3,006	2,525	1,04	1,533	2,152	0,636
ВІ	Biological index	2	2	2	2	2	2

Крім того, для екологічної оцінки лиману за станом співтовариства макрозообентосу були розраховані індекси АМВІ (AZTI Marine Biotic Index) [39] (табл. 2.16) та ВІ (Benthix Index) [40]. Розрахунок індекса АМВІ базується врахуванні співвідношення між 5 екологічними групами, на які поділяються види макрозообентосу відповідно до їх чутливості до збагачення вод органічними речовинами:

$$AMBI = \frac{[(0 \times \%EGI) + (1.5 \times \%EGII) + (3 \times \%EGIII) + (4.5 \times \%EGIV) + (6 \times \%EGV)]}{100},$$

Таблиця 2.16 – Компоненти та результати розрахунку індексу АМВІ для різних частин Тилігульського лиману

Частини лиману	Зони	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	АМВІ	Середній АМВІ	ВІ за середн. АМВІ	Стандарт. відхилен.	Класифікація порушень	не присвоєно (%)
А	А1	15,138	1,401	53,238	28,343	1,878	3,006		2		Слабко поруш.	0,2
	А2	19,438	0,66	73,458	4,955	1,486	2,525	2,766	2	0,339	Слабко поруш.	0,1
В	В1	66,639	6,208	22,102	1,241	3,808	1,04		2		Не порушена	0
	В2	53,897	0,487	35,079	10,535	0	1,533	1,287	2	0,348	Слабко поруш.	0
С	С1	30,154	4,04	60,988	1,817	2,999	2,152		2		Не порушена	0
	С2	79,897	0,681	16,524	2,896	0	0,636	1,394	2	1,071	Слабко поруш.	0

де *EG1* – частка (у %) видів дуже чутливих до збагачення вод органікою; *EG2* – частка видів байдужих до збагачення вод органікою; *EG3* – частка видів толерантних до надлишкового органічного збагачення; *EG4* – частка другого порядку опортуністичних видів (в основному дрібних поліхет, що живляться під поверхнею донних відкладів); *EG5* – частка першого порядку опортуністичних видів (які мешкають в донних відкладах і швидко розмножуються у відновлених відкладах).

Розрахунок індексу було виконано з використанням *AMBI_v5.0_2012* (*AZTI - Tecnalia, www.azti.es*) програмного забезпечення.

Отримані значення *AMBI* та *BI* індексів визначають донне співтовариство як «незбалансоване», «слабко збурене», з «добрим» екологічним статусом і класифікують лиман як «слабко забруднений».

2.2 Іхтіофауна Тилігульського лиману

Оскільки для Тилігульського лиману характерна нестабільність гідрологічних характеристик і гідрохімічного режиму, то в ньому постійно змінювались умови існування (розмноження, нагулу, зимівлі) риб різних екологічних комплексів, відбувались зміни складу іхтіофауни і, відповідно, структури промислових уловів. Забезпечення штучно регулюємого водообміну з морем через періодично діючий канал сприяє збагаченню іхтіофауни лиману. Функціонування каналу дає можливість використання нижньої (південної) частини лиману в якості нагульної акваторії для видів риб, які мігрують, (в першу чергу – *Atherina tochon pontica*, чорноморських *Mugilidae* и *Mugil soiuu Basilewsky*).

В останні роки спостерігається загальна тенденція росту солоності води в лимані і значне зниження числа прісноводних видів риб. За умовами існування риб в Тилігульському лимані можливо виділити три зони (рис. 2.4):

1. Олігогалинна зона (0,5-5‰) у вершині лиману, яка прилягає до гирла р. Тилігул. Її площа невелика і в середньому становить біля 5 км². Прісноводні види риб мешкають тільки тут, але сюди заходять і багато морських риб з більш солоної частини лиману. В посушливі сезони, при пониженні рівня води в лимані, плавні річки Тилігул ізолюються від лиману і олігогалинна зона перестає існувати. В цей період плавні є рефугіумом для прісноводних видів риб.

2. Полігалінна зона в центральній частині лиману (18-25 %) найбільша за площею – 140-150 км².
3. Мезогалінна зона (12-18 %) в нижній частині лиману з'єднана з морем штучним каналом. Її площа – 15-20 км. В цій зоні спостерігається найбільше видове різноманіття риб за рахунок видів, які регулярно і епізодично заходять в лиман з моря. Промисел риби здійснюється переважно в цій зоні (більше 95%) і тільки в ній застосовують ставні неводи для вилову *Atherina tochon pontica*.

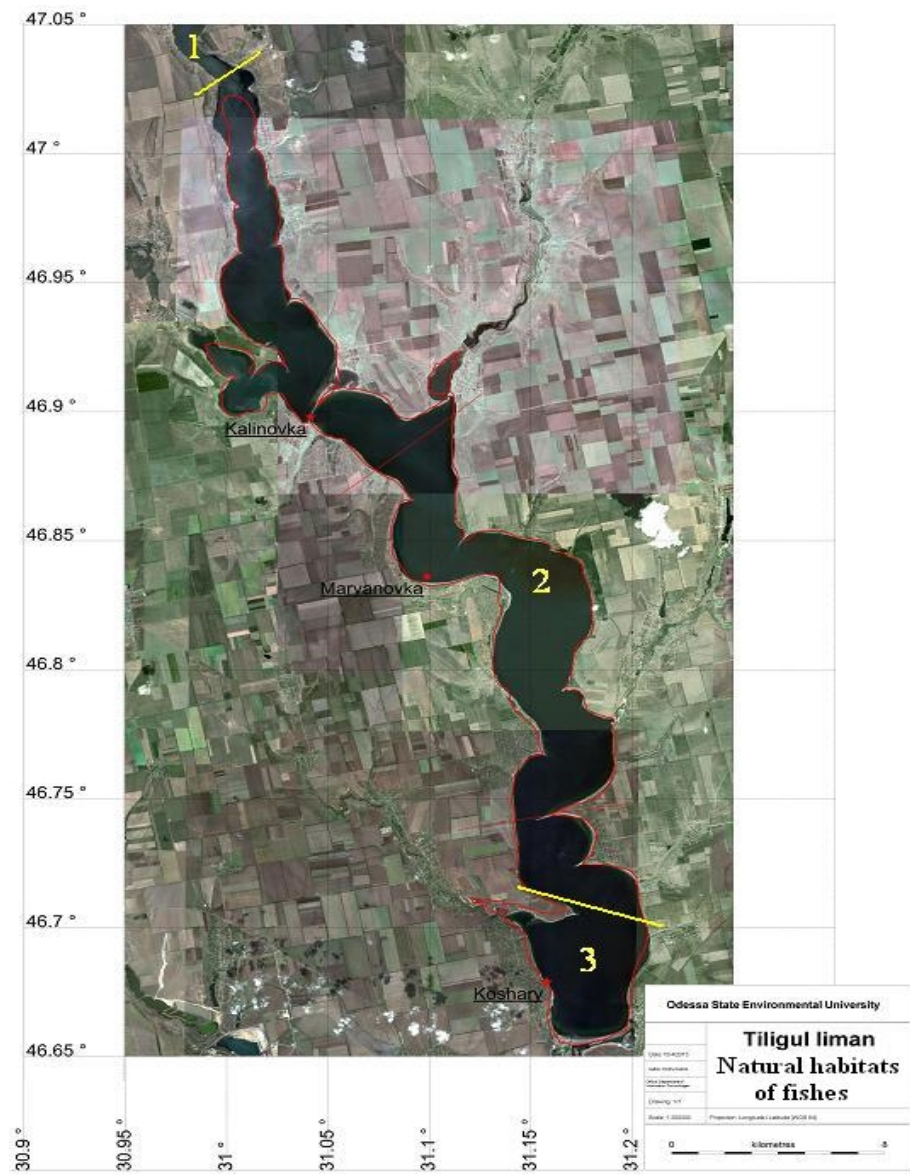


Рисунок 2.4 – Іхтіологічне зонування Тилігульського лиману.

Для аналізу складу іхтіофауни використані літературні дані за останні 50 років [41- 44], а також матеріали досліджень Одеського центру Південного науково-дослідного інституту морського рибного господарства і океанографії (ПівденНІРО) за 1995-2012 рр.

Дані ПівденНІРО про видовий склад іхтіофауни отримані при аналізі уловів і приловів промисловими знаряддями, які використовуються в нижній і середній частинах лиману (ставні неводи з вічком 6,5 мм, сітки з вічком 20-70 мм, вентерія з вічком 18 мм, волокуши з вічком 16-18 мм).

Для отримання даних про щільність розподілу (чисельності) риб використовувались:

1. волокуша з розкриттям 10 м і з вічком 6 мм. Стандартна довжина протяжки – 100 м², площа облову – 1000 м². Проведено 7 ловів в середній і нижній частинах лиману, виловлено 1828 особин риб, середня щільність розподілу N складала 26,1 екз/100 м²;
2. ручна драга шириною 1 м, висотою 0,7 м, вічко – 6 мм. Довжина протяжки – 100 м, площа облову – 100 м². Проведено 16 ловів в середній і нижній частинах лиману, виловлено 370 екземплярів риб, середня щільність розподілу N складала 23,1 екз/100 м².

Лови драгою і волокушею проводились в прибережній зоні без застосування плавзасобів в період з травня по жовтень.

Зміни у складі іхтіофауни Тилігульського лиману за останні 50 років наведені в таблиці 2.17

Розподіл видів риб за екологічними і трофічними групами представлено в таблиці 2.18. Позначення типів і трофічних груп наведено у відповідності до Practitioners Guide to the Transitional Fish Classification Index (TFCI) Water Framework Directive: Transitional Waters [45].

Чисельне співвідношення риб в уловах м'яковічковою волокушею і ручною драгою наведені в таблицях 2.19 і 2.20. В уловах волокушею налічується 18 видів риб, з них 6 домінуючих видів, на долю яких припадає більш 90 % від загальної чисельності, а в уловах ручної драги – 14, з них домінуючих - 7. Середнє число домінуючих видів – 6,5. Риби з відхиленнями у розвитку не зафіксовані.

Дані для розрахунку Estuarine Biotic Integrity Index (EBI) [46] наведені в таблиці 2.21. За двобальною шкалою, яка застосовувалась («середній» – EBI \geq 25; «низький» – EBI < 25), статус екологічної якості Тилігульського лиману може бути оцінений як «середній».

Дані для розрахунку Transitional Fish Classification Index (TFCI) [47] наведені в таблиці 2.22. З 10 метрик цього індексу для Тилігульського лиману на даний час можуть бути оцінені лише 7. Зважаючи на те, що для водойм басейну Чорного моря не розроблений «Список видів для посилань» і не визначені індикаторні види, метрики 1-3 не оцінювались. Тим не менш, число балів, яке набране за метриками 4-10, дозволяє оцінити екологічний клас Тилігульського лиману ($EQR=(TFCI - 10)/(50 - 10)=0.58$) як

«добрий/середній». Вочевидь, що у випадку оцінки за усіма 10 метриками екологічний стан лиману буде більш високим.

Таблиця 2.17 – Зміни у складі іхтіофауни Тилігульського лиману

Сімейства і види риб	Роки				
	1964 ¹	1980 ²	2001-2002 ³	2004 ⁴	1995-2012 ⁵
1	2	3	4	5	6
Acipenseridae					
<i>Acipenser stellatus</i> Pall.	+	-	-	-	-
Clupeidae					
<i>Alosa kessleri pontika</i> Eichw.	+	+	-	-	-
<i>Alosa caspia nordmanni</i> Antipa.	+	+	+	-	+
<i>Clupeonella cultriventris</i> Nordm.	+	+	+	+	+
<i>Sprattus sprattus phalericus</i> Risso	+	-	-	+	-
Engraulidae					
<i>Engraulis encrasicolus ponticus</i> Aleks.	+	-	+	+	+
Cyprinidae					
<i>Rutilus rutilus</i> L.	+	+	-	+	+
<i>Rutilus frisii</i> Norton.	+	-	-	-	-
<i>Leuciscus leuciscus</i> (L)	-	-	+	-	-
<i>Skardinius erithrophthalmus</i> L.	+	-	-	-	-
<i>Aspius aspius</i> L.	+	-	-	-	-
<i>Leucaspius delineatus</i> (Heckel)	+	-	-	-	-
<i>Tinca tinca</i> L.	+	-	-	+	-
<i>Gobio gobio</i> L.	+	-	-	-	-
<i>Alburnus alburnus</i> L.	+	-	-	-	-
<i>Blicka bjorcna</i> (L).	-	+	+	-	+
<i>Abramis brama</i> L.	+	+	-	-	-
<i>Vimba vimba</i> L.	+	-	-	-	-
<i>Pelecus cultratus</i> L.	+	-	+	-	-
Rodeus sericeus amarus (Bloch)	-	+	-	+	+
<i>Carassius auratus gibelio</i> Bloch.	+	+	+	+	+
<i>Cyprinus caprio</i> L.	+	+	-	-	-
<i>Leuciscus idus</i>	+	-	-	-	-
Coditidae					
<i>Misgurnus fossilis</i> L.	+	-	-	-	-
Siluridae					
<i>Silurus glanis glanis</i> L.	+	-	-	-	-
Belontiidae					
<i>Belone belone euxini</i> Gunther.	-	-	+	+	+
Anguillidae					
<i>Anguila anguila</i> L.	+	-	-	-	+
Gasterosteidae					
<i>Pungitius platigaster platigaster</i> .					
Kessler	+	+	+	-	+
<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.	+	+	+	+	+

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5	6
Syngnathidae					
<i>Nerophis ophidionteres</i> , Risso.	+	+	+	-	+
<i>Syngnathu styphle argentatus</i> P.	+	+	+	-	+
<i>Syngnathus abaster</i> Risso	+	+	-	+	+
Mugilidae					
<i>Mugil cephalus</i> L.	+	+	+	+	+
<i>M. so-iuy</i> Basilewsky	-	-	+	+	+
<i>Liza aurata</i> Risso	+	+	+	+	+
<i>L. saliens</i> Risso	+	+	+	+	+
Atherinidae					
<i>Atherina mochon pontica</i> Eichw	+	+	+	+	+
Percidae					
<i>Stizostedion lucioperka</i> L.	+	+	-	+	-
<i>Perca fluviatilis</i> L.	+	+	+	-	+
<i>Percarina demidoffi</i> Nordm	+	+	-	+	-
Gobiidae					
<i>Pomatoschistus microps leopardinus</i> Nordman.	+	+	+	+	+
<i>P. causicus</i> Kawrajsky	+	+	+	-	+
<i>Zosterisessor ophiocephalus</i> Pall.	+	+	+	+	+
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> Pall.	+	+	+	+	+
<i>Neogobius melanostomus</i> Pall.	+	+	+	+	+
<i>N. cephalarges</i> Pall.	+	+	-	-	-
<i>N. fluviatilis</i> Pall.	+	+	+	+	+
<i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas)	+	+	-	+	+
<i>Benthophilus stellatus</i>	+	+	-	-	-
<i>Knipowitschia longicaudata</i> . Kessler	-	+	-	-	-
<i>Neogobius ratan</i> Nordmann	-	+	-	-	+
<i>Gobius niger</i> L.	-	+	+	-	+
<i>N. syrman</i> (Norman)	+	+	+	-	+
<i>N. gymnotrachelus</i> Kessler	+	+	-	+	+
Scophthalmidae					
<i>Psetta maeotica</i> Pall.	-	-	+	-	+
Pleuronectidae					
<i>Platichthys flesus luscus</i> Pall	+	+	+	+	+
<i>Solea nasuta</i> Pallas	-	-	+	-	+
Blenniidae					
<i>Blennius sanguinolentis</i> Pall.	-	-	-	-	+
<i>B. sphinx</i> Valenc.	-	-	+	-	-
Labridae					
<i>Crenilabrus ocellatus</i> (Forskal)	-	+	-	+	+
Mullidae					
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov	-	-	-	-	+
Scophthalmidae					
<i>Psetta maeotica</i> Pall.	-	-	+	-	+

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5	6
Pleuronectidae					
<i>Platichthys flesus luscus</i> Pall	+	+	+	+	+
<i>Solea nasuta</i> Pallas	-	-	+	-	+
Blenniidae					
<i>Blennius sanguinolentis</i> Pall.	-	-	-	-	+
<i>B. sphinx</i> Valenc.	-	-	+	-	-
Labridae					
<i>Crenilabrus ocellatus</i> (Forsk.)	-	+	-	+	+
Mullidae					
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov	-	-	-	-	+
Centranchidae					
<i>Spicara smaris</i> (Linne)	-	-	-	-	+
Centrarchidae					
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linne)	-	-	-	-	+
Carangidae					
<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> <i>Aleev</i>	-	-	-	-	+
Gobiesocidae					
<i>Lepadogaster candollei</i> Risso	-	-	-	-	+
Всього	48	38	30	26	41

Посилання: ¹[41]; ²[42]; ³[43]; ⁴[44]; ⁵ Дані спостережень Одеського центру ПівденНІРО

Таблиця 2.18 – Види риб, які зустрічаються в Тилігульському лимані та їх групи

Види	Тип	Трофічна група	Населяють лиман	Відтворюються в лимані	Видовий плідник	Уподобання до умов існування
1	2	3	4	5	6	7
Clupeidae						
<i>Alosa caspia nordmanni</i> <i>Antipa</i>	CA	Z				P
<i>Clupeonella cultriventris</i> <i>Nordm.</i>	CA	Z				P
Engraulidae						
<i>Engraulis encrasicolus</i> <i>ponticus Aleksandrov</i>	MS	Z				P
Cyprinidae						
<i>Rutilus rutilus</i> (L)	FW	Z				P
<i>Blicca bjorkna</i> (L)	FW	BL				P
<i>Rodeus sericeusamarus</i> (Bloch)	FW	Z				P
<i>Carassius gibelio</i> Bloch.	FW	BL				P

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7
Belonidae <i>Belone belone euxini</i> Gunther	MA	P				P
Anguillidae <i>Anguila anguila</i> L.	CA	P				P
Gasterosteidae <i>Pungitius platigaster</i> <i>platigaster</i> Kessler.	ER	BL	Y	Y		P
<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.	CA	BL				P
Syngnathidae <i>Nerophis ophidionteres</i> Risso.	ER	BL	Y	Y		D
<i>Syngnathus typhle</i> <i>argentatus</i> P.	ER	BL	Y	Y		D
<i>Syngnathus nigrolineatus</i> Eichw.	ER	BL	Y	Y		D
Mugilidae <i>Mugil cephalus</i> L.	MJ, MS	D			Y	P
<i>M. so-iuy</i> Basilewsky	MJ, ER	D	Y	Y	Y	P
<i>Liza aurata</i> Risso	MJ, MS	D			Y	P
<i>L. saliens</i> Risso	MJ, MS	D			Y	P
Atherinidae <i>Atherina mochon pontica</i> Eichw. (<i>A. boyeri</i>)	MS, ER	Z	Y	Y	Y	P
Percidae <i>Perca fluviatilis</i> L.	FW	P				P
Gobiidae <i>Pomatoschistus microps</i> <i>leopardinus</i> Nordmann	ER	BL	Y	Y		B
<i>P. caucasicus</i> Kawrajsky	MA	BL				B
<i>Zosterisessor</i> <i>ophiocephalus</i> Pall.	ER	BL	Y	Y		B
<i>Neogobius melanostomus</i> Pall.	ER	BL	Y	Y		B
<i>N. fluviatilis</i> Pall.	ER	BL	Y	Y		B
<i>Proterorhinus</i> <i>marmoratus</i> (Pallas)	ER	BL	Y	Y		B
<i>Neogobius ratan</i> Nordmann	MA	BL				B
<i>Gobius niger</i> L.	ER	BL	Y	Y		B
<i>N. syrman</i> Nordmann	MA	BL				B
<i>N. gymnotrachelus</i> Kessler	MA	BL				B

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> Pall.	ER	P	Y	Y		B
Scophthalmidae <i>Psetta maeotica</i> Pall.	MA	P				B
Pleuronectidae <i>Platichthys flesus luscus</i> Pall.	ER	BL	Y	Y	Y	B
Soleidae <i>Solea lascaris nasuta</i> Pall.	MA	BL				B
Blenniidae <i>Blennius sanguinolentis</i> Pall.	MA	BL				B
Labridae <i>Crenilabrus ocellatus</i> (Forskal)	ER	BL	Y	Y		D
Mullidae <i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov	MA	BL				B
Centranchidae <i>Spicara smaris</i> (Linne)	MA	BL				D
Centrarchidae <i>Lepomis gibbosus</i> (Linne)	FW	BL/P				P
Carangidae <i>Trachurus mediterraneus</i> <i>ponticus</i> Aleev	MA	BL				P
Gobiesocidae <i>Lepadogaster candollei</i> Risso	MA	BL				B

Уподобання до умов існування : B – донні риби; D – придонні риби; P – пелагічні риби.

Таблиця 2.19 – Чисельне співвідношення видів риб (%), які були виловлені в Тилігульському лимані м'яковичковою волокушею більш ніж за 7 періодів лову

Видовий склад	% зустрічаємості
<i>Nerophis ophidionteres</i> , Risso.	1.7
<i>Singnathus typhle argentatus</i> P.	1.6
<i>Syngnathus abaster</i> Risso	3.1
<i>Pomatoschistus microps leopardinus</i> Nordman.	1.3
<i>Zosterisessor ophiocephalus</i> Pall.	14.7
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> Pall.	3.5
<i>Neogobius melanostomus</i> Pall.	20.0
<i>N. fluviatilis</i> Pall.	3.7
<i>N. gymnotrachelus</i> Kessler	0.1
<i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas)	1.0
<i>Gobius niger</i> L.	0.2
<i>Gobius</i> sp.	0.1
<i>Atherina mochon pontica</i> Eichw	47.8
<i>Crenilabrus ocellatus</i> (Forskal)	1.3
<i>Platichthys flesus luscus</i> Pall	0.2
<i>Blennius sanguinolentis</i> Pall.	0.1
<i>Lepadogaster candollei</i> Risso	0.1
<i>Liza aurata</i> Risso	0.1

Таблиця 2.20 – Чисельне співвідношення (%) видів риб, які були виловлені в Тилігульському лимані ручною драгою більш ніж за 16 періодів лову.

Видовий склад	% зустрічаємості
<i>Nerophis ophidionteres</i> , Risso.	0.8
<i>Singnathus typhle argentatus</i> P.	8.4
<i>Syngnathus abaster</i> Risso	9.7
<i>Pomatoschistus microps leopardinus</i> Nordman.	27.6
<i>Zosterisessor ophiocephalus</i> Pall.	8.6
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> Pall.	1.1
<i>Neogobius melanostomus</i> Pall.	20.8
<i>N. fluviatilis</i> Pall.	0.8
<i>N. gymnotrachelus</i> Kessler	0.5
<i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas)	11.4
<i>Gobius niger</i> L.	5.9
<i>Atherina mochon pontica</i> Eichw	0.3
<i>Crenilabrus ocellatus</i> (Forskal)	3.8
<i>Platichthys flesus luscus</i> Pall	0.3

Таблиця 2.21 – Значення метрик для розрахунку індексу EBI (Estuarine Biotic Integrity Index), для оцінки статусу екологічної якості Тилігульського лиману

№	Метрика	Значення	Бал
1	Кількість видів	41	5
2	Домінуючі види (що дають більше 90% особин)	6.5	5
3	Щільність риб (ln(N))	3.26	0
4	Кількість малькових видів	6	5
5	Кількість видів, які нерестяться в лимані	13	5
6	Кількість резидентних видів	13	5
7	Частка донних риб (%)	0.56	0
8	Частка нетипових риб (%)	≤0.01	5
	EBI (сума метричних балів)		30

Таблиця 2.22 – Дані для розрахунку індексу TFCI (Transitional Fish Classification Index), розраховані для Тилігульського лиману за [45]

№	Метрика	Значення	Бал
1	Видовий склад	N/A	-
2	Наявність індикаторних видів	N/A	-
3	Відносна щільність видів	N/A	-
4	Кількість домінуючих таксонів (які складають 90 % чисельності)	6.5	5
5	Кількість резидентних таксонів	13	5
6	Кількість морських таксонів, які залежать від лиману	6	3
7	Кількість функціональних груп	6	5
8	Кількість таксонів, які живляться безхребетним бентосом	15	5
9	Кількість рибоїдних таксонів	7	5
10	Кількість трофічних груп	4	5
	TFCI (сума метричних балів)		33

2.3 Рибицтво

Рибопродуктивність Тилігульського лиману (як і різноманіття іхтіофауни) завжди залежала від його гідролого-гідрохімічного режиму і, насамперед, – від солоності його вод. У 30-50-х роках минулого століття, в

роки, коли завдяки рясним атмосферним опадам і потужним весняним паводкам на річках, що впадають в лиман, він опріснювався, улови зростали впродовж декількох подальших років. При цьому навесні, за рахунок підвищення рівня води в лимані, часто відбувалися прориви в пересипі і відновлювався водообмін з морем. Через прірви, що утворилися, в лиман заходили морські види риб (*Mugilidae*, *Gobiidae*, *Pleuronectidae*, *Clupeidae*, *Atherinidae* і інш.), а також винесені паводком із Дніпровсько-Бузького лиману прісноводні види риб (*Abramis brama* L., *Rutilus rutilus* L., *Cyprinus carpio* L., *Stizostedion lutioperka* L., *Carassius auratus gibelio* Bloch., *Blicka bjorcna* (L.), *Skardinius erithrophthalmus* L. та др.) [43].

У 1953 р. в лимані були зареєстровані 34 види морських і прісноводних риб. Для збільшення рибопродуктивності, в 1958 р. в пересипі Тилігульського лиману був побудований сполучний канал з морем. Завдяки цьому, в 1960 р. в лимані було зареєстровано 45 видів риб, а в 1964 р. – 49 видів. В їх числі 16 (32,6 %) солонуватоводних, 14 (28,6 %) морських і 19 (38,8 %) прісноводних. В період 1953-1960 рр. в лимані щорік виловлювали в середньому 1091,8 т (68,2 кг/га) риби. Максимальний для лиману улов був зареєстрований в 1956 р. – 2349,6 т (146,9 кг/га) [41, 48]. Проте, всупереч очікуванням, в подальші роки улови риби почали знижуватися через зменшення винесення прісноводних видів риб із Дніпровсько-Бузького лиману до ділянки моря прилеглої до Тилігульського лиману (внаслідок зарегулювання стоку р.Дніпро каскадом гідроелектростанцій), а також поступового підвищення солоності води в самому Тилігульському лимані. Відбувалося поступове витіснення прісноводних риб морськими, серед яких переважали малоцінні види [43].

У 1968 р. канал занесло піском і в 70 - 90-х роках минулого століття він функціонував епізодично, часто з багатолітніми перервами, що привело до подальшого зростання солоності води. В результаті, в 80-х роках в лимані вже не було виявлено 16 прісноводних видів (наприклад, *Acipenser stellatus* Pall., *Anguila anguila* L. та ін.) і раніше масових морських видів (*Sprattus sprattus phalericus* Risso і *Engraulis encrasicolus ponticus* Aeks) риб, які заходили до лиману з моря [42].

В період 1961-1971 рр. улови знизились з 877,8 до 276,1 т (54,9-17,3 кг/га), промисел риби базувався на *Gobiidae* і *Atherina mochon pontica* Eichw, а з 1974 р. – на *Atherina mochon pontica* Eichw і *Clupeonella cultriventris* Nordm. В 1976-1979 рр. середній вилов в лимані знизився до 235,5 т (14,6 кг/га). В 80-х роках, в основному, виловлювали *Atherina mochon pontica* Eichw і *Stizostedion lutioperka* L. Улови, в залежності від режиму роботи каналу, коливалися від 105,1 до 616,0 т/рік (6,5-38,5 кг/га). Втратили

промислове значення *Gobiidae*, *Mugilidae* і *Platichthys flescus Pall.* З 1992 р. основним промисловим об'єктом в Тилігульському лимані стала *Atherina tochon pontica Eichw*, улови якої до кінця століття коливалися від от 107 до 178 т/рік [9].

На початку ХХІ століття сполучний канал з морем був відновлений і короткочасно відкривався протягом декількох років навесні для впускання мальків морських риб з моря в лиман. Проте, в 2007-2009 рр. канал знову не функціонував і лише в 2010 р. був відкритий на тривалий термін – з квітня по вересень. Улови риби хоча і збільшилися в 2009-2011 рр. до 309-370 т, але, як і раніше, склалися в основному з малоцінної *Atherina tochon pontica Eichw* [8]. Влітку 2010 р. із-за аномальних погодних умов: сильні зливи в червні-липні і аномально висока температура води в липні-серпні, – спостерігалася масова загибель риби (*Gobiidae*, *Mugilidae*). На окремих ділянках узбережжя було виявлено 20 кг мертвої риби на квадратний метр.

Дані про промислові улови за останнє десятиліття наведені в таблиці 2.23 і на рис. 2.5. Частка *Atherina tochon pontica* в промислових уловах становить 87,2 %, *Gobiidae* (переважно *Neogobius melanostomus*) – 9,8%. На всі інші види доводиться лише 3,0 %. Через погіршення показників якості води і відсутність необхідних умов для заходу з моря в лиман на нагул достатньої кількості молоді риб, в основному *Mugilidae*, потенційні можливості лиману для рибальства використовуються лише на 20-30 %.

Таблиця 2.23 – Динаміка промислового вилову різних видів риб (тон/рік) в Тилігульському лимані

Види	Роки										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>Platichthys flesus</i>	-	-	0,13 8	0,08	0,01	0,02	0,14	0,1	0,2	0,04	-
<i>Atherina tochon pontica</i>	102, 8	142, 7	256, 3	147,1 5	301,4 4	252,1 9	163, 2	280, 6	315, 5	371, 3	380, 6
<i>Gobiidae</i>	36,5	48,3 9	37,7 4	37,05	22,84	24,69	25,4	26,5	25,8	20,0	0,8
<i>Mugilidae</i>	0,01	0,30	7,92	18,53	15,03	0,04	0,4	-	4,1	20,6	0,4
<i>Engraulis encrasicolus</i>	2,0	1,69	-	-	-	-	0	1,0	-	-	10,7
<i>Mugil so-iuy</i>	0,9	-	-	1,34	0,4	0,13	0,8	1,0	2,7	3,34	-
<i>Shrimp</i>	-	-	-	0,02	-	-	0,06	0,2	0,4	-	-
Всього	142, 2	193, 1	302, 2	204,2	339,7	277,1	190, 0	309, 4	348, 7	415, 3	392, 5

В сучасних умовах реальний шлях підвищення рибопродуктивності лиману – цілеспрямоване формування популяції цінних видів морських риб. Перспективними об'єктами інтродукції можуть бути *Mugil soiuu Basilewsky*, *Acipenseridae*, *Platichthys flescus Pall.* і *Gobiidae*. Висока чисельність цих видів повинна підтримуватись як за рахунок штучного відтворення і зариблення, так і за рахунок формування самовідтворювальних популяцій цих риб. У випадку ведення цілеспрямованого пасовищного риборозведення значне збільшення біомаси можуть дати аборигенні види: *Mugilidae* (*Mugil cephalus L.*, *Liza aurata Risso*, *L. saliens Riso*) [43].

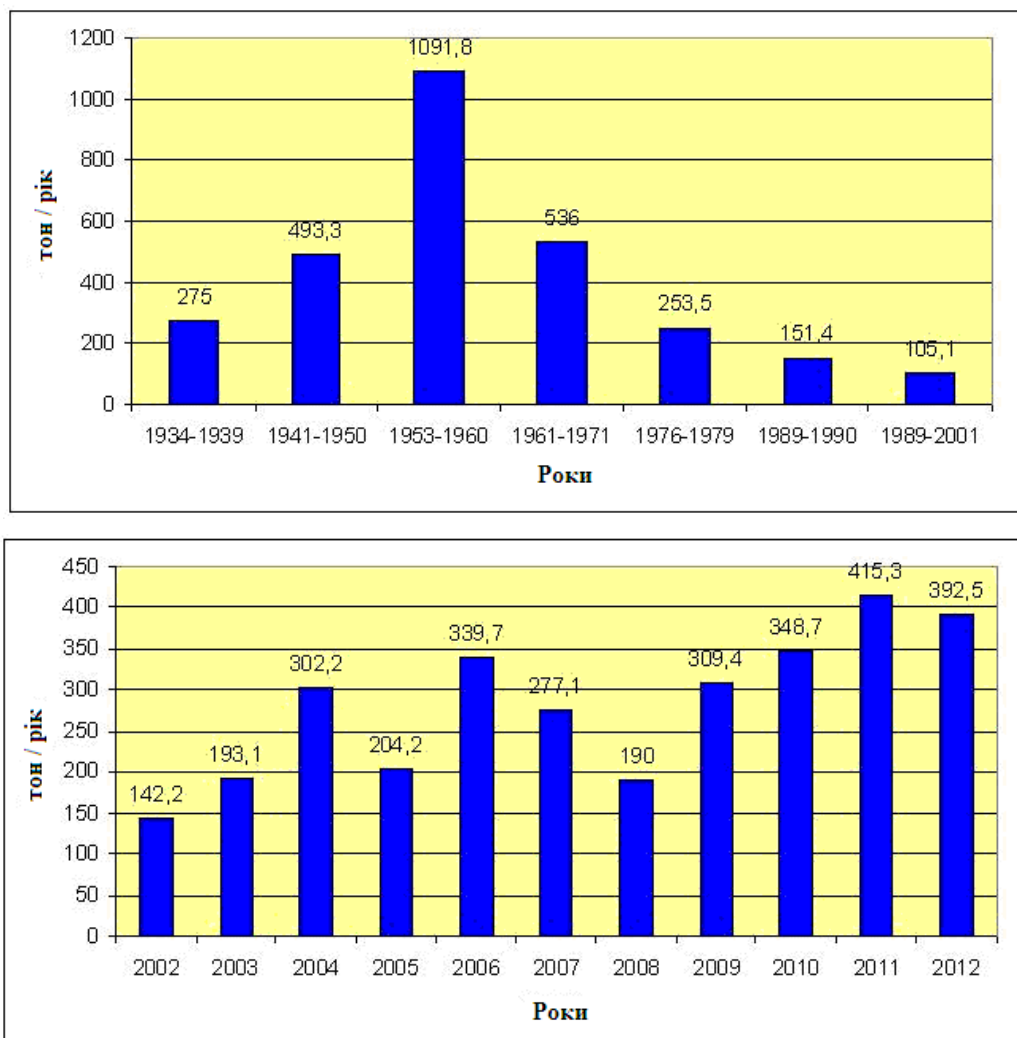


Рисунок 2.5 – Динаміка промислового вилову риби в Тилігульському лимані

3 ЗАЛУЧЕННЯ ГРОМАДСЬКОСТІ ДЛЯ РОЗРОБКИ СЦЕНАРІЇВ МАЙБУТНІХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗМІН У ЗОНІ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

Методика використання результатів громадського обговорення (якісні результати) для визначення можливих майбутніх змін у вигляді певних кількісних характеристик, наприклад гідроекологічних параметрів, описана в [49]. Вона передбачає послідовне (1) опитування фокусних груп для визначення позитивних аспектів та проблем на лимані, (2) проведення засідання журі, на якому виробляються якісні рекомендації щодо майбутніх сценаріїв, (3) розробка кількісних сценаріїв можливих майбутніх соціально-економічних змін, (4) здійснення SWOT (наприклад [50]) і DPSIR (наприклад [51]) аналізів, які дозволяють узагальнити особливості екологічного стану Тилігульського лиману та (5) представлення результатів зацікавленим особам та організаціям на заключному семінарі.

3.1 Фокусні групи

У ході дослідження на Тилігульському лимані в період з квітня 2012 року по січень 2013 року було створено вісім фокусних груп, а саме: фермери Одеської області, фермери Миколаївської області, туристи, рибалки, мисливці, працівники Тилігульського регіонального ландшафтного парку (Одеська область) та співробітники Регіонального ландшафтного парку «Тилігульський» (Миколаївська область), мешканці Одеської та Миколаївської областей. Загалом, в цих засіданнях взяли участь 62 людини.

- Рибалки. Учасники цієї фокусної групи приділили значну увагу іхтіофауні та відновленню лагуни як водного об'єкта, економічно важливого для риболовлі.

- Мисливці. Частина групи складалася з місцевих жителів, інша – з приїжджих, які водночас були і туристами. Дехто з них також займається і риболовлею. Акцент був зроблений на наслідках порушення екологічної рівноваги, що, власне, і призвело до появи та загострення проблем мисливства.

- Працівники Тилігульського регіонального ландшафтного парку (Одеська область) та співробітники Регіонального ландшафтного парку «Тилігульський» (Миколаївська область). Учасники даної фокусної групи в

основному розглядали поточний та майбутній екологічний стан басейну Тилігульського лиману.

- Мешканці Одеської області. У цю групу входили, люди, які проживають постійно чи сезонно на території басейну Тилігульського лиману. Групою розглядалися екологічні проблеми лагуни, переважно з соціально-економічних аспектів. Також було багато дискусій щодо майбутнього Тилігульського лиману та його відновлення.

- Мешканці Миколаївської області. В дану групу увійшли резиденти, які мешкають на західному узбережжі Тилігульського лиману. Переважна більшість з них – корінне місцеве населення, решта – приїхала сюди з інших місць, але проживає на даній території щонайменше 10 років. Головними діяльностями учасників є сільськогосподарські роботи (у т.ч. тваринництво та садівництво) та риболовля.

- Фермери Одеської області. В цю групу увійшли фермери Тилігульського лиману в Одеській області: орендарі полів, власники тваринництв і садівництв та ін.. Усі учасники місцеві. Учасниками групи було виділено ряд важливих питань, орієнтованих на збалансоване природокористування та мінімізацію збитків від сільського господарства.

- Фермери Миколаївської області. У фокусній групі переважна увага приділялася теперішньому екологічному стану Тилігульського лиману та його басейну, факторам, що спричинили ці проблеми, та заходам, які слід здійснити для покращення ситуації.

- Туристи та працівники у туристичній сфері (готелі, аквапарки, ресторани). Фокусна група складалася з людей, що тимчасово чи на тривалий час приїжджають на Тилігульський лиман. Більшість групи – приїжджі. Основні види туристичної діяльності: любительське рибальство, плавання (інколи у приватних об'єктах), спа-терапія, а також просто активний відпочинок на природі.

Основна мета цих фокус-груп - це ознайомлення зі знаннями та баченнями жителів, що мешкають в районі Тилігульського лиману та всіх інших зацікавлених осіб стосовно теперішнього стану даної лагуни та її майбутнього з економічної, соціальної та екологічної точок зору. Кожен з цих семінарів тривав близько 90 хвилин. Під час сесій учасниками були представлені та обговорені теми пов'язані з Тилігульським лиманом, були занотовані основні позитивні аспекти, проблеми і рекомендації на майбутнє, відповідно до їх індивідуальних та / або колективних уявлень.

Позитивні аспекти:

- візуальна привабливість лиману;

- виробнича діяльність на Тилігульському лимані (рибалка, сільське господарство, туризм, та ін.);
- значний потенціал використання лиману в сільськогосподарській, рекреаційній діяльності, рибальстві та ін.;
- природні багатства лиману (флора і фауна, у т.ч. наявність видів, занесених до Червоної книги України);
- має велику цінність як місце проживання водно-болотних птахів (гніздування, зимівля, перебування під час сезонних міграцій);
- дно лиману подекуди вкрите чорним мулом, що має лікувальні властивості. Запаси лікувальної грязі тут становлять 14 млн т.

Проблеми:

- забруднення Тилігульського лиману;
- порушення водного режиму лиман-море через антропогенну діяльність;
- періодичні замори риби влітку;
- звалища сміття, у т.ч. залишеного відпочиваючими, несанкціоновані багаття;
- неконтрольований, спонтанний розвиток туризму;
- хаотична забудова прибережної зони лиману, зокрема дачними ділянками, деякі з них навіть не під'єднані до каналізації;
- відсутність інтегрованого управління лиманом;
- недостатнє забезпечення інформацією стосовно охоронюваних територій регіону;
- надмірна оранка поблизу води, що сприяє потраплянню забруднюючих речовин до лиману;
- стічні води підприємств харчової промисловості;
- поява несанкціонованих звалищ побутових та промислових відходів поблизу лагуни;
- браконьєрство;
- незаконний видобуток піску;
- недостатній контроль за фермерською діяльністю;
- вирубка лісу у верхній частині водозбору лиману;
- повільна інтенсифікація сільського господарства;
- розорювання цінних степових ділянок на схилах та випалювання рослинності;
- зменшення поверхневого стоку через велику кількість несанкціонованих ставків;

- деякі фермерські господарства розташовані біля берегової зони, що призводить до безперешкодного потрапляння забруднюючих речовин до вод лиману;

- влаштування у прибережній захисній смузі звалищ сміття, гноєсховищ, літніх таборів для худоби;

- погіршення якості води, і зокрема, її евтрофікація;

- осушення лиману;

- забруднення та ерозія прибережних зон;

- збіднення флори та фауни.

Рекомендації:

- доцільно розвивати екологічний туризм;

- управління та контроль даного регіону мають носити більш жорсткий характер;

- слід розвивати лікувальний та оздоровчий види рекреації;

- необхідно розвивати інфраструктуру даного регіону;

- потребує реконструювання з'єднувального каналу лиман-море;

- варто проводити днопоглиблюючі та дноочищувальні роботи у верхів'ях лиману;

- необхідно терміново припинити несанкціонований забір піску в районі з'єднувального каналу;

- сільське господарство має носити більш інтенсивний та екоцентричний характер;

- мінімізація використання мінеральних добрив та пестицидів на прилеглих до лиману полях;

Лиман характеризується унікальним природним навколишнім середовищем, що сприяє соціально-економічному розвитку прилеглих територій, зокрема рекреаційній діяльності, «зеленого» туризму, рибного господарства та рибальства. Важливо те, щоб місцева громада брала пряму активну участь в плануванні та комплексному управлінні водними ресурсами та прибережною зоною на Тилігульському лимані. В кінці кожної сесії учасникам було запропоновано нанести точки на карті з проблемними чи, навпаки, благополучними, на їх погляд, зонами, в результаті чого була одержана карта, представлена на рис. 3.1. Знання та дані різноманітних наукових дисциплін будуть поєднані з даними з місць та думками зацікавлених осіб з метою вироблення загальних спільних сценаріїв (за допомогою підходу з якісно-кількісними сценаріями та науковим моделюванням) майбутніх можливих тенденцій та умов розвитку прибережних лагун за умов зміни клімату.

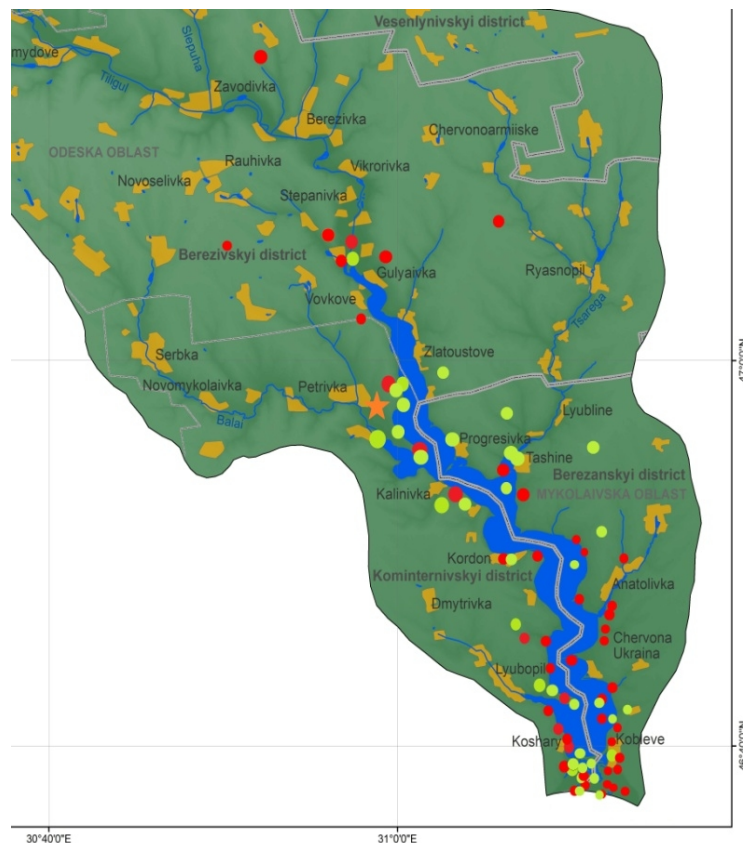


Рисунок 3.1 – Карта позитивних (зелені точки) та негативних (червоні точки) аспектів лиману

3.2 Проведення журі

В ході вивчення поточного стану Тилігульського лиману в рамках проекту Лагуни «Інтегроване управління водними ресурсами та управління прибережною зоною в Європейських лагунах в контексті зміни клімату» в період 19-20 квітня 2013 журі громадян було проведене в селі з Коблево, Миколаївської області, Україна. Журі складалося з 12 осіб, група експертів була представлена восьма учасниками.

В журі громадян були включені жителі Одеської та Миколаївської областей від усіх районів області з різних сфер, з Березанського, Комінтернівського, Березівського районів; наступних населених пунктів: Березанка, Калинівка, Красноармейка, Ташино, Пшеняново, міста Коблево, міста Южний і т.д. Вікова категорія членів журі громадян була 23-60 років. Співвідношення чоловіків було: 70% - чоловіки, 30% - жінки.

Експертна група складалася з представників таких галузей:

- 1) сільському господарстві;
- 2) рибальство і мисливство;
- 3) охорона навколишнє середовище;
- 4) промислове рибальство;
- 5) транспорт та інфраструктура;
- 6) туризм;
- 7) якість води;
- 8) управління та законодавство.

Журі громадян був також представлений роздатковий матеріал:

- Брошура з результатами фокус-груп,
- Вісник Тилігульського лиману,
- Карта регіону,
- CD з останнім фільмом про Тилігульський лиман і т.д.

Після проведення цього заходу основні питання, що викликають заклопотаність місцевого населення були уточнені, а також ряд додаткових рекомендацій з відновлення регіону були названі.

Список рекомендацій:

- 1) необхідно терміново провести днопоглиблювання та очищення дна для підключення каналу "Лагуна-море", також проводити контроль видобутку піску в цьому місці;
- 2) прочистити русло ріки Тилігул;
- 3) провести інвентаризацію (локалізацію) природних ресурсів, оцінку ресурсів сировинних видів флори і фауни;
- 4) керівництво області в цілому повинно бути більш жорстким, треба зміцнити правову базу для її реалізації;
- 5) поліпшити деякі моменти законодавства;
- 6) систематизувати статус Тилігульського лиману на законодавчому рівні;
- 7) бажано створити об'єднаний національний природний парк в регіонах Одеси і Миколаєва з єдиним блоком управління, необхідно провести чітке зонування парків;
- 8) потрібен розвиток інфраструктури (дороги, в першу чергу), а Тилігульський лиман представляє особливий інтерес для розвитку рекреаційної та туристичної галузі;
- 9) доцільно розвивати всі види туризму: екологічний, освітній, фестивальний, винний, етнічний, оздоровчий, спортивний і т.д.;
- 10) в сільськогосподарському секторі регіону повинна бути проведена серія заходів:

- встановлення процесу сівозмін,
 - проведення більш ретельної оранки вже використовуваних територій, заборона оранки цілинних схилів,
 - заборона будь-яких сільськогосподарських робіт поблизу кромки води,
 - строгий контроль кількості та якості добрив,
 - запровадити державні субсидії для фермерів, що проводять еко-орієнтовану діяльність,
 - поліпшити структуру машин і тракторів;
- 11) необхідно збільшити штат органів охорони навколишнього середовища;
 - 12) розробити організаційний проект області;
 - 13) запровадити використання альтернативних джерел енергії і т.д.

3.3 Якісні сценарії майбутніх соціально-економічних змін

Якісні сценарії розроблялися для випадків розвитку або занепаду економічного та екологічного станів у зоні Тилігульського лиману (рис. 3.2).

3.3.1 Сценарій «Управління без змін» (BAU)

Україна нещодавно приєдналася до ЄС. Відбулося загальне зниження чисельності населення в регіоні: до 4% в Одеській області і 12% - в межах Миколаївської області, поряд з невеликим зниженням зайнятості в регіоні в цілому. Інтенсифікація сільського господарства за рахунок використання промислових методів ведення сільського господарства, в тому числі кількість хімічних добрив, інтенсивний підйом тваринництва, вирубка лісів призвела до зростання стоку в сільській місцевості. Ці зміни в сільськогосподарській практиці в поєднанні з нерегульованим вивозом побутових відходів або викидами стічних вод, незаконного або неправильного використання ландшафтного парку і деякі промислові забруднення внесли значний внесок у погіршення і занепад якості води та екологічної обстановки, які призводять до евтрофікації.

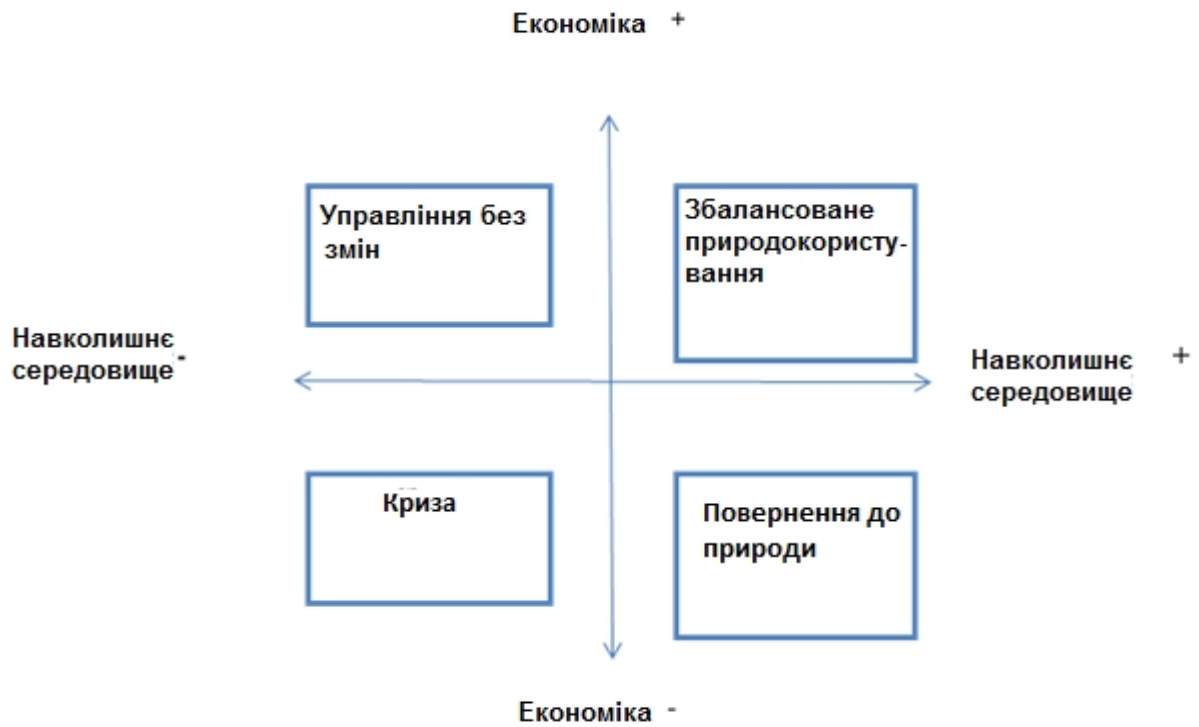


Рисунок 3.2 – Схематичне подання чотирьох соціально-економічних сценаріїв

На стан екосистеми також впливає браконьєрство. Наприклад, кількість видів риби, птахів, тварин для риболовлі та полювання зменшується. Також спостерігаються зміни типів риби. Очевидно, що природні ресурси скорочуються, проте існує дуже мало інформації щодо переліку видів, для оцінки швидкості зниження популяції. Незважаючи на зростаючу потребу в охороні навколишнього середовища, чисельність персоналу, зайнятого в природоохоронних органах не змінилася з 2010 року, і вони перевантажені. Число туристів продовжує зростати. У нижній частині затоки, який знаходиться недалеко від Чорного моря, є бази відпочинку (залучення близько 300 000 чоловік щорічно), але вони в основному задіяні в літні місяці.

Відсутність екологічної політики, планування та управління навколишнім середовищем на виконавчому рівні, в основному, із-за низьких інвестицій і недостатнього законодавства для здійснення управління регіоном в цілому. Також існують протилежні погляди на використання ландшафтного парку та конфігурацію каналу.

Берегова ерозія і відсутність контролю нелегального видобутку піску та ще існує ряд конкуруючих точок зору щодо використання та зонування ландшафту парку і каналу.

Єдиний блок керування у формі Національного Природного Парку, який розташовується в Одеській і Миколаївській областях - з чітко розмежованими зонами для різного використання, в тому числі відпочинку і туризму – то це як і раніше розглядається як бажане. Альтернативні форми виробництва енергії також не дуже видно. Витрати на охорону навколишнього середовища є низькими.

3.3.2 Сценарій «Повернення до природи» (SET)

Відбулося загальне скорочення населення на 10% в цілому по області, та на 15-20% скорочення зайнятості в регіоні. Спостерігається сталий розвиток сільського господарства та тваринництва, хоча загальна доступна площа для сільського господарства зменшена. За порядком на суші і на водній поверхні охоронних територій, до яких або обмежений або відсутній доступ, знаходяться переважно в обласному підпорядкуванні, надаючи важливу роль в оздоровленні природних ресурсів, що в свою чергу породжує непрямий дохід від використання екосистемних послуг, що надаються в регіоні. Місця полювання та рибна ловля на лимані також добре контролюються, зберігаються для цілей збереження.

Усі будівельні та вишукувальні роботи в межах області добре регулюються відповідно до узгодженого кодом стійкості для області разом з наданням побутовим відходам рециркуляції та очищення стічних вод для всіх домашніх господарств і підприємств. Набуває високе значення відпочинок та екотуризм, хоча загальна кількість туристів значно не збільшилась. Були розроблені суворі процедури планування і контролю, що носять стійкий характер і забезпечують надійну економіку і стабільну зайнятість у ряді секторів в сфері діяльності, яка добре створена і набирає повсюди хорошу репутацію. Управління екологічного захисту всієї площі підкріплюється чіткою і прозорою політикою, що також сприяє підтримці прибережних районів в якості екологічного коридору. Проводяться регулярні зустрічі для зацікавлених сторін, щоб обговорити і вирішити будь-які питання, що стосуються, наприклад, ландшафтного парку або каналу/водного обміну. Разом з цим підвищились видатки по охороні навколишнього середовища.

3.3.3 Сценарій «Збалансоване природокористування» (МН)

Спостерігається той факт, що чисельність населення і рівень зайнятості залишаються незмінними по всій області. У той час як площа земельної ділянки для ведення сільського господарства також залишається незмінною, виявлені позитивні зміни в ландшафті та екологічному стані району, в результаті перегляду практики щодо сільського господарства, тваринництва, управління та рівня лісорозведення, які переглядаються і відповідають рекомендаціям і діям. Такі зміни в сільськогосподарській практиці в поєднанні з добре регульованим будівництвом гарантують, що: будівлі та будь-яка форма розвитку дотримуються кодексу; побутові відходи або стічні води очисних споруд завжди адекватні; екологічно обгрунтоване використання і статус ландшафтного парку зберігається; ймовірність забруднення з-за подій в галузі в районі є низьким. Ці дії сприяють подальшій охороні обидва якості води та екологічної обстановки, зводячи до мінімуму шанси евтрофікації.

Послуги екологічних систем постійно поліпшуються шляхом підвищення регулярного моніторингу та звітністю про будь-які зміни або можливі наслідки. Наприклад, кількість і число видів, для полювання і риболовлі зростає. Існує повне визначення причин, чому відбуваються періодичні замори риби або відбуваються будь-які інші незвичайні подій. Останні зміни погоди, які спостерігалися ретельно контролюються.

Політика, планування та управління навколишнім середовищем на виконавчому рівні поліпшуються завдяки зростанню рівня інвестицій. Мають місце конкуруючі точки зору на використання ландшафтного парку та конфігурації каналу, однак поточні плани регулярно переглядаються спільно з зацікавленими особами та органами. Спостерігається берегова ерозія із-за погодних явищ або кліматичних змін. Постійно вносяться коригувальні дії, необхідні при видобутку піску. Незаконний видобуток піску суворо заборонено. Витрати на охорону навколишнього середовища збільшилися.

3.3.4 Сценарій «Криза» (CR)

Відбулося загальне зниження чисельності населення на 30-40%, а рівень зайнятості знизився майже на 20% в цілому в регіоні. Інтенсифікація сільського господарства і тваринництва стрімко збільшилася, поряд з

безперервною вирубкою лісів, яка призвела до дуже високого рівня стічних вод. Високі рівні нерегульованих розвитку без побутових відходів або стічних вод з очисних споруд, не контролювалися раніш, безконтрольне і незаконне використання ландшафтного парку і високий рівень промислового забруднення навколишнього середовища також вносять значний внесок у різке зниження і погіршення якості води та екологічної обстановки, які призводять до евтрофікації.

Екосистемні послуги стрімко знижувалися із-за погіршення стану навколишнього середовища, що в подальшому вплинули на браконьєрство риби і мисливських тварин. Наприклад, кількість і число видів, для полювання і риболовлі дуже низькі, спостерігаються часті замори риби, а також зміни типу риби. Останні зміни погоди також були дотримані. Повна відсутність політики, планування та управління навколишнім середовищем на виконавчому рівнях, переважно з-за низьких інвестицій. Є також конкуруючі і нерозв'язні погляди на використання ландшафтного парку та конфігурації каналу, які без управління ситуацією усунути неможливо. Берегова ерозія та незаконний видобуток піску має також значний внесок у галузі екології та екологічного занепаду. Витрати на охорону навколишнього середовища знизилися.

3.4 SWOT і DPSIR аналізи

SWOT- аналіз зазвичай використовується для аналізу і діагностики стану навколишнього середовища з метою визначення принципів стратегічного екологічного підходу. Проста матриця, яка допомагає виявити сильні сторони (S) на ринку з погрозами (T), або слабкі сторони (W) з хорошими можливостями (O). Він може бути використаний для аналізу позиції збереження навколишнього середовища та управління порівняно з державною політикою, галузевих стратегій та/ або програм. Цей аналіз допомагає визначити середньо-довгострокову стратегію сталого розвитку в майбутньому.

Для SWOT аналізу спочатку заповнювалися табл. 3.1-3.4.

Таблиця 3.1 – Сильні сторони

Обставини	Пояснення	Просторові розміри	Часові розміри
Зручне географічне розташування	Тилігульський лиман розташовується на кордоні Одеської та Миколаївської обл.; багато людей використовують міжнародне шосе, щоб дістатися до курортів в цих областях	Увесь лиман	Безперервний, сильний тренд
Заповідник	Деякі лимани є природними територіями міжнародного, національного та регіонального значення	Увесь лиман	У середньостроковій перспективі, сильний тренд
Біорізноманіття	Багато видів наземної і водної флори і фауни, включаючи ті, які занесені в Червону книгу	Увесь лиман	Безперервний
Туристичний потенціал	Заходи відпочинку і зеленого туризму, у тому числі спорту (кайт-серфінг), ходьба, їзда на велосипеді, риболовля, вино-терапія. Первозданна природа	Спеціально локалізовані	Постійний, намітилася тенденція
Підсобне господарство	Узбережжя лиману з чорноземними ґрунтами зручні для невеликих селищ, фермерських господарств, а також підходить для відпочинку на вихідних та літніх канікулах	Узбережжя лиману за межами природоохоронних територій	Постійний, сильний тренд
Екологічний менеджмент	Лиман є головною складовою навколишньої природної системи і є частиною міжнародних, національних і регіональних екологічних коридорів.	Увесь лиман і водозбір	Безперервний, сильний тренд

Таблиця 3.2 – Погрози

Обставини	Пояснення	Просторові розміри	Часові розміри
Високий потенціал евтрофікації та підвищення солоності	Обмежений обмін з Чорного моря в зв'язку з неправильним функціонуванням каналу. Рівень води коливається у великому діапазоні, завдяки, зокрема, високим рівнем випаровування. Плюс гальмують обмін води в лагуні.	Увесь лиман	Безперервний, сильний тренд
Високий потенціал загибелі риби	На евтрофікованіє призводить до гіпоксії, аноксії і високої смертності риби. Збільшення мінералізації призводить до дефіциту прісної води риби.	Увесь лиман	Безперервний, сильний тренд
Прямого скидання господарсько-побутових вод	Неконтрольоване використання ресурсів прісної води; відсутність стічних вод та водопідготовки	Увесь лиман	Безперервний
Неузгоджена політика і законодавство	Законодавство є узгодженим і невиконуваним. Багато установи і органи влади неефективно керувати лагуни. Наприклад, велике питання - хто є власником і відповідальним за каналу, що з'єднує лагуну і море?	Увесь лиман	Безперервний
Система моніторингу і доступу до даних	Існуюча система моніторингу не дає правильну оцінку екологічних умов в лагуні. Дані збираються різними відомствами і знаходяться в обмеженому доступі	Увесь лиман і водозбір	У середньо-строковій перспективі, сильний тренд
Відсутність комплексного управління	Реалізація водної рамкової директиви в початковій стадії.	Увесь лиман і водозбір	Безперервний

Таблиця 3.3 – Слабкі сторони

Обставини	Пояснення	Просторові розміри	Часові розміри
Науково-дослідницька діяльність	Науково-дослідницька діяльність Тилігульського регіонального ландшафтного парку персонал, особливо в разі його трансформації в національний парк	Увесь лиман	Останнє десятиліття сильний тренд
Туризм	Тилігульський лиман - унікальна природна система з безліччю ресурсів, які можуть бути використані для соціально-економічного прогресу в сусідньому районі, в області відпочинку, зеленого туризму, охорони здоров'я, аквакультури і регульованої риболовлі.	Увесь лиман	Постійний, сильний тренд
Водна Рамкова Директива	Водна Рамкова Директива може допомогти в реалізації басейнового управління моделлю водозбору, планів управління річковими басейнами та програми для моніторингу стану води.	Увесь лиман і водозбір	Намітилася тенденція

Таблиця 3.4 – Можливості

Обставини	Пояснення	Просторові розміри	Часові розміри
Зміни клімату	Зміна клімату може викликати збільшення екстремальних явищ (сильного випаровування з-за спеки, ерозії через зливи і т.д.)	Увесь лиман	Довгострокові, середній тренд
Збиток природної цілісності	Природний ландшафт пошкоджений через будівництва котеджних селищ, розорювання, випас худоби тощо	Увесь лиман і прилеглі території	Довгострокові, середній тренд
Деградація навколишнього середовища	Немає припливу свіжої води в лагуну; засолення; обміління, сушіння переповнення землі в північній частині лагуни; зменшення площі для гніздування птахів і/або житла в коси і солоних озер.	Увесь лиман	Довгострокові, середній тренд

Просторові та часові розміри обставин можна виразити у числах від -2 до 2, що дозволяє згрупувати різні обставини у такі рисунки 3.3.

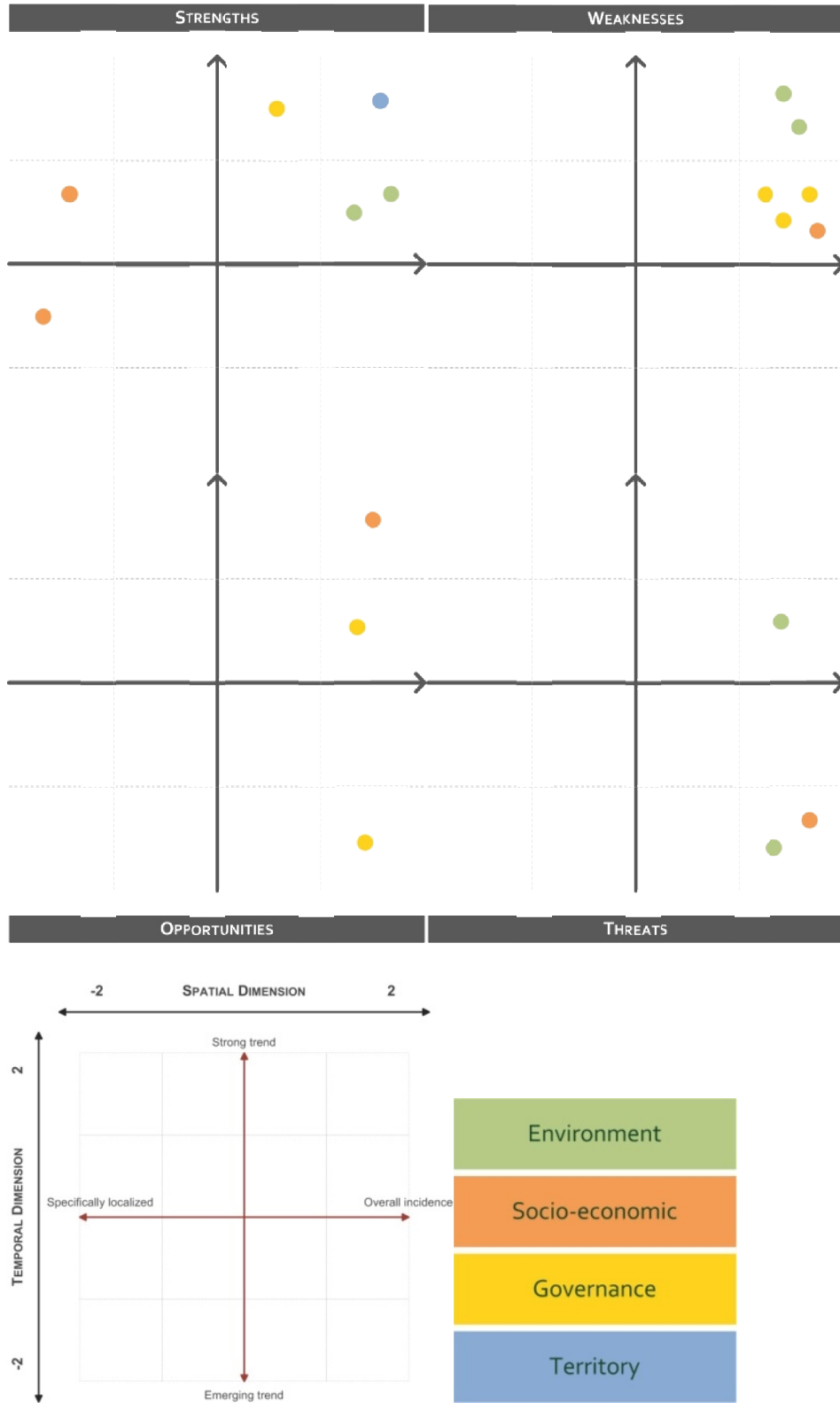


Рисунок 3.3 – Просторові та часові розміри обставин

Використовуючи інформацію від DPSIR (Driver (Збуджувач)–Pressure (Навантаження)–State (Стан)–Impact (Вплив) –Response (Відгук)) в рамках аналізу ми будемо сприяти розвитку наукової стратегії управління лиманом і науковою політикою зацікавленими сторонами. Розуміння комплексу відносин між рушійною силою на прибережних лиманах, їх впливу і реакції суспільства на них буде полегшуватися, взаємозв'язки між кожним з цих різних взаємодіючих компонентів, соціальних, економічних та екологічних питань будуть розглянуті. Зміни стану прибережних лагун під впливом антропогенної діяльності і кліматичних змін будуть аналізуватися і оцінюватися, а потенційні відповідні заходи будуть ідентифіковані і оцінені в рамках SWOT-підходу. Виявлення відповідних впливів для оцінки і вибору найбільш оптимальних показників вирішальне значення мають аспекти процесу оцінки впливу. Тому ми будемо вирішувати ці методологічні положення, віддаючи переваги більш активній участі населення, ніж для участі зацікавлених сторін.

Збуджувачі - це соціальні, демографічні та економічних зміни у суспільстві і відповідні зміни в способі життя, загальні рівні споживання і виробництва. Рушійні сили можуть виникати і діяти на глобальному, регіональному або місцевому рівні. Збуджувачі через функцію людської діяльності можуть вільно чи мимоволі чинити навантаження на навколишнє середовище. Навантаження залежить від типу і рівня техніки діяльності, і може відрізнятись в різних географічних регіонах і просторових масштабах.

Навантаження, яке чиниться товариством, може призвести до випадкової або навмисної зміни в стані екосистеми. Зазвичай ці небажані зміни розглядаються як негативні (псування, деградації, серед інших). Тиск, який чиниться на суспільство може надавати безпосередній вплив на екосистеми, такі як збір врожаю або днопоглиблювальні роботи, або може перевозитися і трансформованих через різні природні процеси опосередковано викликати зміни в умовах екосистем.

Зміни якості і функціонування екосистеми впливають на добробут людей шляхом надання екосистемних послуг. Цінність екосистемних послуг залежить від людських потреб і використання (напр., ринкової вартості). Люди приймають рішення у відповідь на вплив екосистемних послуг або на їх цінності. Прийняття рішень - процеси відбуваються в різних масштабах, від фізичних осіб до управління федеральним урядом.

Застосування DPSIR аналізу дозволило одержати таблицю 3.5

Таблиця 3.5 – DPSIR аналіз

Збуджувач	Навантаження	Стан	Вплив	Відгук
Екологія (незайманих)	Недостатня екологічна культура населення	Погіршення якості води	Зниження екосистемних послуг	ННW and WWT _поліпшення
Економічні та соціальні	Клімат-умовний зміни екстремальних погодних	Погіршення екологічного стану	Зниження рибалки	Управління водними ресурсами в водозбірний басейн
Низькі інвестиції	Повільно інтенсифікації сільського господарства та тваринництва управління	Відсутність транспорту вздовж лагуни узбережжя	Періодична риба та інші гідробіонти вбиває унаслідок недоліку кисню	Розвиток регулювання і контролю
Відсутність політики/планування	Сільськогосподарських стоків		Засолення лагуні	Забезпечення працездатності та контролю для каналу
Поганий/неправильної місцевої адміністрації ("м'якої" інфраструктури)	Дефіцит стоку за рахунок водогосподарської діяльності (ставки)		Зневоднення і засолення водно-болотних угідь у верхній частині лагуни	Розвивати аграрний сектор і рибальство керованим і сталим способом
Кліматичні зміни	Пескование канал з боковим видом на мор		Евтрофікації і цвітіння водоростей	Підтримувати як прибережні екологічного коридору
	Слабкий водообмін між південною та центральною частинах лагуни (промерзла коса)		Відсутність захисту навколишнього середовища / забезпечення	Високий кінець / сталого (ЕКО)туризму/відпочинку, наприклад. орнітологія та грязелікування
	Слабкий оновлення води в лагуні		Зміни в типі видів риб бачив	Екологічного управління і захисту
	нерегульований розвиток		Берегова ерозія	Краще і скоординованих міжрайонного регулювання
	Риболовля / браконьєрство		Незаконного видобутку піску	Збереження природного біорізноманіття

Продовження таблиці 3.5

	НН_відходів /WWT		Погіршення екології	
			Конкуруючі види на канал	
			Конкуруючі погляди на використання парку	
			Незаконне використання парку	

4.5 Заключний семінар

Загалом, в цьому семінарі взяли участь 24 учасники: представники неурядових організацій, місцевого та регіонального самоврядування, лісництв; екологи, рибалки та мисливці, фермери, науковці-дослідники, співробітники ландшафтного парку, гідрологи і т.д. Їм були запропоновані 4 сценарії розвитку Тилігульського лиману: Збалансоване природо-користування, Криза, Повернення до природи та Управління без змін.

Вони одногосно обрали сценарій «Збалансоване природо-користування». Цей якісний сценарій передбачає прямий непереривний ріст переваг для місцевого населення, розвиток всіх типових для регіону галузей економіки, включає в себе непрямі економічні та екологічні вигоди, в основному, через оцінку та режим сплачуваності використання природних ресурсів, через їх відновлення і збереження.

Також на даному семінарі учасниками були заповнені запропоновані анкети (Додаток А).

Результати семінару:

Проблеми розвитку сільського господарства в сучасних умовах природокористування

Основні фактори погіршення (включаючи аридизацію) чорноморських степів:

1. Нестійке сільське господарство
2. Порушення екологічних систем
3. Деградація біоценозів

Як наслідок:

- Ущільнення ґрунту
- Втрата вологи в ґрунті
- Розвиток ерозії
- "Оголення" ґрунту
- Втрата джерел і струмків
- Дестабілізація біоценозів
- Зміни біоти
- Руйнування характерного біорізноманіття

Перспективи розвитку сільського господарства в області раціонального природокористування

1. Повернутися до науково-обґрунтованої системи землеробства (обробка ґрунту на глибину орного шару, обов'язкової оранки ґрунту, періодичної (в 2 - 3 роки) глибокої оранки, оновлення тракторного парку,

проведення технічних заходів щодо збереження вологи в ґрунті на всі сезони)

2. Повернутися до впровадження системи сівозміни з обов'язковими посівами однорічних і багаторічних трав

3. Поновлення екологічних систем на схилових землях і прибережних (терасування, очищення водних шляхів і джерел, відновлення лісів і т.д.)

4. Впровадження адміністративних важелів, щоб забезпечити відновлення природного розмаїття (спільно з науковими організаціями, щоб зробити рекомендації ведення бізнесу в конкретних обставинах; систематичний моніторинг раціонального використання земель і т.д.)

5. Активне залучення зацікавлених сторін, місцевих жителів, молодих людей в збереженні і, при необхідності, відновленні унікального природного об'єкту.

6. Реструктуризація сільськогосподарських підприємств

7. Розрахунки економічної ефективності від числа сільськогосподарських тварин в певній галузі; розрахунки співвідношення дерев і трав'янистої рослинності

8. Облік і контроль втручання людини в природно-територіальні комплексів

Полювання та риболовля як відпочинок на Тилігульському лимані

Полювання та риболовля – це і спорт, і туризм і відпочинок на природі. Полювання та риболовля тісно пов'язані з іншими галузями економіки, зачіпають соціальні, економічні, правові та етичні питання.

Полювання та риболовля впливають на такі галузі економіки:

- Виробництво та продаж зброї та боєприпасів, знярядь лову;
- Виробництво та продаж спецодягу, спецвзуття, оптичних приладів, човнів, моторів та інших супутніх товарів;
- Продаж ліцензій на полювання;
- Послуги для мисливців та рибалок;
- Спеціалізовані періодичні видання та інші публікації;
- Спеціальні магазини.

На території України дозволяється комерційне, любительське і спортивне рибальство.

Рідкісні птахи (занесений до Червоної книги України) та інші види заборонені для полювання можуть бути застрелені випадково або навмисно. Щоб уникнути цього, слід імплементувати та виконати програму щодо реконструкції, захисту і суворого контролю за лиманом, а також зробити базу даних рідкісних тварин, рослин та інших видів, з їх видового складу та чисельності.

Менеджмент та Право

Тилігульському лиману надані різні статуси:

- водойма національного значення;
- охоронювана територія;
- водно-болотні угіддя міжнародного значення;
- ключова частина екологічної мережі;
- природний ресурс загальнодержавного значення і так далі.

Існує необхідність систематизувати статус Тилігульського лиману на законодавчому рівні;

У відповідності зі ст. 94 Водного кодексу України водойми, віднесені відповідно до закону до охоронюваних територій та об'єктів, охороняються і використовуються відповідно до вимог, встановлених Законом України «Про природно-заповідний фонд України». На цих водоймах заборонено будь-яку діяльність, яка суперечить їх цільовому призначенню.

Енергетика та Інфраструктура

Регіон розміщення Тилігульського лиману має ряд географічних факторів, сприятливих для будівництва вітряків, а саме:

- Стабільний режим вітрової енергії кожної пори року;
- Пласка топографія території;
- Лужні безплідні або граничні ґрунти.

Екологічна обстановка в регіоні Тилігульського лиману погана. Таким чином, виробництво електроенергії в регіоні має здійснюватися в основному за рахунок використання екологічно чистих джерел енергії (сонця та вітру).

Розвиток інфраструктури, особливо доріг, є вкрай необхідним.

Охорона природи лиману

Основними екологічними проблемами Тилігульського лиману є:

- Критичне погіршення якості води та її "цвітіння";
- Зниження родючості ґрунтів і руйнування берегів;
- Деградація пасовищ і сінокосів;
- Зниження біорізноманіття;
- Втрата риби і мисливських ресурсів;
- Скорочення рекреаційної привабливості;

Заходи для захисту і управління природними комплексами:

- Розмежування прибережних захисних смуг та водоохоронних зон;
- Розробка та прийняття проектів землеустрою з організації та розмежування територій та охоронюваних земель, Рамсарських угідь;
- Відвід цінних земельних ділянок для постійного використання природоохоронними органами;

- Розробка та затвердження проектів організації території, охорони, відтворення та рекреаційного використання природних комплексів та об'єктів регіональних ландшафтних парків;

- Рекультивация порушених природних територій;
- Розробка екологічної мережі басейну лиману.

Заходи з захисту навколишнього середовища та біологічного різноманіття:

- Інвентаризація ареалів рослин і тварин із Червоної книги;
- Проведення оцінки ресурсів представників дикої флори і фауни;
- Обмеження їх вилучення з природи;
- Заборона на полювання на охоронюваних територіях певних категорій;

- Реалізація програм, що стосуються відтворення деяких рідкісних видів рослин і тварин, і їх популяцій;

- Проведення освітньої діяльності;

Туризм

Перспективи розвитку спеціалізованого туризму та рекреаційної діяльності:

- дельтапланеризм та пара планеризм,
- кайтинг та кайт-серфінг, а також віндсерфінг,
- екологічний,
- освітній,
- фестивальний,
- винний,
- етнічний,
- оздоровлювальний,
- спортивний і т.д.;

Висновки

Було обрано сценарій «Збалансоване природокористування» з деякими доповненнями в основному відносно поступового переходу від типових для даного регіону галузей економіки (наприклад, сільського господарства та рибальства) до нетипових (альтернативних) (наприклад, енергетика, туризм, ІТ і т.д.). Люди незадоволені нераціональним використанням землі і непропорційним співвідношенням природи і розорюванням земель, в Одеській області вони складають приблизно 70%, що є дуже великим індексом навіть для України - 50% в середньому. Для порівняння, в ЄС вона становить 20%, в США - 16%;

1) необхідно терміново проводити днопоглиблювальні роботи та очищення дна для каналу "Лиман-море", також зупинити видобуток піску;

Крім того, бажано встановити шлюз в каналі і тримати його закритим протягом декількох тижнів під час дощів для змішування води лиману у всіх шарах і, таким чином, щоб зменшити солоність.

3) провести інвентаризацію (локалізацію) природних ресурсів, оцінку видів флори і фауни;

5) поліпшити деякі моменти законодавства;

6) систематизувати статус лиману на законодавчому рівні;

7) бажано об'єднати національний природний парк в Одеській і Миколаївській областях з єдиним управлінням, необхідно провести чітке зонування парку;

8) потрібен розвиток інфраструктури (доріг, в першу чергу);

9) доцільно розвивати всі види туризму: екологічний, освітній, фестивальний, винний, етнічний, оздоровлювальний, спортивний і т.д..;

10) в сільськогосподарському секторі регіону повинна бути проведена серія заходів:

- встановлення сівозміни,
- проведення більш ретельної оранки вже використовуваних територій, заборона оранки цілинних схилів,
- сільськогосподарські угіддя повинні враховувати крутизну схилів;
- заборона будь-яких сільськогосподарських робіт поблизу кромки води,
- суворий контроль кількості та якості добрив,
- запровадити державні субсидії для фермерів, які проводять еко-орієнтовану діяльність,
- покращити та осучаснити парк с/г машин і тракторів;
- сільське господарство має бути більш соціально орієнтованим, екологічно чистим і більш рентабельним;

11) необхідно збільшити штат органів охорони навколишнього середовища;

12) повинні здійснюватися комплексні програми, щоб уникнути вітрової та водної ерозії;

13) Розвиток альтернативних джерел енергії (вітру і сонця) заохочується;

14) Два сектора економіки: енергетика та рекреація / туризм мають стати провідними в регіоні;

15) Лікувальні грязі лиману є дуже цінними і вони мають бути захищені;

16) Існує велика потреба в висококваліфікованих спеціалістах.

4 ВПЛИВ МАЙБУТНІХ ЗМІН КЛІМАТУ ТА АНТРОПОГЕННОГО ЧИННИКА НА ГІДРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОЗБОРУ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

4.1 Модель SWIM

Гідроекологічна модель SWIM (Soil and Water Integrated Model) [52] розроблена на основі двох моделей: SWAT [53] і MATSALU [54]. Модель може застосовуватися для моделювання гідрологічних процесів, рослинного покриву, ерозії і поживних речовин в мезо-макро-масштабі у річкових басейнах з площею від 100 до 20000 км². Концептуальна діаграма SWIM представлена на рис. 4.1. Модель SWIM є напів-розподіленою гідроекологічною моделлю, яка містить математичні описи фізичних, біогеохімічних та гідрохімічних процесів, а також деякі концептуальні та напівемпіричні елементи [55].

SWIM має три рівня схеми розподілу: басейн–суббасейн–гідротоп. Як гідротопи розуміють набори блоків у межах одного суббасейну, що мають однакові землекористування та тип ґрунту. Передбачається, що ці гідротопи характеризуються єдиними процесами, які пов'язують гідрологію, рослинність і поживні речовини. Отже, спочатку зазначені процеси розраховуються на рівні гідротопу з кроком в одну добу, а потім вони об'єднуються на рівні суббасейну. Кліматичні параметри вважаються однорідними на рівні суббасейну і є зовнішніми параметрами для моделі SWIM.

Здатність моделі адекватно моделювати гідрологічні процеси, динаміку поживних речовин, урожайність та ерозію була ретельно протестована та підтверджена протягом останніх 15 років для багатьох річкових басейнів. SWIM все ще знаходиться у стадії розробки, тому що до моделі вводяться нові модулі (наприклад, модуль «льодовик»), інші модулі уточнюються з метою кращого моделювання процесів (наприклад, росту сільськогосподарських культур або динаміки водно-болотних угідь) і реалізації заходів управління водними ресурсами (наприклад, зрошення, наявності ставків чи водосховищ) відповідно до конкретного дослідження або конкретної тематичної характеристики. SWIM застосовувалась для декількох водозборів різних просторових розмірів в Німеччині, а потім і в інших європейських країнах, а також для річкових басейнів в Африці, Азії і

Південній Америці. Більшість результатів моделювання були задовільними [56].

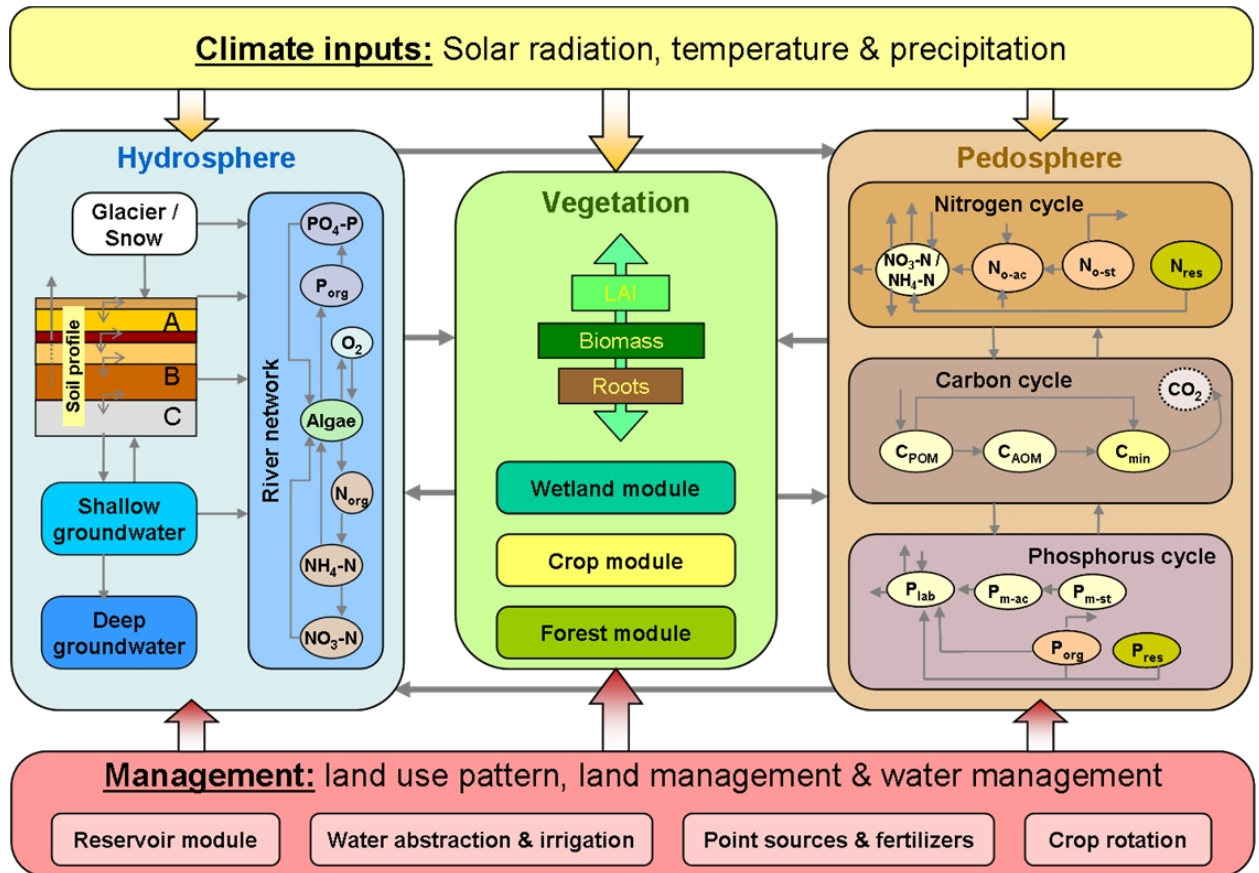


Рисунок 4.1 – Схема моделі SWIM, що ілюструє різні блоки моделі та зворотні зв'язки між процесами.

4.2 Гідрохімічні характеристики водозбору Тилігульського лиману за кліматичними сценаріями

Як було визначено у доповіді Міжурядової групи експертів зі змін клімату, моделювання стоку безпосередньо кліматичними моделями не може бути надійним, тому що порівняння стоків, які спостерігалися у 20 столітті, та результатів моделювання свідчить про неможливість моделей задовільно імітувати стік. Тому, зазвичай, для гідрологічних досліджень на масштабі водозбірної басейну використовуються кліматичних параметрів (наприклад, опади і температура), що надані в кліматичних моделях, як вхідні дані для гідрологічних моделей [57]. Через те, що горизонтальний крок сітки

глобальних кліматичних моделей занадто великий для регіональних гідроекологічних досліджень, для отримання надійних вихідних даних для гідрологічних моделей має бути виконана процедура «даунскейлінга», тобто підвищення деталізації великомасштабних процесів. Однією з найбільш поширених схем підвищення деталізації кліматичних даних від глобальних до масштабу водозбору є метод динамічного даунскейлінгу.

У цьому дослідженні для подальшого гідроекологічного моделювання на водозборі Тилігульського лиману використовувалися сценарні дані з проекту ENSEMBLES [58], моделювання в якому також здійснювалося за допомогою динамічного даунскейлінгу. Даний проект спрямований на прогнозування майбутнього клімату в Європі з використанням ансамблю регіональних кліматичних моделей. Такий мультмодельний підхід до моделювання призводить до поліпшення якості прогнозів, оскільки може бути оцінена невизначеність в моделюванні майбутнього клімату. В проекті ENSEMBLES набір регіональних кліматичних моделей (RCM) був запущений з використанням граничних умов, які були отримані в різних моделях загальної циркуляції (МЗЦА). Однак, не всі можливі комбінації RCM з МЗЦА були запущені у зв'язку з високими витратами часу на проведення модельних розрахунків.

У всіх моделях використовувався сценарій викидів A1B, який передбачає збільшення чисельності населення світу до 2050 року до 8,7 мільярдів і подальшим його зменшенням. Економіка, згідно з прогнозами, стане глобальною та буде орієнтована на збалансоване використання викопних і невикопних енергетичних ресурсів [59]. Для цього сценарію оцінка прогнозованого підвищення температури в глобальному масштабі до кінця 21 століття становить 2,8 °C з ймовірним діапазоном між 1,8 і 4,4 °C. Сценарій A1B може називатися проміжним щодо прогнозів підвищення температури та концентрації CO₂ в атмосфері.

Поєднання МЗЦА з RCM призвело до різних кліматичних сценаріїв. У цьому дослідженні з результатів моделювання усього ансамблю розглядаються тільки ті сценарії, горизонтальне розділення яких становить 25 км і в яких моделювання здійснювалося до 2100 року, тому що таке розділення краще підходить до масштабу водозбору Тилігульського лиману, що є дуже важливим для гідроекологічного моделювання на мезомасштабах.

Для моделі SWIM використовуються як вхідні наступні шість параметрів: добове мінімальне, максимальне і середнє значення температури повітря, опади, вологість повітря та сонячна радіація. Ці параметри інтерполювались з вузлів сітки RCM у центроїди суббасейнів Тилігульського лиману за допомогою методу інверсної відстані.

Оцінка якості відтворення гідрометеорологічної інформації різними регіональними кліматичними моделями з проекту ENSEMBLES для водозбору Тилігульського лиману показала, що найкращою є модель MPI_REMO [60].

Для аналізу змін клімату та виявлення їх впливу рекомендовано використовувати 30-річні кліматичні періоди. У цьому дослідженні періоди визначені таким чином:

- базовий період 1971-2000 рр. (p1);
- 1-й майбутній період: 2011-2040 рр. (p2);
- 2-й майбутній період: 2041-2070 рр. (p3);
- 3-й майбутній період: 2071-2098 рр. (p4).

Як вже визначалося вище, водозбірний басейн Тилігульського лиману охоплює площу близько 5240 км² з висотами від -6 до 254 м над рівнем моря (рис 4.2). З усієї загальної площі, 3550 км² басейну формують води річки Тилігул, яка тече з північного заходу і має довжину близько 170 км. Інші основні надходження води до Тилігульського лиману – це річки Балайчук (із заходу) і Царега (зі сходу).



Рисунок 4.2 – Водозбір Тилігульського лиману з межами основних суббасейнів (пронумеровані), річками та водотоками

Більша частина річного об'єму річкового стоку в цьому регіоні формується весняним паводком, а у серпні майже всі річки частково або повністю пересихають [61]. Взагалі, це є достатньо звичайним явищем, коли наприкінці літа річки цього району стають маловодними і, в більшості випадків, тривалість «нульового» стоку зростає із збільшенням забору води. Значна частина води витрачається вздовж річки на випаровування та інфільтрацію і не може бути компенсована стоком, який формується у верхній частині басейну [62, 63].

Вимірювання річкового стоку в межах водозбірного басейну Тилігульського лиману доступні для двох гідрологічних постів: Новоукраїнка – у верхній течії (тільки період 1984-1988 рр.) і Березівка – безпосередньо перед впадінням річки у лиман (періоди 1984-1988 і 1998-2007 рр.). Дані цих постів також підтверджують типовий сезонний гідрологічний режим річки, який описано вище. У той час як позитивні значення витрат завжди вимірюються у верхній частині р.Тилігул, нижній її частині притаманні тривалі протягом року періоди часу без проточної води (рисунок 4.3).

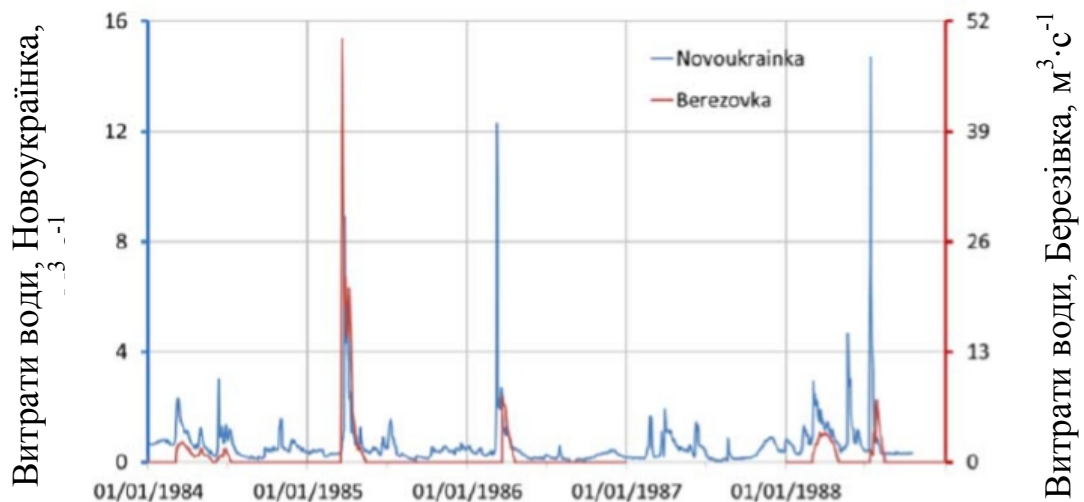


Рисунок 4.3 – Аналіз даних спостережень витрат води на двох гідрологічних постах протягом 1984-1988 рр.

Водозбір Тилігульського лиману у моделі SWIM було розділено на 175 суббасейни. Треба відзначити, що щільність метеорологічних станцій з наявними кліматичними вимірюваннями для водозбору Тилігульського лиману є дуже низькою (4 кліматичних станції та дві станції з даними по опадам) і жодна з них не розташована в межах водозбору гідрологічного поста Березівка. Крім того, аналіз наявних реальних даних показав дуже

слабку відповідність між вимірними опадами на станціях по всьому басейну річки і тими, що спостерігалися безпосередньо на річці Тилігул.

Рисунок 4.4 характеризує усереднений для всього басейну розподіл середньомісячної температури та опадів. У зимові місяці значення температури є нижчими 0 °С і мають місце помірні опади, а літні місяці характеризуються середньою температурою вище 20 °С і більшою кількістю опадів. В середньому, річна кількість опадів сягає 515 мм, а середня температура становить 9,7 °С.

Для створення моделі SWIM необхідні дві додаткові карти з просторовою інформацією про розподіл категорій землекористування та типів ґрунтів (рис. 4.5).

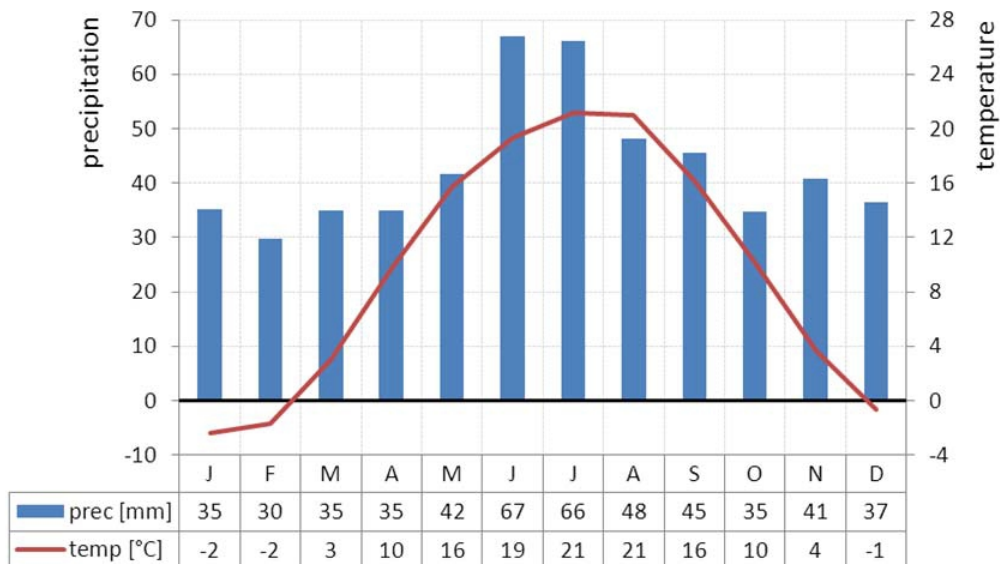


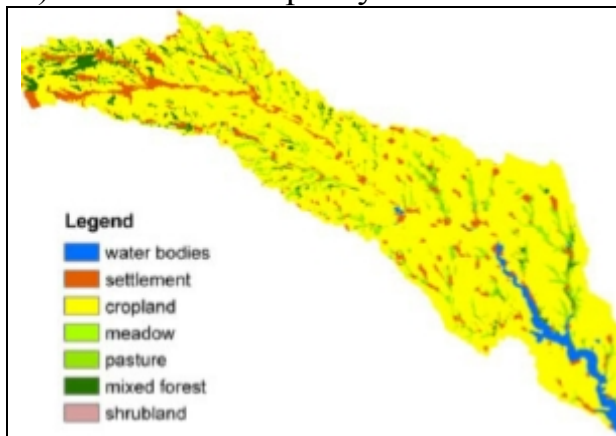
Рисунок 4.4 – Середні температури та опади для басейну Тилігульського лиману за період 1979-2009 рр.

Карта землекористування показує високий відсоток сільськогосподарських угідь (89%), що також підтверджує значення, наведені у [63]. Лише невелика частина басейну покрита лісами (4%), а луки займають тільки 7% площі дослідження. Достатньо висока частка водозбору використовується як поселення. Беручи до уваги економічні та соціальні умови в сільській місцевості, передбачалося, що ця частка водозбору використовується більше як пасовища і сади з високою втратою води на інфільтрацію та випаровування, ніж у містах, для яких притаманна значна часткою води, що не проникає до ґрунтового покриву. Більшість поселень є селищами та рекреаційними зонами з високою часткою садів. Тому для

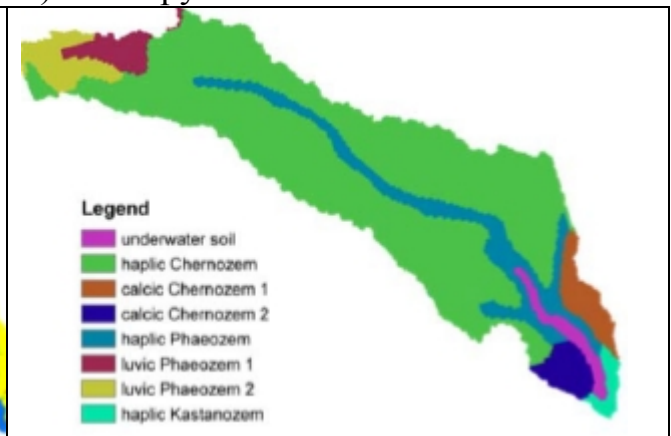
моделювання ці райони на карті землекористування були визначені як пасовища.

Водозбір Тилігульського лиману характеризується дуже родючими ґрунтами. Чорноземи (77% від загальної площі водозбору), а також фаеземи (19%) належать до найбільш продуктивних типів ґрунтів в світі з поверхневим шаром, який є багатим на перегній та доступні іони кальцію у частинках ґрунту, внаслідок чого має дуже добру агрегатну структуру. Поверхневі шари чорноземну можуть бути товщиною за два метри, з вмістом гумусу до 16% (<http://www.britannica.com>). У той час як чорноземи зустрічаються в регіонах з річною кількістю опадів 450-600 мм, вилугувані й опідзолені чорноземи зазвичай знаходяться в областях з більш за 550 мм опадів на рік. Відповідно, природною рослинністю, найбільш поширеною на чорноземних пасовищах, є степова рослинність, а на вилугуваних й опідзолених чорноземах – ліси. Цей зв'язок ґрунту, клімату і рослинності також простежується в районі Тилігульського лиману.

а) класи землекористування



б) типи ґрунтів



Категорії землекористування	(%)	Типи ґрунту	(%)
вода	3,0	підводний ґрунт	2,4
поселення	7,1	чорноземи світло-каштанові	70,2
оброблювані землі	79,6	чорноземи кальцієві	6,5
пасовища, широке використання (луки)	0,03	вилугувані й опідзолені чорноземи світло-каштановий	11,6
пасовища, інтенсивне використання (пасовища)	6,7	вилугувані й опідзолені чорноземи	9,2
Мішані ліси	3,5		
чагарники	0,03		

Рисунок 4.5 – Просторовий розподіл класів землекористування (а) і ґрунту (б) водозбору Тилігульського лиману

Під час налаштування моделі SWIM просторова інформація із суббасейну про розподіл і структуру землекористування та тип ґрунту співставляється для того, щоб сформувати карту гідротопів. Гідротопи є найменшими просторовими одиницями в SWIM-моделюванні і визначаються

як набори одиниць у межах одного суббасейна з однаковим землекористуванням та типом ґрунтів. Передбачається, що гідрологічний режим, режим поживних речовин і процеси рослинності в одному гідротопі є незмінними. Водозбір Тилігульського лиману було розмежовано на 920 гідротопів.

Після калібрування та валідації моделі SWIM стосовно річкового стоку і якості води в басейні Тилігульського лиману, була виконана оцінка впливу змін клімату на зазначені характеристики. Рисунок 4.6 показує довгострокові середньодобові витрати води для трьох сценарних періодів (верхні графіки), а також сезонні відмінності у загальних витратах води, що надходить до Тилігульського лиману, за трьома прогностичними сценарними періодами відносно базисного періоду, які моделювались за набором кліматичних сценаріїв проекту ENSEMBLES. Середні значення 14 кліматичних сценаріїв показані для трьох майбутніх сценарних періодів в порівнянні з середніми модельними значеннями для базового періоду 1971-2000 рр. До графіків також включені інтервали невизначеності та 90 і 10 перцентилі для всіх результатів, що наводяться у наборі кліматичних сценаріїв проекту ENSEMBLES.

Аналіз змін опадів за всіма 15 ансамблями кліматичних сценаріїв, розрахованих для водозбору Тилігульського лиману (табл. 4.1), не дозволяє визначити якісь чіткі тенденції для майбутніх опадів. Тим не менш, середнє збільшення опадів, як наслідок змін клімату, в усіх сценаріях є невеликим у період р3, а в періоди р2 і р4 опади трохи зменшуватимуться. В результаті, середні витрати води, змодельовані за цими кліматичними сценаріями, зростають у січні-лютому, зменшуються в березні-квітні та залишаються без істотних змін протягом решти місяців. Скоріше за все, максимуми навесні повинні зменшуватися в майбутньому через підвищення температури і зменшення кількості снігу. Це супроводжується більш високими зимовими витратами води, ніж у базовий період, за рахунок більших опадів у вигляді дощу в теплий час зимових місяців. У літні місяці залишатимуться тривалі періоди з невеликими витратами води, як це спостерігається й у теперішній час.

Не слід забувати, що оцінка впливу клімату була виконана за допомогою каліброваної моделі SWIM з включенням усіх заходів водогосподарського управління. Вплив водосховищ та ставків може перешкодити наслідкам зміни клімату, тому що частина води в літні місяці витрачається на заповнення ставків.

Найвищу невизначеність в сценарних розрахунках можна побачити під час зимових та весняних періодів з деяким збільшенням загальної

невизначеності до кінця сторіччя. Максимальні щомісячні від'ємні зміни спостерігатимуться в березні і квітні (близько $-2 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$), максимальні додатні зміни можна побачити в січні і лютому з сумами близько $1 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

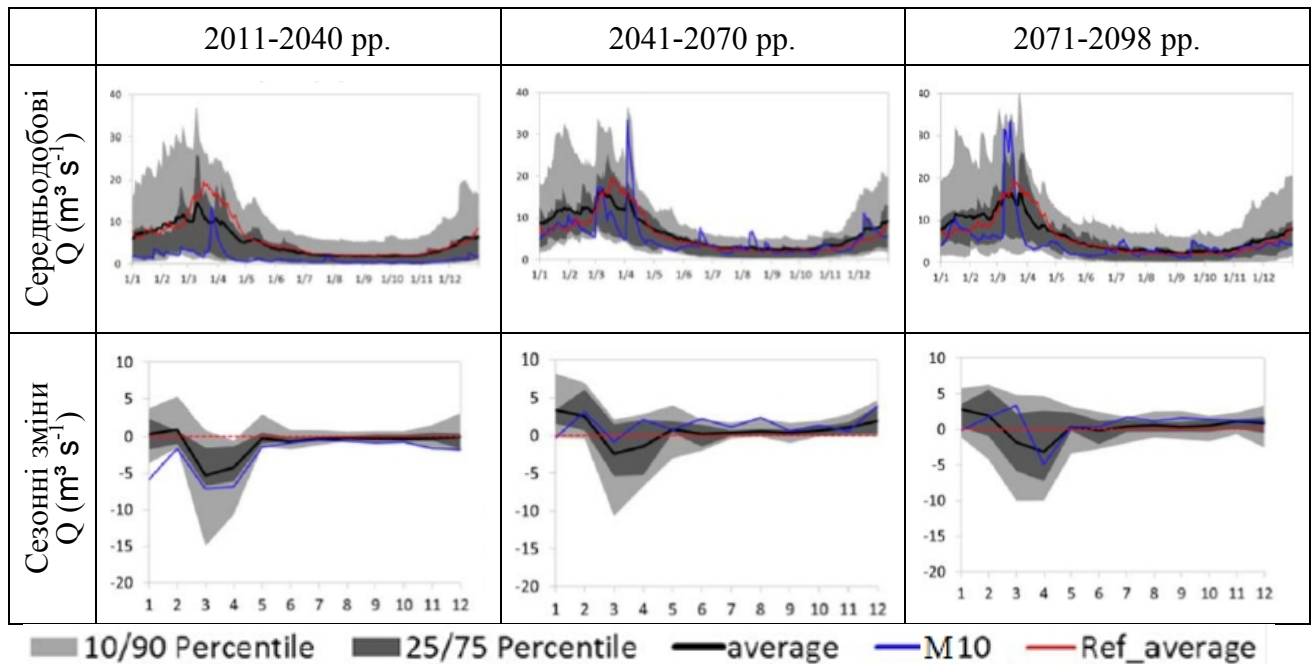


Рисунок 4.6 – Середні витрати води, що надходить до Тилігульського лиману, усереднені за результатами моделювання 14 кліматичних сценаріїв ENSEMBLES (за винятком сценарію M8): довгострокові середньодобові витрати води порівняно з середньодобовими модельованими в базовому періоді і абсолютні відмінності у середньомісячному стоці для трьох майбутніх періодів відносно базового періоду 1971-2000 pp.

Таблиця 4.1 – Річні прояви зміни клімату для середнього за ансамблем з 15 сценаріїв та «найкращого» сценарію (M10)

	Середньомісячна різниця (модуль) температури, °C			Середньомісячна різниця (модуль) кількості опадів, %		
	p2 – p1	p3 – p1	p4 – p1	p2 – p1	p3 – p1	p4 – p1
середнє	+1.2	+2.4	+3.5	-1.5	+0.8	-4.1
M10	+1.1	+2.0	+3.4	-8.7	+2.0	-3.2

Результати моделювання для «найкращого» сценарію M10 істотно відрізняються від середніх за ансамблем кліматичних сценаріїв результатів. Протягом перших шести місяців віртуального року періодів p1, p2 і p3, результати SWIM для M10 показують більш низькі рівні, ніж результати в

середньому для всіх сценаріїв, але з кількома високими піками. Тенденції сезонних змін для M10 відповідають сигналам зміни клімату для опадів, розрахованих за даним сценарієм, при загальній оцінці сценаріїв.

Під час оцінки кліматичних змін також було проаналізовано їх вплив на зміни якості води. Рисунок 4.7 показує сезонні зміни середньомісячної температури води і концентрації розчиненого у воді кисню для трьох майбутніх періодів відносно базового періоду 1971-2000 рр. Модельні розрахунки були усереднені протягом 30 років і представлені невизначеності, які описують неоднорідність моделювання ансамблю з 15 сценаріїв. Є очевидними тренди щодо підвищення температури води і зменшення розчиненого кисню для пізніших періодів.

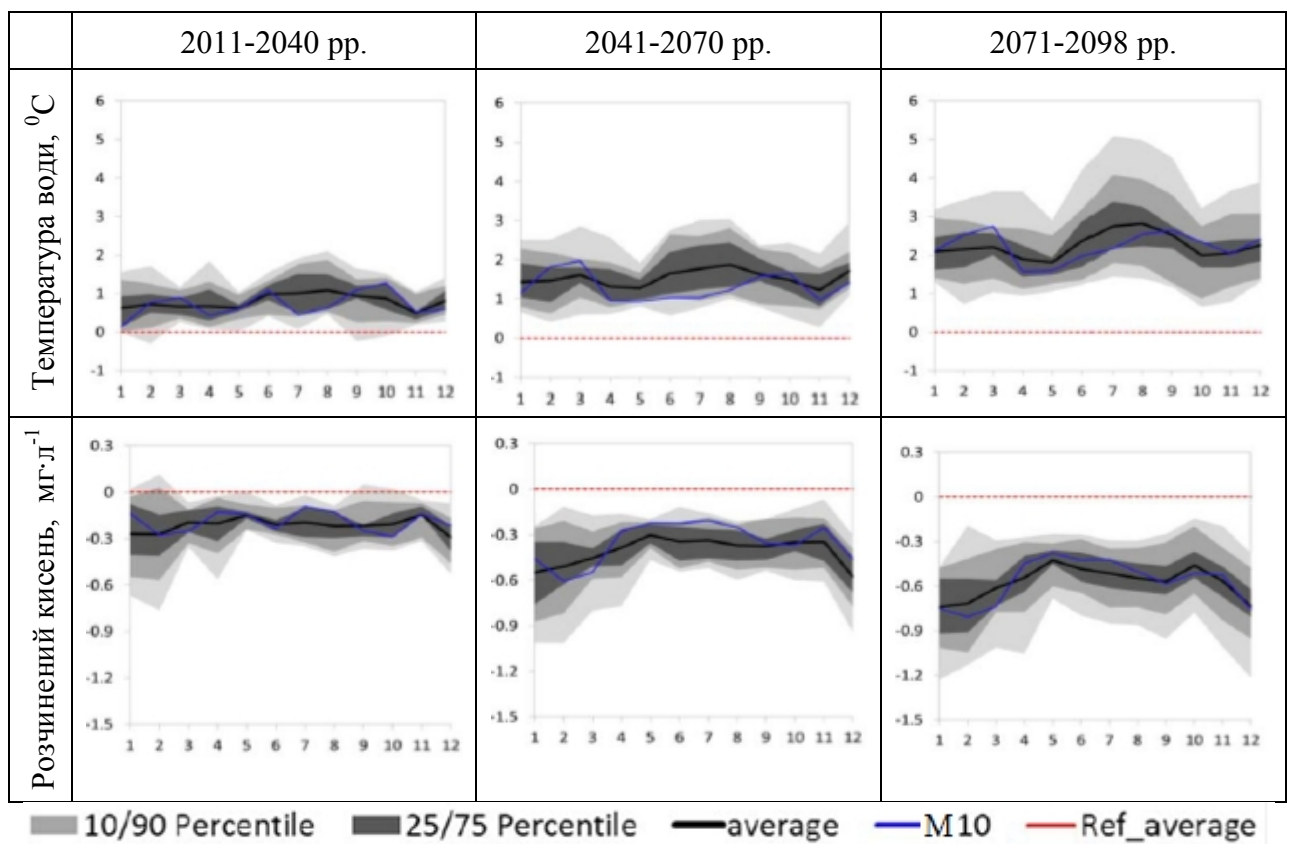


Рисунок 4.7 – Середні сезонні зміни температури води та концентрації розчиненого кисню в річках, що впадають до Тилігульського лиману для ансамблю з 15 різних сценаріїв зміни клімату. Місячні значення розраховані як різниця між середніми значеннями за місяць одного з майбутніх періодів порівняно з аналогічним середнім за базовий період 1971-2000 рр.

Тенденції для обох цих параметрів можуть бути чітко пов'язані з прогнозованими змінами середньої температури в області дослідження. Концентрації розчиненого кисню в річковій воді розраховуються за

допомогою концентрації насичення, що є функцією температури води. Для «найкращого» сценарію M10 зміни середнього значення є такими ж, що й для усього ансамблю моделей у середньому, і майже завжди знаходяться в межах діапазону 25 і 75 процентилей. Взагалі ж, невизначеність зростає до кінця століття у зв'язку зі збільшенням різноманітності сценарних параметрів клімату у майбутньому.

Клімат впливає на сумарне надходження до лиману всіх біогенних речовин так само, як і на витрати води. Рисунок 4.8 показує сезонні зміни надходження нітратного азоту, амонійного азоту та фосфатів для всіх трьох майбутніх періодів. Зниження виявлено в період танення снігу, в той час як невелике збільшення спостерігається для двох перших зимових місяців року. Для решти місяців, з травня по грудень, майже ніяких змін в надходженні біогенних речовин в середньому не реєструється. Для періоду p2 (2041-2070 pp.) із загальним прогнозованим збільшенням опадів, кількість надходження біогенних речовин вища, ніж у базовий період.

Взагалі ж, біогенні речовини поводяться подібно до витрат води. Частково це є результатом впливу ставок, що враховані у моделі. Вони простежуються не тільки як накопичувачі води, але й як накопичувачі біогенних речовин, які надходять з водою. Тому, ці речовини можуть досягти лиману тільки з тією водою, яка дійшла до гирла річки.

Проекції майбутнього клімату, які отримані за сценаріями проекту ENSEMBLES, є дуже різноманітними в басейні Тилігульського лиману. У той час, як можна очікувати тенденцію зростання температури в басейні, що прогнозується за всіма 15 сценаріями, в майбутніх тенденціях опадів не простежується якась загальна закономірність. Кількість опадів у періоди p2 і p4 зменшується, тоді як у період p3 опади трохи збільшуються (див. табл. 4.1).

На рис. 4.9 узагальнені ефекти впливу змін клімату на кількість та якість води, яка надходить до Тилігульського лиману з водозбору. Простежуються два різні режими:

а) температура води і розчинений кисень чітко пов'язані з температурою повітря в області дослідження. Підвищення температури повітря призводить до збільшення температури води і супроводжується зменшенням концентрації розчиненого кисню в річкових водах. Ці тенденції зростають з часом, від періоду p2 до p4;

б) річковий стік, а також надходження поживних речовин, знизяться в найближчому майбутньому (p2), після чого збільшаться протягом двох останніх періодів (p3 та p4), з трохи більш високим зростанням у p3, ніж у p4. Це пов'язано з впливом води, яка затримується ставками та водосховищами.

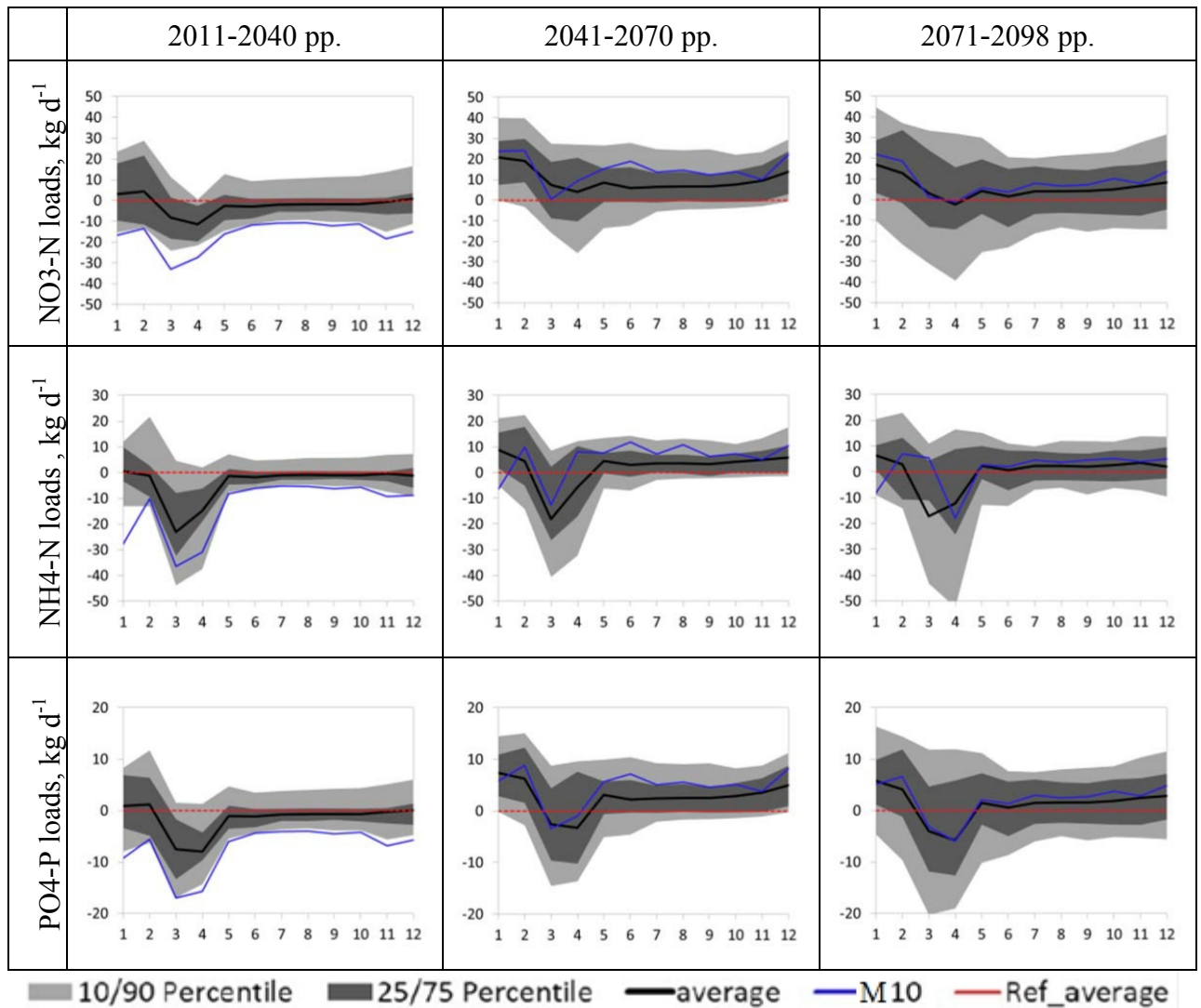


Рисунок 4.8 – Вплив змін клімату на сезонні суми надходження всіх поживних речовин у Тилігульський лиман як середнє з 14 різних сценаріїв змін клімату (виключаючи сценарій M8)

Цікаво й те, що відгук стоку на зміни клімату не є однозначним і безпосередньо пов'язаний з середніми опадами, розрахованими за 15 сценаріями. Для періоду p2 характерним є зменшення середньої кількості опадів, що супроводжується зменшенням стоку. Протилежне можна побачити для p3, але для p4 є очевидним зменшення кількості опадів у порівнянні з базисним періодом, що, проте, призводить до збільшення середнього стоку.

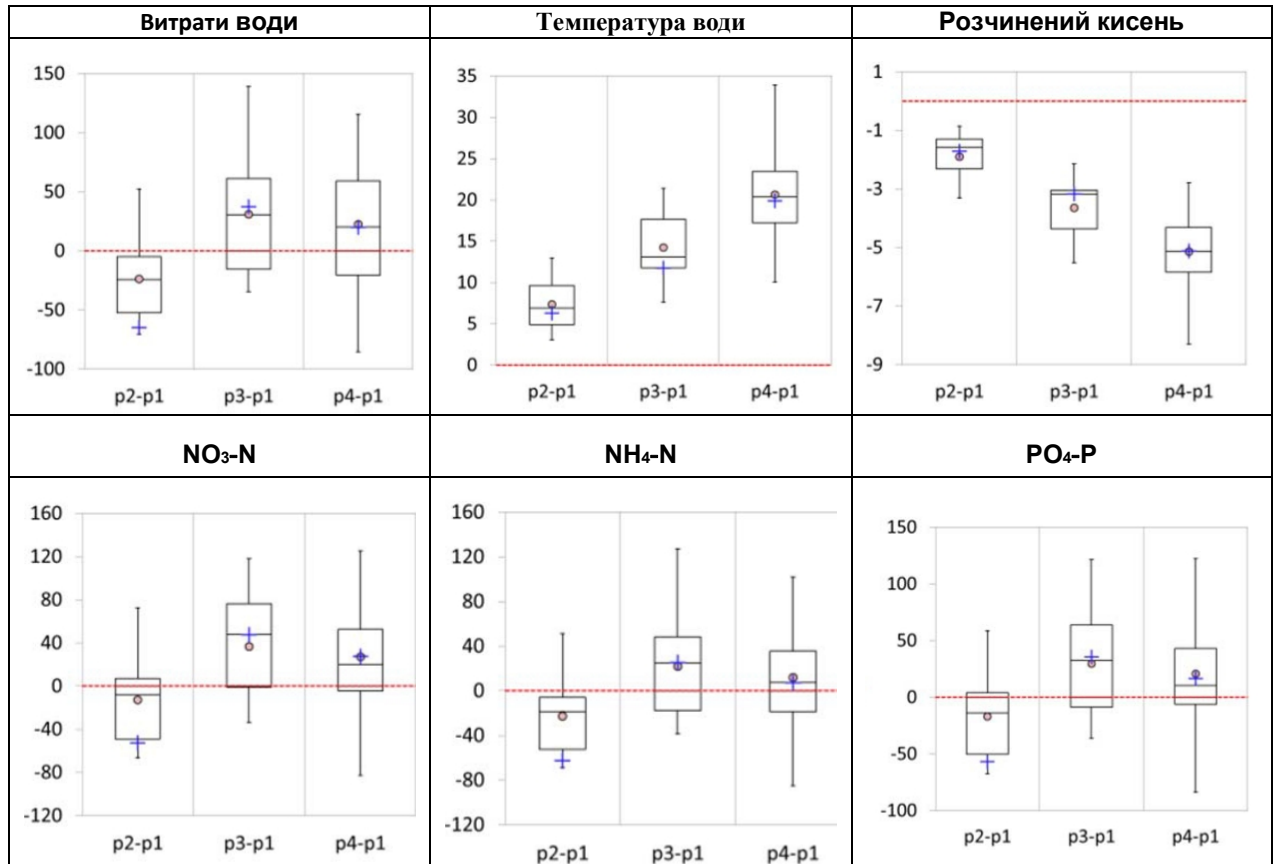


Рисунок 4.9 – Вплив змін клімату на надходження води та біогенних речовин до Тилігульського лиману за 15 моделями проекту ENSEMBLES. Приведені мінімальні, максимальні, медіанні і середні (точки) значення, а також значення 25 % та 75 % центилей

4.3 Гідрохімічні характеристики водозбору Тилігульського лиману за різними сценаріями майбутнього соціально-економічного розвитку

Насамперед, описані у розділі 3 соціально-економічні сценарії були перетворені у зміни відносно базового періоду. Ці зміни виявляються як зміни у землекористуванні та управлінні водним господарством [98]. Зокрема (рис. 4.10):

1) для сценарію ВАУ землекористування залишилося незмінним, але за рахунок зменшення населення зменшується й відбір води для потреб населення та викиди біогенних речовин (табл. 4.2);

2) для сценарію CRI спостерігатиметься зменшення вдвічі площі землі під лісами за рахунок перетворення їх у луки поблизу поселень;

3) для сценарію МН запроваджується «екологічний коридор» вздовж річки Тилігул. Формально, цей коридор вже існує і сільськогосподарські роботи у його межах заборонені, але фактично вимоги закону ігноруються більшістю населення. Якщо коридор буде встановлено, це призведе до перетворення сільськогосподарських угідь у пасовища або луки. Також на півночі водозбору за рахунок перетворення сільськогосподарських угідь у ліси, частка останніх збільшиться на 10 відсотків.

4) для сценарію SET сільськогосподарські землі у середині екологічного коридору перетворюються в луки і, додатково, частина цих земель на півночі водозбору перетворюється у ліси.

Зміни в управлінні водним господарством [98] стосуються змін у відборі води населенням з річок, а також зменшенні кількості існуючих водосховищ та ставків (див. табл. 4.2).

За рахунок зазначених змін у земле- та водокористуванні у басейні Тилігульського лиману відбулися деякі зміни у середньому річному стоці на водозборі. На фоні загального зменшення витрат річкового стоку, у період р1 порівняно з базовим періодом, за рахунок, насамперед, водогосподарської діяльності (зменшення кількості ставків) трохи збільшився стік води для сценаріїв МН і SET (збільшення на 7%) (рис. 4.11). Тобто відбір води та наявність ставків впливають на надходження свіжої води у Тилігульський лиман, хоча й не так суттєво, як кліматичні зміни (зменшення на 60%) [98].

Рисунок 4.12 показує, як на надходження різних поживних речовин впливають зміни клімату та різні сценарії соціально-економічного розвитку.

Насамперед, як це визначалося у п.4.2, за рахунок зменшення стоку зменшується й надходження біогенних речовин, що можна побачити, порівнюючи період р1 з базовим періодом на рис. 4.12. Ця тенденція до зниження посилюється за рахунок майбутніх соціально-економічних змін, які діють у тому ж напрямку (праві верхні і нижні графіки) [98].

Таблиця 4.2 – Відносні зміни земле- та водокористування за різними сценаріями соціально-економічного розвитку

Зміни, %	Сценарії			
	BAU	CRI	МН	SET
Викиди біогенних речовин	-8	-20	-50	-35
Добрива мінеральні	-	-50	+500	+20
Добрива органічні	-	+10	+10	-10
Відбір води	-8	-30	-	-15
Ставки	-	-	-50	-75

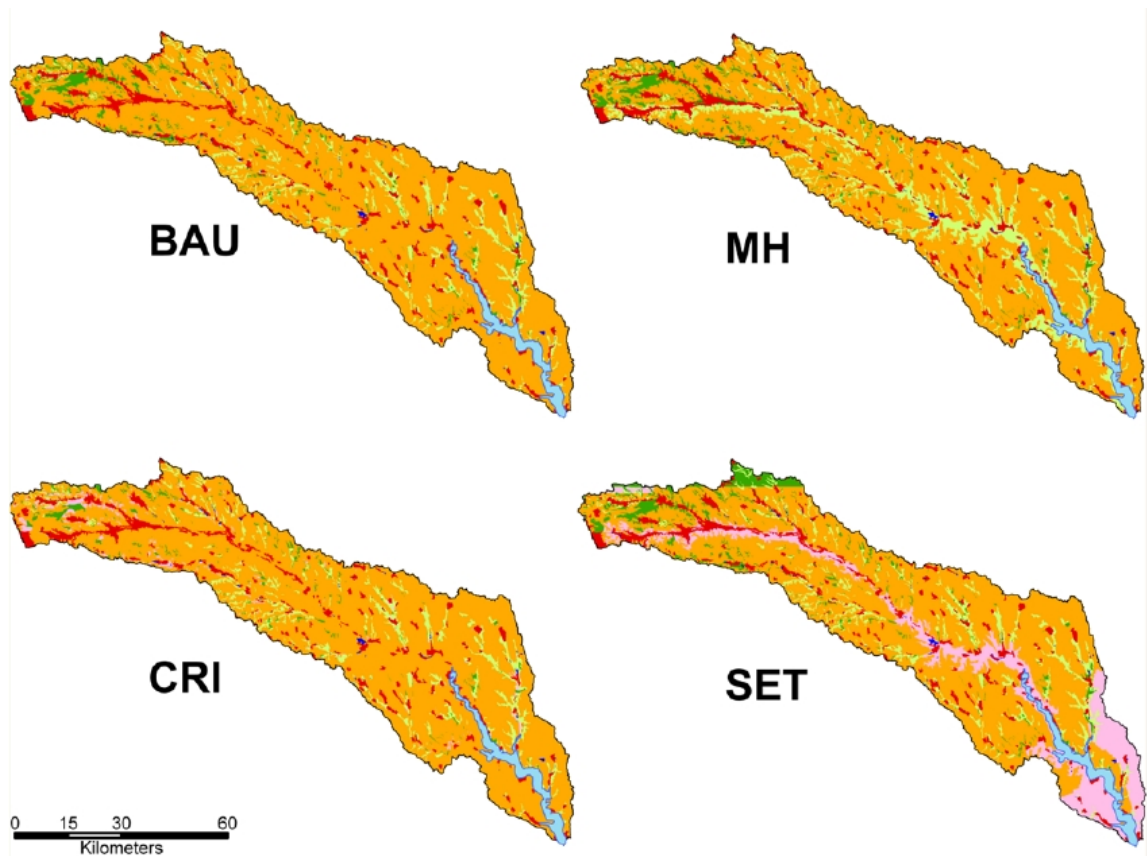


Рисунок 4.10 – Просторовий розподіл класів землекористування (позначення як на рис. 4.5) для водозбору Тилігульського лиману за різними сценаріями соціально-економічного розвитку.

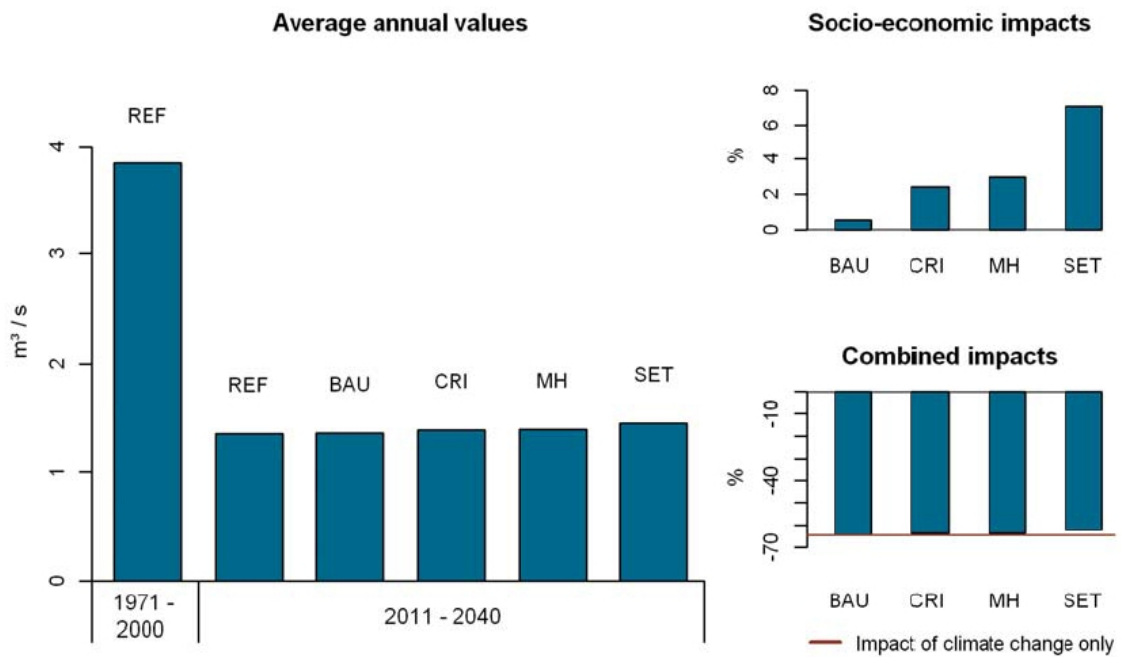


Рисунок 4.11 – Вплив на середні добові витрати води змін клімату та земле- і водокористування у майбутньому періоді р1.

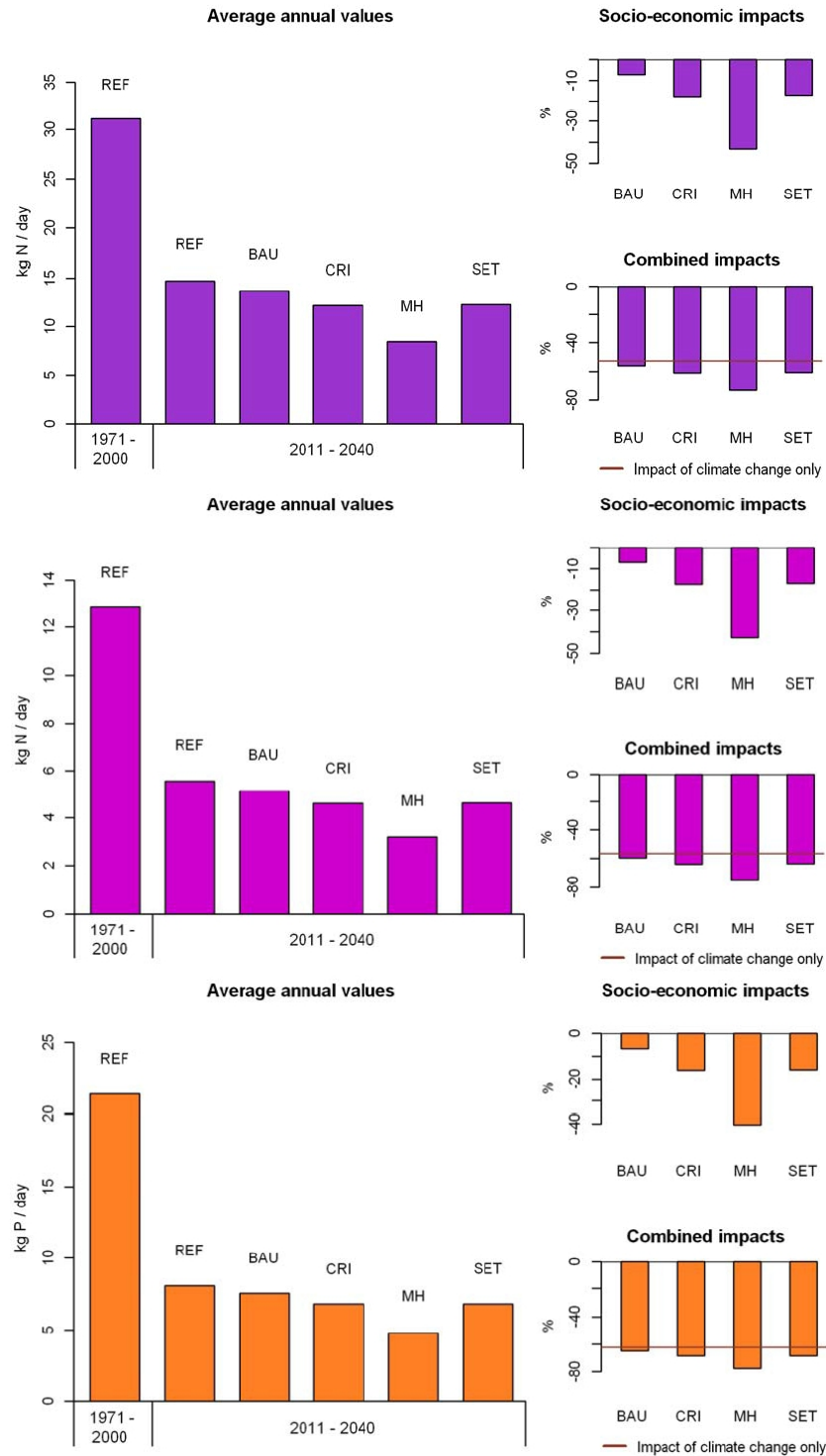


Рисунок 4.12 – Вплив змін клімату та земле- і водокористування у майбутньому періоді р1 на надходження до Тилігульського лиману нітратного азоту (зверху), амонійного азоту (у середині) та фосфатів (знизу)

Найбільше зменшення $\text{NO}_3\text{-N}$ (-43%) досягається для сценарію МН за рахунок скорочення викидів біогенних речовин у населених пунктах на 50% . Хоча передбачається, що кількість мінеральних добрив в сценарії МН в п'ять разів вища, ніж за стандартних умов, використана кількість добрив, як і

раніше, була низькою і не може помітно збільшити дифузійне забруднення сільськогосподарських угідь азотними мінеральними сполуками. Загалом, схоже, що зменшення вмісту біогенних речовин у викидах населених пунктів є найбільш важливим заходом для зниження надходження нітратного азоту до річки і, як наслідок, до Тилігульського лиману. Відносні зміни $\text{NO}_3\text{-N}$ за рахунок земле- та водокористування (-7% в ВАУ, -18% в СRI, -43% в МН та -17% в SET) добре узгоджуються зі змінами викидів біогенних речовин у населених пунктах (-8% , -20% , -50% і -35% відповідно, див. табл. 4.2), окрім сценарію SET. В останньому випадку збільшення сумарного надходження води до лиману, як очікується, повинне бути викликане скороченням загальної кількості ставків у басейні [98].

Аналіз змін амонійного азоту та фосфатів показує їх схожість до наведеного вище – найбільші зміни за рахунок земле-та водокористування відбудуться для сценарію МН, а найменші для сценарію ВАУ [98].

5 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РЕГІОНАЛЬНОЇ КЛІМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПРОГНОЗУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В МЕЖАХ ВОДОЗБОРУ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

5.1 Сценарії майбутніх змін клімату Землі

Зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальної середньої температури, яке спостерігалось у 20 столітті, здебільшого спричинено зростанням концентрацій антропогенних парникових газів. Щоб визначити причини змін клімату, які мали місце, а також оцінити майбутні можливі зміни, було реалізовано безпрецедентний за своїми масштабами та кількістю учасників модельний проект: дослідниками з 11 країн було виконано чисельні інтегрування з 23 складними фізико-математичними моделями загальної циркуляції атмосфери та океану. Під час експерименту розраховувався клімат 20 століття при заданих, відповідних до спостережених, концентраціях парникових газів, а також клімат для різних сценаріїв, які наведені у Спеціальній доповіді зі сценаріїв викидів (СДСВ). Все це дозволило просунутися в уточненні та підвищенні достовірності оцінок майбутніх змін клімату, а також оцінити імовірнісні розподіли характеристик клімату для кожного зі сценаріїв [66].

Робочою групою Міжнародної групи експертів зі змін клімату були розроблені чотири основних описових сюжетних лінії для послідовного викладення зв'язків між визначальними факторами викидів та їх розвитком. Кожна сюжетна лінія зображує різні демографічні, соціальні, економічні, технологічні та екологічні події.

Сценарії містять широкий перелік основних демографічних, економічних та технологічних визначальних факторів для парникових газів (ПГ). Кожний сценарій являє собою конкретне кількісне тлумачення однієї з чотирьох сюжетних ліній. Усі сценарії, що ґрунтуються на одній сюжетній лінії, являють собою сценарну «родину». Треба відзначити, що сценарії не містять додаткові ініціативи у галузі клімату, тобто не має сценарію, який би припускав здійснення Рамочної конвенції ООН про зміни клімату або Кіотського протоколу. В той же час, на викиди ПГ безпосередньо впливає політика у галузі некліматичних змін, спрямована на досягнення інших цілей.

До того ж, урядова політика може у різній мірі впливати на фактори викиду ПГ, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забруднення. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

Для кожної сюжетної лінії було розроблено декілька різних сценаріїв з використанням різних концепцій моделювання з метою розглядання низки результатів, пов'язаних з моделями, що використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів. Усі невизначеності, які виникають при реалізації моделей, можна поділити на дві групи. Перша є наслідком різниць реалізацій самих моделей, а друга визначається різними факторами у сценаріях, зокрема демографічними, соціально-економічними та технологічними умовами, про які йде мова у сюжетних лініях. Однією з переваг багатомодельного підходу є те, що підсумкові 40 сценаріїв СДСВ у своїй сукупності охоплюють весь існуючий діапазон невизначеностей стосовно майбутніх викидів ПГ. Тринадцять з цих сорока сценаріїв розглядають зміни, пов'язані з припущеннями стосовно енергетичних технологій.

У межах кожної групи і родини «HS» позначає сценарії з узгодженими припущеннями щодо розвитку загального населення та сукупного національного продукту, а «OS» – сценарії, в яких розглядаються невизначеності стосовно визначальних факторів [66].

Взагалі, є шість сценарних груп (рис. 5.1), які слід вважати у рівній мірі обґрунтованими і які охоплюють широке коло невизначеностей. Вони містять чотири комбінації демографічних змін, соціально-економічного розвитку та технологічних подій, які відповідають чотирьом родинам (A1, A2, B1, B2).

У цілому, кожна сюжетна лінія передбачає зовсім інший напрямок розвитку майбутніх подій, у результаті чого чотири сюжетні лінії суттєво відрізняються. Разом вони надають опис різноманітних варіантів майбутнього, які охоплюють значну частку основних невизначеностей у визначальних факторах. Вони також освітлюють широкий діапазон ключових «майбутніх» характеристик, зокрема демографічні зміни, економічний розвиток та технологічні зміни. З огляду на це їх правдоподібність або здійсненність не слід розглядати, виключно ґрунтуючись на екстраполяції поточних економічних, технологічних та соціальних тенденцій.

Сюжетна лінія та сценарна родина A1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним зростанням, змінами чисельності людства, показники якого досягають пікових значень у середині 21 століття з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та

ефективніших технологій. Першорядними питаннями будуть поступове зближення різних регіонів, створення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків за умови значного зменшення регіональних відмінностей у доході на душу населення.

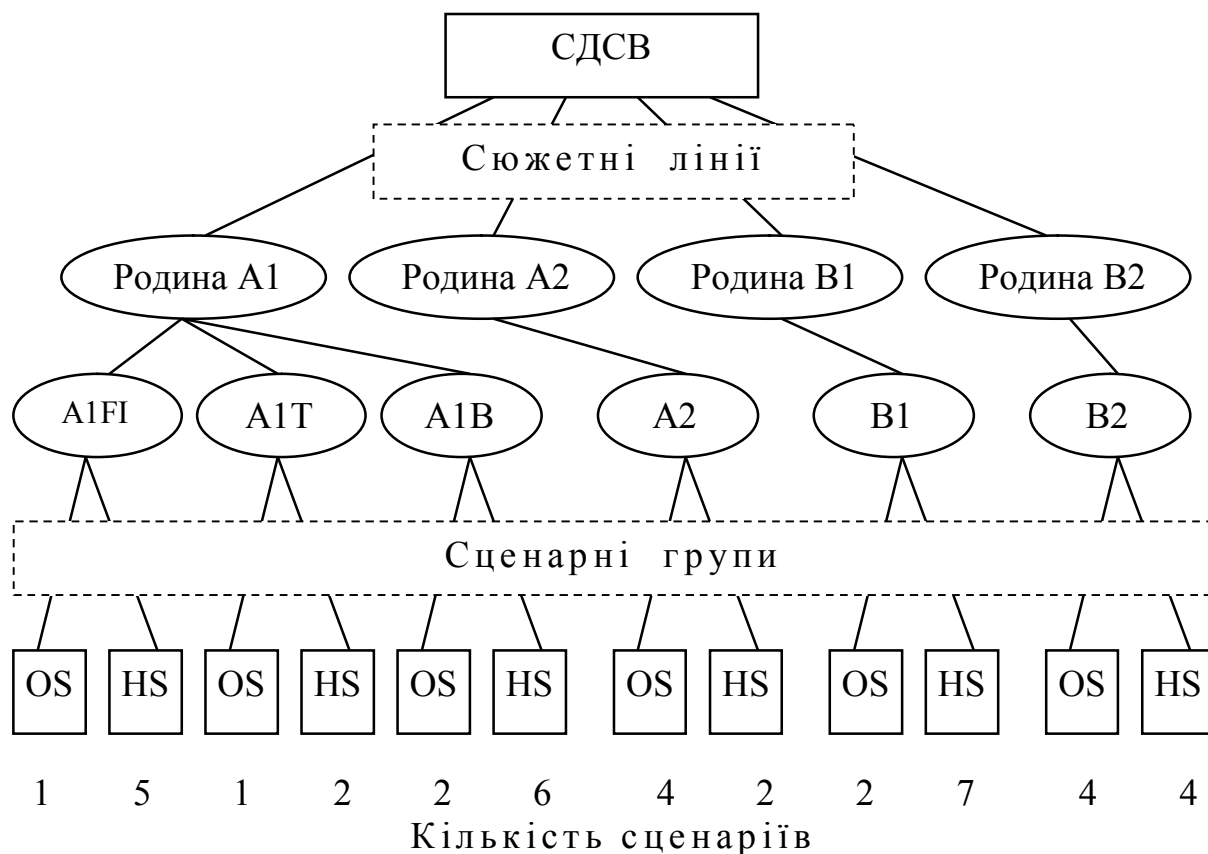


Рисунок 5.1 – Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ

Сценарна родина A1 розбивається на три групи, які надають опис альтернативних варіантів технологічних змін в енергетичній системі, а саме відрізняються своїм центральним технологічним елементом: у групі (A1FI) переважають викопні види палива, у групі (A1T) - невикопні види палива і рівновага між усіма джерелами має спостерігатися у групі (A1B), яка не залежить від одного конкретного джерела енергії. Через те, що інші визначальні фактори будуть сталими, швидке зростання економіки спричинить високі показники обороту капіталу, внаслідок чого невеликі відмінності на початковому етапі між сценаріями призведуть до великого розходження до 2100 р.

Відомо, що чисельних моделей клімату, як і наукових методик

прогнозу клімату, існує достатньо багато [67]. Кожна з них має свої переваги та недоліки. Тому, насамперед, необхідно визначити, які зі створених методик і моделей доцільно з наукової та технічної точки зору використовувати для аналізу та прогнозу регіональних особливостей кліматичних змін в Україні. Очевидно, що моделі загальної циркуляції атмосфери та океану, які в більшості своїх реалізацій мають роздільну здатність $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, не придатні для досліджень регіональних особливостей кліматичних змін в Україні, оскільки на її територію припадає приблизно 15 вузлів координатної сітки. Тому моделі повинні мати роздільну здатність на порядок вищу, тобто задовільні горизонтальні кроки сітки мають бути 20-50 км. Таку роздільну здатність мають сучасні гідростатичні моделі прогнозу погоди та клімату. Ще однією вимогою до моделей є можливість розрахунків з різними початковими та граничними даними, а також наявність відносно вільного доступу до цих даних, бажано в мережі Інтернет.

5.2 Оцінка кліматичних сценаріїв для Тилігульського лиману

Для вивчення можливих змін клімату в басейні Тилігульського лиману були обрані 15 сценаріїв змін клімату, які розраховувалися у проєкті ENSEMBLES [68]. Для моделювання використовуються метеорологічні характеристики у вузлах декартової сітки з кроком 25 км: температура повітря (середньодобова, максимальна, мінімальна), вологість повітря, кількість опадів, сонячна радіація, середньодобова швидкість вітру. Відзначимо, що у проєкті ENSEMBLES також моделювався клімат з більшим горизонтальним розділенням (50 км), але ці результати не розглядалися. Взагалі, було вибрано 15 кліматичних сценаріїв (табл. 5.1).

Оцінити кожний з сценаріїв можна порівнянням відмінностей у сезонній динаміці температури і опадів спостережуваних метеорологічних даних і даних за сценаріями M1-M15. Як дані спостереження бралися спостереження на метеорологічній станції Любашівка за 1998-2007 рр.

Процедура вибору моделі, яка найбільш адекватно відображує поточну метеорологічну інформацію, є такою [68].

Спочатку розраховувались середньомісячні температури (*MT*) і середні місячні суми опадів (*MP*) для періоду 1998-2007 рр. за спостереженими та модельними даними:

Таблиця 5.1 – Кліматичні сценарії, які використовуються для оцінки

Сценарій	Чисельна модель
M1	RCA
M2	HadRM3Q0
M3	HadRM3Q3 (низька чутливість)
M4	HadRM3Q16 (висока чутливість)
M5	RCA3
M6	CLM
M7	RACMO
M8	RCA
M9	RCA
M10	REMO
M11	Aladin
M12	HIRHAM
M13	DMI-HIRHAM5
M14	DMI-HIRHAM5
M15	RegCM

$$MP_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{m,i}}{N}, \quad (5.1)$$

$$MT_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{m,i}}{N}, \quad (5.2)$$

$$MP_{0,i} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{0,i}}{N}, \quad (5.3)$$

$$MT_{0,i} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{0,i}}{N}, \quad (5.4)$$

де P – місячна сума опадів;

T – середньомісячна температура;

$N = 10$ – кількість років у періоді 1998-2007 рр.;

$i = 1 \div 12$ – індекс місяця року (1 – січень, ..., 12 – грудень);

$m = 1 \div 15$ – індекс модельного сценарію (див. табл. 5.1);

0 – індекс, який позначає спостережені метеорологічні дані.

На рис. 5.2 і 5.3 наведена внутрішньорічна динаміка середніх місячних сум опадів (MP_m) та температур (MT_m), що дозволяє порівнювати результати

моделювання за різними сценаріями більш докладно.

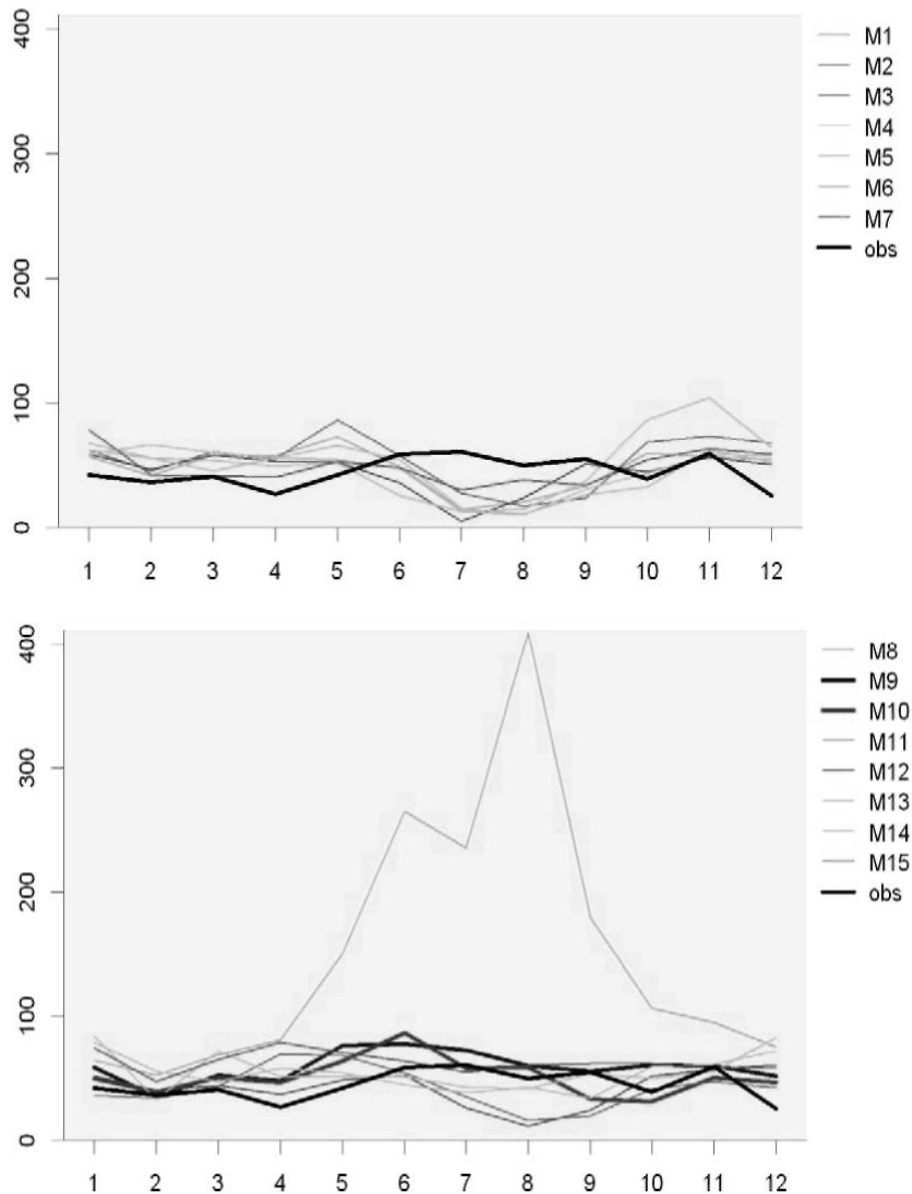


Рисунок 5.2 – Середні місячні суми опадів для періоду 1997-2008 рр., розраховані за моделями M1-M15 та заданими спостережень (вісь X – місяць року, Y – опади, мм) [68]

Також, на цих рисунках для порівняння показані сезонні зміни спостережених метеорологічних величин.

Більшість модельних сценаріїв зовсім не виявляє сезонного максимуму опадів (див. рис. 8.2), який зазвичай спостерігається у липні-серпні, і опади влітку за цими сценаріями є меншими за фактичні. В одному зі сценаріїв, M8, навпаки, цей максимум є в декілька разів (майже на порядок) більший за спостережений. Лише сценарії M9 та M10 більш-менш задовільно

відбивають сезонні зміни опадів з максимумами взимку та влітку.

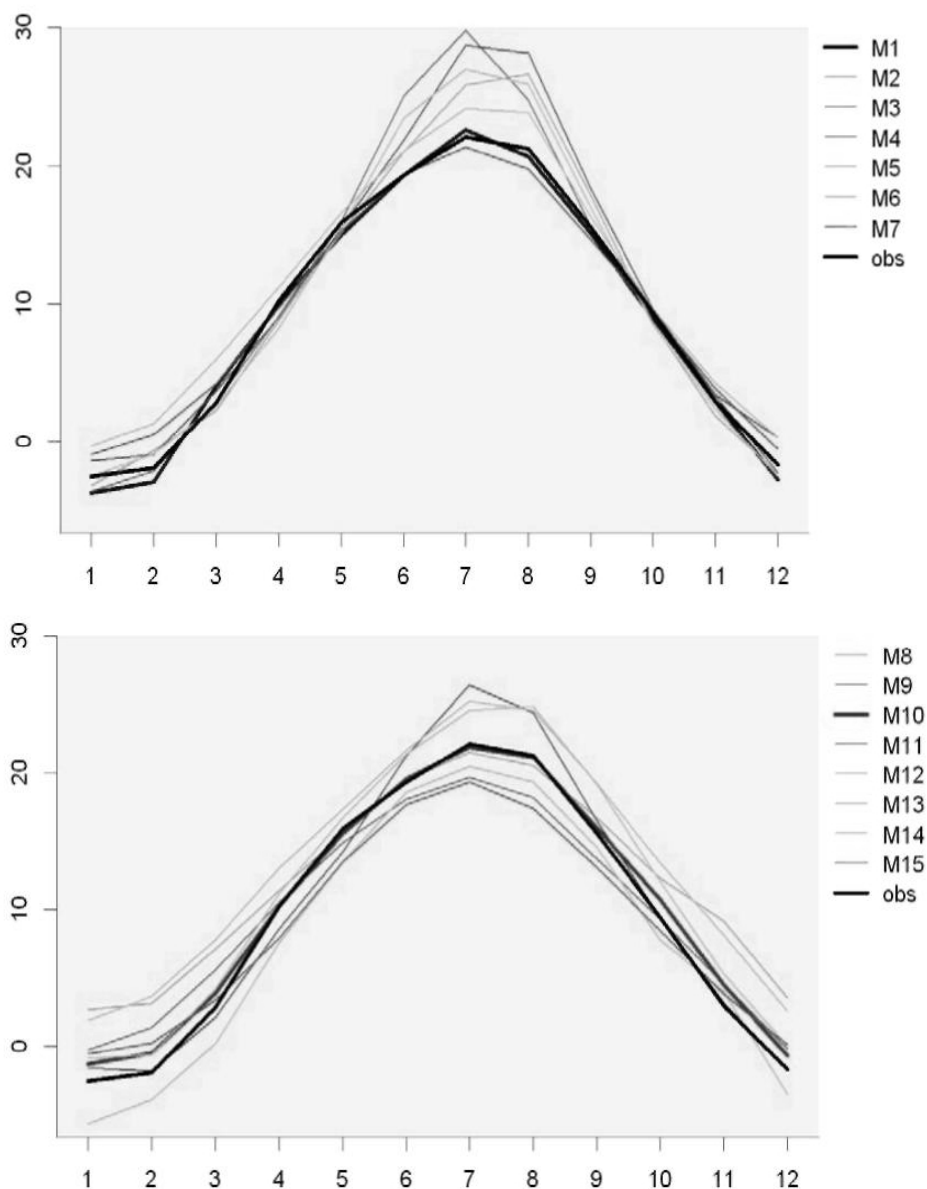


Рисунок 5.3 – Середні місячні температури для періоду 1997-2008 рр., розраховані за моделями M1-M15 та заданими спостережень (вісь X – місяць року, Y – температура, °C) [68]

Найбільші відмінності змодельованих температур від даних спостережень також спостерігаються влітку (див. рис. 5.3) і в деяких випадках, наприклад для модельних сценаріїв M3 і M4, можуть сягати 8 °C. Для згаданої вище моделі M8 усі місяці року в середньому характеризуються додатними температурами. Найбільш узгодженими зі спостереженнями

температури є модельні сценарії М1 і М10.

Наступним етапом досліджень був розрахунок різниць між середніми значеннями опадів та температур, визначеними за певним сценарієм, та за даними спостережень:

$$DMP_{m,i} = MP_{m,i} - MP_{0,i}, \quad (5.5)$$

$$DMT_{m,i} = MT_{m,i} - MT_{0,i}. \quad (5.6)$$

Як критерії відповідності сценарних та спостережених значень метеорологічних параметрів використовувався середні модулі щомісячних відмінностей опадів ($ADMP_m$) та температур ($ADMT_m$):

$$ADMP_m = \frac{\sum_1^{12} \left| \frac{DMP_{m,i}}{MP_{0,i}} * 100\% \right|}{12}, \quad (5.7)$$

$$ADMT_m = \frac{\sum_1^{12} |DMT_{m,i}|}{12}. \quad (5.8)$$

Для середньомісячних значень кількості опадів найменші відхилення за критерієм (5.7) відзначаються при реалізації модельних сценаріїв М9 та М10 і становлять 38,9 та 33,7 відсотки відповідно. Для середньомісячних значень температури повітря найменші відхилення за критерієм (5.8) мають місце для сценаріїв М1 та М10 – 0,6 та 0.7 °С відповідно (табл.5.2).

Таким чином, аналіз рис. 5.2 та 5.3 спільно з табл. 5.2 показує, що найкращу узгодженість розрахункових і фактичних даних по температурах повітря (T) і кількості опадів (P) дає сценарій М10, отриманий за регіональною кліматичною моделлю REMO, яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка в Гамбурзі і в якій реалізований сценарій А1В.

Модель REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODELL для розрахунків термодинамічних характеристик і блок глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [69], в якому розраховуються процеси хмаро- та опадоутворення, проходження потоків сонячної радіації в атмосфері, вплив підстильної поверхні на теплові потоки з врахуванням альбедо й типу поверхні. У цій моделі використовується повернута сферична система координат, коли екватор проходить через центр області моделювання для зменшення впливу кривизни Землі на прямокутність координатної сітки, і, так звана, гібридна вертикальна система координат, яка

є комбінацією ізобаричної та «сигма» системи. У цій системі вертикальні рівні розташовані вздовж підстильної поверхні, а з висотою перетворюються в паралельні до ізобаричних за спеціальним співвідношенням.

Таблиця 5.2 – Значення критеріїв $AMDP_m$ та $AMDT_m$ для сценарних опадів та температур (метеорологічна станція Любашівка)

Сценарій	Критерії	
	$AMDP_m, \%$	$AMDT_m, ^\circ\text{C}$
M1	53,3	0,6
M2	64,7	1,7
M3	45,1	1,7
M4	51,1	2,2
M5	55,7	1,7
M6	69,9	1,8
M7	40,7	1,0
M8	220,4	2,7
M9	38,9	1,8
M10	33,7	0,7
M11	43,6	1,3
M12	39,0	2,0
M13	54,6	3,7
M14	52,1	1,9
M15	56,0	2,0

В моделі REMO враховані такі важливі фактори впливу на стан атмосфери, як радіаційні та теплові потоки, орографія, шорсткість і альbedo підстильної поверхні, що дозволяє припустити коректність та адекватність представлення процесів у хмарній тропосфері. Прогностичними змінними в моделі є тиск, температура, горизонтальні складові швидкості вітру, абсолютна вологість і водність хмар [69-72]. Початковими та граничними даними для моделі можуть бути дані аналізу, наприклад Європейського центру середньострокового прогнозу погоди (ECMWF), реаналізу, наприклад ERA40 [73], або більшої частини глобальних кліматичних моделей. В останній версії REMO враховані процеси формування опадів завдяки замерзанню крапель у хмарах, що є досить критичним для адекватного відтворення процесів хмаро- та опадоутворення в кліматичних умовах холодного періоду року в Україні [74].

Оскільки REMO, як і більша частина глобальних та регіональних чисельних моделей, є гідростатичною, то вона має обмеження на зменшення горизонтальних кроків приблизно до 10 км. Тому параметризація процесів хмар та опадоутворення в REMO складається з двох схем:

- 1) великомасштабна схема – шарувато-подібні хмари, для параметризації яких використовується наближення Сендквіста;
- 2) підсіткова схема – конвективні хмари, які параметризуються за допомогою модифікованої одновимірної статичної моделі Тідке.

Обидві ці параметризації є одномоментними, тобто єдиною характеристикою хмар та опадів є їхні загальні водність або льодність. Звичайно, це є досить грубим наближенням, якщо модель застосовувати для короткострокового прогнозу сильних опадів. Але, як показує багаторічний досвід застосування цієї моделі в дослідженнях минулого та сучасного клімату, такі параметризації дозволяють отримувати цілком адекватні просторово-часові характеристики поля опадів у різних регіонах [74].

В останні роки REMO досить успішно застосовувалася для моделювання минулого й майбутнього регіонального клімату не тільки Німеччини, але й інших країн Європи, а також Індії, Аргентини тощо. REMO була однією з провідних у проекті оцінки водного балансу басейну Балтійського моря [70].

5.3 Зміни режиму опадів та температури за реалізацією моделі REMO

Як було зазначено вище, сценарій зміни «помірного» клімату A1B, який найкраще характеризує стан рівноваги між усіма джерелами в енергетичній системі України, реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO та відповідає сценарію M10.

Для того, щоб охарактеризувати майбутній клімат, розглянемо три вузли модельної сітки, один з яких розташований у центральній (надалі, точка 1), другий – у північній (надалі, точка 2), а третій – у південній (надалі, точка 3) частині водозбору Тилігульського лиману. Вибір точок також є цікавим тим, що вони віддалені на різні відстані від Чорного моря, яке істотно пом'якшує кліматичні умови.

Проаналізуємо окремо чотири тридцятирічних періоди дослідження: 1971–2000 рр. (минуле), 2011–2040 рр. (найближче майбутнє), 2941 – 2070 рр. (віддалене майбутнє) та 2071–2098 рр. (далеке майбутнє).

На рис. 5.4-5.7 представлені часові розподіли середньорічних значень

температур та сумарної кількості опадів для сценарію змін клімату М10.

З рис 5.4 випливає, що для території водозбору Тилігульського лиману прогнозується потепління. Але можна помітити кілька мінімумів. Перший, характерний для усіх трьох точок, спостерігався в 1972 році і становив $7,4^{\circ}\text{C}$ у точці 1, $6,8^{\circ}\text{C}$ у точці 2 та $8,0^{\circ}\text{C}$ у точці 3. Виявлено чередування максимумів та мінімумів з інтервалом 5-7 років в межах $0,5-2,3^{\circ}\text{C}$. Максимальні значення температури повітря спостерігатимуться за сценарієм у 2090 р. і становитимуть трохи більше $17,0^{\circ}\text{C}$, що приблизно на чотири градуси вище, ніж за теперішніх кліматичних умов.

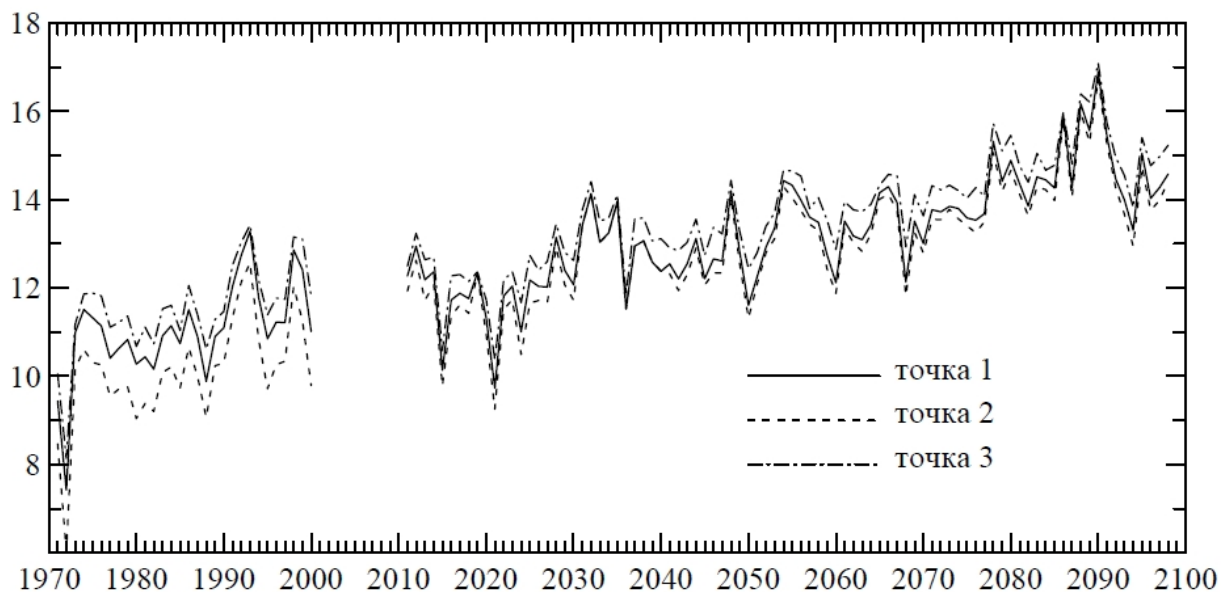


Рисунок 5.4 – Середні річні температури повітря на водозборі Тилігульського лиману

З рис. 5.5 видно, що прогнозується потепління в кожному із розглянутих кліматичних періодів і для всіх місяців року. Для точки 1 (рис. 5.5а) в період 2011-2040 рр. (відносно базового періоду 1970-2000 рр.) очікується підвищення температури повітря на $1,4^{\circ}\text{C}$ в січні, на $2,0^{\circ}\text{C}$ в червні та зниження до відносного значення на $1,1^{\circ}\text{C}$.

В період 2041-2070 рр. очікуються два максимальні відхилення температури, а саме на $2,8^{\circ}\text{C}$ в березні та $2,4^{\circ}\text{C}$ в жовтні. В період 2071-2098 рр. прогнозується максимальне збільшення температури в усі місяці від $3,1$ до $3,7^{\circ}\text{C}$ крім листопада, коли підвищення становитиме лише $1,4^{\circ}\text{C}$. Таким чином, в період 2071-2098 рр. в районі точки 1 прогнозується потепління в середньому на $2,5$ градуси в холодний період року та до чотирьох градусів в теплий період року.

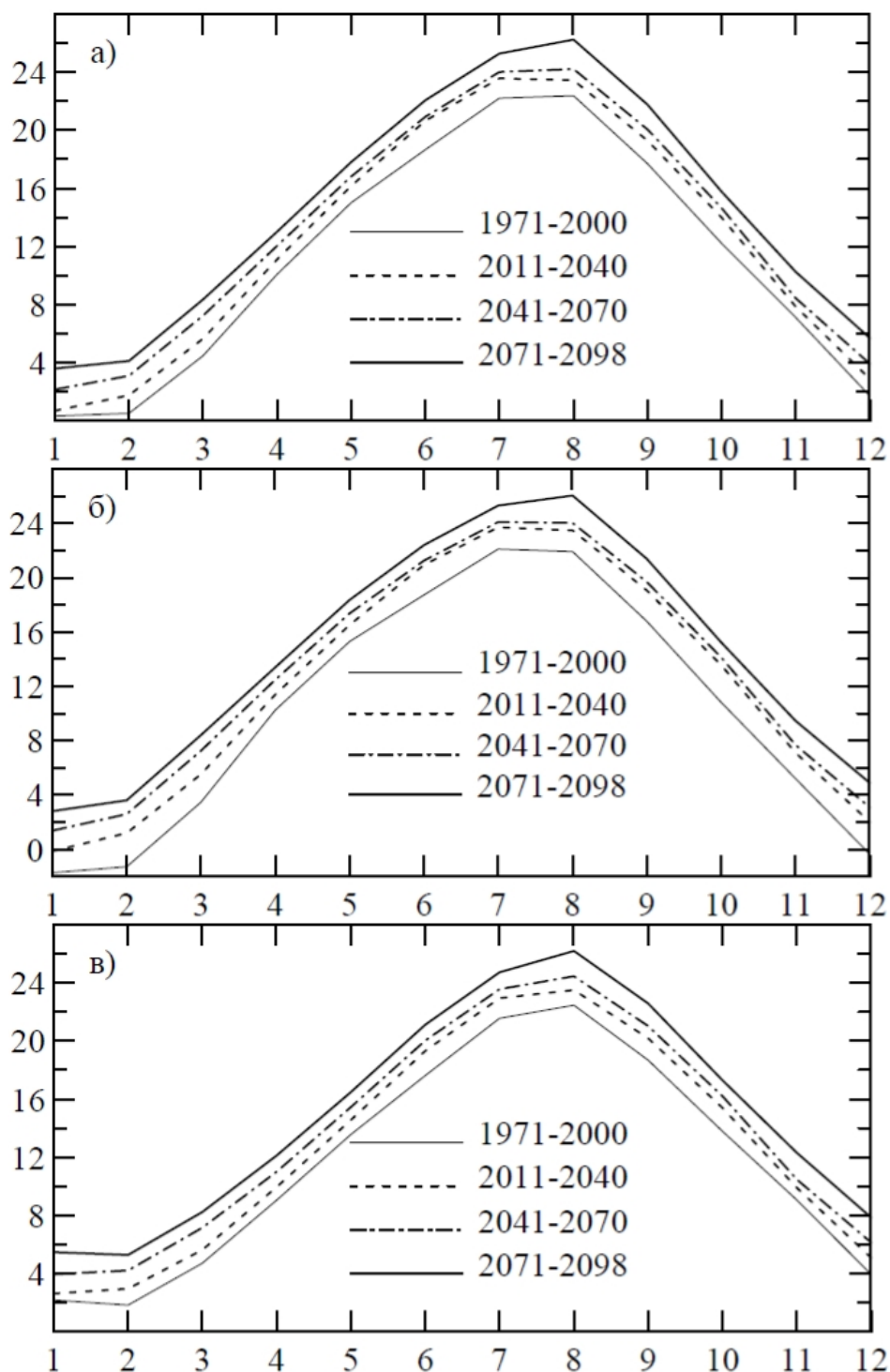


Рисунок 5.5 – Середня місячна температура повітря у точках 1(а), 2(б) і 3(в)

Для точки 2 (рис. 5.5б) також найсуттєвіші змін температури будуть відзначатися в періоді 2071-2098 рр. В теплий період збільшення температури досягає лише на 1,2 °С в той час, як у холодний період прогнозується підвищення температури на 8,2 °С.

Для третьої точки (рис. 5.5в) прогнозований середньомісячний розподіл температури співпадає з розподілом прогнозованої температури в першій точці.

Для кількості атмосферних опадів спрогнозовані за сценарієм зміни характеризуються істотною неоднорідністю як у просторі, так і в часі.

Зменшення річної кількості опадів передбачається в другому періоді з 480 до 420 мм в першій точці, з 570 до 445 мм в другій точці, з 535 до 485 мм в третій точці. В третьому періоді очікується збільшення річної кількості опадів до значень, які спостерігалися в першому періоді. Наприкінці 21 століття кількість опадів знову буде зменшуватися (рис. 5.6).

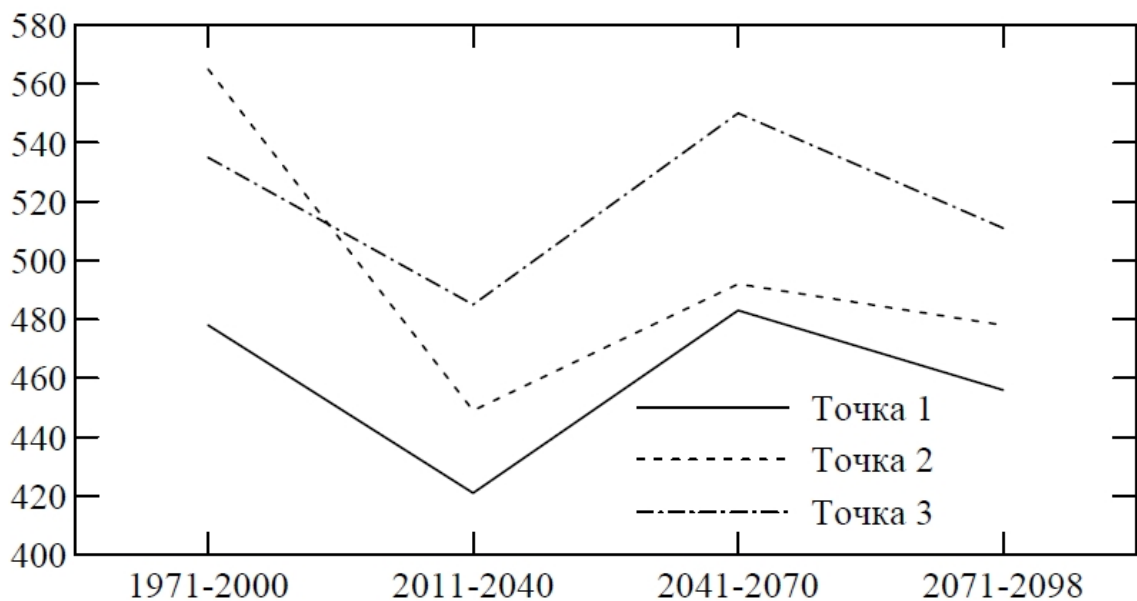


Рисунок 5.6 – Середні за розрахункові періоди опади (мм на рік) для Тилігульського лиману.

Таким чином, найсухішими будуть наступні тридцять років, протягом яких кількість опадів зменшиться приблизно на 15 % над Тилігульським лиманом. Також, найбільша кількість опадів спостерігатиметься над південною частиною лиману, що можна пояснити впливом морської поверхні, а над північною частиною опадів випадатиме менше.

Рисунок 5.7 показує, що в першій та другій точках максимальне значення опадів припадає на червень-липень та листопад-грудень.

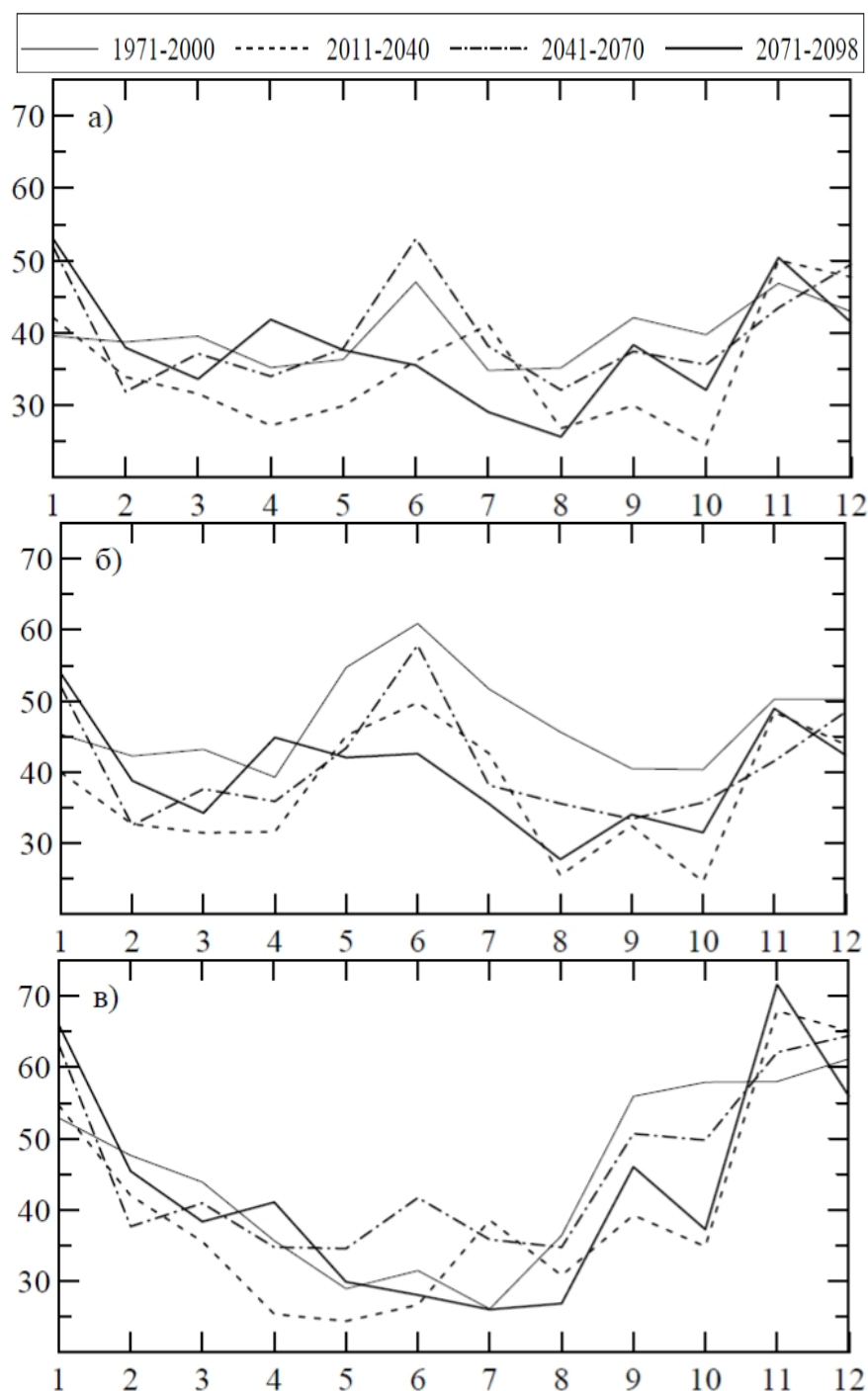


Рисунок 5.7 – Середні місячні опади у точках 1(а), 2(б) і 3(в)

Для третьої точки максимум опадів відзначатиметься у зимові місяці (грудень до 70 мм), а мінімум буде спостерігатися у квітні-серпні (до 25 мм щомісячно). Суттєве зменшення опадів (до 25 мм в місяць) очікується в вересні-жовтні в точці 3 в усі періоди, в той час, як для точки 2 характерне поступове зменшення кількості опадів впродовж всього року.

6 МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛИМАНІ

6.1 Гідротермодинамічна модель

Для Тилігульського лиману використовувався модифікований варіант тривимірної чисельної нестационарної гідротермодинамічної моделі МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [75 - 79]. Ця модель дозволяє розраховувати тривимірну термохалінну структуру вод, інтенсивність турбулентного обміну, а також вітрові (дрейфові і компенсаційні), густинні, стічні та приливні течії в естуаріях, затоках, лиманах і на мілководному континентальному шельфі. Характерною особливістю даної моделі є те, що вона дозволяє одночасно проводити розрахунки динаміки вод і поширення домішки на акваторії сполучених водних об'єктів як сіткового, так і підсіткового масштабів. В даному випадку, під водними об'єктами сіткового масштабу розуміють затоки, бухти, лимани, ділянки морського шельфу, просторові розміри яких значно перевищують крок розрахункової сітки чисельної моделі. Підсітковими називаються водні об'єкти, ширина яких в одному з горизонтальних напрямків значно менше кроку розрахункової сітки (наприклад, вузькі річки, канали, протоки).

Зазначена властивість моделі має особливо важливе значення для коректного опису циркуляції вод в лимані з урахуванням водообміну між ним і північно-західною частиною Чорного моря (ПнЗЧМ) через вузький з'єднувальний канал.

Детальний опис математичної структури моделі приведено в роботах [79, 80]. Раніше модель була успішно апробована при вирішенні задач стабілізації гідроекологічних режимів Дофіновського, Тузловської групи лиманів північно-західного Причорномор'я, шляхом регулювання водообміну з морем [79, 80]. Як складова частина 3-D біогеохімічної моделі евтрофікації вод, гідротермодинамічна модель використовувалася для розрахунку циркуляції вод, перенесення забруднюючих речовин від берегових антропогенних джерел, оцінки впливу берегових антропогенних джерел і річкового стоку на формування якості вод в Одеському районі ПнЗЧМ [81].

6.1.1 Адаптація і верифікація гідротермодинамічної моделі

При адаптації гідротермодинамічної моделі до умов Тилігульського лиману та її верифікації використовувалися дані епізодичних польових спостережень за гідрологічними характеристиками вод Тилігульського лиману, виконані в 2010, 2012 рр. Характерна особливість термохалинної структури вод влітку 2010 року полягала в наявності холодних і солоних вод в придонному шарі глибокої центральної частини акваторії лиману. У липні-серпні 2010 р. при температурі води поверхневого шару 25-30 °С, на глибині 14-15 м вона не перевищувала 8-9 °С. Однак, дані гідрологічних спостережень виконаних у 2012 р. показали, що при повторюваних сильних штормових вітрах в травні-на початку червня, коли прогрів вод поверхневого шару ще не досяг своїх максимальних значень, відбувається інтрузія тепла в холодні придонні шари. В результаті, вертикальна термохалинна стратифікація вод в лимані характеризується значно меншими вертикальними градієнтами температури і солоності води. Так, вже в червні 2012 р. температура води на глибинах понад 10 м підвищилася до 20 °С, а в серпні 2012 р. розподіл температури води по глибині був практично однорідним (рис. 6.1). Ці особливості мінливості термохалинної структури вод в лимані в залежності від гідрометеорологічних умов були використані для верифікації гідротермодинамічної моделі.

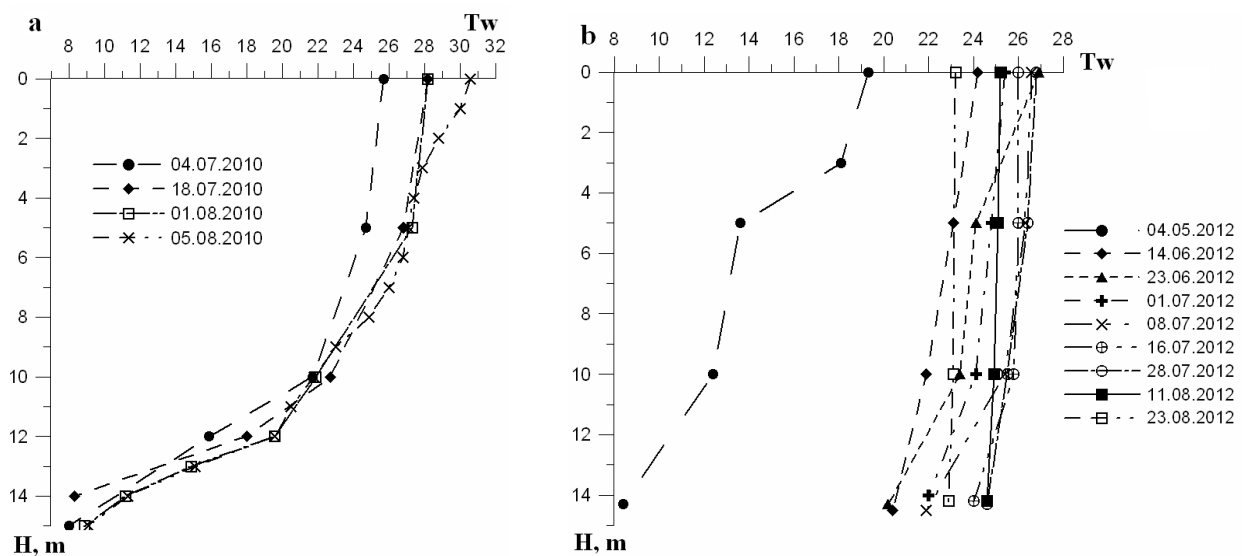
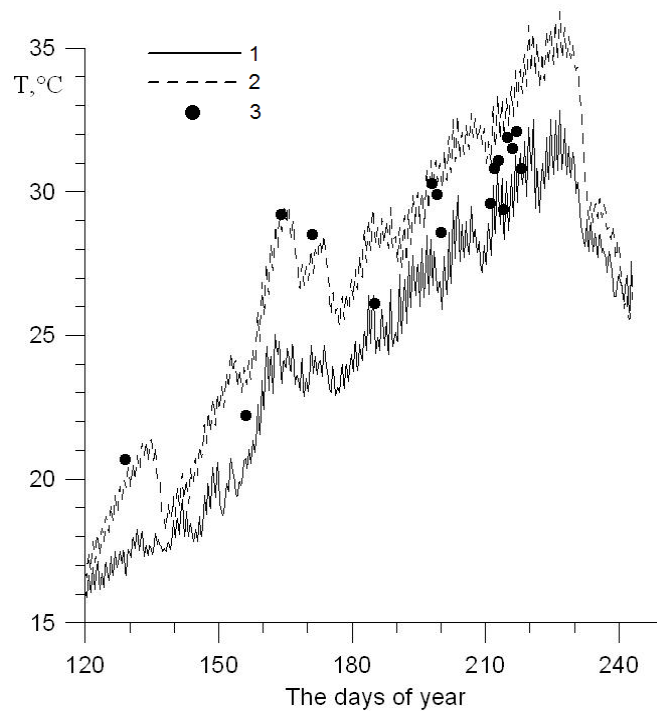


Рисунок 6.1 – Мінливість вертикальної термічної структури вод в Тилігульському лимані у 2010 (а) і 2012 (б) рр.

При розрахунках акваторія лиману покривалася горизонтальною розрахунковою сіткою 41×108 вузлів з кроком 400 м. Використовувалися 10 розрахункових рівнів по вертикалі в σ - системі координат. Глибини в лимані, приведені до позначки рівня води в лимані мінус 0,4 м БС, задавалися на основі узагальнених даних промірних робіт, виконаних восени 2010 і 2012 рр. за допомогою електронного ехолота Fishfinder-250 (Garmin). Позиціонування на місцевості здійснювалося з використанням навігатора GPS-72 (Garmin) (рис. 6.2). Крок за часом становив 3 с для баротропної складової швидкості течій і 18 с – для бароклинної. На першому етапі моделювалася просторово-часова мінливість рівня води, термохалинної структури вод лиману в період з 20 квітня по 31 серпня 2010 р. з врахуванням стоку р.Тилігул, різниці місячних сум атмосферних опадів і випаровування, водообміну з морем через штучний з'єднувальний канал. Вибір зазначеного часового відрізка моделювання зумовлений кількома причинами: 1) наявністю даних гідрологічних спостережень, на основі яких модель може бути верифікована; 2) формуванням і еволюцією сезонного термокліна, який визначає інтенсивність вертикального масо- і газообміну між приповерхневим (фотичним) та придонним (афотичним) шарами води в глибоких частинах лиману; 3) часом функціонування сполучного каналу у 2010 р.

Сток р.Тилігул задавався на основі середньодекадних даних спостережень на гідрологічному посту «Березівка»; часова мінливість напрямку і швидкості вітру, температури повітря, а також відмітки рівня моря (з дискретністю 6 годин), добових сум атмосферних опадів, солоності і температури морської води (середньодекадні значення) на морській границі з'єднувального каналу – на основі даних спостережень, виконаних на ГМС «порт-Южний». Випаровування з водної поверхні лиману задавалося на основі усереднених за період 1960-2010 рр. середньомісячних даних спостережень на метеостанції «Болград», приведених до солоності морської води 19-20 ‰. Ширина з'єднувального каналу покладалася рівною 30 м, а початкова глибина при позначці рівня моря мінус 0,4 м БС – 0,25 м. Початкова відмітка рівня води в лимані, згідно з даними спостережень, бралася рівною мінус 0,2 м БС. Враховувалося падіння позначки рівня води в лимані за рахунок різниці місячних сум атмосферних опадів і випаровування. Вертикальний розподіл температури і солоності води в лимані в початковий момент часу задавався на основі даних спостережень і брався однорідним в горизонтальній площині



Позначення: 1 – модельні результати, глибока частина лиману; 2 – модельні результати, мілководдя; 3 – спостереження в прибережній зоні району між Чіловою і Ранжевою косами.

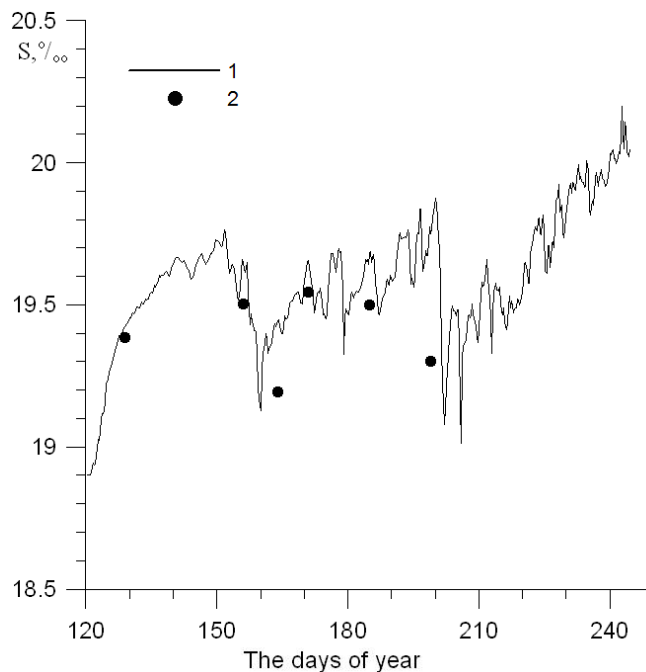
Рисунок 6.2 – Часова мінливість температури поверхневого шару води, °C, в травні-серпні 2010 р., отримана при моделюванні в глибокій центральній частині та на мілководді лиману, а також виміряна в мілководній прибережній зоні

На рис. 6.2-6.3 наведено порівняння мінливості температури і солоності води, отриманої в результаті моделювання і виміряної на прибережному мілководді центральній частині лиману. Видно, що виміряні значення температури води відповідають діапазону її просторової мінливості, розрахованої з використанням моделі для відповідних моментів часу. В період штилів і слабких вітрів спостережені значення ближче до одержаних при моделюванні для мілководних районів лиману, а при значних вітрах, коли інтенсифікується горизонтальна адвекція вод, – до значень, одержаних для глибоких районів лиману. Хороша відповідність відзначається для виміряних та отриманих при моделюванні значень солоності води.

Як впливає з рис. 6.4, модель задовільно відтворює особливості вертикального розподілу температури води в глибокій центральній частині лиману між Чіловою і Ранжевою косами. Мінливість осередненої по глибині швидкості течій, а також витрат води в каналі при заданих його морфометричних характеристиках показана на рис. 6.5. Баротропні течії і витрати води в каналі характеризуються дуже сильною короткоперіодною

мінливістю, як по величині, так і по напрямку, що зумовлено спільною дією вітру, коливань рівня води в лимані і морі. Отримані в результаті моделювання значення швидкостей течій і витрат води в каналі, добре узгоджуються з даними нечисленних епізодичних натурних спостережень, виконаних у 2010 р.

На другому етапі моделювання виконувалася валідація гідротермодинамічної моделі на основі даних про термохалинну структуру вод влітку 2012 р. Характерна особливість температурних умов цього року полягала в значному ослабленні сезонного термоклину в другій половині червня і практично повному його зникненні до серпня. На рис. 6.6-6.7 приведена часова мінливість температури і солоності вод поверхневого шару на рейдової точці в центральній частині лиману між Чіловою і Ранжевою косами. Видно, що модель добре описує часову мінливість солоності вод, однак кілько завищує значення температури води в липні – на початку серпня.



Позначення: 1 - модельні результати; 2 - спостереження в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.

Рисунок. 6.3 – Часова мінливість солоності поверхневого шару води, ‰, в травні-серпні 2010 р., отримана при моделюванні в глибокій центральній частині лиману і виміряна в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.

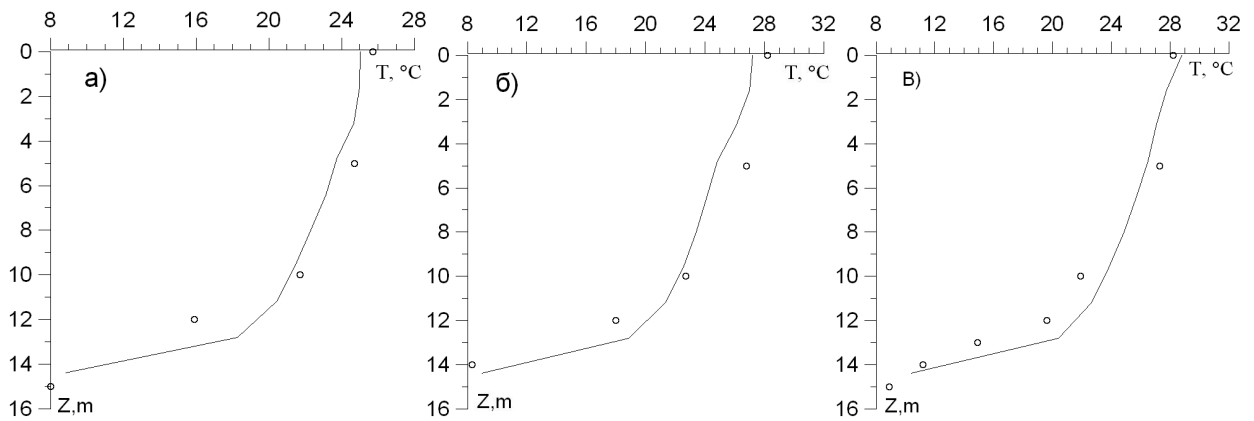


Рисунок 6.4 – Вертикальний розподіл температури води, °С, розрахований за моделлю (криві) і отриманий за даними натурних спостережень в центральній частині Тилігульського лиману (рейд між Чіловою і Ранжевою косами) в 2010 р.: а – 04.07.2010; б – 18.07.2010; в – 01.08.2010.

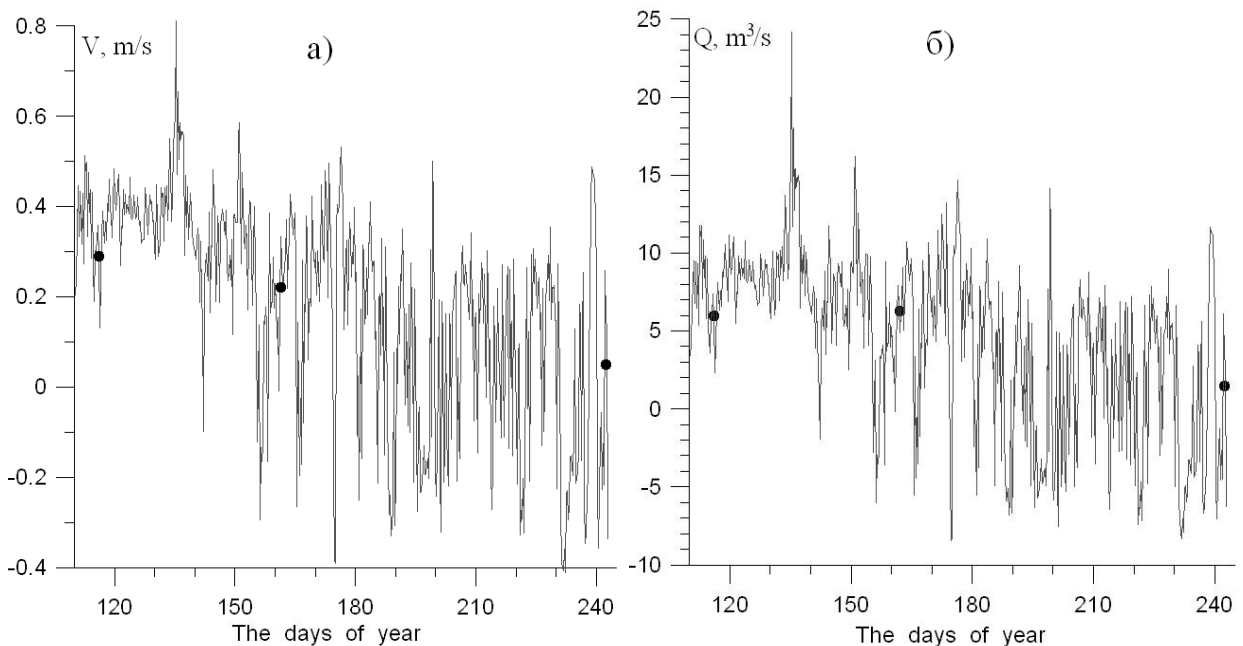
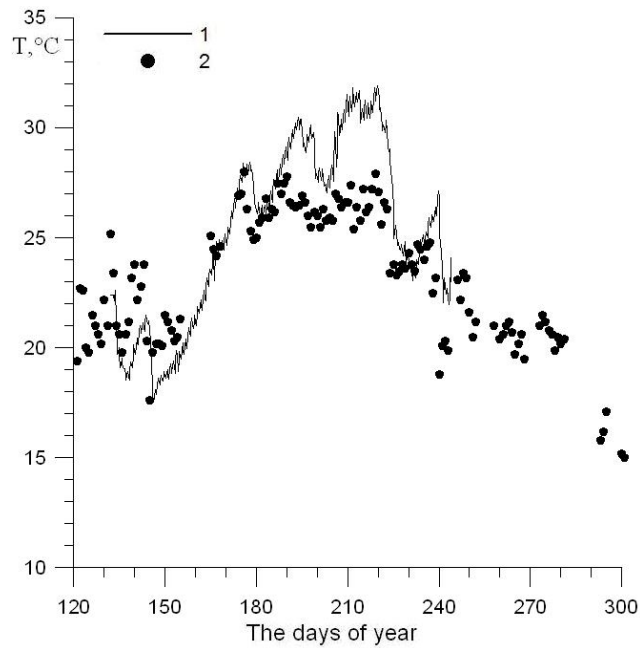
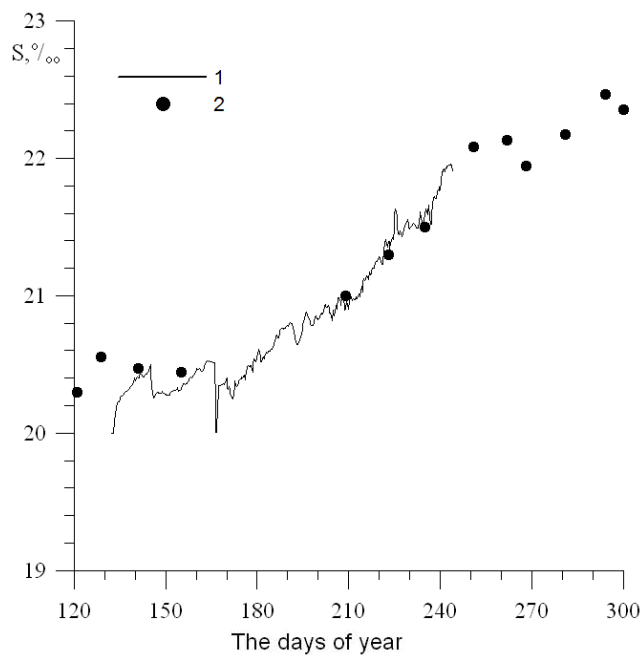


Рисунок 6.5 – Часова мінливість швидкості баротропних течій, м/с, (а) та витрат води, м³/с, (б) в сполучному каналі (поблизу виходу в лиман) при сучасних його морфометричних характеристиках. Додатні значення відповідають припливу води в лиман, від'ємні – виток. Точки відповідають результатам спостережень.



Позначення: 1 – модельні результати; 2 – спостереження в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.

Рисунок 6.6 – Часова мінливість температури поверхневого шару води, °C, в травні-серпні 2012 р., отримана при моделюванні в глибокій центральній частині лиману і виміряна в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.



Позначення: 1 – модельні результати; 2 – спостереження в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.

Рисунок 6.7 – Часова мінливість солоності поверхневого шару води, ‰, в травні-серпні 2012 р., отримана при моделюванні в глибокій центральній частині лиману і виміряна в прибережній зоні в районі між Чіловою і Ранжевою косами.

Представлені на рис. 6.8 вертикальні профілі температури води свідчать, що модель добре відтворила руйнування холодного придонного шару і формування слабоградієнтного розподілу температури води за глибиною у другій половині червня-липні 2012 р.

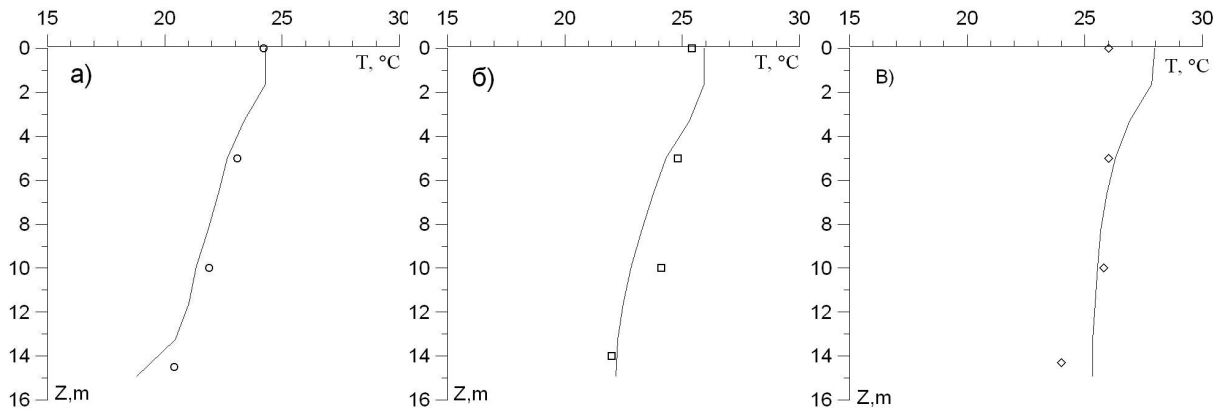


Рисунок 6.8 – Вертикальний розподіл температури води, °С, отриманий при моделюванні (криві) і за даними натурних спостережень в центральній частині Тилігульського лиману (рейд між Чіловою і Ранжевою косами) в 2012 р.: а – 14.06.2012; б – 01.07.2012; в – 16.07.2012.

6.1.2 Хіміко-біологічний блок моделі евтрофікації

Для розробки рекомендацій до плану гідроекологічного менеджменту Тилігульського лиману з урахуванням антропогенної загрози та змін кліматичних умов використовувалась чисельна нестационарна тривимірна (3-D) модель евтрофікації вод, яка базується на основі наведеної вище гідротермодинамічній моделі.

При побудові чисельної моделі евтрофікації вод Тилігульського лиману тривимірний простір поділяється на комірки (бокси), що відповідають сітковим боксам гідротермодинамічній моделі. Вважається, що в середині боксу елементи екосистеми пов'язані між собою тільки локальними потоками речовини та енергії, які описані в хіміко-біологічному блоці моделі, в той час як переміщення речовини та енергії між комірками здійснюється в результаті гідродинамічного переносу (адвективного та турбулентного).

Крок за часом в хіміко-біологічному блоці моделі – одна доба. При розрахунках в цьому блоці виконувався перерозподіл з глибиною хіміко-біологічних змінних із σ -координат в z -систему та навпаки. В z -системі координат використовуються такі горизонти: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,5; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0 м.

Математична структура хіміко-біологічного блоку моделі евтрофікації вод побудована на основі синтезу відомих моделей якості вод (RCA-HydroQual, 2004; Cerco and Cole - CE-QUAL-ICM, 1995, Ambrose at all - WASP5, 1993) [82 - 84].

Хіміко-біологічний блок містить опис динаміки в локальній точці простору наступних екологічних змінних: біомаса фітопланктону (B_{ph}), сталі детритна і розчинена фракції органічного фосфору (P_{rpop}, P_{rdop}), лабільні детритна і розчинена фракції органічного фосфору (P_{lpop}, P_{ldop}), розчинений мінеральний фосфор (P_{dip}) – фосфати P-PO₄, стійкі детритна і розчинена фракції органічного азоту (N_{rpon}, N_{rdon}), лабільні детритна і розчинена фракції органічного азоту (N_{lpon}, N_{ldon}), амонійний азот N-NH₄ (N_{nh4}), нітратний (+ нітритний) азот N-NO₃ (N_{no3}), стійкі детритна і розчинена фракції вуглецевого біохімічного споживання кисню (BOD_{rpc}, BOD_{rdc}) – кисневого еквіваленту органічного вуглецю, лабільні детритна і розчинена фракції вуглецевого біохімічного споживання кисню (BOD_{lpc}, BOD_{ldc}), розчинений кисень (O_2).

Біомаса фітопланктону B_{ph} , мгС·дм⁻³.

$$\frac{dB_{ph}}{dt} = [G_p - k_{pr}(T) - k_{grz}(T)]B_{ph}, \quad (6.1)$$

де t час, доб; T – температура води, °С; G_p – питома швидкість росту, доб⁻¹; k_{pr} – питома швидкість метаболізму (дихання), доб⁻¹; k_{grz} – питома швидкість споживання зоопланктоном і істотної смертності фітопланктону, доб⁻¹, які записуються як функціональні залежності:

$$G_p = G_{pmax} G_{pT}(T) G_{pI}(I) G_{pNP}(N_{min}, P_{min}), \quad (6.2)$$

$$G_{pI}(I) = \frac{2.72 f_d}{\alpha \Delta z} (\exp(R_1) - \exp(R_2)), \quad (6.2a)$$

$$R_1 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\alpha(z_s + \Delta z)), \quad R_2 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\alpha z_s);$$

$$G_{pNP}(N_{min}, P_{min}) = \min \left\{ \frac{N_{min}}{K_{phn} + N_{min}}, \frac{P_{min}}{K_{php} + P_{min}} \right\} \quad (6.2б)$$

$$G_{pT}(T) = \begin{cases} e^{-\zeta_1(T-T_m)^2} & \text{при } T \leq T_m \\ e^{-\zeta_2(T_m-T)^2} & \text{при } T > T_m. \end{cases} \quad (6.2в)$$

$$k_{pr}(T) = r_g G_p + r_b \theta_{pr}^{(T-20)}, \quad (6.3)$$

$$k_{grz}(T) = k_{grz}(20^\circ \text{C}) \theta_{grz}^{(T-20)}. \quad (6.4)$$

Тут, G_p^{\max} – максимальна питома швидкість росту фітопланктону, доб^{-1} ; I_0 – середній за світловий день потік ФАР, який проникає через поверхню моря, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; I_{opt} – оптимальна для фотосинтезу опроміненість, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; f_d – доля світлового дня у добі ($0 \leq f_d \leq 1$); I_z – опроміненість на глибині z , $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; α – інтегральний коефіцієнт послаблення інтенсивності ФАР з глибиною, м^{-1} ; K_{phn}, K_{php} – сталі напівнасичення швидкості процесу утилізації фітопланктоном мінеральних форм азоту і фосфору, $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$ та $\text{мгP} \cdot \text{дм}^{-3}$, відповідно; T_m – оптимальна для росту водоростей температура води, $^\circ\text{C}$; ζ_1, ζ_2 – коефіцієнти, які визначають характер впливу температури на ріст водоростей у діапазонах вище і нижче $T_m, ^\circ\text{C}^2$, r_g – доля продукції водоростей, яка витрачається на енергетичне забезпечення фотосинтезу, доб^{-1} ; r_b – питома швидкість основного метаболізму водоростей при температурі 20°C , доб^{-1} ; θ_{pr} – коефіцієнт впливу температури на швидкість метаболізму; $k_{grz}(20)$ – питома швидкість виїдання і загибелі фітопланктону при температурі 20°C , доб^{-1} ; θ_{grz} – коефіцієнт впливу температури на швидкість споживання і смертності водоростей; z_s – відстань від поверхні води до верхньої межі розрахункового шару води, м; Δz – товщина шару води, м; $N_{min} = N_{nh4} + N_{no3}$ – розчинений мінеральний азот (DIN); P_{min} – розчинений мінеральний фосфор (DIP).

Стійкий органічний фосфор детриту (RPOP) P_{rpop} , мгР·дм⁻³,

$$\frac{dP_{rpop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{rpop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{rdp} \theta_{rdp}^{T-20} P_{rpop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.5)$$

α_{pc} – співвідношення між фосфором і вуглецем в органічній речовині, мгР·мгС⁻¹; f_{rpop} – частка RPOP у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{rdp} – питома швидкість гідролізу RPOP при температурі води 20 °С, доб⁻¹; θ_{rdp} – температурний коефіцієнт для процесу гідролізу RPOP; K_B – стала напівнасичення, яка визначає лімітуючий вплив наявної біомаси фітопланктону на регенерацію мінеральних сполук фосфору і азоту, мгС·дм⁻³.

Лабільний органічний фосфор детриту (LPOP) P_{lpop} , мгР·дм⁻³,

$$\frac{dP_{lpop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{lpop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{ldp} \theta_{ldp}^{T-20} P_{lpop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.6)$$

де f_{lpop} – частка LPOP у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{ldp} – питома швидкість гідролізу лабільної фракції органічного фосфору детриту LPOP при температурі води 20 °С, доб⁻¹; θ_{ldp} – температурний коефіцієнт для процесу гідролізу LPOP.

Стійкий розчинений органічний фосфор (RDOP) P_{rdop} , мгР·дм⁻³,

$$\frac{dP_{rdop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{rdop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + k_{rdp} \theta_{rdp}^{T-20} P_{rpop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.7)$$

де f_{rdop} – частка RDOP у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{mrdp} – питома швидкість мінералізації стійкої фракції розчиненого органічного фосфору RDOP при температурі води 20 °С, доб⁻¹; θ_{mrdp} – температурний коефіцієнт.

Лабільний розчинений органічний фосфор (LDOP) P_{ldop} , мгР·дм⁻³,

$$\frac{dP_{ldop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{ldop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + k_{ldp} \theta_{ldp}^{T-20} P_{lpop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.8)$$

тут f_{ldop} – частка $LDOP$ у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{mldp} – питома швидкість мінералізації $LDOP$ при температурі води $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{mldp} – температурний коефіцієнт.

Розчинений мінеральний фосфор (DIP) P_{dip} , $\text{мгP}\cdot\text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dP_{dip}}{dt} = \alpha_{pc} f_{dip} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + (k_{mrdp} \theta_{mrdp}^{T-20} P_{rdop} + k_{mldp} \theta_{mldp}^{T-20} P_{ldop}) \times \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - \alpha_{pc} (1 - f_{exB}) G_p B_{ph}, \quad (6.9)$$

де f_{dip} – частка DIP у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей ($f_{rpop} + f_{lpop} + f_{rdop} + f_{ldop} + f_{dip} = 1$); f_{exB} – частка первинної продукції водоростей, яка виділяється як розчинена органічна речовина $LDBOD$.

Стійкий органічний азот детриту (RPON) N_{rpon} , $\text{мгN}\cdot\text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dN_{rpon}}{dt} = \alpha_{nc} f_{rpon} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{rdn} \theta_{rdn}^{T-20} N_{rpon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.10)$$

α_{nc} – співвідношення між азотом і вуглецем в органічній речовині фітопланктону, $\text{мгN}\cdot\text{мгC}^{-1}$; f_{rpon} – частка $RPON$ у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{rdn} – питома швидкість гідролізу $RPON$ при температурі води $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{rdn} – температурний коефіцієнт.

Лабільний органічний азот детриту (LPON) N_{lpon} , $\text{мгN}\cdot\text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dN_{lpon}}{dt} = \alpha_{nc} f_{lpon} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{ldn} \theta_{ldn}^{T-20} N_{lpon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.11)$$

де f_{lpon} – частка $LPON$ у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{ldn} – питома швидкість гідролізу $LPON$ при температурі води $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{ldn} – температурний коефіцієнт.

Стійкий розчинений органічний азот (RDON) N_{rdon} , $\text{мгN}\cdot\text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dN_{rdon}}{dt} = \alpha_{nc} f_{rdon} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + k_{rdn} \theta_{rdn}^{T-20} N_{rpon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - k_{mrdn} \theta_{mrdn}^{T-20} N_{rdon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.12)$$

f_{rdon} – частка $RDON$ у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{mrdn} – питома швидкість мінералізації $RDON$ при температурі води $20\text{ }^\circ\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{mrdn} – температурний коефіцієнт.

Лабільний розчинений органічний азот ($LDON$) N_{ldon} , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dN_{ldon}}{dt} = \alpha_{nc} f_{ldon} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + k_{ldn} \theta_{ldn}^{T-20} N_{lpon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - k_{mldn} \theta_{mldn}^{T-20} N_{ldon} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.13)$$

f_{ldon} – частка $LDON$ у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей; k_{mldn} – питома швидкість мінералізації $LDON$ при температурі води $20\text{ }^\circ\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{mldn} – температурний коефіцієнт.

Амонійний азот ($N-NH_4$) N_{nh4} , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dN_{nh4}}{dt} = \alpha_{nc} f_{nh4} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + (k_{mrdn} \theta_{mrdn}^{T-20} N_{rdon} + k_{mldn} \theta_{mldn}^{T-20} N_{ldon}) \times \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - \alpha_{nc} \beta_{Pnh4} (1 - f_{exB}) G_p B_{ph} - k_{nit} \theta_{nit}^{T-20} N_{nh4} \frac{O_2}{K_{onit} + O_2}, \quad (6.14)$$

де f_{nh4} – частка $N-NH_4$, яка надходить в результаті метаболічних виділень, споживання та смертності фітопланктону ($f_{rpon} + f_{lpon} + f_{rdon} + f_{ldon} + f_{nh4} = 1$); k_{nit} – питома швидкість нітрифікації за температурою $20\text{ }^\circ\text{C}$, доб^{-1} ; θ_{nit} – температурний коефіцієнт; K_{onit} – стала напівнасичення, яка враховує лімітуючий вплив вмісту у воді розчиненого кисню на процес нітрифікації, $\text{мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$; β_{Pnh4} – частка мінерального азоту, що споживається фітопланктоном у формі амонію, яка визначається за формулою:

$$\beta_{Pnh4} = N_{nh4} \frac{N_{no3}}{(K_{phn} + N_{nh4})(K_{phn} + N_{no3})} + N_{nh4} \frac{K_{phn}}{(N_{nh4} + N_{no3})(K_{phn} + N_{no3})},$$

Нітратний (+ нітритний) азот ($N-NO_3$) N_{no3} , мгN·дм⁻³,

$$\frac{dN_{no3}}{dt} = k_{nit} \theta_{nit}^{T-20} N_{nh4} \frac{O_2}{K_{onit} + O_2} - \alpha_{nc} (1 - \beta_{Pnh4}) (1 - f_{exB}) G_p B_{ph} - k_{den} \theta_{den}^{T-20} N_{no3} \frac{K_{no3}}{K_{no3} + O_2}, \quad (6.15)$$

де k_{den} – питома швидкість процесу денітрифікації при температурі 20 °С, доб⁻¹; θ_{den} – температурний коефіцієнт; K_{no3} – стала, що враховує вплив вмісту розчиненого у воді кисню на розвиток процесу денітрифікації, мгO₂·дм⁻³.

Стійка детритна фракція вуглецевого біохімічного споживання кисню (RPBOD) BOD_{rpc} , мгO₂·дм⁻³,

$$\frac{dBOD_{rpc}}{dt} = \alpha_{oc} f_{rpc} k_{grz}(T) B_{ph} - k_{rdc} \theta_{rdc}^{T-20} BOD_{rpc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.16)$$

f_{rpc} – частка, яка надходить до RPBOD в результаті загибелі і споживання водоростей; α_{oc} – співвідношення між киснем та вуглецем для органічної речовини, мгO₂·мгC⁻¹; k_{rdc} – питома швидкість гідролізу RPBOD при температурі 20 °С, доб⁻¹; θ_{rdc} – температурний коефіцієнт.

Лабільна детритна фракція вуглецевого біохімічного споживання кисню (LPBOD) BOD_{lpc} , мгO₂·дм⁻³.

$$\frac{dBOD_{lpc}}{dt} = \alpha_{oc} f_{lpc} k_{grz}(T) B_{ph} - k_{ldc} \theta_{ldc}^{T-20} BOD_{lpc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}}, \quad (6.17)$$

f_{lpc} – частка, яка надходить до LPBOD в результаті загибелі і споживання водоростей; k_{ldc} – питома швидкість гідролізу LPBOD при температурі 20 °С, доб⁻¹; θ_{ldc} – температурний коефіцієнт.

Стійка розчинена фракція вуглецевого біохімічного споживання кисню (RDBOD) BOD_{rdc} , мгО₂·дм⁻³.

$$\frac{dBOD_{rdc}}{dt} = \alpha_{oc} f_{rdc} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} + k_{rdc} \theta_{rdc}^{T-20} BOD_{rpc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - k_{oxrc} \theta_{oxrc}^{T-20} BOD_{rdc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \frac{O_2}{K_{do} + O_2}, \quad (6.18)$$

f_{rdc} – частка, яка надходить до RDBOD в результаті загибелі і споживання водоростей; k_{oxrc} – питома швидкість біохімічного окислення RDBOD при температурі води 20 °С, доб⁻¹; θ_{oxrc} – температурний коефіцієнт; K_{do} – стала напівнасичення лімітування розчиненим у воді киснем процесу біохімічного окислення органічної речовини, мгО₂·дм⁻³.

Лабільна розчинена фракція вуглецевого біохімічного споживання кисню (LDBOD) BOD_{ldc} , мгО₂·дм⁻³.

$$\frac{dBOD_{ldc}}{dt} = \alpha_{oc} (f_{exB} G_p + f_{ldc} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T))) B_{ph} + k_{ldc} \theta_{ldc}^{T-20} BOD_{lpc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} - k_{oxlc} \theta_{oxlc}^{T-20} BOD_{ldc} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \frac{O_2}{K_{do} + O_2} \times \frac{BOD_{ldc}}{K_{ldc} + BOD_{ldc}} - \frac{5}{4} \frac{12}{14} k_{den} \theta_{den}^{T-20} N_{no3} \frac{K_{no3}}{K_{no3} + O_2} \alpha_{oc}, \quad (6.19)$$

де f_{ldc} – частка, яка надходить до LDBOD в результаті загибелі і споживання водоростей; k_{oxlc} – питома швидкість біохімічного окислення LDBOD при температурі води 20 °С, доб⁻¹; θ_{oxlc} – температурний коефіцієнт; K_{ldc} – стала напівнасичення інтенсивності процесу біохімічного окислення LDBOD, мгО₂·дм⁻³.

Розчинений кисень (DO) O_2 , мгО₂·дм⁻³,

$$\frac{dO_2}{dt} = \alpha_{oc} \beta_{Pnh4} G_p B_{ph} + \alpha_{no3c} (1 - \beta_{Pnh4}) G_p B_{ph} +$$

$$\alpha_{oc} k_{pr}(T) B_{ph} - 2\alpha_{on} k_{nit} \theta_{nit}^{T-20} NH_4 \frac{O_2}{K_{nit} + O_2} - \left[k_{oxrc} \theta_{oxrc}^{T-20} BOD_{rdc} + k_{oxlc} \theta_{oxlc}^{T-20} BOD_{ldc} \frac{BOD_{ldoc}}{K_{ldoc} + BOD_{ldc}} \right] \times \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \frac{O_2}{K_{do} + O_2}, \quad (6.20)$$

де α_{on} – співвідношення між киснем і азотом, $mgO_2 \cdot mgN^{-1}$, в органічній речовині; $\alpha_{nozс}$ – співвідношення між киснем і вуглецем для продукції водоростей на нітратах, $mgO_2 \cdot mgC^{-1}$.

У блоці евтрофікації розраховуються також потоки кисню на верхній і нижній границях водного стовпчика й масообмін біогенними елементами між водою й донними відкладами.

Газообмін киснем з атмосферою розраховується на основі залежності [85]:

$$Q_{O_2}^{atm} = \zeta_{e,i} n_v n_T (O_2^S - O_2), \quad (6.21)$$

де $Q_{O_2}^{atm}$ – надходження (інвазія) чи виділення (евазія) кисню, $mgO_2 \cdot m^{-2} \cdot гд^{-1}$, $\zeta_{e,i}$ – коефіцієнт інвазії (евазії), $dm^3 \cdot m^{-2} \cdot гд^{-1}$; n_T – температурний коефіцієнт; n_v – інтегральний вітровий коефіцієнт:

$$n_v = \begin{cases} 1.0 + 0.27W^2, & \text{при } W \leq 8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \\ -7.4 + 0.4W^2, & \text{при } W > 8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \end{cases}$$

W – швидкість вітру, $m \cdot c^{-1}$; O_2^S насичуюча (при даній температурі і солоності води) концентрація кисню, $mgO_2 \cdot dm^{-3}$.

Поглинання кисню донними відкладами розраховується за допомогою функціональної залежності [86]:

$$Q_{O_2}^{bot} = \frac{C_{O_2}^b}{\Pi_{O_2} + C_{O_2}^b} Q_{O_2}^{Tb} e^{\zeta_o(T-T_b)}, \quad (6.22)$$

де $Q_{O_2}^{Tb}$ – потік поглинання кисню донними відкладами, $\text{гO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{доб}^{-1}$, при температурі придонних вод $T_b, ^\circ\text{C}$; $C_{O_2}^b$ – вміст кисню у воді придонного шару, $\text{гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$; ζ_o – коефіцієнт, що описує вплив температури на поглинання кисню донними відкладами, $^\circ\text{C}^{-1}$.

Потік нітратів у системі вода-донні відклади визначається співвідношенням їх концентрацій у воді й донних відкладах, швидкістю масообміну через межу розділу й інтенсивністю процесу денітрифікації в донних відкладах [84]:

$$Q_{NO_3}^{bot} = k_{sw} (C_{NO_3}^{bot} - C_{NO_3}^b) e^{\zeta_{dn}(T - T_{rNO_3})}, \quad (6.23)$$

де k_{sw} – швидкість перенесення маси через межу вода-донні відклади, $\text{м} \cdot \text{доб}^{-1}$; $C_{NO_3}^b$ – концентрація нітратів у порових водах донних відкладів, $\text{гN} \cdot \text{м}^{-3}$; $C_{NO_3}^{bot}$ – концентрація нітратів у водах придонного шару, $\text{гN} \cdot \text{м}^{-3}$; ζ_{dn} – коефіцієнт, що описує вплив температури на швидкість денітрифікації, $^\circ\text{C}^{-1}$; T_{rNO_3} – температура, для якої визначається потік нітратів.

У моделі враховується вплив температури на потоки амонійного азоту і фосфатів, які задаються користувачем, у системі вода-донні відклади:

$$Q_{Ci}^{bot} = Q_{Ci}^{br} e^{\zeta_{ci}(T - T_{br})}, \quad (6.24)$$

де Q_{Ci}^{bot} – донний потік субстанції C_i , $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{доб}^{-1}$, при температурі T ; Q_{Ci}^b – донний потік субстанції C_i , $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{доб}^{-1}$, визначений при температурі T_{br} ; ζ_{ci} – температурний коефіцієнт, $^\circ\text{C}^{-1}$.

Залежність інтенсивності масообміну з донними відкладами від температури води зумовлена тим, що при прогріві вод придонного шару у весняно-літній період зростають швидкості мінералізації акумульованої в донних відкладах органічної речовини, що призводить до інтенсифікації потоків мінеральних сполук біогенних елементів з донних відкладів у товщу води й потоку поглинання кисню донними відкладами.

6.1.3 Калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку моделі

Для калібрування моделі евтрофікації використовувалися дані гідрохімічних і гідробіологічних спостережень, виконаних на акваторії Тилігульського лиману в період 2001-2011 рр. фахівцями Одеського філіалу Інституту біології південних морів НАН України. Комплекс спостережень за гідрохімічними параметрами вод лиману включав в себе визначення концентрацій розчинених мінеральних форм азоту (амонійного $N-NH_4$, нітритного $N-NO_2$, нітратного $N-NO_3$) і фосфору ($P-PO_4$), загального азоту (N_{TOT}) і фосфору (P_{TOT}), розчиненої органічної речовини ($DBOD$), розчиненого кисню (O_2). Концентрації органічного азоту і фосфору обчислювалися за різницею між загальним вмістом і концентрацією мінеральних форм: $P_{org} = P_{TOT} - P_{MIN}$, $N_{org} = N_{TOT} - N_{MIN}$.

Комплекс гідробіологічних спостережень включав до себе визначення концентрацій хлорофілу «а», відбір проб фітопланктону.

На жаль, слід відзначити, що спостереження мають епізодичний характер і нерівномірно розподілені по акваторії лиману. Їх кількість значно розрізняється по роках і місяцях. В окремі місяці й роки спостереження взагалі не проводились або поодинокі. Крім того, дані гідрохімічних і гідробіологічних спостережень часто не узгоджені в часі та просторі. Найбільше число спостережень виконано в південній половині лиману.

Для встановлення характеру внутрішньорічної мінливості гідрохімічних і гідробіологічних характеристик екосистеми Тилігульського лиману, отримані за весь період дані спостережень в приповерхневому шарі глибиною 5 м групувалися по місяцях і обчислювалися їх багаторічні середньомісячні значення. Інформація про кількість спостережень в кожному місяці в період моніторингу та роках, в які вони були виконані, приведена в таблицях 6.1, 6.2.

Внутрішньорічна (щомісячна) мінливість середніх багаторічних значень біомаси фітопланктону і концентрацій хлорофілу «а», біогенних речовин у водах 5-метрового приповерхневого шару лиману, отримана шляхом помісячного осереднення наявних даних за період 2001-2011 рр., представлена на рис. 6.9-6.10. Наведені значення використовувалися при калібруванні хіміко-біологічного блоку моделі. Через зазначені вище недоліки в організації екологічного моніторингу та обмеженість масиву вихідної інформації, відновлений за даними спостережень внутрішньорічний хід модельованих гідрохімічних і гідробіологічних характеристик є лише

грубим наближенням до реальної середньої за багаторічний період мінливості, що значно знижує точність калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку моделі.

Таблиця 6.1 Інформація про кількість гідрохімічних спостережень, виконаних в період 2002-2010 рр. в Тилігульському лимані, та їх розподіл по місяцях і роках

Місяць	III	IV	V	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Кількість спостер.	3	6	8	5	8	12	7	14	6	11
Роки	2003	2003	2008	2002	2008	2002, 2004, 2005, 2010	2003, 2004, 2005, 2010	2002	2003, 2004	2003, 2005

Таблиця 6.2 Інформація про кількість спостережень за біомасою фітопланктону і концентрацією хлорофілу «а», виконаних в період 2000-2011 рр. в Тилігульському лимані, та їх розподіл по місяцях і роках

Місяць	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Кількість спостер.	1	-	7	6	11	14	5	6	11
Роки	2011	-	2003, 2011	2006, 2008	2001, 2002, 2005, 2006	2000, 2003, 2005, 2010, 2011	2001, 2002, 2010	2003, 2010	2001, 2006, 2010

Гідрохімічні характеристики вод р.Тилігул задавалися на основі даних спостережень виконаних в період 2001-2011 рр. з дискретністю 1 раз в сезон на посту «Березівка», розташованому в 15 км від верхів'я лиману. Середньобагаторічні сезонні концентрації біогенних речовин у водах р.Тилігул, використані при калібруванні, наведені на рис. 6.11.

Концентрації біогенних речовин у морських водах, які надходять в лиман через штучний з'єднувальний канал, задавалися на основі узагальнення даних, наведених в літературних джерелах [86 - 88].

Калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку моделі проводилось за наступною схемою.

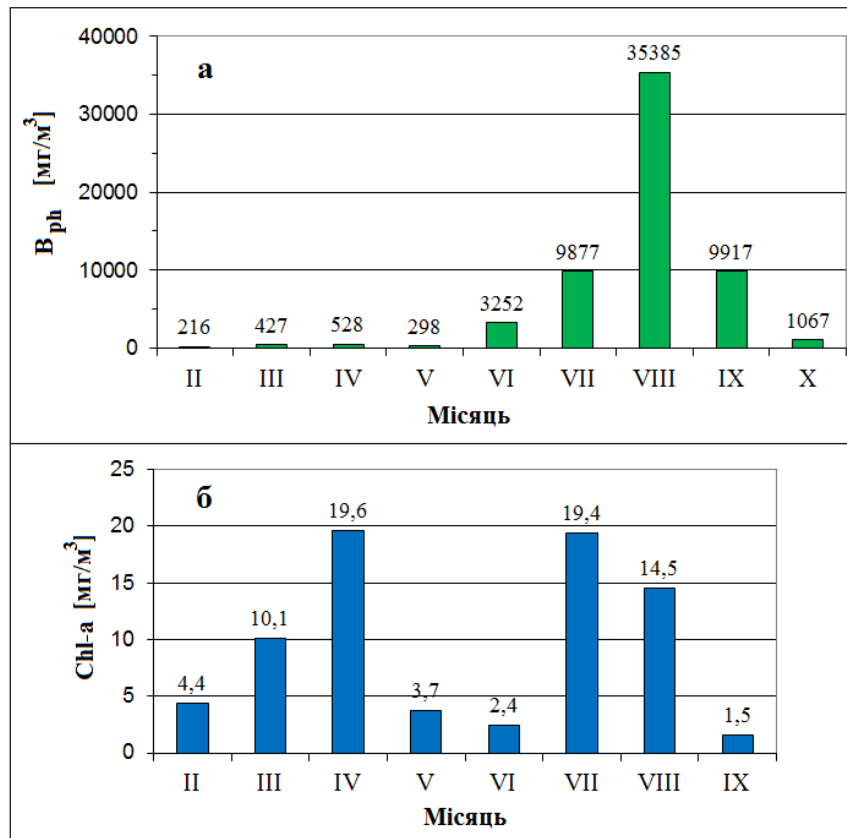


Рисунок 6.9 – Внутрішньорічна мінливість багаторічних значень біомаси фітопланктону B_{ph} та концентрації концентрації хлорофілу «а» $Chl-a$ (б) у фотичному шарі Тилігульського лиману в період 2001 - 2011 рр.

На першому етапі, на основі інформації наведеної в науковій літературі визначалися найбільш ймовірні (типові) значення параметрів, включених в рівняння моделі, і можливий діапазон їх мінливості в умовах близьких до спостережуваних в Тилігульському лимані.

На другому етапі виконувалося калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку з використанням 1-D (по координаті z) варіанта моделі, в якому відключені члени рівнянь гідротермодинамічної моделі, що описують горизонтальний турбулентний обмін і адвективний перенос, а також передбачається незалежність всіх функцій від горизонтальних координат. У такій постановці враховується тільки дрейфова складова швидкості течій, яка використовується для розрахунку коефіцієнтів вертикального турбулентного обміну і дифузії. Основне завдання калібрування полягало в досягненні максимально можливої відповідності між даними спостережень та розрахунками внутрішньорічної мінливості модельованих змінних. Ця мета досягалася шляхом корекції в допустимих межах первинних значень констант хіміко-біологічного блоку, заданих на підставі даних літературних джерел.

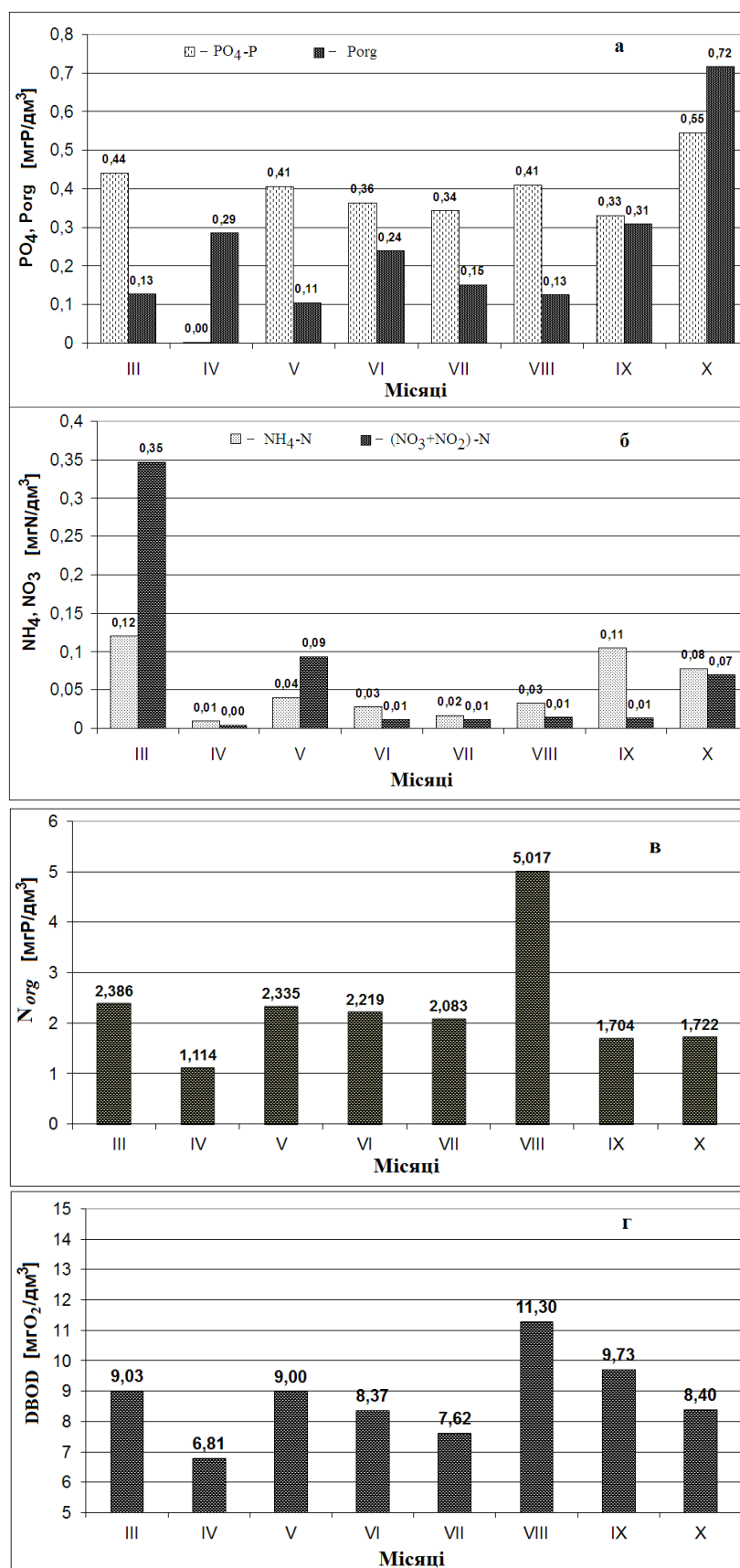


Рисунок 6.10 – Внутрішньорічна мінливість багаторічних значень концентрацій біогенних і органічних речовин у фотичному шарі Тилігульського лиману в період 2002 - 2010 рр.

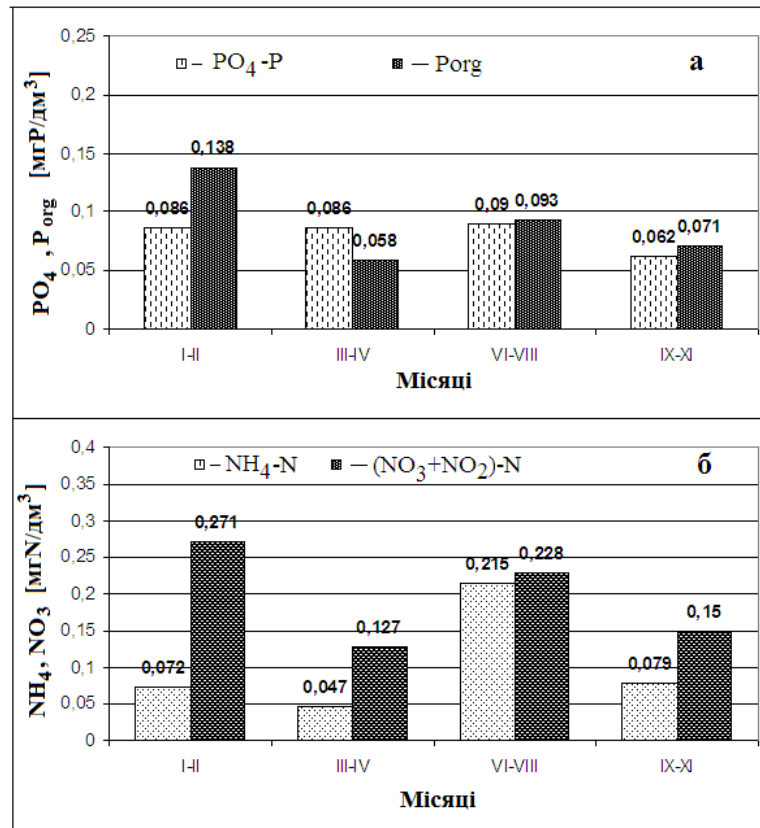


Рисунок 6.11 – Сезонна мінливість концентрації біогенних речовин в водах р. Тилігул в період 2001 - 2011 рр. в пункті «Березівка»

Попереднє використання 1-D варіанта моделі зумовлено тим, що при калібруванні моделі евтрофікації вод він вимагає значно менших затрат комп'ютерного часу, ніж 3-D варіант. Це дозволяє провести велику кількість чисельних експериментів з різним поєднанням параметрів моделі і добитися необхідного характеру мінливості модельованих змінних.

Для обліку надходження біогенів та органіки в лиман від зовнішніх джерел, в 1-D варіанті моделі використовувалася залежність виду [79]:

$$Q_i = \sum_k \frac{q_k}{W_{tot}} (C - C_{ki}), \quad (6.25)$$

де Q_i – приплив i -ої речовини від зовнішніх джерел (р.Тилігул, з'єднувальний з морем канал); q_k – витрата k -го джерела, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; C_{ki} , C – концентрація i -ої речовини, що моделюється, у водах k -го джерела і водах досліджуваної акваторії, відповідно; W_{tot} – сумарний об'єм вод зони

розбавлення. Передбачалося, що початкове розбавлення відбувається в межах верхнього 1,5-метрового шару.

Калібрування 1-D варіанту виконувалося в три етапи. На першому кроці калібрувалися параметри рівнянь динаміки біомаси фітопланктону (B_{Ph}), органічного фосфору (P_{org}) і азоту (N_{org}), розчиненого кисню (O_2). Сезонна динаміка решти змінних моделі задавалася згідно даним спостережень.

На другому кроці калібрувалися параметри рівнянь для мінеральних форм азоту (NH_4^+ , $NO_2^- + NO_3^-$) і фосфору (PO_4^{3-}), при цьому, коригувалися параметри рівнянь для органічних азоту і фосфору.

На третьому етапі калібрування екологічної моделі, параметри рівнянь хіміко-біологічного блоку, які були визначені із застосуванням 1-D варіанта моделі, використовувалися в 3-D варіанті моделі. На основі результатів 3-D моделювання виконувалося уточнення окремих значень параметрів рівнянь хіміко-біологічного блоку, встановлених в 1-D варіанті.

Моделювання внутрішньорічної динаміки гідроекологічних змінних моделі виконувалося при гідрометеорологічних умовах 2010 року і типового (за гідрометеорологічними умовами) року для періоду 1990-2010 рр.

Витрати р.Тилігул (середньомісячні значення, а в 2010 р. – середньодекадні) задавалися на основі даних спостережень, виконаних на водпосту «Березівка». Необхідні для гідродинамічного та екологічного моделювання метеорологічні параметри: швидкість і напрям вітру, температура повітря, бал загальної хмарності, відносна вологість повітря, атмосферні опади, – задавалися на основі даних спостережень (з дискретністю 6-годин) на ГМС «порт-Южний» в 2010 р., а також даних для типового за метеорологічними умовами року періоду 1990-2010 рр. регіонального кліматичного сценарію M10. Цей сценарій, вибраний з бази даних ENSEMBLES як найбільш відповідний регіональним кліматичним умовам в зазначений період, був розрахований за моделлю REMO Інституту метеорології ім.Макса Планка (Гамбург) [58, 68]. Використовувалися також вимірювання інтенсивності сонячної радіації, виконані з дискретністю 3-х години на ГМС «Одеса».

Для завдання граничних умов на відкритій морській границі штучного каналу, що з'єднує лиман з морем, використовувалися дані систематичних спостережень (середньодекадні значення) за коливаннями рівня моря, температурою і солоністю морської води, виконані на ГМС «порт-Южний» в 2010 р.

Результати калібрування параметрів хіміко-біологічного блоку для точки в центральній частині лиману наведені на рис. 6.12.

6.2 Умови сценарного моделювання гідроекологічних процесів в лимані з урахуванням кліматичних змін

Оцінка впливу кліматичних змін на гідроекологічні характеристики Тилігульського лиману виконувалася на основі модельних розрахунків для типових років кліматичних періодів 1970-2000 рр. (p0), 2011-2040 рр. (p1), 2041-2070 рр. (p2), 2071-2098 рр. (p3) регіонального кліматичного сценарію M10 розрахованого за моделлю REMO Інституту метеорології ім. Макса Планка (Гамбург), обраного з бази даних ENSEMBLES [58, 68] як кращий для досліджуваного регіону.

Вибір “типових” років при розрахунках гідроекологічних характеристик за обраним сценарієм кліматичних змін був здійснений на основі аналізу трьох кліматичних характеристик – температури повітря, суми опадів та швидкості вітру. Процедура вибору типових років виглядала наступним чином.

Крок 1. Розрахунок середніх значень характеристики x для кожного та k –го місяця у межах i –го року

$$\bar{x}_{i,k} = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^{s=m} x_{i,k,s}; \quad (6.26)$$

де $\bar{x}_{i,k}$ - осереднені за кожен місяць добові значення характеристики x_s у межах i – го року; k – номер місяця ($k=1, \dots, 12$); m – кількість днів у місяці.

Крок 2. Розрахунок середніх значень характеристики x для усього періоду спостережень, що розглядається

$$\bar{x}_k = \frac{1}{N * m} \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{s=1}^{s=m} x_{i,k,s}; \quad (6.27)$$

де N – загальна кількість років в одному розрахунковому періоді.

Крок 3. Розрахунок відхилень b для кожного року та місяця

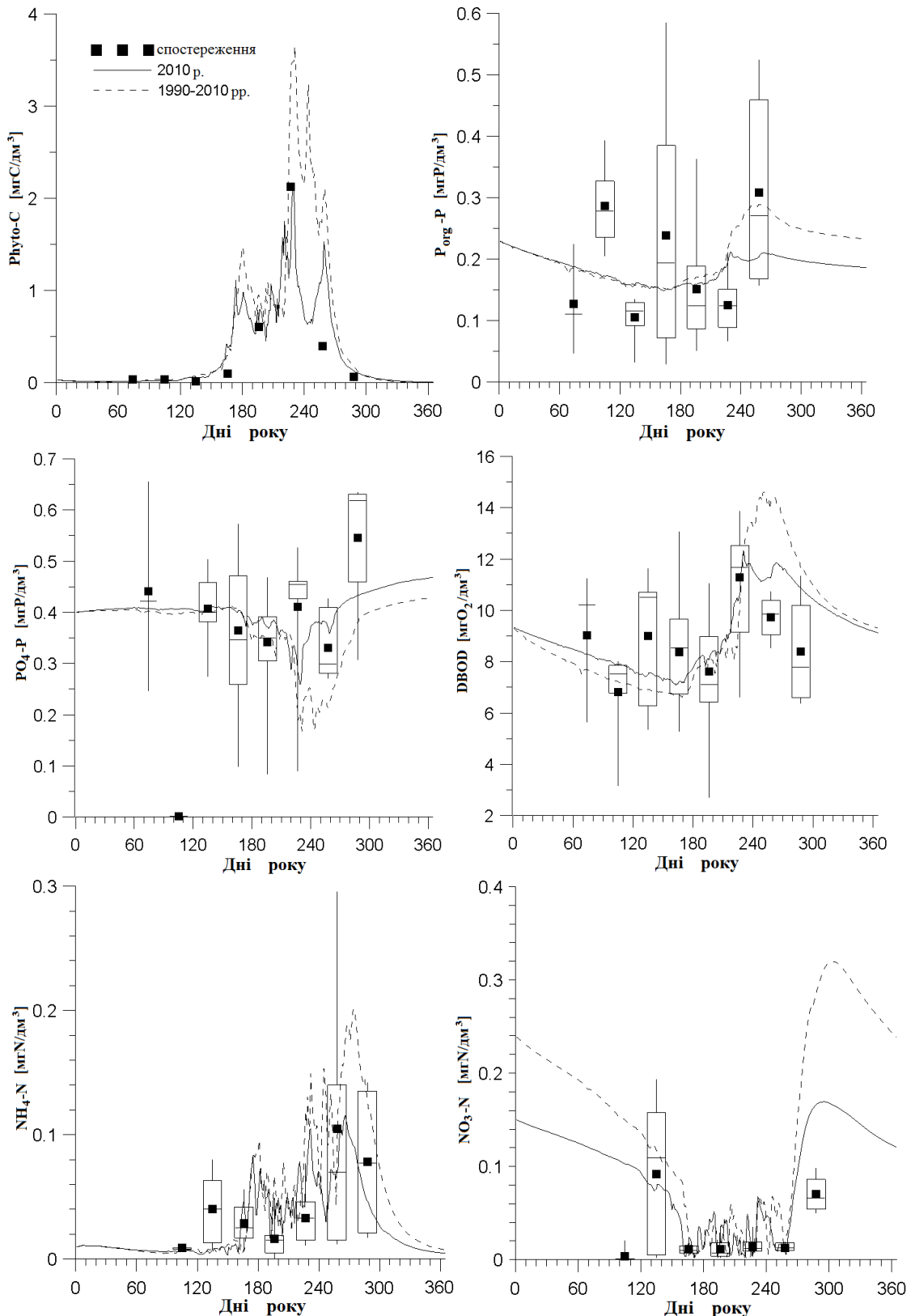


Рисунок 6.12 – Внутрішньорічна мінливість модельованих гідроекологічних характеристик при гідрометеорологічних умовах 2010 р. та типових для періоду 1990-2010 рр. і встановлена в результаті помісячного осереднення даних наявних спостережень за період 2001-2011 рр.

$$b_{i,k} = abs\left(\frac{\bar{x}_k - \bar{x}_{i,k}}{\bar{x}_k}\right). \quad (6.28)$$

Крок 4. Розрахунок річних значень відхилень

$$b_i = \sum_{k=1}^{k=12} b_{i,k}, \quad (6.29)$$

де i – номер року; k – номер місяця.

Крок 5. Повторення вищеописаної процедури для кожного з n характеристик, що розглядаються, починаючи з першого кроку.

Крок 6. Розрахунок загальних відхилень для кожного i -того року для всіх n характеристик за допомогою вагових коефіцієнтів w

$$b_{загал,i} = w_1 * b_{i,1} + w_2 * b_{i,2} + \dots + w_j * b_{i,j} + \dots + w_n * b_{i,n}, \quad (6.30)$$

де w_1, w_2, w_n - вагові коефіцієнти розглянутих характеристик, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

В даному випадку вагові коефіцієнти прийняті рівними 0,333 для кожної із розглянутих характеристик. За типовий приймався рік з найменшим відхиленням $b_{загал,i} = \min$.

Із застосуванням вказаної процедури для регіону Тилігульського лиману за даними сценарію М10 були обрані наступні типові (середні) роки для чотирьох кліматичних періодів: 1982 модельний рік – для періода 1971-2000 рр. (р0), 2014 р. – для періода 2011-2040 рр. (р1), 2062 р. для періода 2041-2070 рр. (р2), 2085 р. – для періода 2071-2090 рр. (р3).

Аналіз змін кліматичних характеристик у виділені типові роки показав існування тенденції до зростання середніх річних значень температури повітря у басейні Тилігульського лиману (рис. 6.13а). У порівнянні із 1982 р., зростання температури повітря у 2014 р. відбудеться на 2,2 °С (22%), у 2062 р. – на 3°С (29%), у 2085 р. – на 4,1 °С (40%). Прогнозована середньорічна температура повітря у 2098 р. – 14,3 °С.

На рис. 6.13б показана зміна середньорічних сум опадів. У 2014 р. в басейні Тилігульського лиману передбачається зменшення опадів до 413мм за рік (на 14% у порівнянні із 1982 р.), у період 2041-2070 рр. – збільшення їх кількості та подальше зменшення у кінці ХХІ століття. Відповідний аналіз

змін відносної вологості повітря, хмарності, швидкості вітру не виявив суттєвої різниці цих характеристик впродовж досліджуваних років.

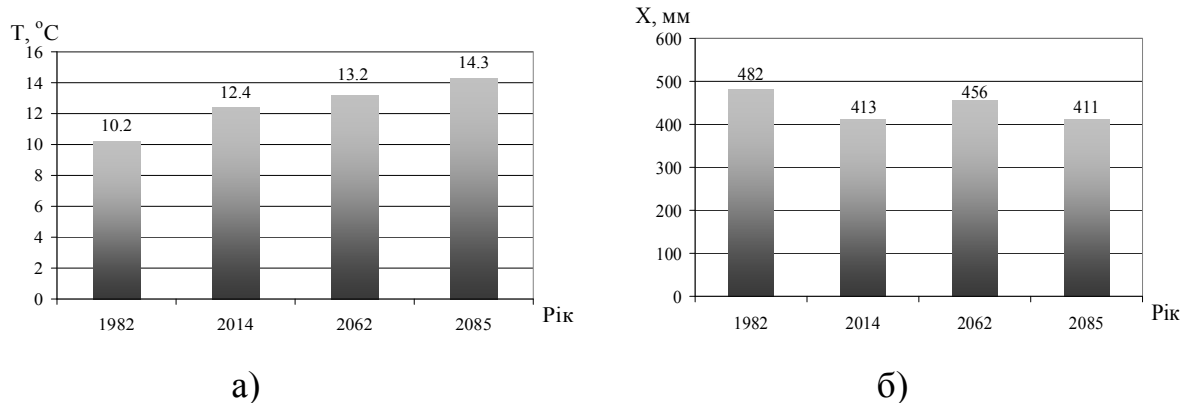


Рисунок 6.13 – Зміни середніх річних значень температури повітря (а) та опадів (б) в басейні Тилігульського лиману

Окрім типових років для різних кліматичних періодів, порівняльний аналіз результатів сценарного гідроекологічного моделювання проводився для екстремальних років. Для порівняльного аналізу були обрані:

- 1) Екстремальні багатоводні роки (1977 та 2030), з максимальними значеннями річної суми атмосферних опадів і річним боковим прісним стоком в посиляльній період 1971- 2000 рр. (p01) та перший прогностичний період 2011 – 2040 рр. (p11). Мета аналізу – оцінити наскільки знизиться солоність і зміняться гідроекологічні характеристики лиману в при максимальному припливі до нього прісних вод в прогностичний період p1, який характеризується мінімальними середньобаторічними об'ємами прісного стоку в лиман як у порівнянні з посиляльним періодом p0, так і з прогностичними періодами p2 і p3 (рис. 6.17).
- 2) Екстремальні маловодні 1998 (p02) і 2086 (p32) роки, з високою середньорічною температурою повітря, мінімальною кількістю атмосферних опадів і річним річковим стоком. Вибір екстремального року прогностичного періоду p3, зумовлений максимальними значеннями температури повітря і води в цей період, інтенсивністю випаровування, а, отже, мінімальним надходженням прісних вод з водозбірного басейну в лиман і максимальним припливом морських вод через канал для компенсації дефіциту прісного балансу.

Порівняльний аналіз солоності і гідроекологічних характеристик вод лиману в екстремальні роки вибраних прогностичних періодів і посиляльного

періоду дозволяє отримати уявлення про діапазон мінливості цих характеристик при аномальних значеннях гідрометеорологічних чинників в умовах кліматичних змін.

Умови на морській границі задавалися на основі результатів науково-дослідницького проекту [89]. У рамках проекту, для нестационарного кліматичного сценарію GFLD (the climate model of the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory of the U.S.) на основі стохастичної моделі «клімат-стік» [90] оцінені зміни річкового стоку Дунаю, Дніпра, Дністра і Південного Буга в північно-західну частину Чорного моря (ПнЗЧМ) в ХХІ столітті [90, 92] та їх вплив гідрологічний та гідрохімічний режими вод ПнЗЧМ.

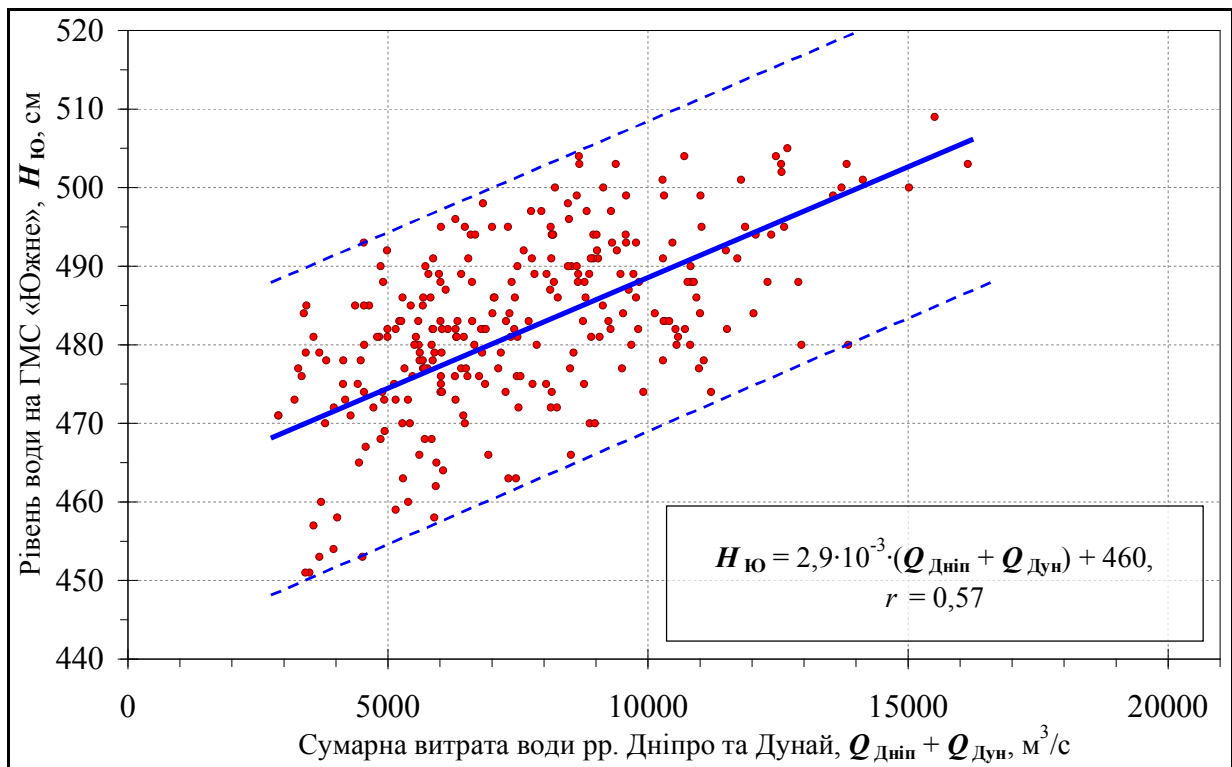


Рисунок 6.14 – Зв'язок середньомісячних рівнів води на ГМС «порт-Южний» $H_{Ю}$, см, та сумарних витрат води р. Дніпро $Q_{Дніп}$ та р. Дунай $Q_{Дун}$, м³/с, за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р. [93]

Зміни рівня і солоності вод Чорного моря в районі Тилігульського лиману під впливом кліматичних змін оцінювалися з використанням встановлених емпіричних залежностей між середньомісячними значеннями рівня моря і стоку найбільш крупних річок Дніпро і Дунай (рис. 6.14), а також середньомісячних значень солоності води ПнЗЧМ на ГМС «порт-Южний» та витрат води р. Дніпро (рис. 6.15).

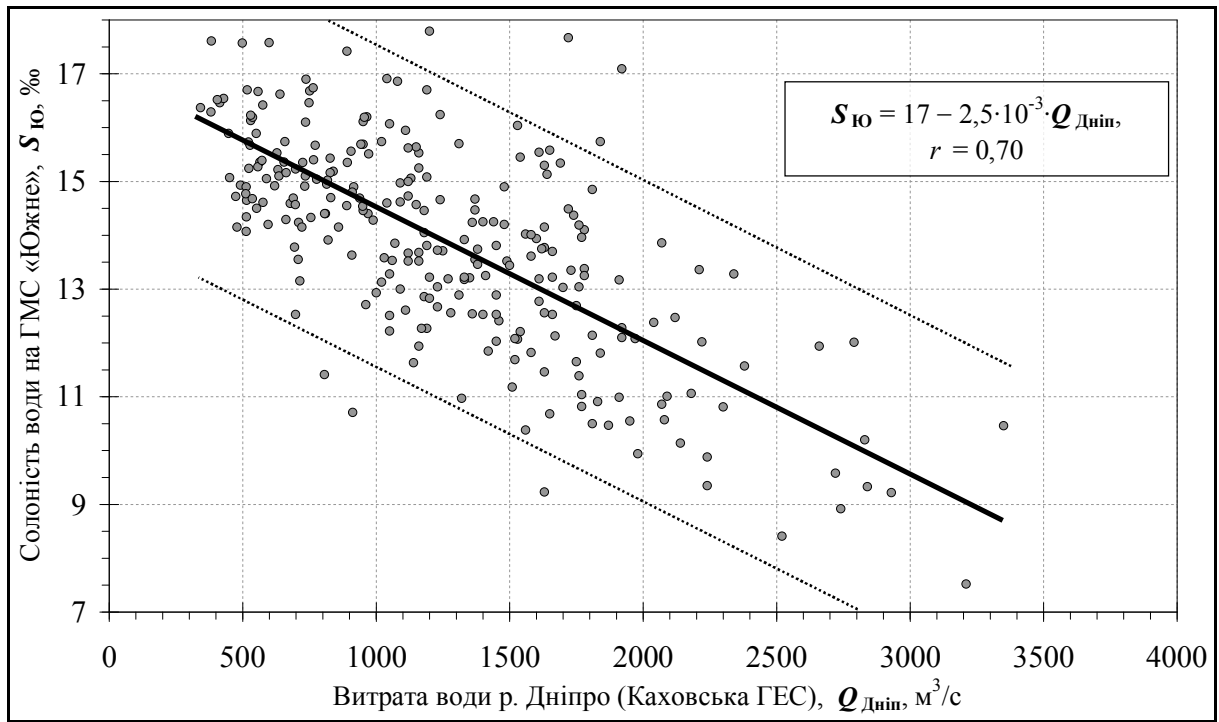


Рисунок 6.15 – Зв'язок середньомісячних величин солоності води Чорного моря на ГМС «порт-Южний» $S_{Ю}$, ‰, та витрат води р. Дніпро $Q_{Дніп}$, m^3/c , за період з січня 1982 р. по грудень 2004 р. [93]

6.3 Результати моделювання впливу кліматичних змін на гідроекологічні характеристики лиману

Оцінка впливу кліматичних змін на Тилігульський лиман виконувалася на основі модельних розрахунків для типових років, визначених за методологією, представленою в попередньому розділі. Додатково розглядалися екстремальні по об'ємах прісного стоку роки для окремих кліматичних періодів. Результати розрахунків аналізувалися в 3 точках лиману, які розташовані в глибоких південній, центральній її частинах (St 1, St 2), а також в мілководній північній частині – St 3 (рис. 6.16). Південна частина зазнає вплив водообміну з морем через штучний сполучний канал в період його функціонування (у квітні-червні), а в північну частину поступає переважаюча частина прісного стоку (більше 95 %), перш за все р. Тилігул.

Узагальнена інформація щодо кліматичної мінливості основних «збурюючих» екосистему лиману природних факторів: об'ємів річкового стоку, середньорічної температури води в лимані, приведена на рис. 6.17.

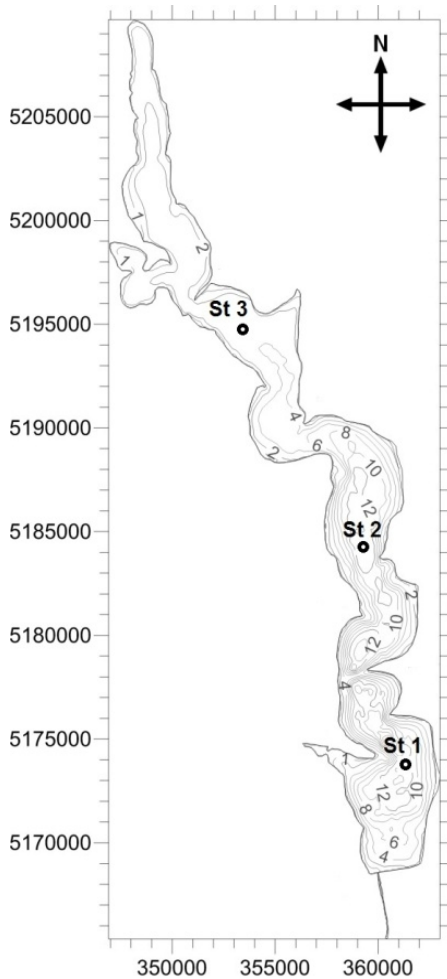


Рисунок 6.16 – Батиметрична карта Тилігульського лиману та розташування точок аналізу отриманих результатів. На осях координат вказані позначки СУСПМ (сітки по універсальній поперечній проекції Меркатора) з кроком 5000 м, зона 36N.

Мінімальні концентрації фосфатів у всі періоди моделювання відповідають фазам інтенсивного зростання (продукції) біомаси фітопланктону. У північній частині лиману в осінньо-зимовий період концентрації фосфатів можуть знижуватися у декілька разів, в порівнянні з весняним періодом. Запаси фосфатів в цій частині водоймища поповнюються, в основному, за рахунок припливу річкових вод з дренажного

Особливості внутрішньорічної мінливості модельованих екологічних змінних в типові роки різних прогностичних періодів в різних частинах лиману показані на рис. 6.18-6.19. Біомаса водоростей досягає своїх максимальних значень в серпні - першій половині вересня. В періоди p_0 і p_1 в південній і центральній частинах лиману, на фоні основного піку біомаси виділяються два локальних – на початку серпня і початку вересня. У мілководній північній частині лиману домінує пік біомаси водоростей у вересні. Біомаса досягає тут своїх максимальних значень для всього лиману.

У прогностичний період p_2 у всіх частинах лиману утворюється один потужний пік біомаси з максимумом в кінці серпня. В північній частині біомаса водоростей досягає свого історичного максимуму.

В період p_3 у всіх частинах лагуни домінує пік біомаси фітопланктону на початку серпня. На відміну від попередніх періодів, максимальні значення біомаси відповідають південній частині лиману. Це є наслідком збільшення припливу в лиман морських вод через

басейну наприкінці зими - навесні і мінералізації запасів органічної речовини в донних відкладах.

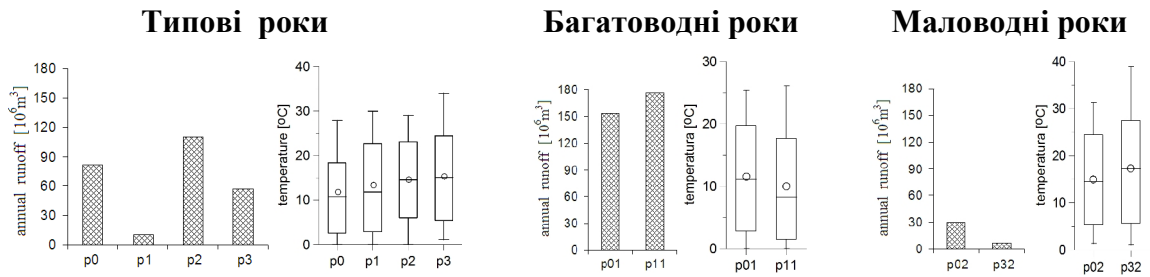


Рисунок 6.17 – Кліматична мінливість основних «збурюючих» екосистем лагуни природних факторів: об'ємів річкового стоку, середньорічної температури води в лимані, в типові і екстремальні роки

Максимум у внутрішньорічній мінливості концентрацій амонійного азоту зміщений на місяць по відношенню до максимуму біомаси водоростей і відзначається у вересні-на початку жовтня. Утворюється в результаті мінералізації органічної речовини відмерлих водоростей. Максимальні концентрації нітратного азоту відзначаються наприкінці жовтня – початку листопада, як результат нітрифікації амонійного азоту.

Внутрішньорічна мінливість солоності води в лимані у типові роки різних періодів приведена на рис. 6.20-6.21. Вона формується під впливом епізодичного припливу річкового стоку з водозбірного басейну в північну частину лиману (в основному навесні), надходження морських вод через сполучний канал (у квітні-червні) в об'ємах необхідних для компенсації дефіциту прісного балансу лиману, який сформувався до моменту відкриття каналу, і інтенсивного випаровування в теплий період року. В умовах відсутності або незначного прісного стоку з дренажного басейну в другій половині року, мілководна північна частина лиману є джерелом високосолоних вод для всього лиману (періоди p1, p3) внаслідок інтенсивного випаровування. Інтенсивне надходження морських вод через канал в роки із значним дефіцитом прісного балансу (p1, p3) сприяє зменшенню солоності в південній частині лиману. У роки, коли річковий стік з водозбірного басейну значний, його явний вплив проявляється в зменшенні солоності вод не лише в північній, але й в південній частині лагуни (p0, p2).

Узагальнена інформація про просторово-часову мінливість основних гідроекологічних характеристик лиману, таких як солоність, біомаса фітопланктону, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, O_2 представлені на рис. 6.22 - 6.23. У таблиці 6.3 представлені зміни середніх для лагуни значень модельованих

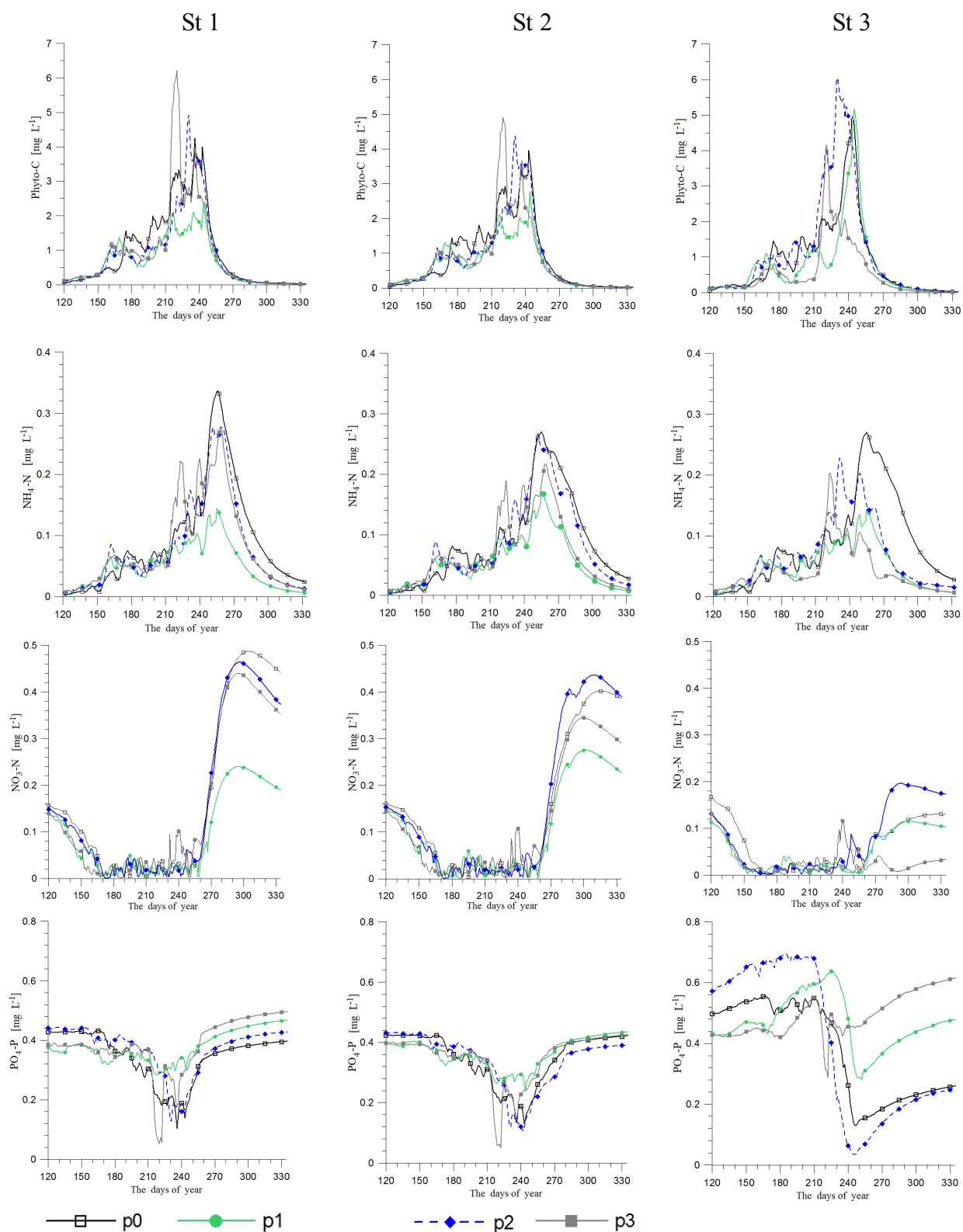


Рисунок 6.18 – Мінливість у Тилігульському лимані щодобових значень модельованих екологічних змінних з травня по жовтень в типові роки різних періодів (p0 - 1971- 2000 pp.; p1 – 2011-2040 pp.; p2 – 2041-2070 pp.; p3 – 2071-2098 pp.) в точках St 1, St 2, St3 лиману (рис. 6.1)

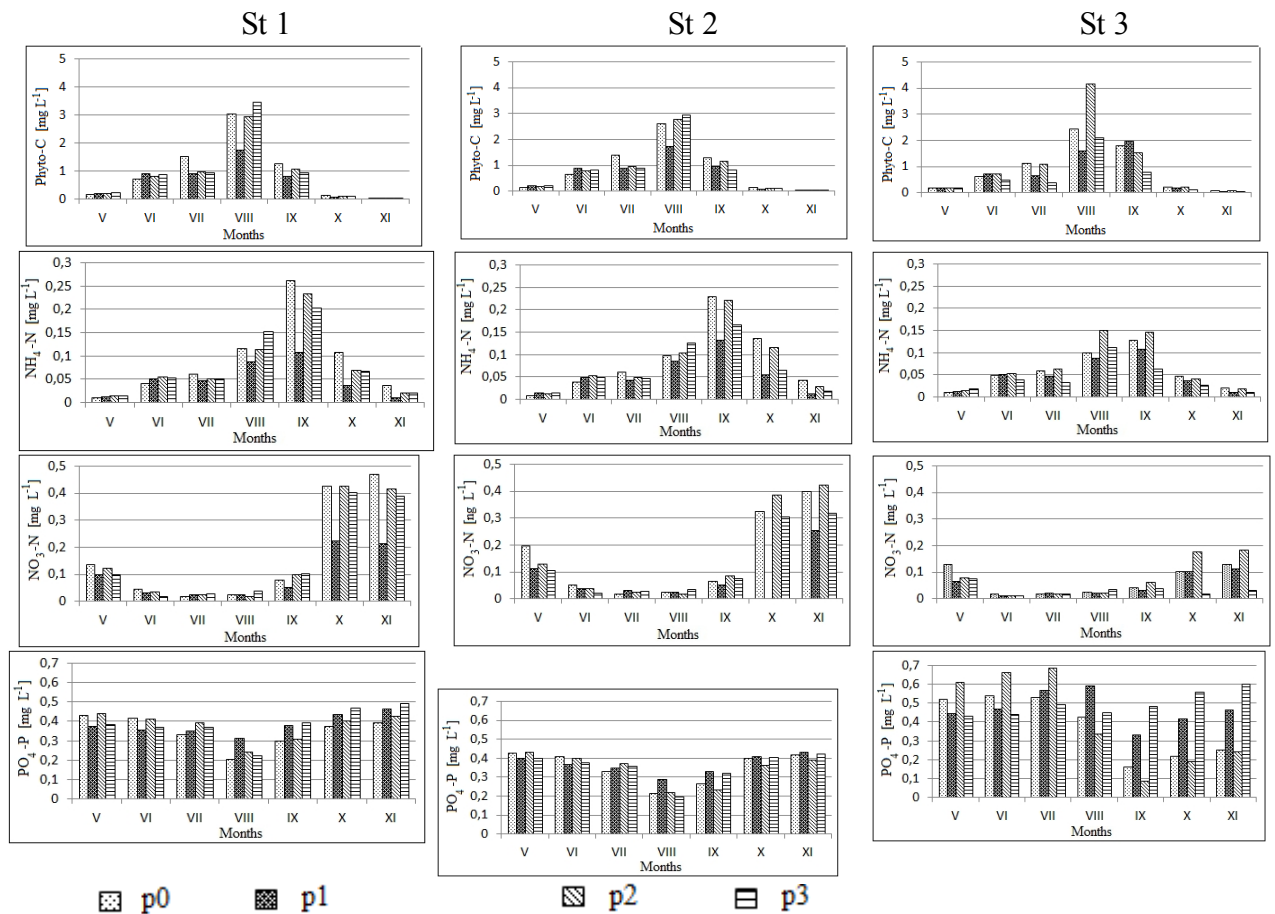


Рисунок 6.19 – Мінливість в Тилігульському лимані середньомісячних значень модельованих екологічних змінних з травня по жовтень в типові роки різних періодів (p0 - 1971- 2000; p1 – 2011-2040; p2 – 2041-2070; p3 – 2071-2098) в точках St 1, St 2, St3 лиману

характеристик в типові і екстремальні роки прогностичних періодів в порівнянні з їх значеннями в період p0.

Результати модельних розрахунків свідчать, що сучасний період (p1) характеризується мінімальними середньорічними об'ємами бічного прісного стоку в лиман, наслідком чого є збільшення солоності вод, зменшення концентрації $\text{NH}_4\text{-N}$, дефіцит якого призводить до лімітації первинної продукції водоростей в літні місяці і зменшенню їх загальної біомаси, зростанню концентрацій $\text{PO}_4\text{-P}$. Глибокі південна і центральні частини лиману, об'єм вод яких становить 80 % загального об'єму вод в лимані, володіють значним демпфіруючим ефектом по відношенню до впливу річкового стоку (1,6 % від об'єму вод лиману). Проте, навіть в цих частинах протягом річного циклу спостерігається підвищення солоності вод на декілька одиниць PSU, що протягом декількох десятиліть приведе до

підвищення солоності вод в лимані на декілька десятків PSU. Найбільше підвищення солоності відбувається в мілководній північній частині лиману наприкінці літнього – на початку осіннього періодів року. За відсутності прісного стоку та інтенсивному випаровуванні в літні місяці солоність тут може підвищуватися до кінця року до 27 PSU. Ці солоні води проникають в центральну і південну частини лиману, сприяючи підвищенню солоності води в них. Отримані результати гідродинамічного моделювання підтверджуються незалежними розрахунками з використанням моделі водно-сольового балансу лиману, згідно з якими середня солоність вод лагуни до кінця прогностичного періоду p1 підвищиться до 35 – 50 PSU.

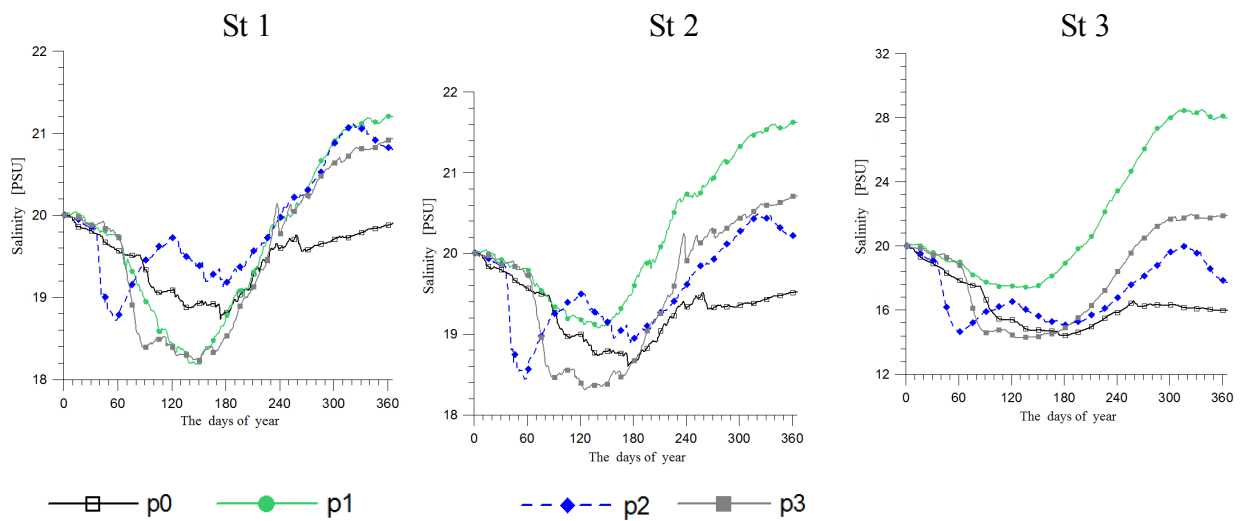


Рисунок 6.20 – Внутрішньорічна мінливість солоності води в типові роки різних періодів (p0 – 1971- 2000 pp.; p1 – 2011-2040 pp.; p2 – 2041-2070 pp.; p3 – 2071-2098 pp.) в точках St 1, St 2, St3 Тилігульського лиману

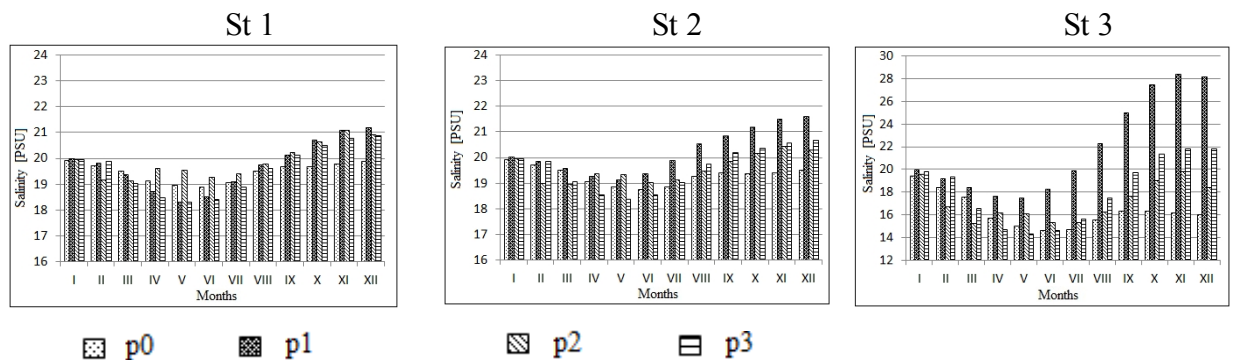


Рисунок 6.21 – Мінливість середньомісячних значень солоності води з травня по жовтень в типові роки різних кліматичних періодів (p0 – 1971- 2000 pp.; p1 – 2011-2040 pp.; p2 – 2041-2070 pp.; p3 – 2071-2098 pp.) в точках St 1, St 2, St3 Тилігульського лиману

Для прогностичного періоду p_2 очікується значне збільшення бічного прісного стоку в лиман. Разом зі стоком збільшиться надходження мінеральних з'єднань азоту, що спричинить зростання біомаси водоростей в лимані, а також інтенсивність їх «цвітіння» (по максимальних значеннях біомаси). Не зважаючи на збільшення утилізації водоростями PO_4-P , їх концентрація в середньому також збільшиться за рахунок додаткового надходження з річковим стоком (рис. 6.22). Проте в періоди «спалахів» біомаси можливе епізодичне значне зменшення концентрації PO_4-P , особливо в мілководній північній частині лиману. Середні по акваторії лиману значення біомаси фітопланктону і концентрації NH_4-N в період p_2 повернуться до значень періоду p_0 (табл. 6.3). Збільшаться середні концентрації PO_4-P и, особливо, NO_3-N .

Прогностичний період p_3 характеризується меншим річковим стоком в порівнянні з p_2 і p_0 , проте більшим, ніж для p_1 . У цей же період температури води і повітря, а, отже, випаровування з водної поверхні лиману досягнуть своїх максимальних значень. Для компенсації дефіциту прісного балансу збільшиться приплив через канал морських вод в південну частину лиману. Просторовий розподіл біомаси фітопланктону в цей період характеризується максимальними значеннями в південній частині лиману і мінімальними – в північній, де зростання водоростей стримуватиметься недостатньою кількістю NH_4-N (рис. 6.22). Середні по акваторії лиману значення біомаси фітопланктону, концентрації NH_4-N будуть менші, а NO_3-N и PO_4-P – більші, ніж в період p_0 (табл. 6.3).

У зв'язку із загальною тенденцією росту температури води і біомаси фітопланктону в глибоких південній і центральній частинах лиману у XXI столітті, його кисневий режим також погіршуватиметься (табл. 6.3), а мінімуми кисню в придонному шарі, особливо в центральній частині, заглиблюватимуться (рис. 6.23).

Порівняння результатів розрахунків для екстремальних років різних прогностичних періодів дають уявлення про їх вплив на просторову мінливість гідроекологічних характеристик (рис. 6.22). В екстремально багатоводний рік з максимальним річковим стоком (p_{11}) періоду p_1 концентрації NH_4-N , NO_3-N , біомаса фітопланктону у всіх частинах лиману будуть більшими, а концентрація PO_4-P і солоність меншими, ніж в екстремально маловодний рік (p_{01}) періоду p_0 (рис. 6.22; табл. 6.3). В екстремально маловодний рік з мінімальним річковим стоком p_{32} концентрація NH_4-N і біомаса фітопланктону будуть вищі, а концентрація PO_4-P нижча, ніж в разі p_{02} , – в глибоких південній і центральній частинах лагуни, а в північній частині – навпаки. Концентрація NO_3-N у всіх частинах лиману

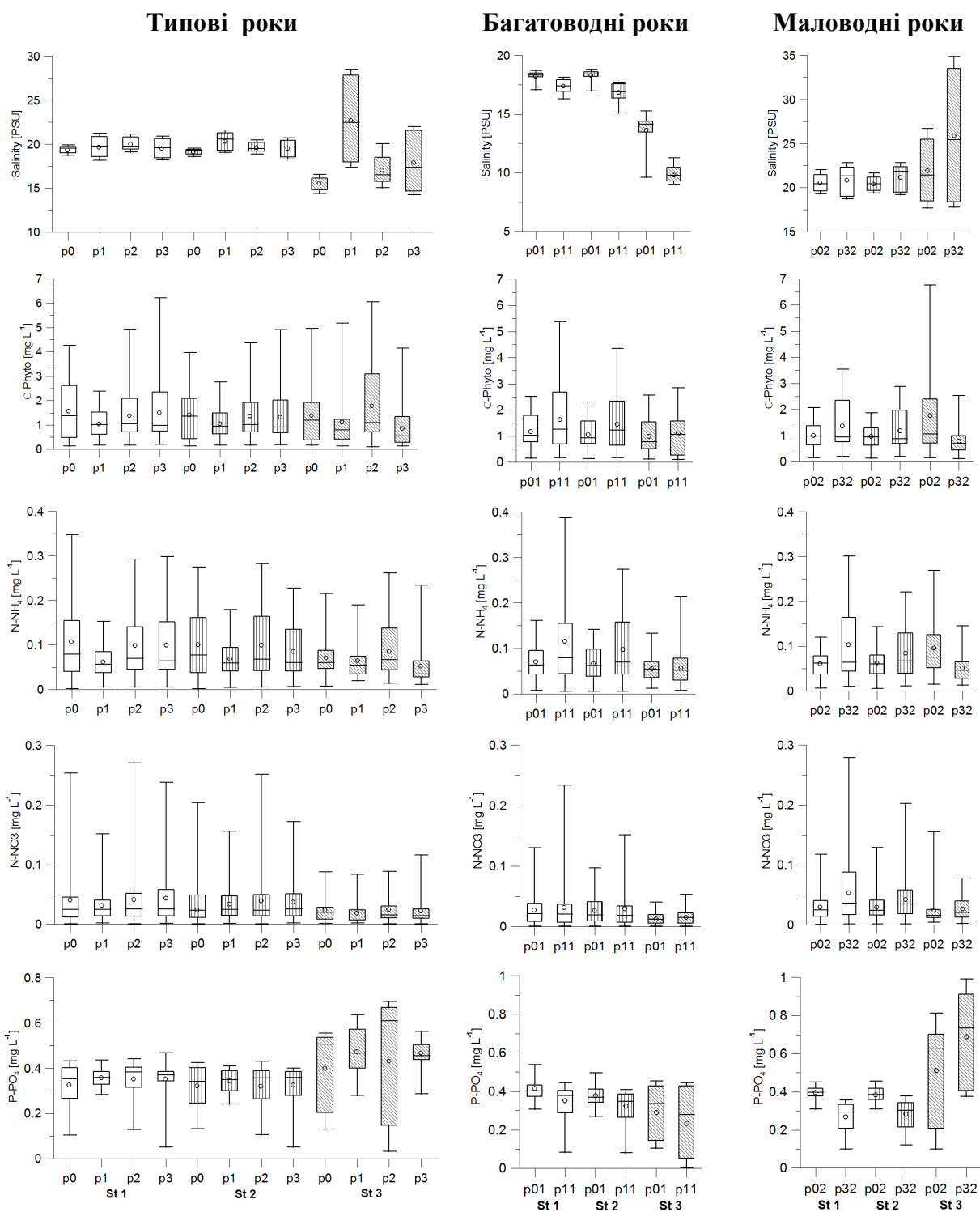


Рисунок 6.22 – Результати моделювання в різних частинах Тилігульського лиману (точки St1, St2, St3) просторово-часової мінливості гідроекологічних характеристик в типові (p0, p1, p2, p3) та екстремальні (p01, p02, p11, p32) роки різних кліматичних періодів. Приведені мінімальні, максимальні, медіанні і середні (точки) значення, а також значення 25 % та 75 % квантілей.

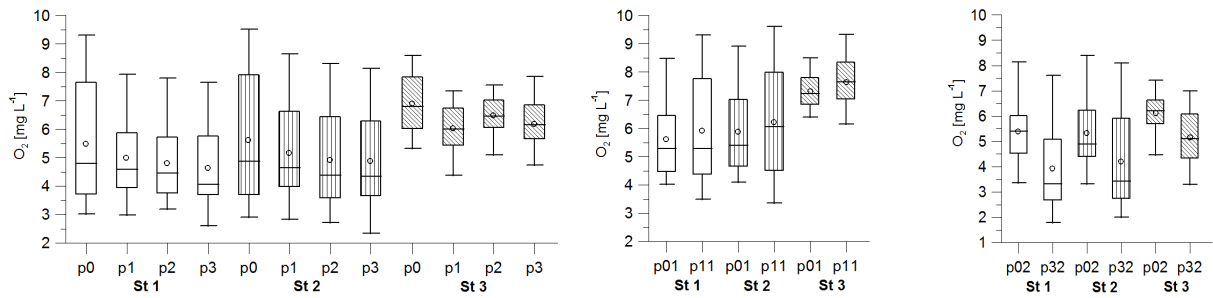


Рисунок 6.23 – Результати моделювання в різних частинах Тилігульського лиману (точки St 1, St 2, St 3) вмісту розчиненого у воді кисню.

Таблиця 6.3 – Відносні зміни (у %) біомаси фітопланктону C-Phyto, концентрацій $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, O_2 та солоності у типові роки прогностичних періодів (p1-p3) в порівнянні з періодом p0, екстремальні роки різних періодів, екстремальні і типові роки відповідних періодів

Сценарій		C-Phyto	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	O_2	Солоність
Типовий 1	p1/p0	-26,93	5,84	-32,51	9,86	-9,28	10,10
Типовий 2	p2/p0	-1,04	30,58	-1,1	3,44	-11,19	3,86
Типовий 3	p3/p0	-10,59	27,98	-12,05	6,04	-13,38	3,39
Багатоводний рік	p11/p01	34	25,63	46,18	-15,38	5,37	-9,29
	p01/p0	-22,55	-22,82	-32,53	11,35	4,2	-5,93
	p11/p1	36,52	-8,39	46,14	-14,23	21,04	-22,5
Маловодний рік	p32/p02	6,38	50,17	24,69	-15,96	-21,85	5,38
	p02/p0	-23,46	-0,24	-30,32	21,34	-5,4	11,17
	p32/p3	-8,93	17,06	-1,21	-3,83	-14,64	13,31

підвищується. В цілому для лиману, в екстремально маловодний рік p32 в порівнянні з p02 зростають солоність, біомаса фітопланктону, концентрації мінеральних форм азоту $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ і зменшуються $\text{PO}_4\text{-P}$, O_2 (табл. 6.3).

Особливий інтерес представляють відносні зміни середніх концентрацій модельованих характеристик в екстремальні роки у порівнянні з типовими для відповідних періодів (табл. 6.3). В екстремальні роки p01, p02 періоду p0 середні концентрації мінеральних форм азоту $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ і, відповідно, біомаса водоростей зменшуються, а концентрація $\text{PO}_4\text{-P}$ збільшується порівняно з типовим роком. Для екстремальних років (p11, p32) прогностичних періодів p1, p3 властиве збільшення концентрації $\text{NH}_4\text{-N}$ і біомаси фітопланктону, зменшення концентрації $\text{PO}_4\text{-P}$ у багатоводні роки

(p11) і зворотна тенденція - в маловодні. Середні значення O_2 у маловодні роки всіх розрахункових періодів зменшуються, а у багатоводні – зростають.

6.4 Результати моделювання змін гідроекологічних характеристик лиману за різними сценаріями менеджменту

На зміни екологічного стану Тилігульського лиману, окрім впливу кліматичних чинників, можуть впливати соціально-економічні умови на його водозбірному басейні, а також режим регулювання водообміну з морем через штучний сполучний канал. Соціально-економічні чинники, від яких залежать умови водо- та землекористування, визначають об'єми стоку прісної води і кількість біогенних речовин, що надходять в лиман. Водообмін з морем в останнє десятиліття здійснюється, в першу чергу, для компенсації дефіциту прісного балансу лиману і, отже, стабілізації рівня води в ньому, запобігання обмілінню. Рибогосподарське призначення каналу в умовах кліматичних змін стало вторинним. Водний і біогенний стік з водозбірного басейну лиману та режим водообміну з морем – це два чинники, які дозволяють в різній мірі регулювати екологічний стан лиману.

Вплив кліматичних змін на екологічний стан Тилігульського лиману, при збереженні сучасних режимів господарської діяльності на його водозбірному басейні та водообміну з морем через канал (у квітні-червні для наповнення лиману), детально обговорювався в попередньому розділі. У даному розділі розглядається спільний вплив змін клімату в найближчому майбутньому (типовий рік періоду p1 – 2011-2040 рр.) та сценаріїв земле-, водокористування на водозбірному басейні лиману (див.розділ 4.3), режиму водообміну з морем. При моделюванні сценаріїв земле- і водокористування на водозбірному басейні лиману, метеорологічні умови і умови на морській границі каналу вважалися однаковими для всіх проаналізованих сценаріїв. Основна відмінність між сценаріями полягала в зміні об'ємів водного і біогенного стоку, які зумовлені відповідно змінами земле- і водокористування на водозбірному басейні лиману. Результати розрахунків представлені на рис. 6.24 і в таблиці 6.4.

У розділі 6.3 звертається увага на те, що сучасний кліматичний період p1 характеризується мінімальними середньо багаторічними об'ємами бічного прісного стоку, який становить лише 1,6 % від загального об'єму води в лимані. Ця особливість зумовила отримані результати сценарних розрахунків: вплив різних сценаріїв господарської діяльності на

водозбірному басейні лиману, не зважаючи на передбачені радикальні зміни, значимо виявляється лише в мілководній північній його частині, на яку доводиться більше 95 % прісного стоку.

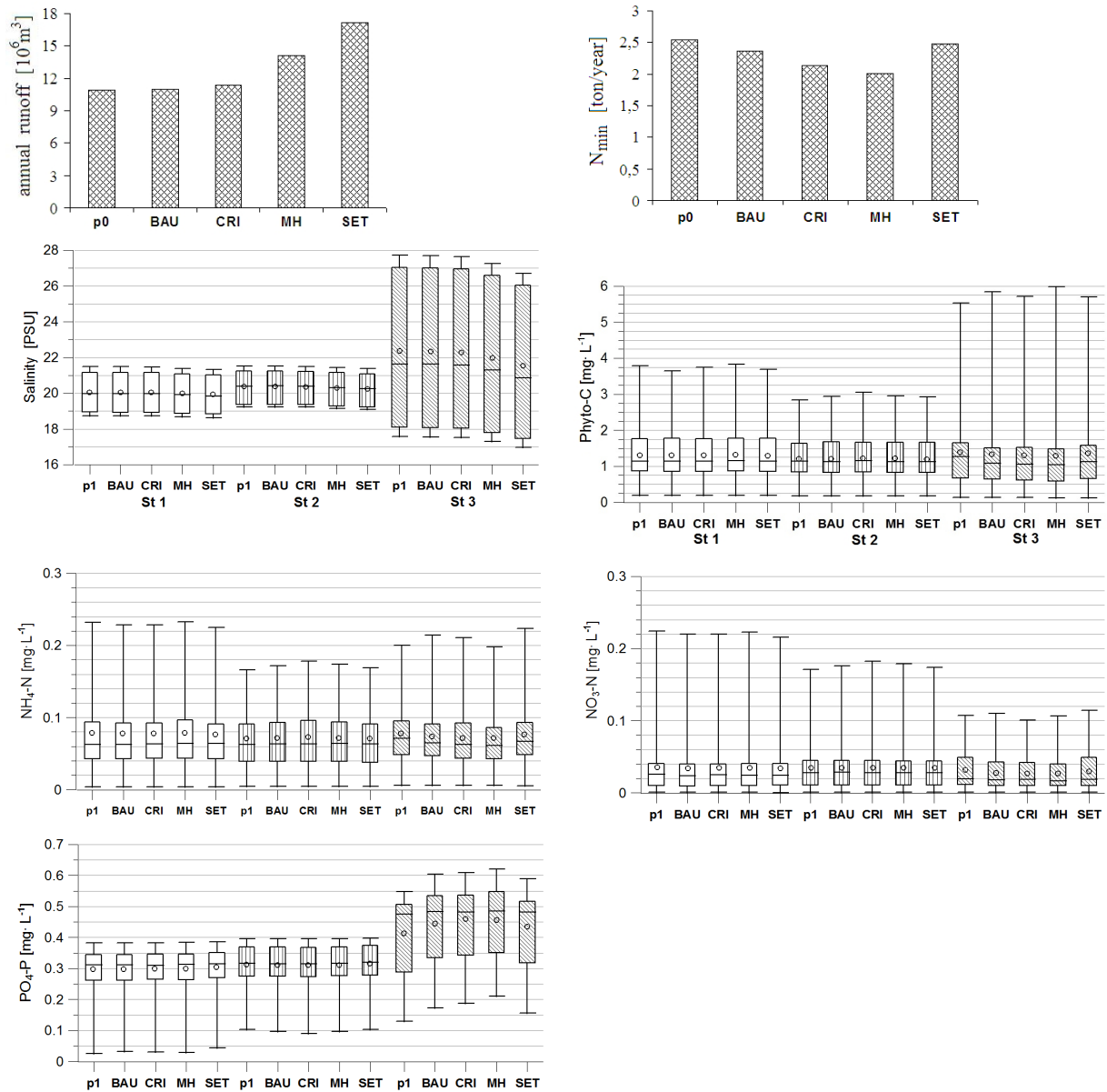


Рисунок 6.24 – Зміни об'єму річного припливу прісних вод і кількості мінерального азоту, який надходить з ними, до Тилігульського лиману, а також результати моделювання в різних частинах лиману (точки St 1, St 2, St 3) гідроекологічних характеристик, при реалізації різних сценаріїв менеджменту на водозбірному басейні (BAU, CRI, MH, SET) у порівнянні з типовим (посилочним) роком періоду p1. Приведені мінімальні, максимальні, медіанні і середні (точки) значення, а також значення 25 % та 75 % квантилей.

Таблиця 6.4 – Відносні зміни (у %) об'єму річного припливу прісних вод, біомаси фітопланктону C-Phyto, концентрацій NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P та солоності вод в цілому для Тилігульського лиману для кожного з сценаріїв його менеджменту у порівнянні з умовами типового року періоду p1 (2011 – 2040).

Сценарії	Річний стік	C-Phyto	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	Солоність
BAU	0,90	-0,56	-3,62	-0,56	1,51	-0,02
CRI	4,05	-0,22	-3,18	-0,28	2,13	-0,11
MH	28,61	-0,58	-3,19	-0,58	2,15	-0,60
SET	56,65	-1,14	-2,70	-1,04	2,36	-1,18
p1S	0,00	-2,32	-9,19	-2,12	-2,29	-2,78

Всі сценарії передбачають збільшення річкового стоку в лиман: BAU і CRI – за рахунок зменшення чисельності населення і, відповідно, водоспоживання; MH – в результаті зменшення чисельності ставків на 50 %, SET – зменшення кількості ставків на 75 % і водоспоживання населенням.

В результаті реалізації сценаріїв MH і SET темпи зростання солоності води в лимані знизяться. Первинна продукція органічної речовини в Тилігульському лимані лімітується мінеральним азотом $N_{\min} = N-NH_4 + N-NO_3$, надходження якого з водозбірною басейну зменшиться як при кризовому сценарії CRI, так і при реалізації сценарію MH. Ці зміни позначаються, хоча і в незначній мірі, на зменшенні середніх концентрацій N-NH₄, N-NO₃, біомаси водоростей, а також на відповідному до них збільшенні концентрацій P-PO₄ взагалі у лимані і, особливо явно, – в північній його частині. Дуже слабкі відгуки на сценарні зміни відзначаються в південній частині лиману – при сценарії MH і центральній його частині – при сценарії CRI. Виявляються вони в незначному збільшенні максимальних концентрацій мінеральних форм азоту і, відповідно, біомаси водоростей.

В сценарії SET збільшується приплив мінерального азоту в лиман до значень відповідних типовому року p1. При цьому, в північній частині лиману значення модельованих екологічних характеристик, за винятком солоності, яка знижується, повертаються до рівня вихідного типового року p1. Проте взагалі для лиману тенденції їх змін, описані для попередніх сценаріїв, зберігаються.

Окрім об'єму і якості вод поверхневого стоку з водозбірною басейну лиману, існує ще один чинник, який дозволяє регулювати його

гідроекологічний стан. Це режим водообміну з морем через штучний сполучний канал. В сучасних умовах, коли канал використовується лише для поповнення лиману морською водою, відбувається поступове накопичення в ньому солей як результат інтенсивного випару.

Аналіз річної мінливості компонентів водного балансу лиману показав, що забезпечити витік води з лиману до моря, разом з солями, що містяться в ній, може безперервна робота каналу протягом всього року. Цей сценарій (p1S) гідроекологічного менеджменту лиману представлений на рис. 6.25. Видно, що його реалізація дозволить знизити темп накопичення солей в лимані не менше, ніж сценарій SET. При цьому зменшиться розмах коливань солоності у всіх частинах лиману, що позитивно вплине на його екосистему. Вплив постійного водообміну з морем на екологічні характеристики вод лиману неоднозначний. Концентрація N-NH₄ зменшується в південній і північній частинах водойми, а в центральній частині, навпаки, зростає. Концентрація N-NO₃ зменшується у всіх частинах лиману. P-PO₄ зменшується в південній і центральній частинах і зростає в північній частині.

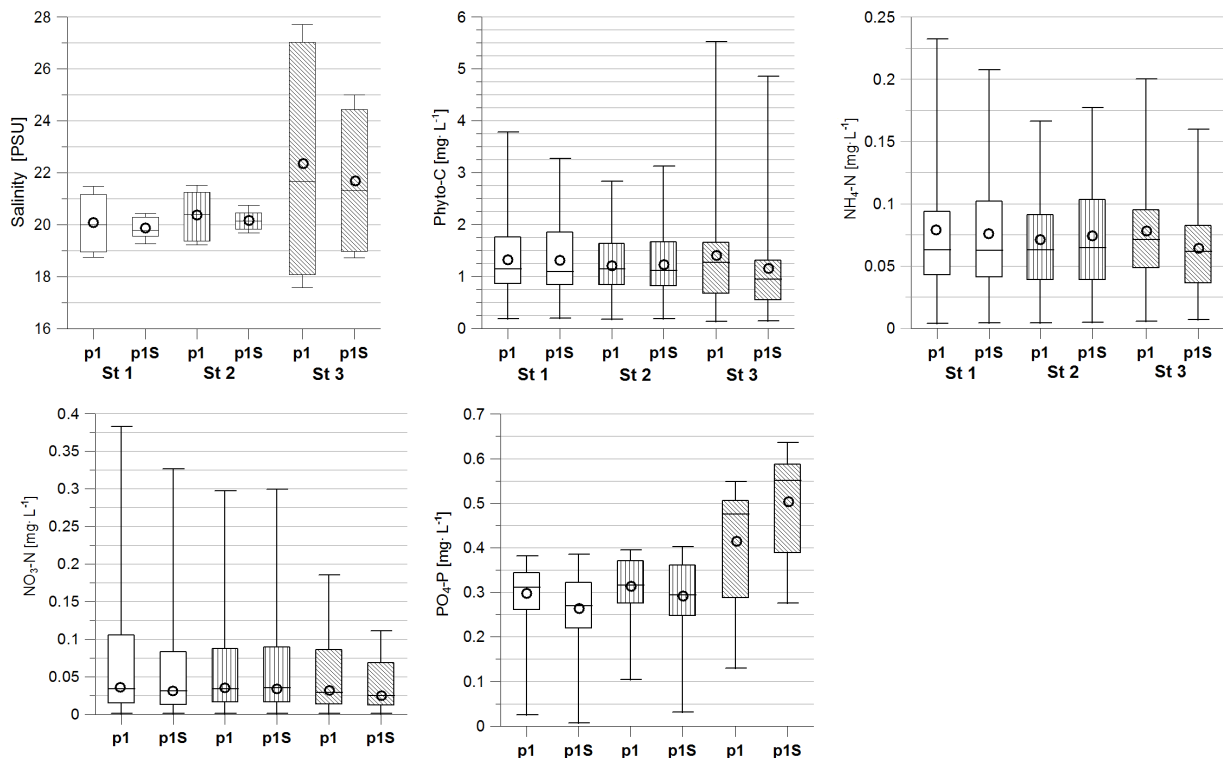


Рисунок 6.25 – Результати моделювання в різних частинах лиману (точки St 1, St 2, St 3) солоності і гідроекологічних характеристик вод Тилігульського лиману при реалізації сценарію постійного впродовж року водообміну лиману з морем через штучний з'єднувальний канал у порівнянні з типовим (посилальним) роком періоду p1 (канал функціонує лише у квітні-липні).

Середні і переважаючі значення біомаси водоростей мало змінюються в південній і центральній частинах лиману і значимо зменшуються в північній його частині. З таблиці 6.4 витікає, що сценарій забезпечення постійного протягом року водообміну лиману з морем через сполучний канал є найбільш переважним, оскільки, в цілому для лиману, забезпечує найбільш значуще зі всіх розглянутих сценаріїв зменшення концентрацій модельованих екологічних характеристик і солоності.

7 ОЦІНКА ВОДНО-СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ ТА ЙОГО ЧАСТИН ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОЙМИ В УМОВАХ МАЙБУТНЬОГО КЛІМАТУ (до 2100 року)

Оцінка багаторічної мінливості показників водно-сольового режиму (рівнів і мінералізації води) Тилігульського лиману та його частин при різних варіантах функціонування водойми в майбутньому (до 2100 року) виконувалося із застосуванням моделі водно-сольового балансу, розробленої в ОДЕКУ у 2013 р. [94], за даними можливих сценаріїв змін клімату, реалізованих в регіональних кліматичних моделях проекту ENSEMBLES [95, 96].

7.1 Валідація моделі водно-сольового балансу лиману

До прихідних складових водного балансу лиману (рис. 7.1) належать:

- боковий поверхневий приплив прісних вод в лиман по водотоках дренажного басейну (річки, балки);

- атмосферні опади;

- приплив морської води в лиман через з'єднувальний канал.

Витратними складовими водного балансу лиману є наступні:

- випаровування з водної поверхні лиману;

- стік води з лиману в море через з'єднувальний канал.

Умови розрахунку водного балансу (вихідна інформація):

- 1) поверхневий приплив прісних вод від річок і водотоків (рис. 7.2) – на основі розрахунків по моделі SWIM для регіональних кліматичних сценаріїв проекту ENSEMBLES, визначених за різними кліматичними моделями;

- 2) атмосферні опади – дані регіональних кліматичних сценаріїв ENSEMBLES;

- 3) випаровування з водної поверхні – розраховувалося з використанням даних ENSEMBLES регіональних кліматичних сценаріїв про мінливість температури води та відносної вологості повітря;

- 4) водообмін з морем через з'єднувальний канал – визначався в моделі водного балансу виходячи із співвідношення рівнів води в лимані та морі, при цьому середньомісячні рівні моря та значення солоності води в районі порту «Южний» визначалися з використанням емпіричної залежності

значень середньомісячних рівнів і солоності води в морі від середньомісячних витрат води річок Дніпро та Дунай [94].

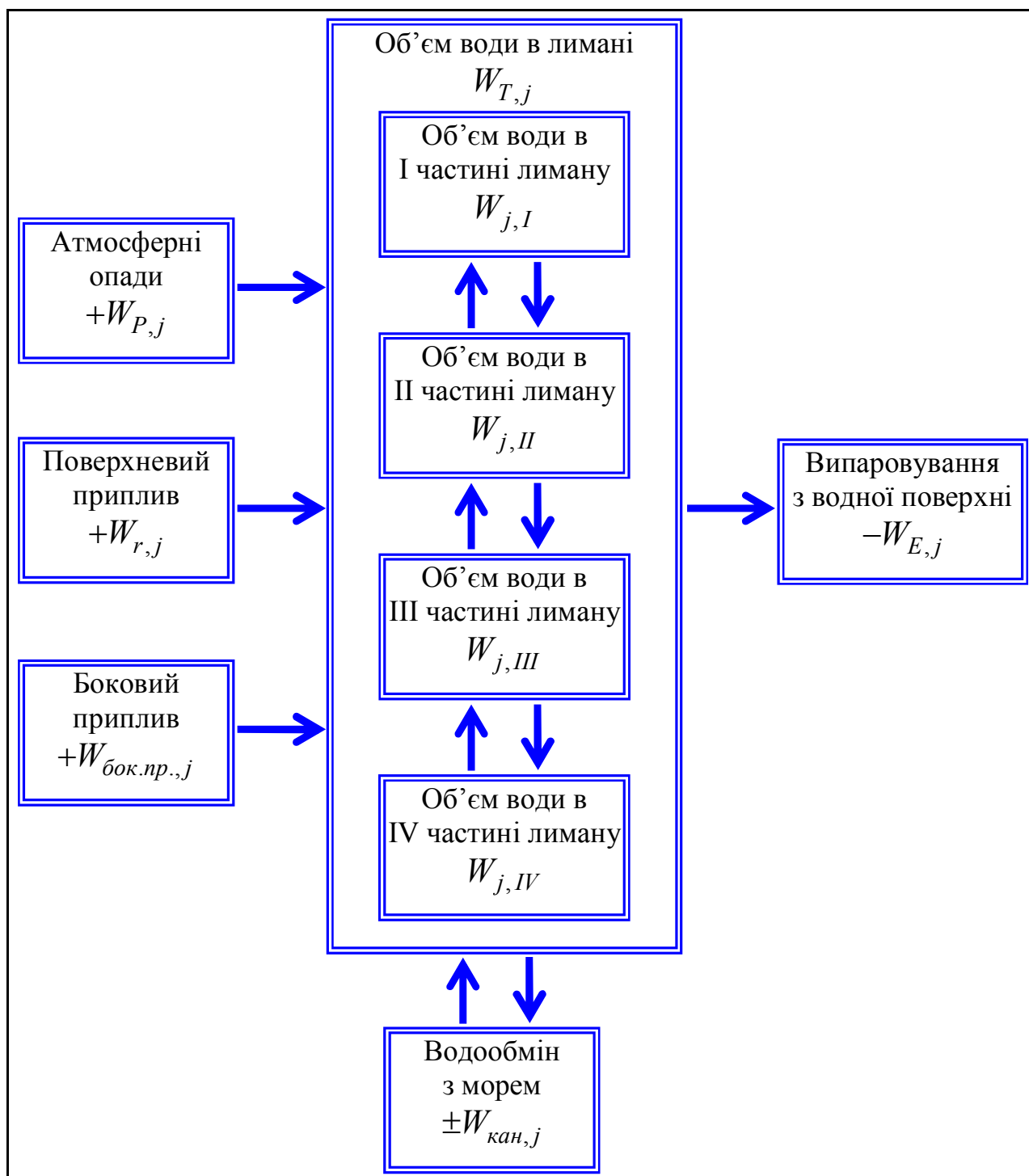


Рисунок 7.1 – Блок-схема розрахунку водного балансу Тилігульського лиману

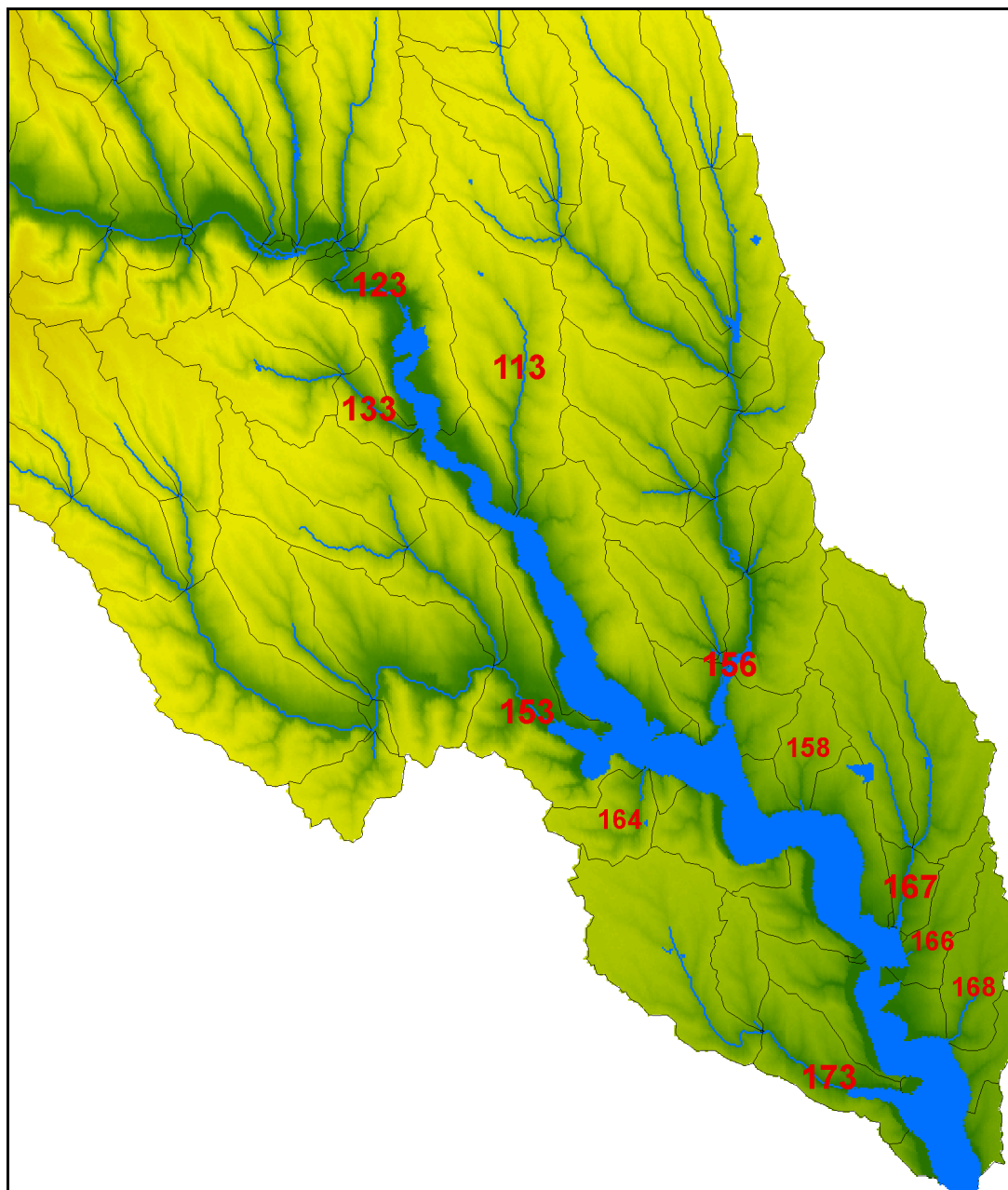


Рисунок 7.2 – Схема частини водозбірної басейну Тилігульського лиману:
 113 – б. Стадна; 123 – р. Тилігул; 133 – б. Стара Донська; 153 – р. Балай;
 156 – р. Царега; 164 – б. Булгарка; 158 – б. Кефалева; 166 – б. Чабан'я;
 167 – р. Хуторська; 168 – б. Велика Чубанська; 173 – Кам'яна

Початкові значення рівня та мінералізації води лиману дорівнювали, відповідно, -1,40 м БС та 8,00 г/дм³, тобто тим значенням, які спостерігались наприкінці 1952 р. [94].

Результати валідації моделі водно-сольового балансу лиману по даним спостережень за період 1953-2012 рр. показані на рис. 7.3 та 7.4.

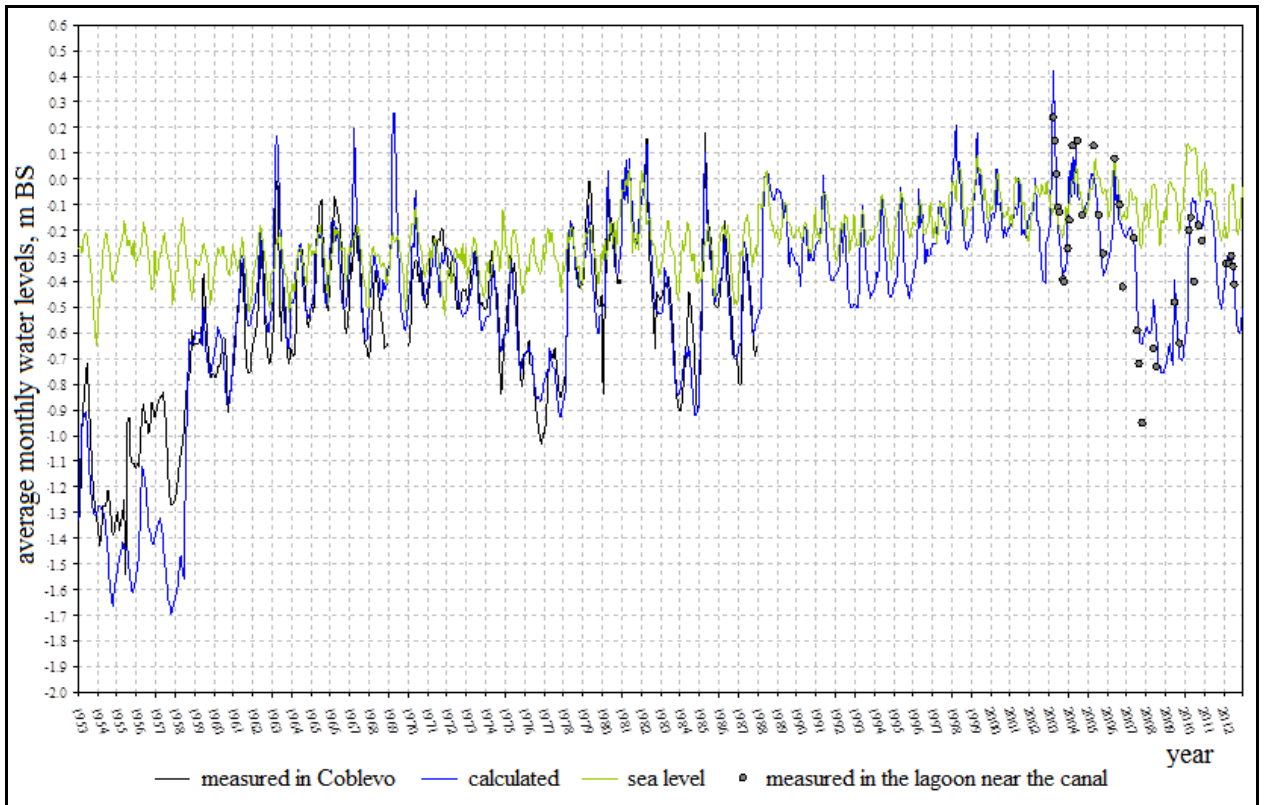


Рисунок 7.3 – Мінливість середньомісячних рівнів води в лимані, розрахованих по моделі для періоду 1953-2012 рр. та встановлена за даними спостережень

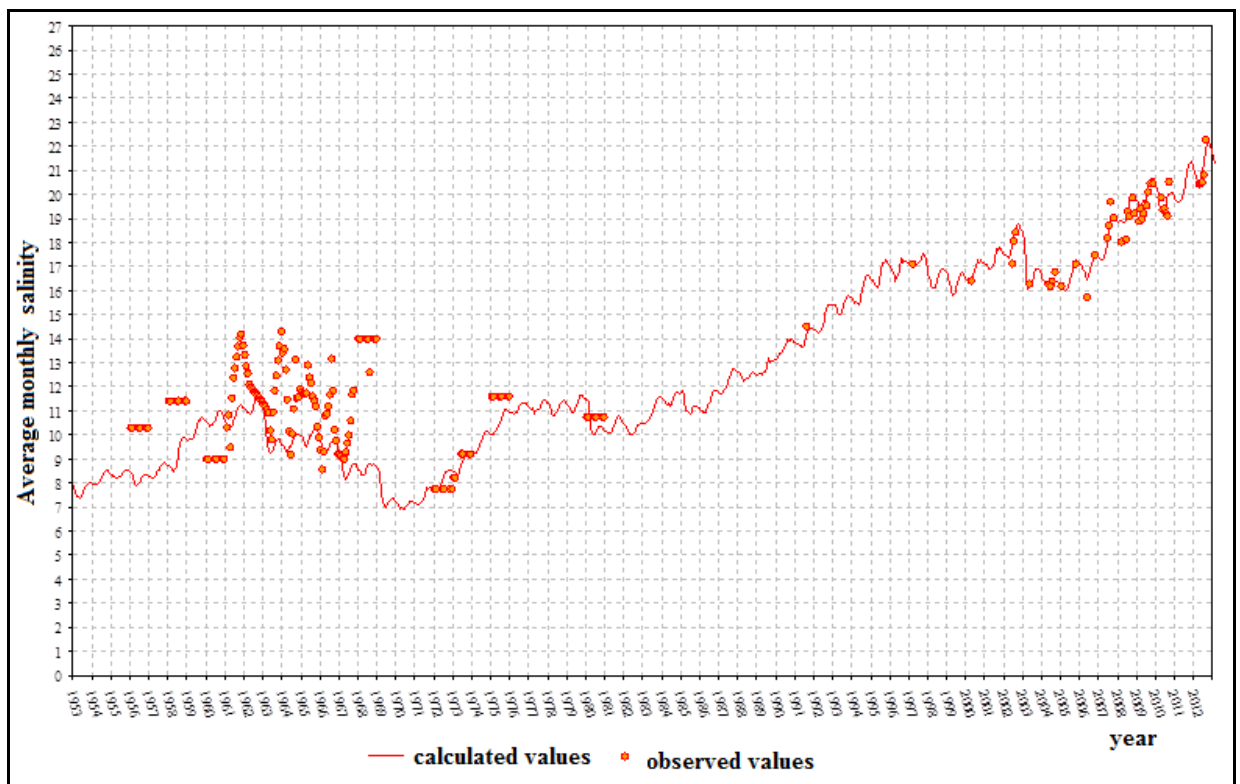


Рисунок 7.4 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману, розрахованих по моделі для періоду 1953-2012 рр. та встановлена за даними спостережень

При відсутності у 1958-2012 рр. притоку в Тилігульський лиман морських вод, загальне прирощення рівня води за рахунок атмосферних опадів, поверхневого стоку та випаровування було б від'ємним і дорівнювало в 1992 р. мінус 1,5 м, а наприкінці 2012 р. – мінус 4,8 м, тобто відмітка рівня води склала б мінус 6,2 м БС (майже як в Куяльницькому лимані).

7.2 Аналіз відповідності виміряних і розрахованих по SWIM моделі витрат р.Тилігул за період 1970-2000 рр. для сценаріїв регіонального клімату, визначених з використанням різних кліматичних моделей

Середні квадратичні відхилення багаторічних середньомісячних витрат води р.Тилігул, розрахованих по моделі SWIM для різних регіональних кліматичних сценаріїв від виміряних в період 1970-2000 рр., показані на рис. 7.5.



Рисунок 7.5 – Середні квадратичні відхилення багаторічних середньомісячних витрат води р.Тилігул, розрахованих по моделі SWIM для різних регіональних кліматичних сценаріїв від виміряних в період 1970-2000 рр.

З рис. 7.5 видно, що найменші відхилення розрахованих по моделі SWIM витрат води р.Тилігул від виміряних в період 1970-2000 рр. є в регіональних кліматичних сценаріях M5, M7, M9, M10, M11, M12. Але з урахуванням відхилень, розрахованих за різними регіональними кліматичними сценаріями атмосферних опадів, температур та вологості

повітря від виміряних на метеостанціях в басейні Тилігульського лиману, найбільш реалістичними сценаріями є M5, M10 та M11 [95, 97]. Як приклади, на рис. 7.6 та 7.7 наведені, відповідно, внутрішньорічний розподіл середньомісячних температур повітря та середні арифметичні відхилення багаторічних значень середньомісячних температур повітря розрахованих за сценаріями M5, M10, M11 від виміряних на метеостанції «порт-Южний» за період 1982-2012 рр. На рис. 7.8 та 7.9 показані, відповідно, внутрішньорічний розподіл середньомісячних значень та багаторічна мінливість річних витрат р.Тилігул, розрахованих по моделі SWIM за сценаріями M5, M10, M11 та виміряних на посту р.Тилігул – смт Березівка за період 1980-2010 рр. Видно, що витрати води визначені за сценаріями M5 та M10 – перевищують фактичні, а за сценарієм M11 – є меншими за фактичні. Слід відзначити, що за витрати води р.Тилігул, розраховані в моделі SWIM за сценарієм M10, значно завищені у період весняного паводку. Це зумовлює відмінності результатів за сценарієм M10 від сценаріїв M5, M11, отриманих при моделюванні динаміки рівня і солоності води в лимані у XXI ст., про які йдеться далі.

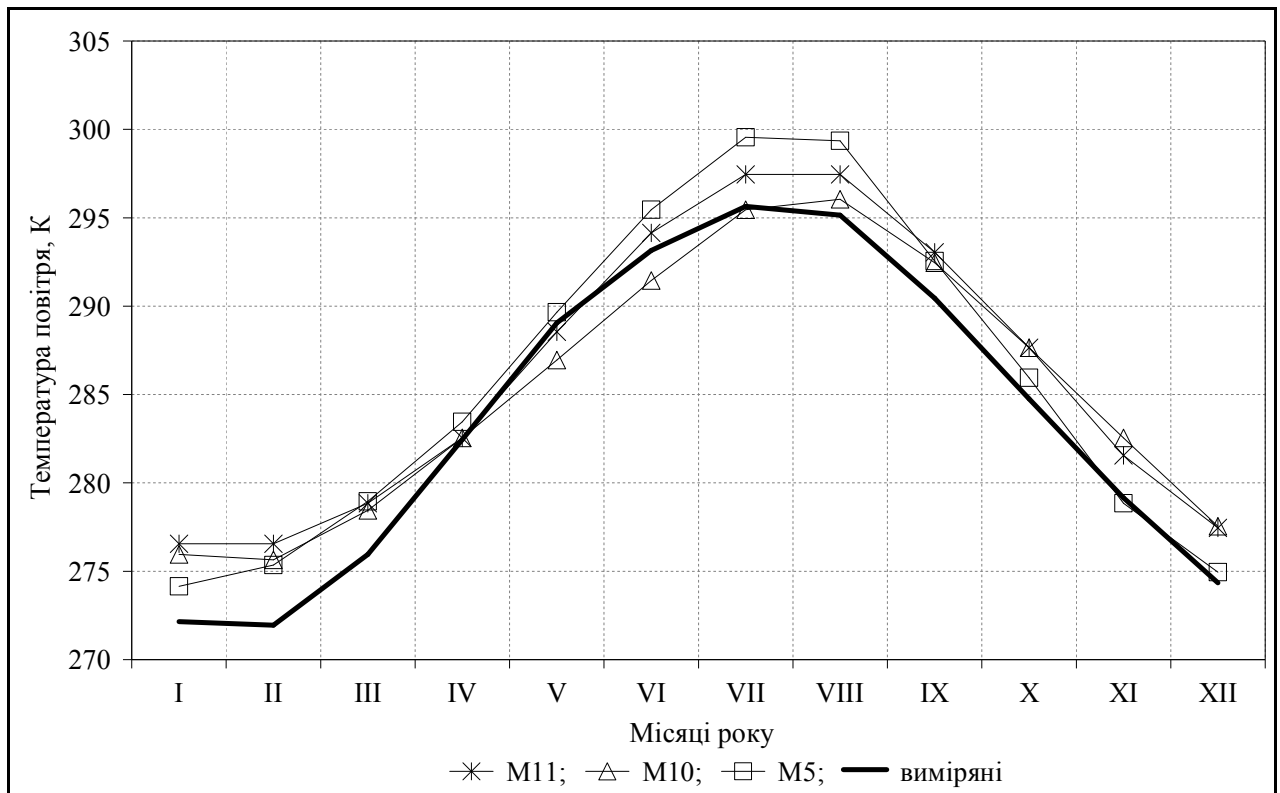


Рисунок 7.6 – Внутрішньорічний розподіл багаторічних значень середньомісячних температур повітря, розрахованих за сценаріями M5, M10, M11 та виміряних на метеостанції «порт-Южний», за період 1982-2012 рр.

Результати моделювання водно-солевого балансу лиману в умовах майбутнього клімату за сценаріями М5, М10 та М11 для різних варіантів водообміну з морем показані на рисунках: 7.10-7.13 (сценарій М5); 7.14-7.17 (сценарій М10); 7.18-7.21 (сценарій М11).

З рис. 7.10 (сценарій М5) та рис. 7.14 (сценарій М11) видно, що до кінця ХХІ ст. середня солоність води в Тилігульському лимані, при умові водообміну з морем через з'єднувальний канал в квітні-червні (коли солоність морської води мінімальна), може підвищитися до більш ніж 70 ‰. Але при забезпеченні безперервного водообміну з морем впродовж всього року, солоність води в лимані підвищиться менше – до 50 ‰ (рис. 7.11 – сценарій М5, та рис. 7.15 – сценарій М11). Тобто, небезпека перетворення лиману в гіперсолону водойму реальна. Однак, при безперервному водообміні з морем буде певна стабілізація рівнів води в лимані з мінливістю майже ідентичною мінливості рівнів води в морі (рис. 7.12-7.13 – сценарій М5, та рис. 7.20-7.21 – сценарій М11).

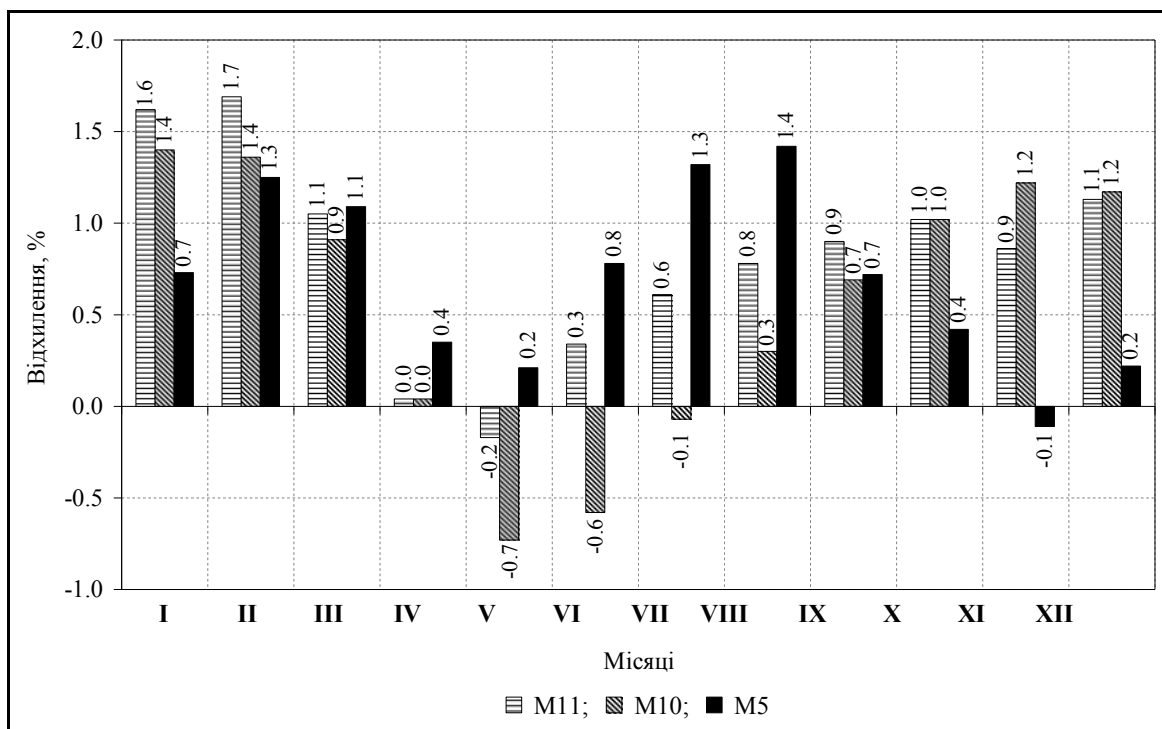


Рисунок 7.7 – Середні арифметичні відхилення багаторічних значень середньомісячних температур повітря, розрахованих за сценаріями М5, М10, М11 від виміряних на метеостанції «порт-Южний», за період 1982-2012 рр.

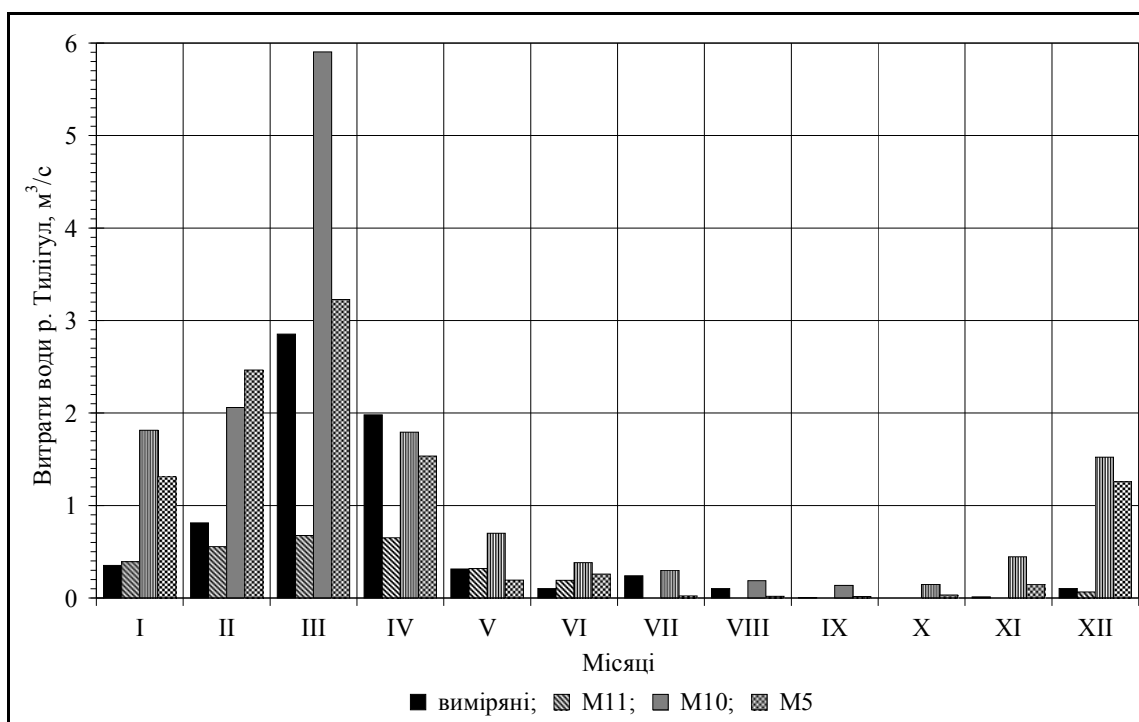


Рисунок 7.8 – Внутрішньорічний розподіл багаторічних значень середньомісячних витрат р.Тилігул, розрахованих по моделі SWIM за сценаріями M5, M10, M11 та виміряних на посту р. Тилігул – смт Березівка, за період 1980-2010 рр.

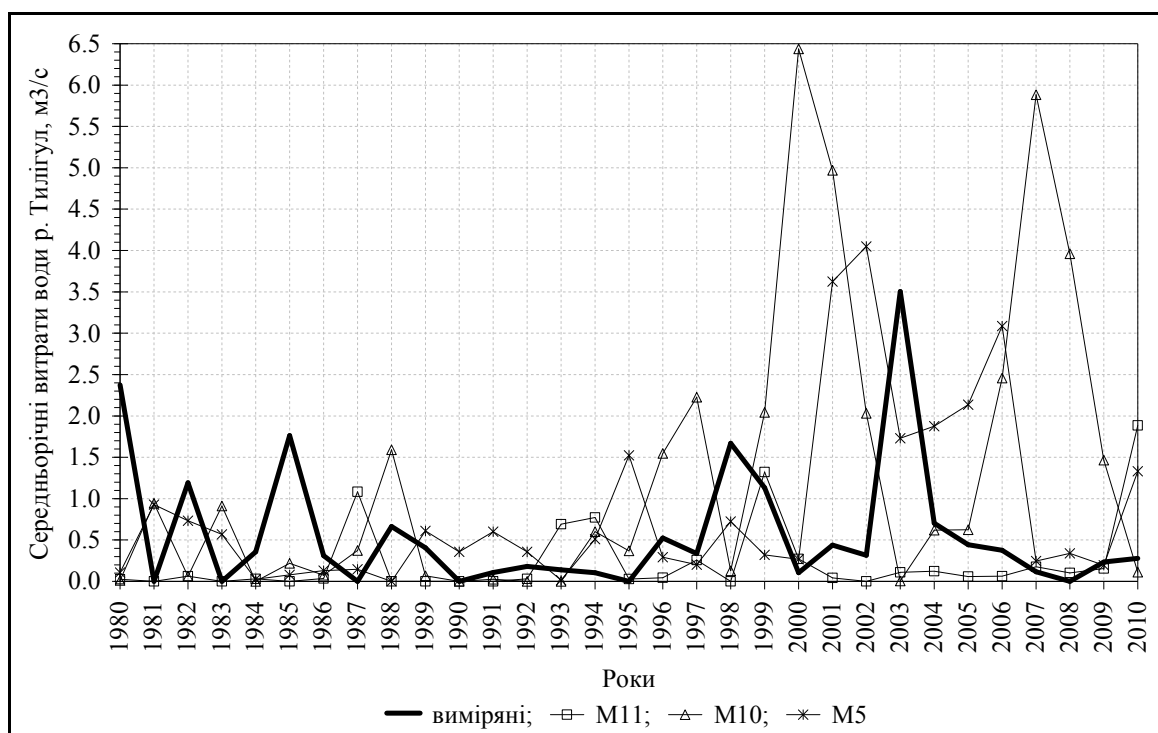


Рисунок 7.9 – Багаторічна мінливість середньорічних витрат р. Тилігул розрахованих по моделі SWIM за сценаріями M5, M10, M11 та виміряних на посту р. Тилігул – смт Березівка за період 1980-2010 рр.

7.3 Оцінка середньомісячних значень рівнів і солоності води лиману в умовах майбутнього клімату за сценаріями М5, М10 та М11 при різних варіантах водообміну з морем та водного менеджменту в басейні лиману

З рис. 7.14-7.17 (сценарій М10) видно що, при значних об'ємах припливу води з басейну лиману, визначених по моделі SWIM, як при періодичному (з квітня по червень) так і при безперервному (в продовж всього року) варіантах водообміну з морем солоність води в лимані загалом буде зменшуватися. Наприклад, середня солоність води в лимані наприкінці ХХІ ст. може дорівнювати приблизно 5 ‰ – при періодичному водообміні, та 8 ‰ – при безперервному. Розмах рівнів води в лимані буде більш ніж 6 м – при періодичному водообміні, від мінус 1 м БС до більш ніж 5 м БС (рис. 7.16), та більш ніж 3,5 м – при безперервному водообміні з морем, від мінус 0,7 м БС до 2,9 м БС (рис. 7.17). Однак, як було відзначено у попередньому розділі, за цим сценарієм модель SWIM значно завищує інтенсивність весняних паводків і водопіль, які призводять до значного зменшення солоності води в лимані у майбутньому. Більш вирогідними є результати за сценаріями М5 та М11.

За результатами моделювання водно-сольового балансу лиману в умовах майбутнього клімату за сценаріями М5 та М11 при періодичному та безперервному водообмінах з морем та при зменшені на 75 % об'єму штучних водойм в басейні лиману, встановлено, що значного зменшення солоності води в лимані не відбудеться. На прикладі результатів моделювання водно-сольового балансу лиману за сценарієм М5 при ліквідації 75 % ставків і водосховищ в басейні водойми за період 2011-2040 рр. (рис. 7.22-7.23) видно що, наприкінці 2040 р. середня солоність води в лимані при періодичному водообміні з морем буде дорівнювати 47 ‰, тобто буде лише на 2 ‰ менша, ніж без ліквідації штучних водойм (рис. 7.10), а при безперервному водообміні з морем дорівнюватиме 41,3 ‰, тобто лише на 3,1 ‰ менша, ніж без ліквідації штучних водойм (рис. 7.11). Отже, реалізація заходів водного менеджменту на водозбірному басейні лиману, спрямованих на значне (на 75 %) зменшення об'єму штучних водойм (ставків, запруд, водосховищ), в умовах майбутнього клімату за сценаріями М5 та М11 не призводить до суттєвого зменшення солоності води в лимані.

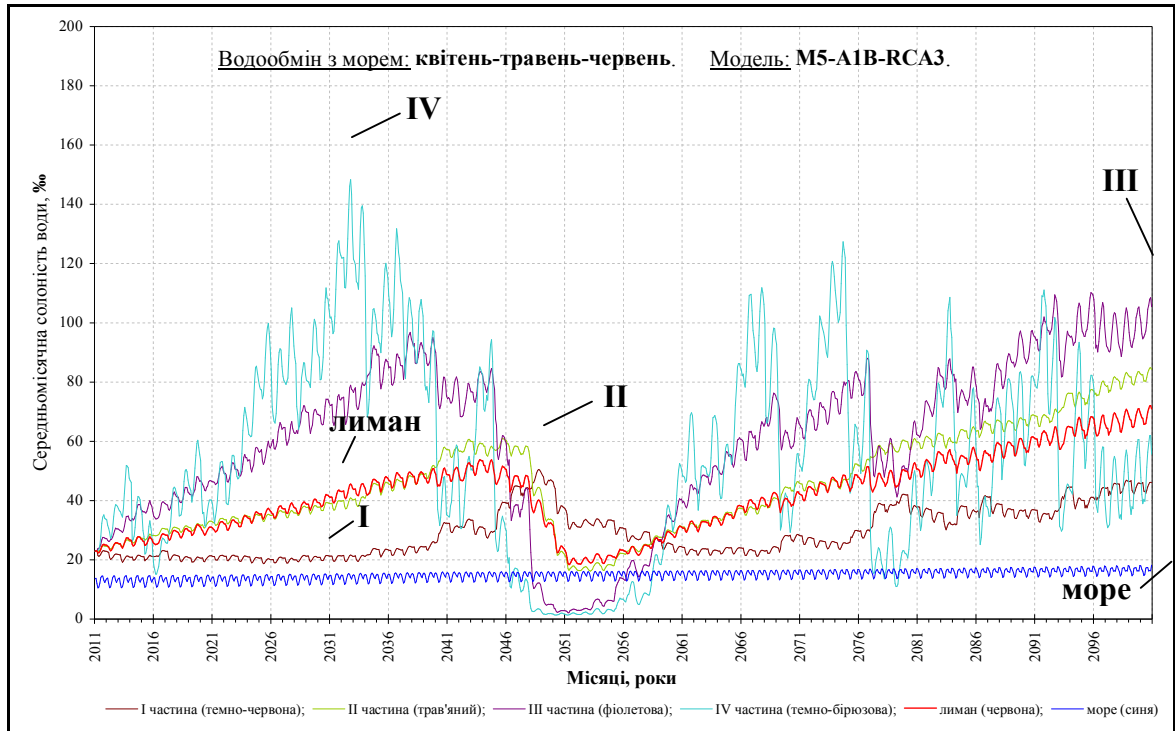


Рисунок 7.10 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M5 при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

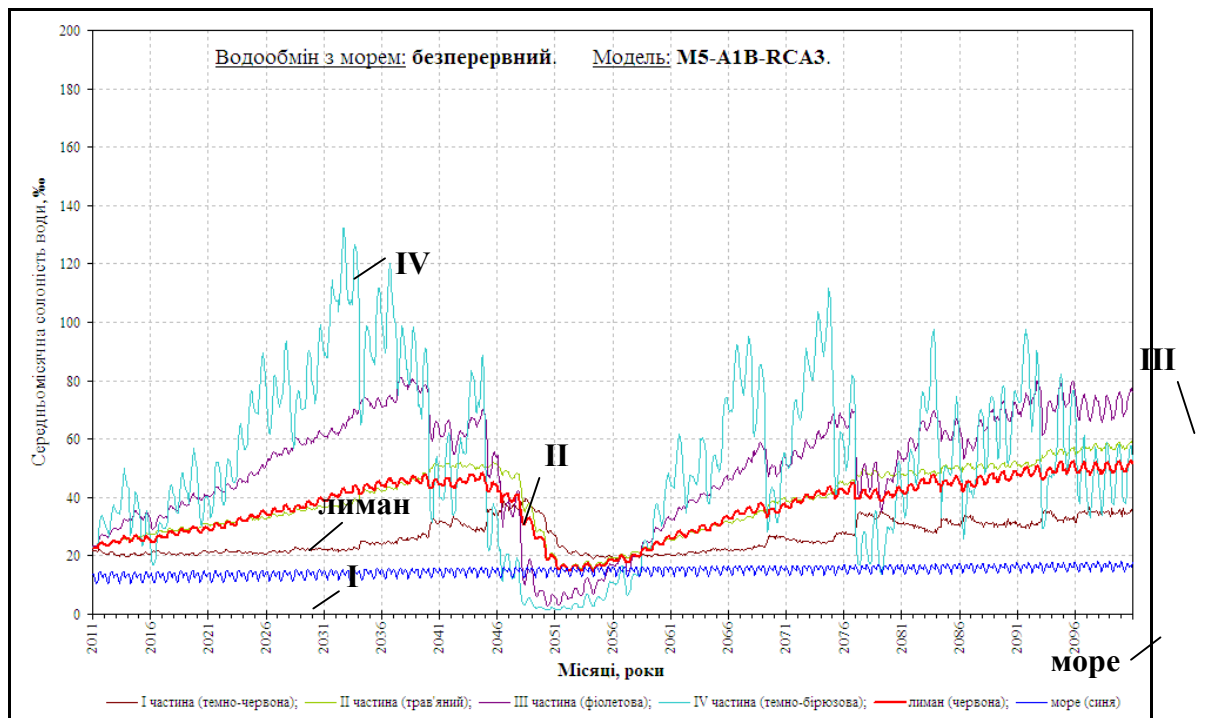


Рисунок 7.11 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M5 при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

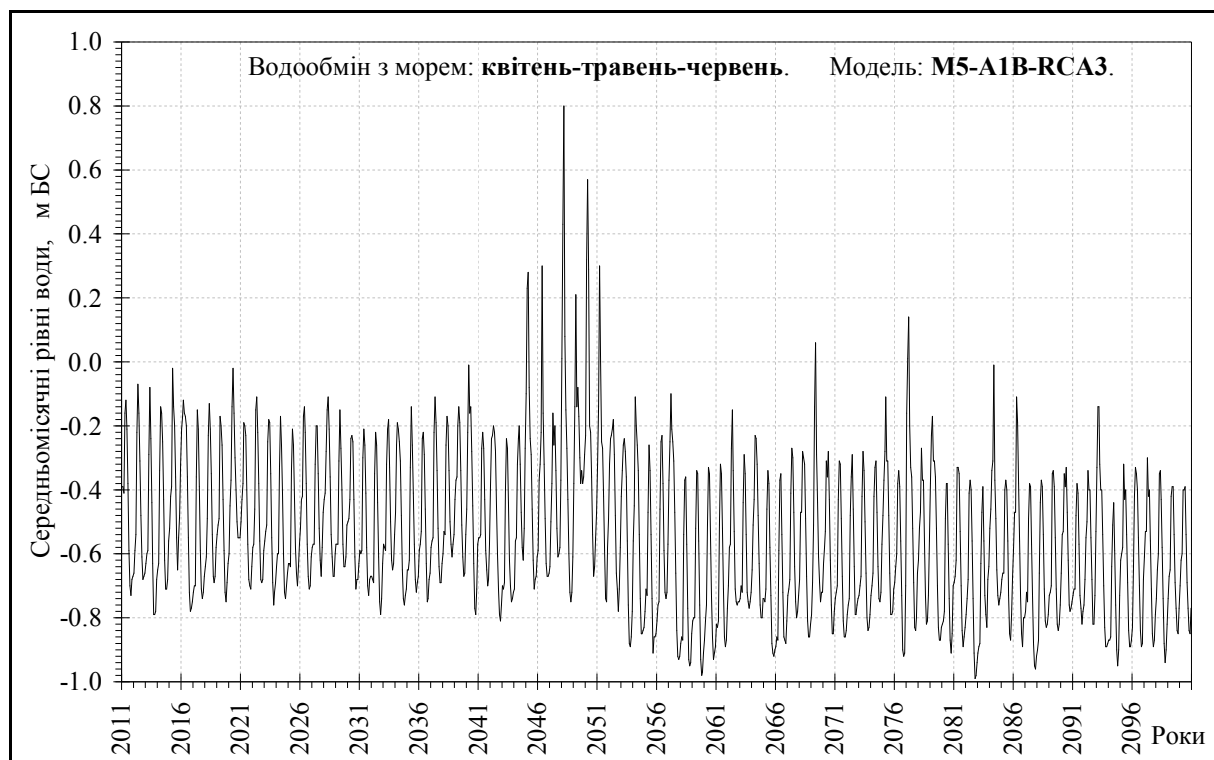


Рисунок 7.12 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M5** при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

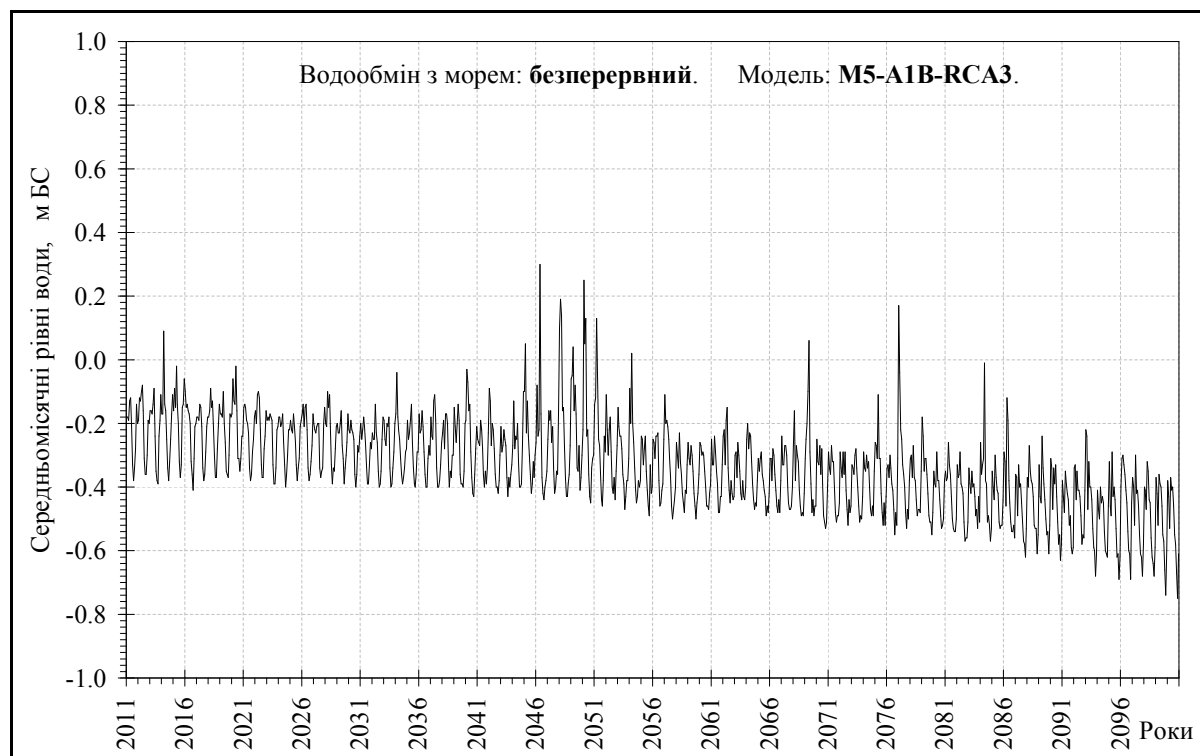


Рисунок 7.13 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M5** при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

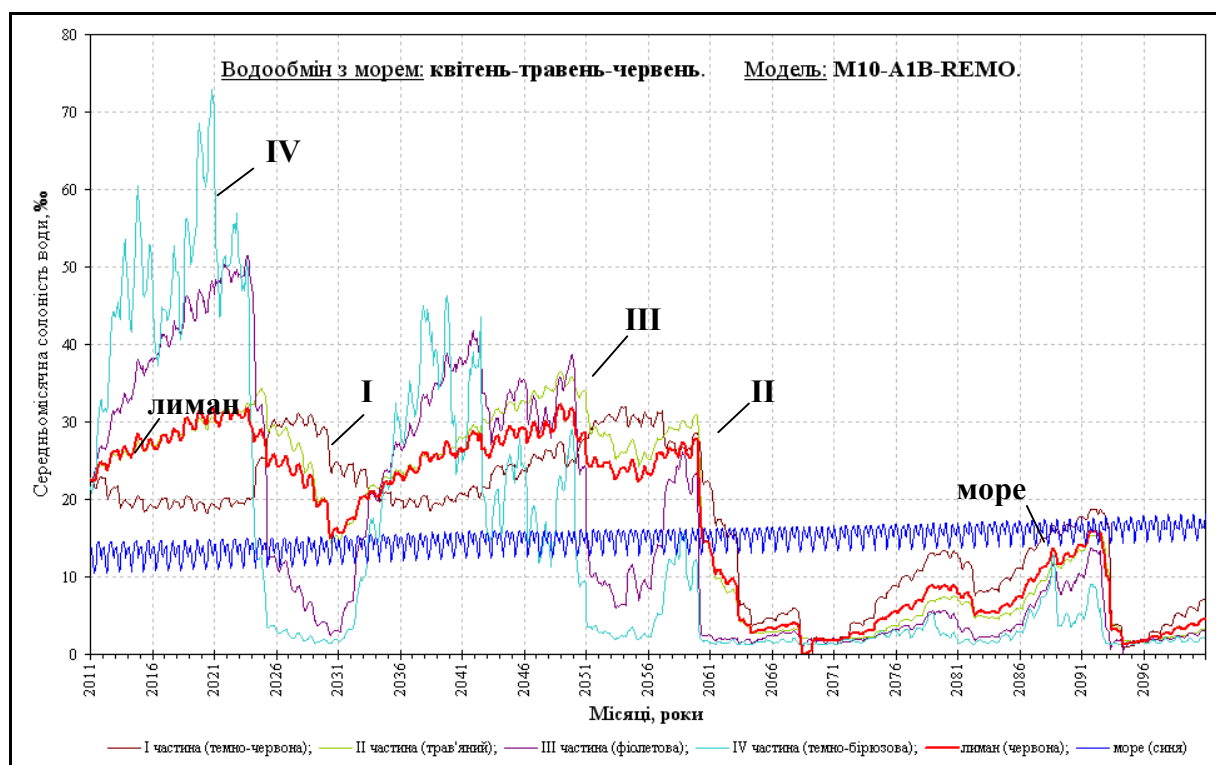


Рисунок 7.14 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M10 при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

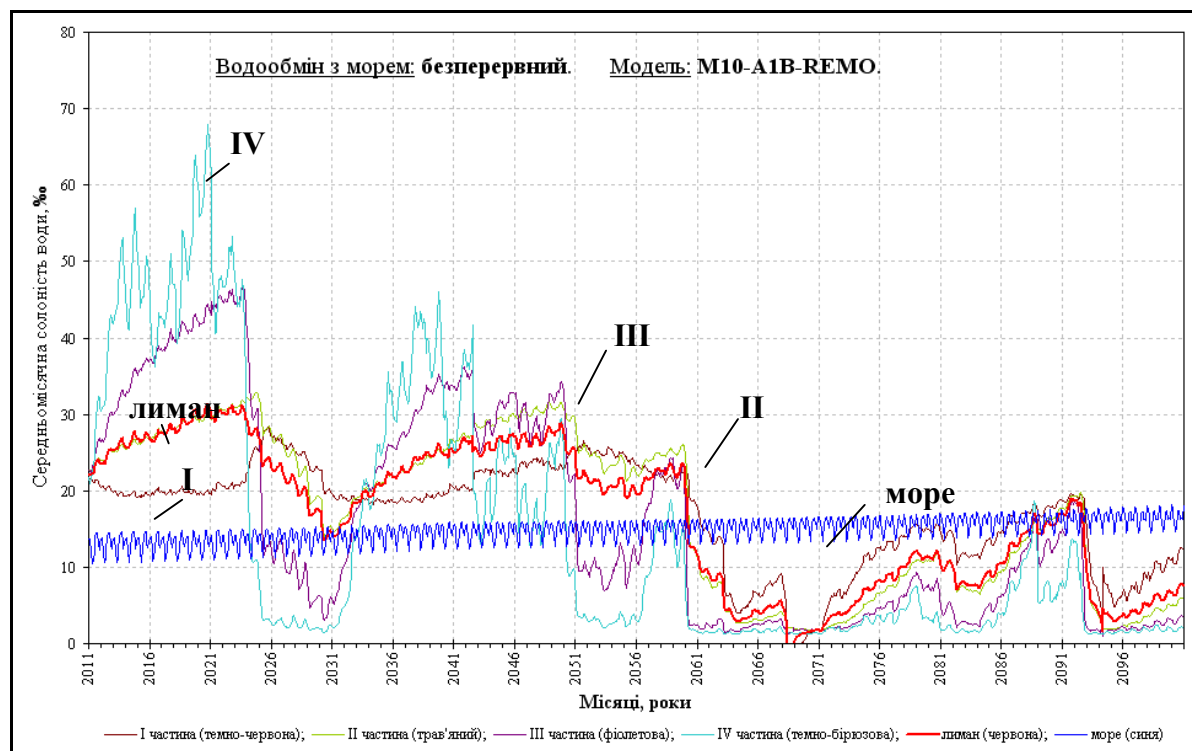


Рисунок 7.15 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M10 при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

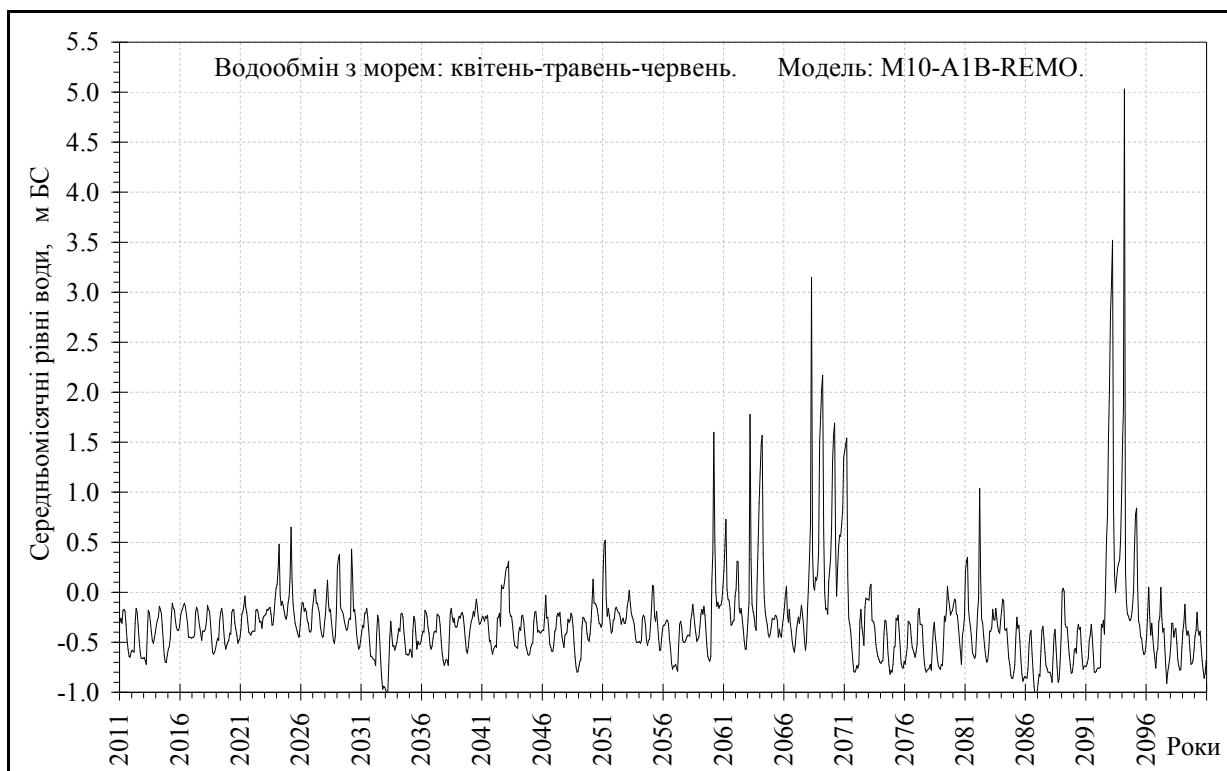


Рисунок 7.16 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M10** при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

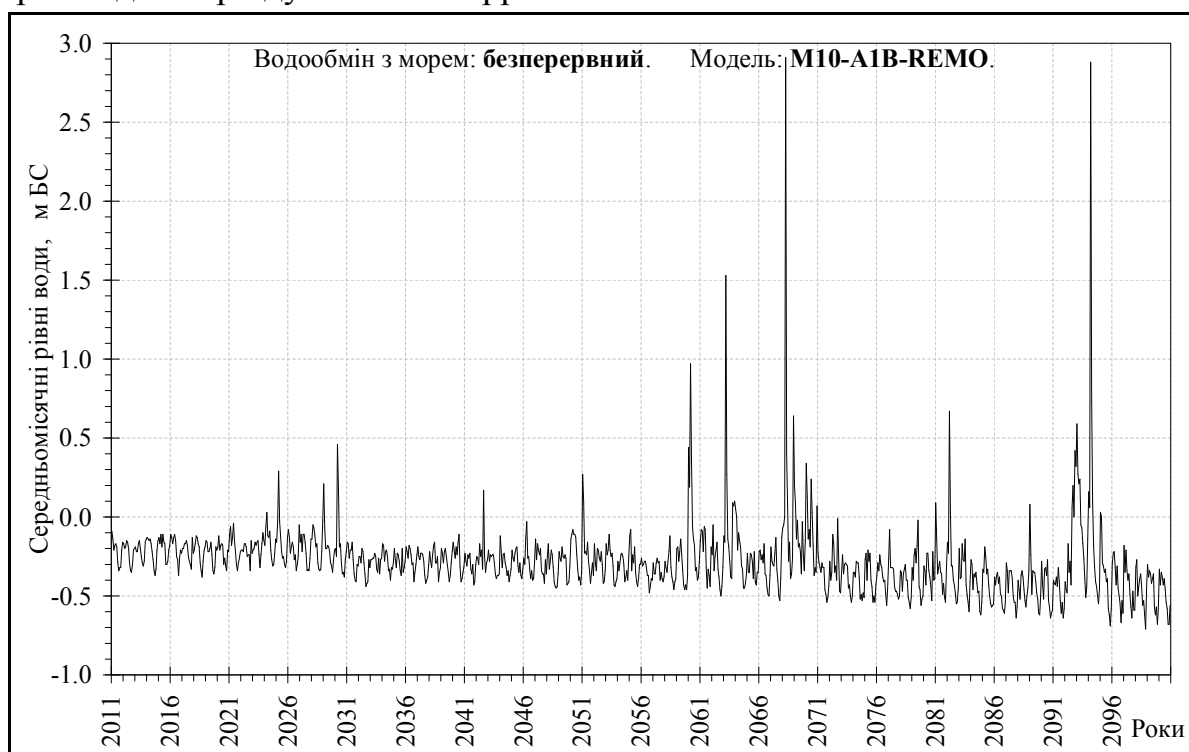


Рисунок 7.17 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M10** при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

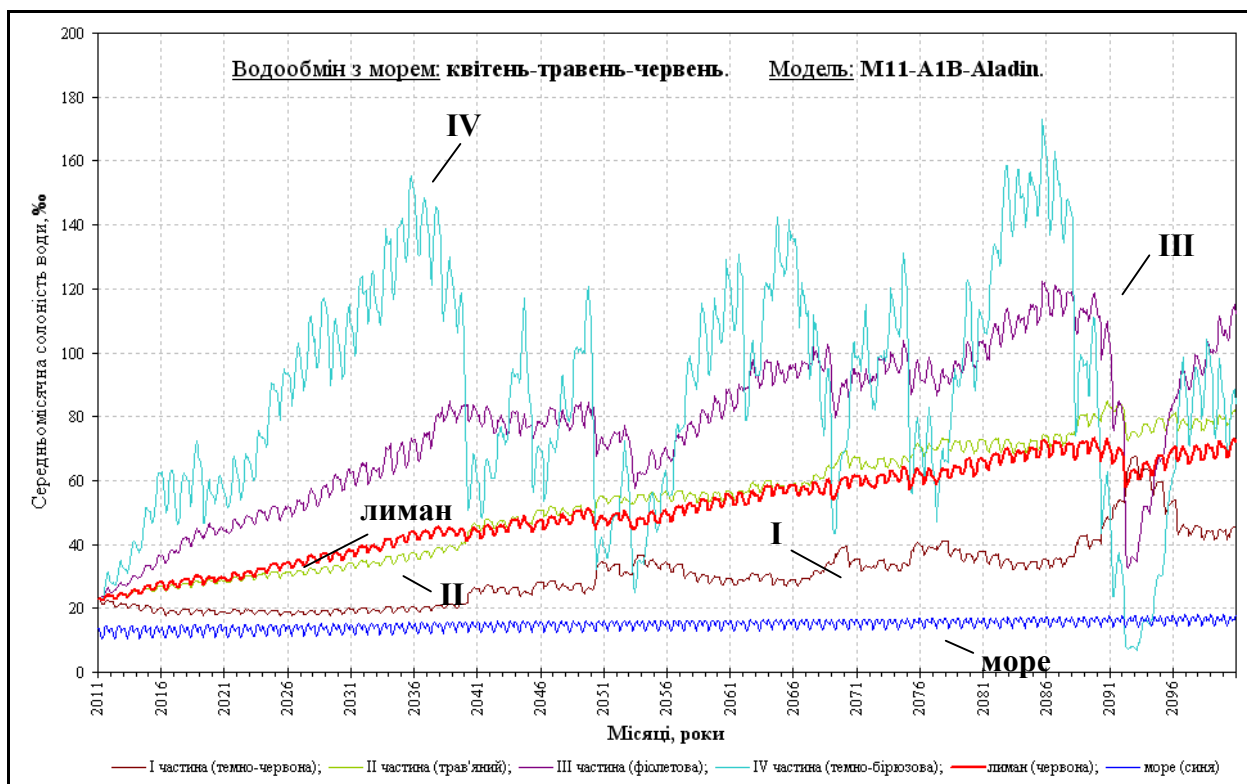


Рисунок 7.18 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M11 при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

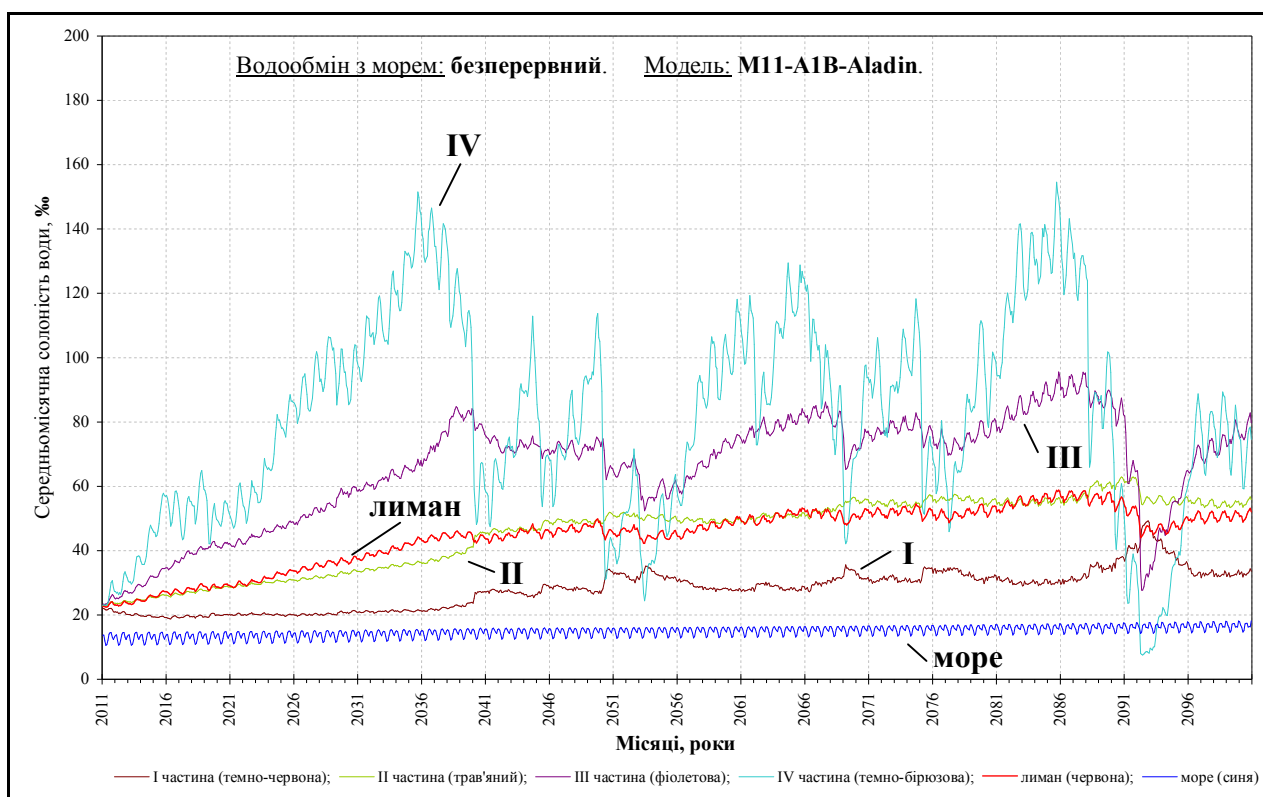


Рисунок 7.19 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману та його частин, розрахованих за сценарієм M11 при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

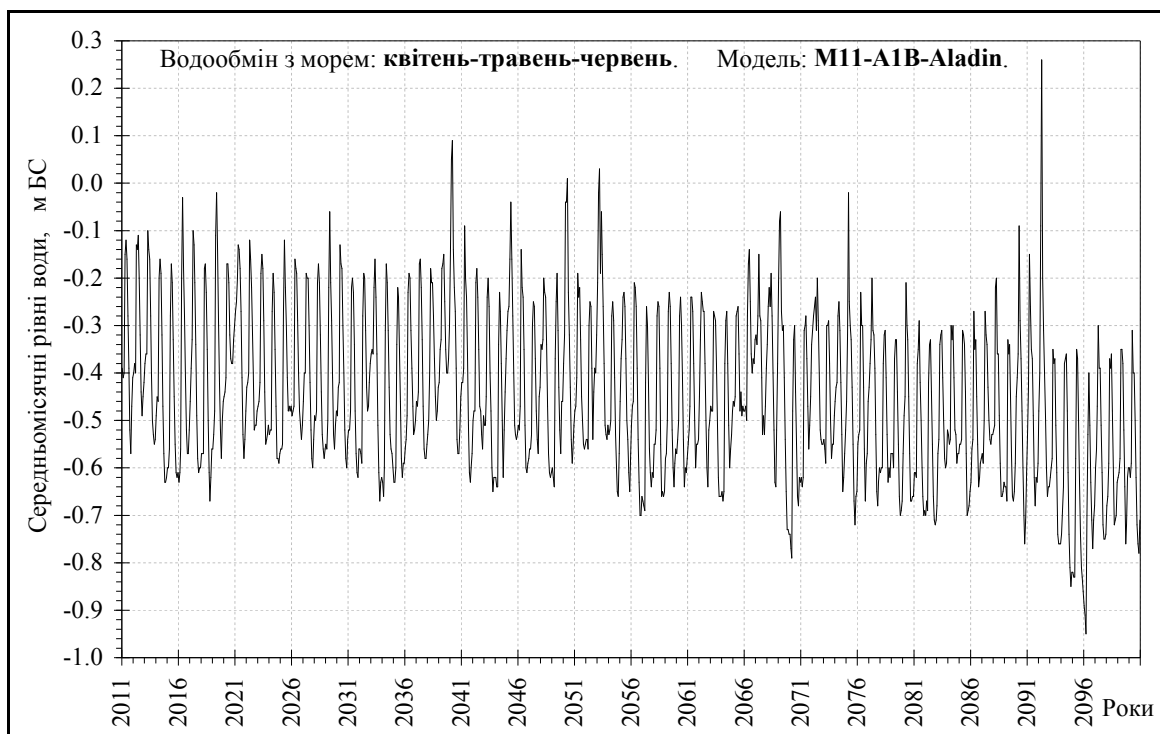


Рисунок 7.20 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M11** при водообміні з морем з квітня по червень для періоду 2011-2100 рр.

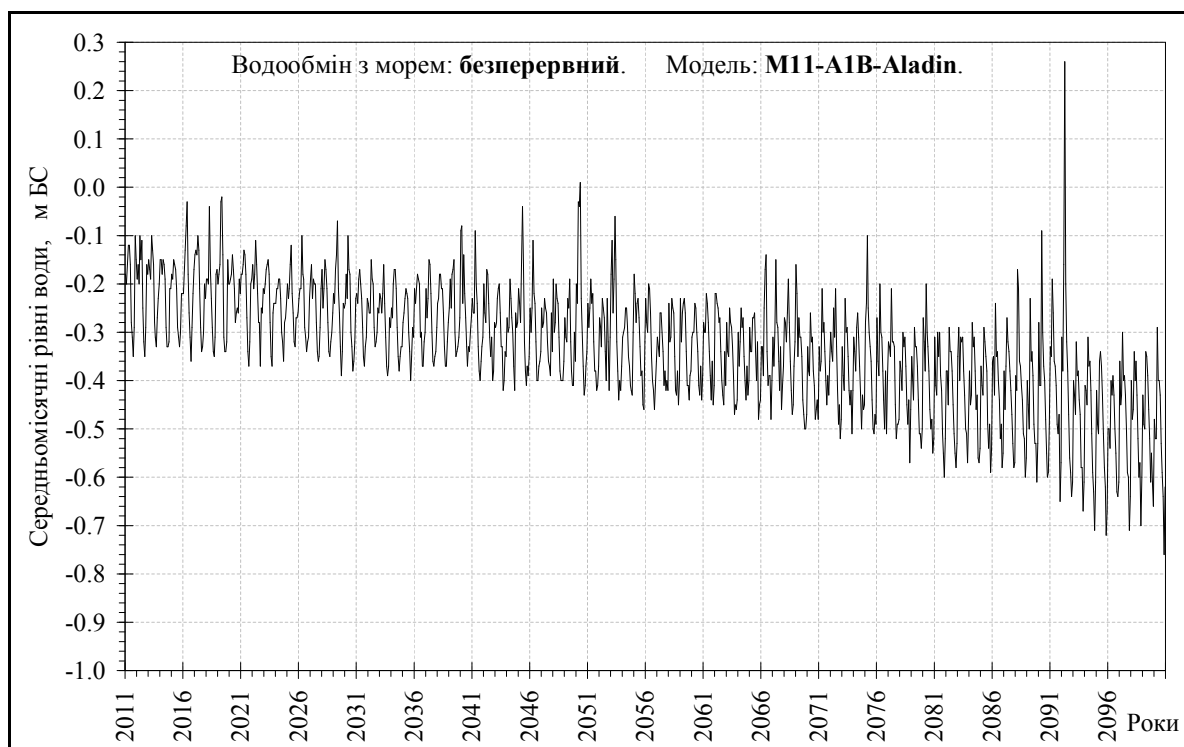


Рисунок 7.21 – Мінливість середньомісячних рівнів води в Тилігульському лимані, розрахованих за сценарієм **M11** при безперервному водообміні з морем для періоду 2011-2100 рр.

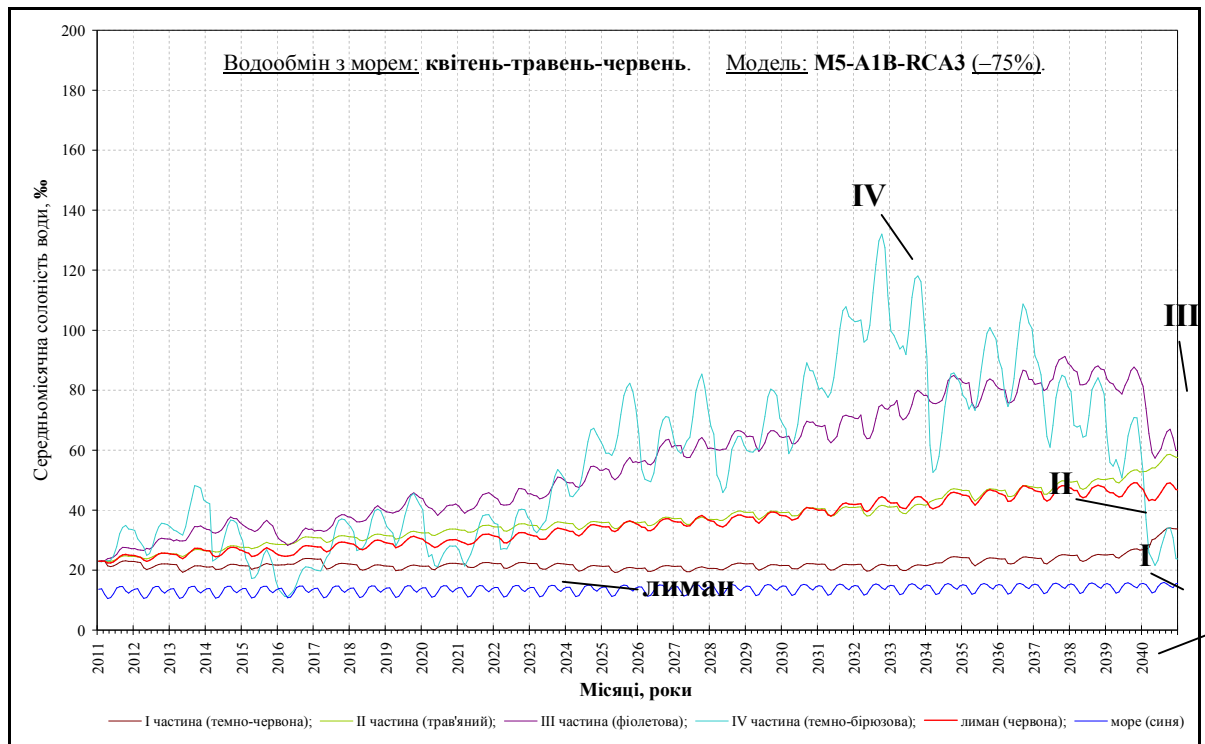


Рисунок 7.22 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману, розрахованих за сценарієм M5 при періодичному водообміні з морем та ліквідації 75 % штучних водойм на басейні лиману для періоду 2011-2040 рр.

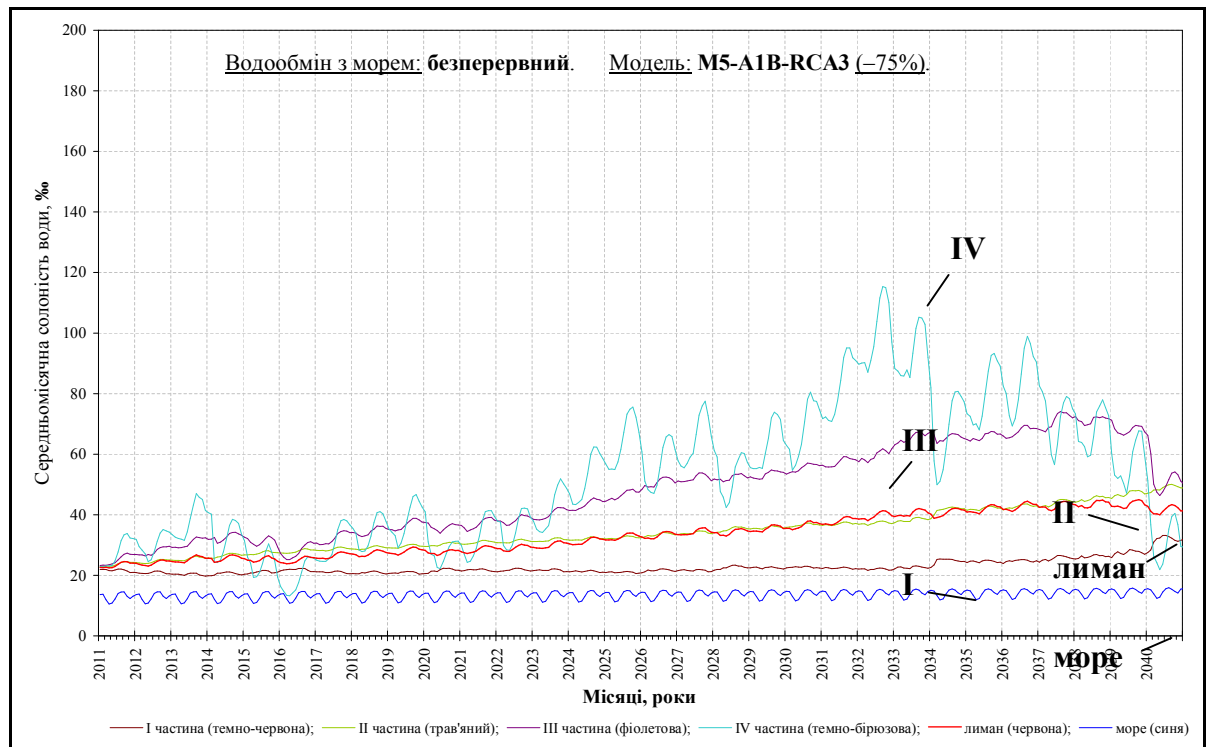


Рисунок 7.23 – Мінливість середньомісячних значень солоності вод Тилігульського лиману, розрахованих за сценарієм M5 при безперервному водообміні з морем та ліквідації 75 % штучних водойм на басейні лиману для періоду 2011-2040 рр.

ВИСНОВКИ

1. Тилігульський лиман є унікальною природною системою з численними природними ресурсами, які можуть бути використані для соціально-економічного розвитку прилеглих територій Одеської та Миколаївської областей України в сферах рекреації, екологічного туризму, охорони здоров'я, аквакультури та регламентованого рибальства. Природні ресурси лиману складаються з унікального ландшафту узбережжя, багатства флори і фауни акваторії лиману, а також прилеглих територій, значних запасів лікувальних магневієво-натрієвих мулових грязей. Лиман включено до переліку ІВА-територій, а також до міжнародного списку Рамсарської конвенції про захист водно-болотних угідь, як місця нагулу, гніздування та відпочинку мігруючих птахів. Екологічна система лиману являє собою велику цінність для підтримання біологічної рівноваги регіону.

2. Головна особливість формування водного балансу Тилігульського лиману, яка визначає його сучасний гідроекологічний режим, полягає в тому, що навіть у середній за водністю рік річний об'єм випаровування з водної поверхні лиману перебільшує сумарне надходження прісних вод з атмосферними опадами та стоком річок, тобто прісний баланс водойми є від'ємним (-11 млн. м³ у середньоводний рік). Для компенсування дефіциту прісного балансу необхідно поповнювати лиман морською водою через штучний сполучний канал.

3. Для Тилігульського лиману характерна багаторічна тенденція підвищення солоності вод, наявність якої пояснюється зменшенням притоку прісних вод з водозбірного басейну лиману і акумуляцією солей, що надходять з морськими водами через з'єднувальний канал.

4. На водозбірному басейні лиману розташовані 140 штучних водойм (ставків) з сумарним об'ємом заповнення 14 млн.м³. Втрати стоку на заповнення ставків і додаткове випаровування з їх водної поверхні зумовлюють зменшення водних ресурсів на 30-35 %. Вплив штучних водойм на водні ресурси зростає по мірі зменшення водності річок.

5. З кінця 80-х років ХХ сторіччя, на водні ресурси річок великий вплив мають зміни клімату. Середній багаторічний річний стік р.Тилігул зменшився за період 1989-2011 рр. на 37 % порівняно з періодом 1953-1988 рр.

6. При сучасному режимі водогосподарського використання Тилігульський лиман є фактично непроточною водоймою. Це призводить до акумуляції в лимані впродовж багатьох років солей і біогенних речовин та

підвищення їх концентрацій. В результаті сумісної дії антропогенних чинників і кліматичних змін існує реальна небезпека перетворення лиману у XXI сторіччі в гіпергалінну водойму, що спричинить за собою значне зменшення біорізноманіття водної флори і фауни.

7. Наслідком багаторічної тенденції збільшення солоності вод в лимані є зміна домінування у видовому складі водної флори і фауни прісноводно-солонатоводних і солонатоводних комплексів на морські і солонатоводні-морські. Порівняно з початком 80-х років минулого сторіччя кількість морських видів фітопланктону збільшилася з 14 до 64 %, морського та солонатоводно-морського макрофітобентосу – з 40 до 83 %, морського зоопланктону – з 40 до 90 %. Якщо в 60-80 роки XX століття в лимані зустрічалося від 12 до 25 видів прісноводних риб, то у 2013 р. їх кількість скоротилася до 4 видів.

8. Значні запаси в лимані біогенних речовин у воді і донних відкладах лиману сприяють високій швидкості продукування органічної речовини фітопланктоном і донними макрофітами у весняно-літній період. При сприятливих умовах, в період цвітіння влітку біомаса фітопланктону у фотичному шарі може досягати значень 40-160 г/м³ (2010 р). Середня за літній сезон біомаса донних макрофітів в мілководній прибережній зоні лиману глибиною до 2 м досягає значень більше 2 кг/м². Отже, макрофіти грають не меншу ніж фітопланктон, а на мілководних ділянках – провідну роль у продукуванні органічної речовини і мінливості біогенних речовин в водах лиману.

9. Високий вміст органічних речовин у воді і донних відкладах зумовлює другу проблему для екосистеми лиману – можливість розвитку гіпоксії і аноксії кисню в придонному шарі глибоких ділянок акваторії лиману, а також на мілководді в нічний час при штилі і сильному прогріві вод, в результаті «цвітіння» фітопланктону і донних макрофітів в літній період року.

10. Оцінка екологічного статусу лиману на основі даних про співтовариство риб з використанням індексів EBI (Estuarine Biotic Integrity Index) та Transitional Fish Classification Index (TFCI) дозволила класифікувати його як «середній» (EBI=30) та «добрий/середній» (TFCI =33, EQR=0,58), відповідно.

Отримані значення AMBI (AZTI Marine Biotic Index) та BI (Benthic Index) індексів визначають донне співтовариство макрозообентосу як «незбалансовану», «слабко збурену», з «добрим» екологічним статусом і класифікують лиман як «слабко забруднений».

11. Забезпечення штучно регулюємого водообміну з морем через періодично діючий канал сприяє збагаченню іхтіофауни лиману. Функціонування каналу дає можливість використання нижньої (південної) частини лиману в якості нагульної акваторії для видів риб, які мігрують, (в першу чергу – *Atherina tochon pontica*, чорноморських *Mugilidae* и *Mugil soiuu Basilewsky*).

Через погіршення показників якості води і відсутність необхідних умов для заходу з моря в лиман на нагул достатньої кількості молоді риб, в основному *Mugilidae*, потенційні можливості лиману для промислового рибальства використовуються лише на 20-30 %. В останнє десятиріччя частка *Atherina tochon pontica* в промислових уловах становить 87,2 %, *Gobiidae* (переважно *Neogobius melanostomus*) – 9,8%. На всі інші види доводиться лише 3,0 %.

11. Вкрай складна та неефективна структура управління мікрорегіоном Тилігульського лиману, неупорядкована структура землекористування є одними з основних чинників порушення сталості екосистеми Тилігульського лиману та погіршення якості його водних ресурсів.

12. Проблеми природоохоронного характеру в зоні Тилігульського лиману, значною мірою, зумовлені порушенням басейнового принципу управління водними ресурсами та відсутністю єдиного суб'єкта управління тобто мають інституційне походження.

13. Неузгодженість інтересів зацікавлених осіб та організацій зумовлює виникнення низки конфліктів, що напряду впливають на сталий розвиток зони Тилігульського лиману. Серед них слід виділити такі:

- змив у лиман забруднюючих речовин внаслідок використання в сільському господарстві регіону мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин та утворення відходів тваринництва;
- забруднення акваторії та прилеглих до лиману земель побутовим сміттям, каналізаційними стоками, що утворюється через відсутність в населених пунктах та дачних масивах централізованої системи збору твердих побутових відходів та каналізації;
- небезпека щодо збереження рідких видів флори та фауни, порушення умов гніздування птахів як результат неконтрольованого перебування рекреантів, туристів, дачників та мешканців сіл на заповідних територіях;
- дефіцит та розмивання коштів, потрібних для утримання Тилігульського регіонального ландшафтного парку внаслідок існування двох адміністрацій, що є наслідком неузгодженості дій з

боку владних структур;

- неможливість реалізації стратегії сталого розвитку мікрорегіону Тилігульського лиману через відсутність єдиного центру управління, а саме, басейнової ради лиману, що також має інституційну природу.

14. Громадське обговорення сценаріїв майбутніх соціально-економічних змін у зоні Тилігульського лиману, яке відбувалося через опитування фокусних груп для визначення позитивних аспектів та проблем, проведення засідання журі, на якому вироблялися якісні рекомендації щодо майбутніх сценаріїв соціально-економічних змін, проведення SWOT та DPSIR аналізу дозволило з чотирьох запропонованих сценаріїв: управління без змін (BAU), криза (CR), збалансоване природокористування (MH), повернення до природи (SET), – одногосно обрати сценарій «збалансоване природокористування». Визначена низка заходів для реалізації цього сценарію.

15. На основі аналізу результатів розрахунків за 15 кліматичними моделями з бази даних ENSEMBLES був обраний регіональний кліматичний сценарій отриманий за моделлю REMO (M10), яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка (м. Гамбург). Даний сценарій найбільш адекватно описує часову мінливість середніх добових температур і опадів в басейні Тилігульського лиману за перевірений період 1998-2007 рр. (метеостанція Любашівка).

16. Аналіз регіонального кліматичного сценарію M10, отриманого за моделлю REMO показав, що у XXI сторіччі для території водозбору Тилігульського лиману прогнозується потепління в кожному із розглянутих кліматичних періодів і для всіх місяців року. Для кількості атмосферних опадів прогнозується зменшення річної кількості опадів в кліматичний період 2011-2040 рр. В період 2041-2070 рр. очікується збільшення річної кількості опадів до значень, які спостерігалися в базовий період 1970-2000 рр. Наприкінці XXI сторіччя кількість опадів знову буде зменшуватися. Отже, найсухішими будуть наступні тридцять років, протягом яких кількість опадів над Тилігульським лиманом зменшиться приблизно на 15%. Найбільша кількість опадів спостерігатиметься над південною частиною лиману, що можна пояснити впливом морської поверхні, а над північною частиною опадів випадатиме менше.

17. Прогнозування річкового і біогенного стоку з водозбірного басейну лиману в XXI сторіччі виконано за допомогою моделі моделі SWIM (Soil and Water Integrated Model). Узагальнення результатів розрахунків за кліматичними періодами показало, що, порівняно з базовим періодом (1970-2000 рр.), в найближчому майбутньому (2011-2040 рр.) слід очікувати

зменшення як річкового стоку з водозбірною басейна лиману, так і кількості біогенних речовин, що надходять з ним в лиман. У наступні кліматичні періоди (2041-2070, 2071-2098 рр.) річковий стік та біогенне навантаження на лиман будуть більшими, ніж у період 1970-2000 рр., причому максимум відповідає періоду 2041-2070 рр.

18. Модель SWIM використовувалася також для оцінки річкового стоку і біогенного навантаження на лиман при реалізації різних сценаріїв водо- та землекористування на його водозбірному басейні, з урахуванням очікуваних кліматичних умов у період 2011-2040 рр. На фоні загального зменшення витрат річкового стоку в цей період, порівняно з базовим, за рахунок, насамперед, водогосподарської діяльності (зменшення кількості ставків МН – 50%, SET– 75 %) очікується збільшення стоку води для сценаріїв МН і SET (на 7 %). Відбір води та наявність ставків впливають на надходження свіжої води у Тилігульський лиман, хоча й не так суттєво, як кліматичні зміни (зменшення на 60%). Зменшення вмісту біогенних речовин у викидах населених пунктів є найбільш важливим природоохоронним заходом для зниження надходження мінерального азоту і фосфору до р.Тилігул і, як наслідок, до Тилігульського лиману. Відносні зміни надходження мінерального азоту і фосфору за рахунок земле- та водокористування добре узгоджуються зі змінами викидів біогенних речовин у населених пунктах, окрім сценарію SET, для якого збільшення річкового стоку до лиману зумовлено скороченням загальної кількості ставків на водозбірному басейні.

19. Оцінка впливу кліматичних змін на гідроекологічні характеристики Тилігульського лиману виконана на основі модельних розрахунків для типових років кліматичних періодів 1970-2000 рр., 2011-2040 рр., 2041-2070 рр., 2071-2098 рр. регіонального кліматичного сценарію М10 розрахованого за моделлю REMO показала, що найбільше до впливу кліматичних змін схильна мілководна північна частина лиману. На екологічні показники в південній частині лиману впливають об'єми припливу морських вод через сполучний канал, які у свою чергу залежать від інтенсивності випаровування, об'ємів прісного стоку і розподілу його по місяцях. В період 2011-2040 рр., у зв'язку зі зменшенням припливу прісних вод до лиману, найбільшу небезпеку для збереження його біорізноманіття, рибопродуктивності представлятиме поступове підвищення солоності вод, яка може досягти середніх значень 35-50 PSU. Проте продукція органічної речовини водоростями в цей період лімітується мінеральним азотом. В період 2041-2070 рр. значне збільшення припливу прісних вод в лиман зменшить проблему зростання солоності вод, проте із-за додаткового надходження зі стоком мінеральних з'єднань азоту збільшиться первинна продукція органічної речовини, підвищиться

евтрофікація вод і загостряться її негативні наслідки – погіршає кисневий режим. В період 2071-2090 рр. через значне збільшення випаровування і, як наслідок, припливу морських вод в лиман, разом із з'єднаннями мінерального азоту, що містяться в них, погіршиться екологічна ситуація в південній частині лиману.

20. Моделювання змін гідроекологічних характеристик лиману за різними сценаріями менеджменту в період 2011-2040 рр. з урахуванням спільного впливу змін клімату та сценаріїв земле-, водокористування на водозбірному басейні лиману, режиму водообміну з морем, показало, що внаслідок малих об'ємів бічного прісного стоку в Тилігульський лиман, реалізація різних сценаріїв водо- і землекористування на водозбірному басейні лиману, не зважаючи на передбачені радикальні зміни, вплине в основному на мілководну північну його частину. Практична реалізація сценаріїв МН (збалансоване природокористування) та SET (повернення до природи) вимагає значних фінансових витрат і вирішення численних соціально-економічних проблем. Більш ефективним, простішим в реалізації і менш витратним є варіант гідроекологічного менеджменту лиману, який полягає у встановленні постійного протягом року його зв'язку з морем через штучний сполучний канал.

21. Моделювання мінливості рівня і солоності води в Тилігульському лимані у XXI ст., з використанням моделі його водно-сольового балансу, показало, що існує реальна небезпека перетворення лиману в гіперсолону водойму. До кінця XXI ст. середня солоність води в Тилігульському лимані, при умові водообміну з морем через з'єднувальний канал в квітні-червні (коли солоність морської води мінімальна), може підвищитися до більш ніж 70 ‰. Але при забезпеченні безперервного водообміну з морем впродовж всього року, солоність води в лимані підвищиться менше – до 50 ‰. При безперервному водообміні лиману з морем буде забезпечуватись певна стабілізація рівнів води в лимані з мінливістю майже ідентичною мінливості рівня моря.

22. За результатами моделювання водно-сольового балансу лиману встановлено, що реалізація заходів водного менеджменту на водозбірному басейні лиману, спрямованих на значне (на 75 %) зменшення об'єму штучних водойм (ставків, запруд, водосховищ), в умовах майбутнього клімату протягом 2011-2040 рр. не призводить до суттєвого зменшення солоності води в лимані. Наприкінці 2040 р. середня солоність води в лимані при періодичному водообміні з морем буде дорівнювати 47 ‰, тобто буде лише на 2 ‰ менша, ніж без ліквідації штучних водойм, а при безперервному

водообміні з морем дорівнюватиме 41,3 ‰, тобто лише на 3,1 ‰ менша, ніж без ліквідації штучних водойм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Швобс Г.И., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України: навчально-довідковий посібник / Під ред. Є.Д. Гопченка. – Одеса: Астропринт, 2003. – 390 с.
2. Паспорт реки Тилигул. – Одесса: УкрЮжГИПроводХоз, 1994. – 148с.
3. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов.– Киев: Наукова думка, 1974. – 224 с.
4. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка –центр, 2010. -316 с.
5. Лобода Н.С., Божок О.В. Оцінка природних водних ресурсів річок басейну Тилигульського лиману за метеорологічними даними/ Український гідрометеорологічний журнал, №14, 2014. – С. 136-147.
6. Тюрєміна В.Г., Бруяко А.В. Шавловська Н.П. Основні гідроекологічні закономірності формування прісних підземних вод на північному схилі Причорноморського артезіанського басейну. Господарське значення підземних вод та перспективи його розширення // Причорноморський екологічний бюлетень. - №4(42).- Одеса – 2011. – С.183-192.
7. Комплексное использование земель Евразийских степей. (Менеджмент-план: Тилигульский региональный парк): Технический отчет (мероприятие 2.2.2 А.) по проекту Региональной Программы ТАСИС Европейского Союза EuropeAid/124907/C/SER/Multi/5. – 62С. Режим доступу: http://www.steppe.org.ua/publications/2.2.2a%20Management%20plan_Tiligulsky%20regional%20park%20RUS.pdf
8. Стан навколишнього природного середовища в Одеській області (2011р.). Під ред. Лоевой І.Д. – Одеса: НДУ УкрНЦЕМ.- 2011.- С.61-63.
9. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология./ Под ред.Ю.П. Зайцева, Б.Г. Александрова, Г.Г. Миничевой – К.: Наукова думка.- 2006.- С.358-370.
10. Заболотний В.З., Лисецький Ф.М., Молодецький А.Е. Миколаївська область. Географічний словник-довідник. – Миколаїв, ІУУ, 1995.- С.100-102, 154
11. Выхованец В.Г. Естественные и искусственные ландшафты Тилигульской пересыпи и природопользование в их пределах // Причорноморський екологічний бюлетень. – Одеса: Одеський центр НТЕІ. – № 2 – 2004.- С. 32-41.
12. Атлас Одеської області. – Одеса:Хорс. – 2002. – 80с.
13. Паспорт реки Тилигул. – Одесса: УкрЮжГИПроводХоз, 1994. – 148 с.

14. Ковтун О.А. Фитобентос Тилигульского лимана (Черное море, Украина). Эколого-биологическая, морфологическая и таксономическая характеристика. – LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 353 с.
15. Стойловский В.П. Численность и распределение гнездящихся околоводных птиц в Тилигульском лимане // // Причорноморський екологічний бюлетень. – Одеса: Одеський центр НТЕІ. – № 2 – 2004.- С. 85 – 96.
16. Статистичний щорічник Одеської області за 2010 рік. – Одеса: Головне управління статистики в Одеській області, 2011. – 540 с.
17. Статистичний щорічник Миколаївської області за 2010 рік / за ред П.Ф. Зацаринського. Головне управління статистики у Миколаївській обл. – Миколаїв, 2011. – 514 с.
18. Програма соціально-економічного та культурного розвитку Березівського району на 2012 рік. - Режим доступу: <http://berezivka-rda.odessa.gov.ua>
19. Програма соціально-економічного та культурного розвитку Комінтернівського району на 2012 рік. - Режим доступу: <http://komintern-rda.odessa.gov.ua>
20. Соціально-економічне становище Березанського району за 2011 рік. - Режим доступу: <http://www.mk.ukrstat.gov.ua/>
21. Отдых в поселке Кoblevo на Черном море. - Режим доступу: <http://www.koblevo.seatour.in.ua/>
22. Кто перекрывает кислород лиманам // Рабочая Газета (27.04.2011). - Режим доступу: <http://rg.kiev.ua/page5/article21186/>
23. Украина-российская «аммиачная война» продолжается // [Украинские новости](#) (12.01.2012). - Режим доступу: <http://obkom.net.ua:8070/news/2012-01-12/1206.shtml>
24. Газотранспортная система Украины будет реконструирована до 2010 года. - Режим доступу <http://www.cna.ua/ru/news/272/>
25. Трубопроводный транспорт Украины. Проблемы и перспективы развития. - Режим доступу: <http://www.snegu.net/single.php?articles/20100602100106>
26. Степанов В.Н., Степанова Е.В. Социально-экономическое состояние района Тилигульского лимана // Причорноморський екологічний бюлетень. – 2004.- № 2. – С. 99-109.
27. Погребняк И.И. Донная растительность лиманов северо-западного Причерноморья и сопредельных им акваторий Черного моря. Автореферат диссертации доктора биол. наук. Одесса: Одесский гос. ун-т, 1965. – 31 с.

28. Зинова А.Д. Определитель зеленый, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.-Л.: Наука., 1967. – 397с.
29. Бубнова Н.П., Холикова Н.И. Методы изучения макрозообентоса / Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. – Л., Гидрометеиздат, 1980. – С. 21-38.
30. Володкович Ю.Л. Методы изучения морского бентоса / Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. – Л., Гидрометеиздат, 1980. – С. 150-165.
31. Грезе И.И. Бокоплавы. Фауна Украины. – Высшие ракообразные. – Киев: Наук. думка, 1985. – 5, вып. 5. – 172 с.
32. Киселева М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1981. – 165 с.
33. Лосовская Г.В. Экология полихет Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1977. – 91 с.
34. Несис К.Н. Некоторые вопросы пищевой структуры морских биоценозов // Океанология. – 1965. – 5, № 4. – С. 701-704.
35. Закутский В.П., Виноградов К.А. Макрозообентос / Биология северо-западной части Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1967. – С. 146-157.
36. Макаров А.К. О некоторых новых элементах в составе фауны черноморских лиманов в связи с судоходством // Докл. АН СССР. – 1939. – 23, вып. 8. – С. 818-821.
37. Лосовская Г.В., Нестерова Д.А. О массовом развитии новой для Черного моря формы многощетинкового кольчатого червя *Polydora ciliata* ssp. *limicola* Annenкова в Сухом лимане (северо-западная часть Черного моря) // Зоол. журн. – 1964. – 43, вып. 10. – С. 1559-1560.
38. Бешевли Л.Е., Колягин В.А. О находке моллюска *Mya arenaria* L. (*Bivalvia*) в северо-западной части Черного моря // Вест. зоологии. – 1967. – № 3. – С. 82-84.
39. Borja, A. and Muxika, I. (2005). Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin*, 50, 2005. – P.787-789.
40. WFD CIS Guidance Document No. 5 (2003). Transitional and Coastal Waters– Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Published by the Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
41. Замбриборщ Ф.С. Рыбы низовьев рек и приморских водоемов северо-западной части Черного моря и условия их существования. Автореф. дис. д.биол.н. – Одеса, 1964.

42. Полищук В.С., Замбрибош Ф.С., Тимченко В.М. и др.. Лиманы северо-западного Причерноморья/ Отв. ред. Миронов О.Г. – К: Наукова думка. – 1990.- 204 с.
43. Шекк П.В. Ихтиофауна Тилигульского лимана // Причорноморський екологічний бюлетень. – Одеса: Одеський центр НТЕІ. – № 2-3. – 2004.- С. 101 – 111.
44. Шерман І.М., Кутіщев С.В. Основи екології і технології рибництва в умовах астатичної мінералізації. – Київ: Вища освіта. – 2007. –143с.
45. Practitioners Guide to the Transitional Fish Classification Index (TFCI). Version 07 301112. Water Framework Directive: Transitional Waters. Annex 21. 25 p.
46. Deegan, L.A., Finn, J.T., Ayvazian, S.G., Ryder-Kieffer, C.A. and Buonaccorsi, J. (1997). Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries*, 20, 601-617.
47. Coates, S., Waugh, A., Anwar, A. and Robson, M. (2007). Efficacy of a multi-metric fish index as an analysis tool for the transitional fish component of the Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55, 225-240.
48. Замбриборщ Ф.С. Рекомендации по рыболовству в Тилигульском лимане // Тр. Одесского ун-та. – Одесса.- вып. 1.- 1956.
49. Wakeford T. Teach Yourself. Citizens Juries. E-book. – 2012. – 67 p.
50. Dyson R.G. Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick // *European Journal of Operational Research*. – 2004. – Vol. 152, Iss. 3. – P. 631-640
51. Cooper P. Socio-ecological accounting: DPSWR, a modified DPSIR framework, and its application to marine ecosystems // *Ecological Economics*. – 2013. – Vol. 94. – P. 106-115
52. Krysanova, V. and Wechsung, F. (2000): *SWIM User Manual*. Potsdam Institute for Climate Impact Research
53. Arnold, J., Allan, P., and Bernhardt, G. (1993). A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142:47–69
54. Krysanova, V., Meiner, A., Roosaare, J., and Vasilyev, A. (1989): Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed. *Ecological Modelling*, 49:7–29
55. Krysanova, V., Hattermann, F., and Wechsung, F. (2005): Development of the ecohydrological model SWIM for regional impact studies and vulnerability assessment. *Hydrological Processes*, 19(3):763–783
56. Krysanova, V., Hattermann, F., Huang, S., Hesse, C., Vetter, T., Liersch, S., Koch, H., and Kundzewicz, Z. (2013): Modelling climate and land-use change

- impacts with SWIM: lessons learnt from multiple applications. submitted to *Hydrological Science Journal*
57. Teutschbein, C. and Seibert, J. (2010): Regional Climate Models for Hydrological Impact Studies at the Catchment Scale: A Review of Recent Modeling Strategies. *Geography Compass*, 4(7):834–860
 58. van der Linden, P. and Mitchell, J. F., editors (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre
 59. Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S., and Palutikof, J., editors (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, Geneva
 60. LAGOONS (2013): Results of the problem based science analysis: The Mar Menor Lagoon. LAGOONS Report D3.2.2, 32 pp.
 61. Jaoshvili, S. (2002): The rivers of the Black Sea. EEA Technical report 71, European Environmental Agency, 58 pp.
 62. Shvets, G.I. (1961): Discontinuity of discharge of Ukrainian rivers. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 6:1, 53-57
 63. LAGOONS (2012a): The Tyligulskyi Lagoon – Current knowledge base and knowledge gaps. LAGOONS Report D2.1d, 54 pp.
 64. Weedon, G.P., Gomes, S., Viterbo, P., Shuttleworth, W.J., Blyth, E., Österle, H., Adam, J.C., Bellouin, N, Boucher, O., and Best, M. (2011): Creation of the WATCH Forcing data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. *J. Hydrometeorol.* 12, 823-848, doi: 10.1175/2011JHM1369.1
 65. Schneider, U., A. Becker, P. Finger, A. Meyer-Christoffer, M. Zwise, B. Rudolf (2013): GPCP's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. *Theor. Appl. Climatol.* doi: 10.1007/s00704-013-0860-x
 66. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. – К: Мінприроди України, 2009. – 282 с.
 67. Giorgi F., Mearns L.O. Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited // *Journal of Geophysical Research* – 1999. – Vol. 104. – P. 6335-6352.
 68. Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V. Evaluation of climate scenarios for the lagoons. – Potsdam: PIK, 2012. – 40 p.
 69. Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dumenil L., Esch M., Schlese U., Schulzweida U. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. – Hamburg: MPI für Meteorologie, 1996 – Report No.218. – 90 p.

70. Jacob D., Van den Hurk B.JJ.M., Andre U., Elgered G., Fortelius C., Graham L.P., Jackson S.D., Karstens U., Kopken Chr., Lindau R., Podzun R., Rockel B., Rubel F., Sass B.H., Smith R.N.B., Yang X. A comprehensive model intercomparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period // *Meteorology and Atmospheric Physics*. – 2001. – Vol. 77. – P. 61-73.
71. Pfeifer S. Modeling cold cloud processes with the regional climate model REMO / PhD Thesis. – Hamburg: University of Hamburg, 2006. – 120 p.
72. Krakovska S., Goettel H., Jacob D., Pfeifer S. Study of the flood events in the Carpathians and along the Elbe river with aid of the numerical models // *Geophysical Research Abstracts*. – 2006. – Vol. 8. – 00060. – SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-00060.
73. Uppala S.M., Kellberg P.W., Simmons A.J. *et al.* The ERA-40 reanalysis // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* – 2005. – Vol. 131. – P. 2961-3012.
74. Паламарчук Л.В., Краковская С.В., Шедеменко И.П., Дюкель Г.А., Гнатюк Н.В. Верификация данных Мирового климатического центра (CRU) и региональной модели климата (REMO) относительно прогноза поля осадков в Украине за контрольный период 1961-1990 гг. // *Наукові праці УкрНДГМІ*. – 2009. – Вип. 258. – С. 69-83.
75. Hess K.W. 1985. *Assessment model for estuarine circulation and salinity*. NOAA Technical Memorandum NEDIS AISC 3, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NOAA. USA, 39 p.
76. Hess, K.W. 1986. *Numerical model of circulation in Chesapeake Bay and the continental shelf*. NOAA Technical Memorandum NESDIS AISC 6, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NOAA., US A, 47 pp.
77. Hess K.W. 1989. *MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA*. – NESDIS 46. – Washington, D.C., 97 p.
78. Hess, K.W. 2000. *Mecca2 Program Documentation*. NOAA Technical Report NOS CS 5, Silver Spring, MD, 49 p.
79. Иванов В.А., Тучковенко Ю.С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2006.- 368 с.
80. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: Коллективная монография / под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. Одесский государственный экологический университет. – Одесса: ТЕС, 2012. – 224 С.
81. Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-

- западной части Черного моря (*монография*). – Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, МГИ НАНУ, ОГЭКУ.– 2011. – 169 с.
82. User's Guide for RCA (Release 3.0). Appendix A –HydroQual, Mahwah, New Jersey . – 2004. – P. 3 – 46.
 83. Ambrose, R.B., Wool, T.A., Martin, J.L. The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5. Part A: Model documentation.-USA, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, 1993. – P.49 - 140.
 84. Cerco C.F., Cole T. User's Guide to the CE - QUAL - ICM. Three - Dimensional Eutrophication Model.-U. S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station.1995. – 150 p.
 85. Ляхин Ю.И. О скорости обмена кислородом между океаном и атмосферой //Океанология. – 1980. – Т. 18, № 6. – С. 1014 - 1021.
 86. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. Отв.редакторы Ю.П.Зайцев, Б.Г. Александров, Г.Г. Миничева; Одесский филиал ин-та биологии южных морей НАН Украины.- Киев: Наукова думка, 2006.- С.358-370.
 87. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря. //Под ред.. І.Д.Люєвої. – Київ.: КНТ,2008. – 616 с.
 88. Экосистема Григорьевского (Малого Аджалыкского лимана); Монография / Под ред. А.К. Виноградова. – Одесса: Астропринт, 2008. – 264 с.
 89. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження впливу змін клімату на гідрологічний і гідрохімічний режими вод північно-західної частини Чорного моря» (заключний), ДР № 0109U004167. – Одеса, ОДЕКУ. – 2011.- 346 с.
 90. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Київ: КНТ, 2005. – 188 с.
 91. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата: *Коллект. монография* под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф.,Осадчего В.И. и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
 92. Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія:біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія.- № 3 (44). -2010. – С. 143-145.

93. Звіт про науково-дослідну роботу «Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідро екологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін» (проміжний). – Одеса, ОДЕКУ. – 2013.- 355 с.
94. Комплексне управління водними ресурсами Тилігульського лиману та його гідроекологічним станом в умовах антропогенного впливу і кліматичних змін: Звіт з НДР (науковий керівник: Ю.С. Тучковенко). Од. держ. еколог. ун-т. – Одеса, 2013. – 279 с.
95. Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V. Evaluation of climate scenarios for the lagoons. – Potsdam: PIK, 2012. – 40 p.
96. Сайт проекту ENSEMBLES [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ensembles-eu.org>.
97. LAGOONS 2013. Result of climate impact assessment – Application for four lagoon catchments LAGOONS Report D5.1, 107 pp.
98. LAGOONS 2014. Combined climate and land use change impact assessment – Results for four lagoon catchments LAGOONS Report D5.2, 102 pp.

ДОДАТОК А

Анкета користувачів природних та господарських ресурсів Тилігульського лиману

Метою анкети є:

Покращити розуміння вигод, які місцева громада отримує від лиману;

Перевірити, чи усі питання і вигоди згадуються у сценаріях, розроблених проектом;

Надати інформацію для розробки можливого «п'ятого сценарію», виходячи з вподобань користувачів;

вибрати кількісні дані, для використання в інших місцях.

(А) Наскільки важливим для Вас є лиман з точки зору таких вигод?

	Дуже	Помірно	Не важливо	Не знаю
Рекреаційна риболовля:				
риби	9	14	1	
молюсків	6	15	2	1
Комерційна риболовля:				
риби	2	12	10	
молюсків	3	11	10	
Розведення:				
риби	15	6	1	2
молюсків	14	4	2	4
водорості	12	5	4	3
Знаходження наживи	2	11	4	7
Сільське господарство:				
садівництво та городництво	8	11	5	
тваринництво	3	15	4	2
Лісове господарство	9	11	2	2
Сировина:				
гравій, пісок	5	9	10	
очерет, водорості	5	12	6	2
Видобуток солі	4	5	12	3
Порт та портові споруди	4	6	13	1

Промисловість	3	7	12	2
Інші види економічної діяльності	2	8	9	5
Зайнятість населення	14	8		2
Зменшення ризику повеней	13	7	2	2
Зменшення ризику ерозії	15	9		
Збереження якості води	24			
Формування місцевого клімату	18	6		
Запасання вуглецю в рослинах і ґрунті	5	15		4
Джерело водопостачання	8	12	4	
Джерело біохімічних речовин і цілющих засобів	7	14	2	1

(Б) З огляду на те, як лиман підтримує рослинний і тваринний світ, наскільки важливими є такі вигоди?

	Дуже	Помірно	Не важливо	Не знаю
Середовища проживання багатьох видів диких тварин та рослин	18	6		
Місця гніздування птахів	24			
Місце нересту та міграції риб	24			
Первинна продукція (зростання рослинності і виробництво кисню в процесі фотосинтезу)	17	5	2	
Кругообіг поживних речовин (накопичення та утилізація поживних речовин, необхідних для життя)	15	7		2
Кругообіг води (кругообіг водних ресурсів через опади, стік та випаровування)	17	7		
Підтримка популяції комах-запилювачів (що дозволяє запилювати рослини)	16	7	1	

(В) Наскільки важливим для Вас є лиман в інших галузях?

	Дуже	Помірно	Не важливо	Не знаю
Освіта і знання	18	6		
Значимість місця	16	8		
Історія та археологічна спадщина	16	7		1
Духовні та релігійні цінності	5	13	2	4
Рекреація та відпочинок:	21	3		
спостереження за птахами	18	5	1	
полювання	5	9	10	
катання на човні	10	10	4	
плавання	16	4	4	
піші прогулянки	12	12		
Туризм	15	9		
Здоров'я (лікувальні грязі, мінеральні джерела)	12	10		2
Мальовничість краєвидів	18	6		
Місцеві культура та звичаї	6	16		2
Традиційне виробництво	4	14	3	3
Генетичні ресурси	9	11	2	2
Наукові дослідження	18	6		

(Г) Деякі речі важливіші для місцевих громад, інші стосуються тих, хто живе в іншому місці. Які групи отримують найбільшу вигоду від лиману?

Категорії	Місцева громада	Обласна громада	В межах країни	В межах світу
Комерційна риболовля	16	8		
Рекреаційна риболовля	12	12		
Розведення різних водних організмів	12	7	5	
Сільське господарство	11	8	5	
Лісове господарство	10	10	4	
Сировина (пісок, гравій)	17	5	2	
Порт та портові споруди	8	5	8	3
Робочі місця	19	5		
Зменшення ризику повеней	21	3		
Збереження якості води	15	3	6	
Запасання вуглецю в рослинах і ґрунті	18	4	2	
Вплив на місцевий клімат	12	6	5	1
Джерело біохімічних речовин і цілющих засобів	8	7	8	1
Здоров'я (лікувальні грязі, мінеральні джерела)	6	7	13	1
Місця проживання та дика природа	11	7	5	2
Місця нересту риби	15	5	4	
Первинна продукція	17	7		
Кругообіг води	9	10	2	3
Кругообіг поживних речовин	9	9	5	1
Підтримка популяції комах-запилувачів	9	8	5	2
Туризм	5	9	10	
Освіта	6	11	8	1
Наукові дослідження	6	9	11	4
Традиційне виробництво	19	5		
Відпочинок та дозвілля	7	11	7	
Значимість місця	10	8	5	2
Мальовничість краєвидів	10	9	7	1
Історична та археологічна спадщина	5	9	9	2
Духовні та релігійні цінності	8	10	6	
Місцеві культура та звичаї	13	7	2	2

(Д) Якими ви бажаєте бачити різні вигоди від лиману в майбутньому, яким чином слід управляти ними?

Якщо мова ведеться про 2030 рік, стосовно яких вигод від лиману ви хотіли побачити:

зростання;

все залишається в тому ж стані;

прийнятним є деяке зменшення певної вигоди для того, щоб були досягнуті інші цілі

для тих, де підтримується збільшення або деяке зниження, яка з потенційних вигод, з Вашої точки зору, внаслідок цього зменшиться або збільшиться

Послуги	Зростання	Сучасний рівень	Прийнятне деяке зниження	Які альтернативні послуги розвинуться/деградують?
Виробництво продуктів харчування - Сільське господарство	12	5	7	
Виробництво продуктів харчування - Розведення водних організмів	24			
Виробництво продуктів харчування - Вилів диких тварин	7	4	13	
Порт та портові споруди	8	12	4	
Промислове виробництво	8	7	9	
Робочі місця	23	1		
Зменшення ризику повеней та ерозії	16	3	5	
Контроль за якістю води	20		4	
Відпочинок (дозвілля, спорт, здоров'я)	18	3	3	
Туризм	18	3	3	
Освіта та знання	22	2		
Дика природа	20	1	3	
Краєвиди	19	5		
Історія та археологія	17	7		
Наукові дослідження	19	5		
Інші послуги	10	10	4	